Uema
UNIVERSIDADE ESTADUAL
DO MARANHÃO

CODEVASF

DEMANDAS DE USO DA ÁGUA E ENQUADRAMENTO DOS CORPOS HÍDRICOS CONSTITUINTES DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO ITAPECURU - MA

Volume II

COLEÇÃO PLANO DE RECURSOS HÍDRICOS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO ITAPECURU-MA

São Luís - MA
2025

MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO E DO DESENVOLVIMENTO REGIONAL
GOVERNO FEDERAL BRASIL UNIÃO E RECONSTRUÇÃO
GOVERNO DO MARANHÃO TRABALHANDO PARA TODOS
NUGEO NÚCLEO GEOAMBIENTAL - UEMA
FAPEAD FUNDAÇÃO DE APOIO AO ENSINO, PESQUISA E EXTENSÃO
Editora Uema

Demandas de Uso da Água e Enquadramento dos Corpos Hídricos Constituintes da Bacia Hidrográfica do Rio Itapecuru - MA

EDITOR RESPONSÁVEL
Jeanne Ferreira de Sousa da Silva

CONSELHO EDITORIAL
Alan Kardec Gomes Pachêco Filho
Ana Lucia Abreu Silva
Ana Lúcia Cunha Duarte
Cynthia Carvalho Martins
Eduardo Aurélio Barros Aguiar
Emanoel Cesar Pires de Assis
Denise Maia Pereira
Fabíola Hesketh de Oliveira
Helciane de Fátima Abreu Araújo
Helidacy Maria Muniz Corrêa
Jackson Ronie Sá da Silva
José Roberto Pereira de Sousa
José Sampaio de Mattos Jr
Luiz Carlos Araújo dos Santos
Marcos Aurélio Saquet
Maria Medianeira de Souza
Maria Claudene Barros
Rosa Elizabeth Acevedo Marin
Wilma Peres Costa

Diagramação: Letícia Pontes, Danúbio Campos, Elienê Pontes e Hauanen Rocha

Demandas de Uso da Água e Enquadramento dos Corpos Hídricos Constituintes da Bacia Hidrográfica do Rio Itapecuru - MA. [recurso eletrônico]./ organizadores Luiz Jorge Bezerra da Silva Dias, Elienê Pontes de Araújo, Luiz Carlos Araújo dos Santos, Jucivan Ribeiro Lopes. Ariadne Enes Rocha, Karina Suzana Feitosa Pinheiro, Paulo Henrique Aragão Catunda. São Luís - MA: EDUEMA, 2025.

192p.il.col. (Plano de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Itapecuru- MA; v.2)
Livro eletrônico
ISBN: 978.65.85022.68.2

1. Geociências. 2. Gestão de Recursos Hídricos . 3. Águas Superficiais . 4. Qualidade Ambiental. 5. Maranhão (Estado). I. Dias, Luiz Jorge Bezerra da Silva.[et.al.] II. CODEVASF. III UEMA. IV. FAPEAD. V.Título.

CDU:556.38(812.1)

Elaborado por Luciana de Araújo - CRB 13/445

PLANO DE RECURSOS HÍDRICOS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO ITAPECURU (PRH-ITAPECURU)

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO/NÚCLEO GEOAMBIENTAL - NUGEO/UEMA

DEMANDAS DE USO DA ÁGUA E ENQUADRAMENTO DOS CORPOS HÍDRICOS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO ITAPECURU (MA)

GOVERNO DO ESTADO DO MARANHÃO

CARLOS ORLEANS BRANDÃO JUNIOR
GOVERNADOR

FELIPE COSTA CAMARÃO
VICE GOVERNADOR

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO - UEMA

WALTER CANALES SANT'ANA
REITOR

PAULO HENRIQUE ARAGÃO CATUNDA
VICE-REITOR

ILKA MÁRCIA RIBEIRO DE SOUZA SERRA
PRÓ-REITORA DE EXTENSÃO E ASSUNTOS ESTUDANTIS

MARCELO CHECHE GALVES
PRÓ-REITOR DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO

LUIZ JORGE BEZERRA DA SILVA DIAS
COORDENADOR DO CONVENIO
N 8.088.00/2016-CODEVASF -UEMA (SICONV N 842341/2016)

JUCIVAN RIBEIRO LOPES
COORDENADOR DO NÚCLEO GEOAMBIENTAL

ELIENÊ PONTES DE ARAÚJO
COORDENADORA DE PROJETOS DO NÚCLEO GEOAMBIENTAL

REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL

LUIZ INÁCIO LULA DA SILVA
PRESIDENTE

GERALDO JOSÉ RODRIGUES ALCKMIN FILHO
VICE PRESIDENTE

COMPANHIA DE DESENVOLVIMENTO DOS VALES DO SÃO FRANCISCO E DO PARNAÍBA - CODEVASF

ANTÔNIO WALDEZ GÓES DA SILVA
MINISTRO DA INTEGRAÇÃO E DO DESENVOLVIMENTO REGIONAL

MARCELO ANDRADE MOREIRA PINTO
DIRETOR-PRESIDENTE DA CODEVASF

JOSE VIVALDO SOUZA DE MENDONÇA FILHO
DIRETOR DA ÁREA DE REVITALIZAÇÃO E SUSTENTABILIDADE SOCIOAMBIENTAL

CLOVIS LUÍS PAZ OLIVEIRA
SUPERINTENDENTE REGIONAL DA CODEVASF/8ªSR

ADENILSON KERLISSON CARVALHO DE OLIVEIRA
GERENTE DA 8ª GERÊNCIA REGIONAL DE REVITALIZAÇÃO E DESENVOLVIMENTO TERRITORIAL DA CODEVASF/8ªSR

VIRLEY GARDENY LIMA SENA
CHEFE DA UNIDADE REGIONAL DE LICENCIAMENTO AMBIENTAL E ADMINISTRAÇÃO FUNDIÁRIA DA CODEVASF/8ªSR

WELLIAN MOREIRA DOS SANTOS
FISCAL DO CONVENIO Nº 8.088.00/2016-CODEVASF-UEMA

EQUIPE TÉCNICA

EQUIPE DE COORDENAÇÃO E PLANEJAMENTO

LUIZ JORGE BEZERRA DA SILVA DIAS (COORD.)
ELIENÊ PONTES DE ARAÚJO
LUIZ CARLOS ARAÚJO DOS SANTOS
JUCIVAN RIBEIRO LOPES
ARIADNE ENES ROCHA
KARINA SUZANA FEITOSA PINHEIRO
PAULO HENRIQUE DE ARAGÃO CATUNDA

REGIONALIZAÇÃO DE VAZÕES, USOS OUTORGADOS E CENÁRIOS FUTUROS DE DEMANDAS HÍDRICAS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO ITAPECURU (MA)

DANIEL DE LIMA NASCIMENTO SÍRIO
KARINA SUZANA FEITOSA PINHEIRO

QUALIDADE DAS ÁGUAS E ENQUADRAMENTO DOS CORPOS HÍDRICOS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO ITAPECURU (MA)

KARINA SUZANA FEITOSA PINHEIRO
LEILA MARIA FEITOSA PINHEIRO
LETÍCIA PONTES DE ARAÚJO CAVALCANTE
RONY LOPES LUNGUINHO

GEOPROCESSAMENTO/BANCO DE DADOS/SIGWEB

ELIENÊ PONTES DE ARAÚJO
HAUANEN ARAÚJO ROCHA
IDEVAN GUSMÃO SOARES
DANÚBIO CAMPOS PINHEIRO
JONY HERBETH ALMEIDA SILVA
MÁRCIO ROBERTO BEZERRA FIALHO

PROJETO GRÁFICO

LETÍCIA PONTES DE ARAÚJO CAVALCANTE
DANÚBIO CAMPOS PINHEIRO
ELIENÊ PONTES DE ARAÚJO
HAUANEN ARAÚJO ROCHA

DEMANDAS DE USO DA ÁGUA E ENQUADRAMENTO DOS CORPOS HÍDRICOS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO ITAPECURU (MA)
PLANO DE RECURSOS HÍDRICOS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO ITAPECURU

COORDENAÇÃO E PLANEJAMENTO:
Luiz Jorge Bezerra da Silva Dias
Elienê Pontes de Araújo
Luiz Carlos Araújo dos Santos
Jucivan Ribeiro Lopes
Ariadne Enes Rocha
Karina Suzana Feitosa Pinheiro
Paulo Henrique de Aragão Catunda

AUTORES

REGIONALIZAÇÃO DE VAZÕES, USOS OUTORGADOS E CENÁRIOS FUTUROS DE DEMANDAS HÍDRICAS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO ITAPECURU (MA)
Daniel de Lima Nascimento Sírio
Karina Suzana Feitosa Pinheiro

QUALIDADE DAS ÁGUAS E ENQUADRAMENTO DOS CORPOS HÍDRICOS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO ITAPECURU (MA)
Karina Suzana Feitosa Pinheiro
Leila Maria Feitosa Pinheiro
Letícia Pontes de Araújo Cavalcante
Rony Lopes Lunguinho

EDIÇÃO E DESIGN GRÁFICO:
Letícia Pontes de Araújo Cavalcante, Danúbio Campos Pinheiro, Elienê Pontes de Araújo e Hauanen Araújo Rocha

Sumário

REGIONALIZAÇÃO DE VAZÕES, USOS OUTORGADOS E CENÁRIOS FUTUROS DE DEMANDAS HÍDRICAS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO ITAPECURU (MA) 11
1. ASPECTOS GERAIS 12
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 13
2.1 Regionalização de Vazões 15
2.2 Regionalização da vazão de permanência Q90 16
2.3 Regionalização da vazão média 17
2.4 Regionalização da vazão máxima 17
2.5 Regiões Hidrológicas 17
3. MATERIAIS E MÉTODOS 18
3.1 Regionalização de Vazões 23
3.2 Regionalização da vazão de permanência Q90 25
3.3 Regionalização da vazão média 25
3.4 Regionalização da vazão máxima 25
3.5 Banco de dados de usuários de outorgas 26
3.6 Cenários de projeção de Outorgas 26
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO 27
4.1. Aderência às Curvas de Probabilidade para o Modelo Estocástico de Regionalização com Vazões Associadas ao Período de Retorno para Alto e Médio Itapecuru 30
4.2. Aderência às Curvas de Probabilidade para o Modelo Estocástico de Regionalização com Vazões Associadas ao Período de Retorno para o Baixo Itapecuru 33
4.3. Modelo Tradicional de Regionalização com Associação das Variáveis Explicativas para o Alto e Médio Cursos do Rio Itapecuru 36
4.4. Modelo Tradicional de Regionalização com Associação das Variáveis Explicativas para o Baixo Curso do Rio Itapecuru 39
4.5. Modelo de Regionalização por Krigagem Ordinária Circular 41
4.6 Banco de Dados de Usos e Finalidades da Água no Alto, Médio e Baixo Cursos do Rio Itapecuru 51
4.7 Cenários para 5, 15 e 20 anos 61
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS 69
REFERÊNCIAS 70
QUALIDADE DAS ÁGUAS E ENQUADRAMENTO DOS CORPOS HÍDRICOS DA BACIA DO ITAPECURU (MA) 71
1. CONTEXTO GERAL 72
2. BACIA DO RIO ITAPECURU 73
3. FINALIDADE DO USO DA ÁGUA 75
3.1 Abastecimento de Água 75
3.2 Aquicultura e Pesca 76
3.3 Transporte 76
3.4 Turismo e Lazer 77
4. POLUIÇÃO E QUALIDADE DAS ÁGUAS 78
4.1 Tipos e Fontes de Poluição Hídrica 78
4.2 Qualidade das Águas 83

5. ASPECTOS QUALITATIVOS DA BACIA DO RIO ITAPECURU 91

5.1 QUALIDADE DAS ÁGUAS DO RIO ITAPECURU DE ESTAÇÕES DE MONITORAMENTO 91
5.2 QUALIDADE DAS ÁGUAS DE PARÂMETROS ORGANOLÉPTICOS E SUBSTÂNCIAS INORGÂNICAS 110
5.3 QUALIDADE DAS ÁGUAS DA BACIA DO ITAPECURU (2020 – 2022) 112
5.3.1. Análise dos Parâmetros Microbiológicos (Coliforme Total e Escherichia coli) e Clorofila-a 134
5.3.2 Análise dos Metais 143
5.3.3 Agrotóxicos 160
5.3.4 Índice de Qualidade das Águas - IQA 160
5.3.5 Cenário do Enquadramento das Águas da bacia do rio Itapecuru 165

6. CONCLUSÃO 172

REFERÊNCIAS 173

APÊNDICES 177

Lista de Figuras

Figura 1 – Bacias hidrográficas do Maranhão com três sub-bacias na Bacia do Rio Mearim. 28
Figura 2 – a) Pluviosidade média anual das séries históricas no Estado do Maranhão e Postos Pluviométricos; b) Isoietas geradas em intervalos de 50 mm. 30
Figura 3 – Plotagem das observações adimensionalizadas pela Q_{MLT} do Alto e médio Itapecuru em função da variável reduzida normal. 31
Figura 4 – Plotagem das observações adimensionalizadas pela Q_{XLT} do Alto e Médio Itapecuru em função da variável reduzida normal. 32
Figura 5 – Plotagem das observações adimensionalizadas pela Q_{MLT} do Baixo Itapecuru em função da variável reduzida normal. 33
Figura 6 – Plotagem das observações adimensionalizadas pela Q_{XLT} do Baixo Itapecuru em função da variável reduzida normal. 35
Figura 7 – Vazões médias calculadas em função das vazões médias observadas e linha equivalente. 37
Figura 8 – Vazões máximas calculadas em função das vazões máximas observadas e linha equivalente. 39
Figura 9 – Vazões máximas calculadas em função das vazões máximas observadas e linha equivalente. 40
Figura 10 – Vazões máximas calculadas em função das vazões máximas observadas e linha equivalente. 41
Figura 11 – Regionalização das vazões Q90 do Alto Curso do Rio Itapecuru. 45
Figura 12 – Regionalização das vazões médias do Alto Curso do Rio Itapecuru. 46
Figura 13 – Regionalização das vazões máximas do Alto Curso do Rio Itapecuru. 47
Figura 14 – Regionalização das vazões Q90 do Médio Curso do Rio Itapecuru. 47
Figura 15 – Regionalização das vazões médias do Médio Curso do Rio Itapecuru. 48
Figura 16 – Regionalização das vazões máximas do Médio Curso do Rio Itapecuru. 48
Figura 17 – Regionalização das vazões máximas do Baixo Curso do Rio Itapecuru. 49
Figura 18 – Regionalização das vazões médias do Baixo Curso do Rio Itapecuru. 49
Figura 19 – Regionalização das vazões médias do Baixo Curso do Rio Itapecuru. 50
Figura 20 – Regionalização das vazões Q90, máximas e médias da Bacia Hidrográfica do Rio Itapecuru. 50
Figura 21 – Usos e finalidades da água superficial no Alto Curso do Rio Itapecuru. 57
Figura 22 – Usos e finalidades da água subterrânea no Alto Curso do Rio Itapecuru. 58
Figura 23 – Usos e finalidades da água superficial no Médio Curso do Rio Itapecuru. 59
Figura 24 – Usos e finalidades da água subterrânea no Médio Curso do Rio Itapecuru. 59
Figura 25 – Usos e finalidades da água superficial no Baixo Curso do Rio Itapecuru. 60
Figura 26 – Usos e finalidades da água superficial no Baixo Curso do Rio Itapecuru. 60
Figura 1: Mapa da Bacia Hidrográfica do Rio Itapecuru. 74
Figura 2: Requisitos de qualidade da água em função das classes de enquadramento e usos da água (ANA, 2021). 84
Figura 3: Usos possíveis de acordo com as Classes (ANA, 2021). 84
Figura 4: Parâmetros de qualidade relacionados às classes de uso das águas doces. 85
Figura 5: Estações Fluviométricas de Qualidade das Águas na Bacia do Rio Itapecuru. 92
Figura 6: Comportamento da Temperatura no Baixo Curso da bacia do rio Itapecuru. 93
Figura 7: Comportamento da Temperatura no Médio Curso da bacia do rio Itapecuru. 94
Figura 8: Comportamento da Temperatura no Alto Curso da bacia do rio Itapecuru. 95
Figura 9: Comportamento do pH no Baixo Curso da bacia do rio Itapecuru. 96
Figura 10: Comportamento do pH no Médio Curso da bacia do rio Itapecuru. 97
Figura 11: Comportamento do pH no Alto Curso da bacia do rio Itapecuru. 98
Figura 12: Comportamento da turbidez no Baixo Curso da bacia do rio Itapecuru. 99
Figura 13: Comportamento da turbidez no Médio Curso da bacia do rio Itapecuru. 100
Figura 14: Comportamento da turbidez no Alto Curso da bacia do rio Itapecuru. 100

Figura 15: Alguns parâmetros para avaliação da qualidade de uma água relacionados com a química de oxidação-redução (adaptação da tabela disponível em sítio do Ministério do Meio Ambiente na Internet: http://www.mma.gov.br/port/srh/acervo/publica/doc/zoneamen/anexo2.pdf)..... 102
Figura 16: Comportamento do OD no Alto Curso da bacia do rio Itapecuru..... 103
Figura 17: Comportamento do OD no Médio Curso da bacia do rio Itapecuru. 104
Figura 18: Comportamento do OD no Baixo Curso da bacia do rio Itapecuru. 105
Figura 19: Balanço qualitativo da Demanda Bioquímica de Oxigênio na Bacia do rio Itapecuru..... 105
Figura 20: Distribuição da capacidade de diluição dos esgotos por município (ANA, 2017). 108
Figura 21: Capacidade de Diluição dos Esgotos por Municipio da Bacia do rio Itapecuru 109
Figura 22: Qualidade das águas do rio Itapecuru, no Baixo Curso, no Município de Itapecuru Mirim no ano de 2019 (Conexão Água). 110
Figura 23: Qualidade das águas do rio Itapecuru, no Baixo Curso, no Município de Itapecuru Mirim no ano de 2020 (Conexão Água). 111
Figura 24: Qualidade das águas do rio Itapecuru, no Médio Curso, no Município de Caxias no ano de 2018 (Conexão Água)..... 111
Figura 25: Qualidade das águas do rio Itapecuru, no Alto Curso, no Município de Colinas no ano de 2018 (Conexão Água)..... 112
Figura 26: Pontos de Coleta de Amostras de Água do Rio Itapecuru por equipe do Labhidro..... 113
Figura 27: Comportamento dos parâmetros: pH, Dureza, Sólidos Dissolvidos Totais (STD) e Turbidez (Turb.) para a bacia hidrográfica do Itapecuru. 115
Figura 28: Classificação das faixas de dureza da água..... 117
Figura 29: Condutividade elétrica das águas da bacia do rio Itapecuru. 119
Figura 30: Comportamento do pH da água da Bacia do Itapecuru..... 120
Figura 31: Sólidos Dissolvidos Totais (SDT) na Bacia do Itapecuru..... 121
Figura 32: Turbidez das águas na Bacia do rio Itapecuru. 122
Figura 33: Dureza das águas na Bacia do rio Itapecuru..... 123
Figura 34: Comportamento da Condutividade elétrica das águas na Bacia do Itapecuru. 124
Figura 35: Sulfato e Sulfeto das águas da bacia do rio Itapecuru. 125
Figura 36: Sulfato das águas na Bacia do rio Itapecuru. 127
Figura 37: Sulfeto das águas na Bacia do rio Itapecuru. 128
Figura 38: Comportamento do OD, DBO e Fósforo das águas da bacia do Itapecuru..... 129
Figura 39: Oxigênio Dissolvido (OD) das águas na Bacia do rio Itapecuru. 131
Figura 40: Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) das águas na Bacia do rio Itapecuru..... 132
Figura 41: Fósforo das águas na Bacia do rio Itapecuru. 133
Figura 42: Enquadramento da clorofila-a para as águas da bacia do rio Itapecuru (CONAMA 357/2005)..... 138
Figura 43: Coliforme Total das águas na bacia do Itapecuru. 140
Figura 44: Escherichia coli das águas da bacia do Itapecuru..... 141
Figura 45: Clorofila-a nas águas da bacia do rio Itapecuru. 142
Figura 46: Cádmio nas águas da bacia do rio Itapecuru. 150
Figura 47: Chumbo nas águas da bacia do rio Itapecuru. 151
Figura 48: Cobre nas águas da bacia do rio Itapecuru..... 152
Figura 49: Cromo nas águas da bacia do rio Itapecuru..... 153
Figura 50: Ferro Dissolvido nas águas da bacia do rio Itapecuru..... 154
Figura 51: Ferro Total nas águas da bacia do rio Itapecuru. 155
Figura 52: Mercúrio nas águas da bacia do rio Itapecuru..... 156
Figura 53: Níquel nas águas da bacia do rio Itapecuru. 157
Figura 54: Zinco nas águas da bacia do rio Itapecuru..... 158
Figura 55: Índice de Qualidade das Águas da Bacia do Rio Itapecuru..... 161
Figura 56: Coliforme Total nas águas da bacia do rio Itapecuru. 163

Figura 57: OD e DBO nas águas dos rios da bacia do rio Itapecuru. 164
Figura 58: Turbidez, SDT e pH nas águas dos rios da bacia do rio Itapecuru..... 165
Figura 59: Enquadramento dos parâmetros estudados (%). 167
Figura 60: Enquadramento dos pontos monitorados das águas da bacia do Itapecuru. 168
Figura 61: Cenário do enquadramento das águas da bacia hidrográfica do rio Itapecuru. 169
Figura 62: Cenário do Enquadramento por parâmetro: físico-químico, microbiológicos e metais das águas do rio Itapecuru. 170
Figura 63: Cenário de Enquadramento das Águas da bacia do rio Itapecuru. 171

Lista de Tabelas

Tabela 1 – Estações e pontos de medição de vazão separados em região dos cursos Alto, Médio e Baixo do rio Itapecuru e dados de identificação, origem, coordenadas, QMLT, período da série histórica, área de drenagem e pluviosidade. 18
Tabela 2 – As 284 Estações Pluviométricas utilizadas para a regionalização da pluviosidade média anual. 19
Tabela 3 – Vazão média admensionalizada pela vazão média de longo período do Alto e médio Itapecuru, associado a um Tr e distribuída em Log-Normal. 31
Tabela 4 – Vazão média admensionalizada pela vazão máxima de longo período do Alto e Médio Itapecuru, associado a um Tr distribuído em Normal 33
Tabela 5 – Vazão média admensionalizada pela vazão média de longo período do Baixo Itapecuru, associado a um Tr e distribuída em Log-Normal. 34
Tabela 6 – Vazão média admensionalizada pela vazão máxima de longo período do Baixo Itapecuru, associado a um Tr distribuído em Log-Normal 35
Tabela 7 – Equação de regionalização de vazões médias para o médio e alto Itapecuru. 37
Tabela 8 – Equação de regionalização de vazões máximas para o médio e alto Itapecuru 38
Tabela 9 – Equação de regionalização de vazões máximas e médias para o Baixo Itapecuru. 40
Tabela 10 – Vazão regionalizada da Q90 do Alto e Médio Cursos do Rio Itapecuru com respectivos erros e resíduos dos pontos utilizados para regionalização. 42
Tabela 11 – Vazão média regionalizada do Alto e Médio Cursos do Rio Itapecuru com respectivos erros e resíduos dos pontos utilizados para regionalização. 43
Tabela 12 – Vazão máxima regionalizada do Alto e Médio Cursos do Rio Itapecuru com respectivos erros e resíduos dos pontos utilizados para regionalização. 44
Tabela 13 – Outorgas Superficiais do Direito de Uso da Água por municípios no Alto Curso do Rio Itapecuru. .. 53
Tabela 14 – Outorgas Subterrâneas do Direito de Uso da Água por município no Alto Curso do Rio Itapecuru. . 54
Tabela 15 – Outorgas do Direito de Uso da Água Superficial por município no Médio Curso do Rio Itapecuru. .. 54
Tabela 16 – Outorgas do Direito de Uso da Água Subterrâneas por município no Médio Curso do Rio Itapecuru. 55
Tabela 17 – Outorgas do Direito de Uso da Água Superficiais por município no Baixo Curso do Rio Itapecuru .. 56
Tabela 18 – Outorgas do Direito de Uso da Água Subterrâneas por município no Baixo Curso do Rio Itapecuru. 56
Tabela 19 – Projeção linear do número de Outorgas superficiais e subterrâneas por finalidade no Alto Curso do Rio Itapecuru para 5, 10 e 20 anos. 62
Tabela 20 – Projeção linear do número de Outorgas superficiais e subterrâneas por finalidade no Médio Curso do Rio Itapecuru para 5, 10 e 20 anos. 64
Tabela 21 – Projeção linear do número de Outorgas superficiais e subterrâneas por finalidade no Baixo Curso do Rio Itapecuru para 5, 10 e 20 anos. 67
Tabela 1: Padrão do parâmetro Turbidez conforme Resolução CONAMA N.º.357/2005. 99
Tabela 2: Padrão dos parâmetros OD e DBO conforme Resolução CONAMA 357/2005. 103
Tabela 3: Classificação da capacidade de diluição de esgotos em relação à disponibilidade hídrica/população urbana em L/hab. Dia (ANA, 2017). 108
Tabela 4: Média de temperatura do baixo, médio e alto da Bacia do Itapecuru. 115
Tabela 5: Padrão de Qualidade das Águas para OD, DBO e Fósforo total (ambiente lótico e tributários de ambientes intermediários) segundo Resolução CONAMA N.º 357/2005. 129
Tabela 6: Comportamento dos parâmetros: Coliforme Total e *Escherichia coli* nas águas da bacia do rio Itapecuru – Alto Curso. 135
Tabela 7: Comportamento dos parâmetros: Coliforme Total e *Escherichia coli* nas águas da bacia do rio Itapecuru – Médio Curso. 136

Tabela 8: Comportamento dos parâmetros: Coliforme Total e *Escherichia coli* nas águas da bacia do rio Itapecuru – Baixo Curso. 136
Tabela 9: Padrões para a Clorofila-a nas águas superficiais. 137
Tabela 10: Valores de clorofila-a acima de 10 µg/L nos rios da bacia do Itapecuru. 138
Tabela 11: Padrão de classificação de Metais. 145
Tabela 12: Dados das análises dos metais do Alto Curso da bacia do rio Itapecuru. 145
Tabela 13: Dados das análises dos metais do Médio Curso da bacia do rio Itapecuru. 145
Tabela 14: Dados das análises dos metais do Baixo Curso da bacia do rio Itapecuru. 146
Tabela 15: Classificação do IQA. 161

REGIONALIZAÇÃO DE VAZÕES, USOS OUTORGADOS E CENÁRIOS FUTUROS DE DEMANDAS HÍDRICAS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO ITAPECURU (MA)

Daniel de Lima Nascimento Sírio

Karina Suzana Feitosa Pinheiro

1. ASPECTOS GERAIS

O cadastramento das Outorgas do direito de Uso dos Recursos Hídricos de um Estado é extremamente importante para a gestão territorial dos recursos hídricos, para a implementação de políticas públicas voltadas para a preservação e gestão do recurso, no cálculo do balanço hídrico de suas bacias hidrográficas, para o abastecimento de água para fins domésticos e industriais, dentre outras finalidades. No Estado do Maranhão, a vazão de referência em que se baseiam as Outorgas é a de 90% de permanência no tempo em que a vazão é igualada ou superada no corpo hídrico (Q90). Nesse sentido, esse trabalho tem como objetivo regionalizar a Q90, as vazões médias e as vazões máximas na Bacia Hidrográfica do Rio Itapecuru, no Estado do Maranhão, para dar apoio à decisão dos técnicos analistas de recursos hídricos, aos usuários do bem, aos órgãos gestores de recursos hídricos e às políticas do Estado no âmbito de recursos hídricos.

Também é um dos objetivos fazer um levantamento das outorgas emitidas, por uso e finalidade para o Alto, Médio e Baixo Cursos na Bacia Hidrográfica do Rio Itapecuru, para dar suporte aos volumes autorizados e cuidar para que não superem as vazões de referência estabelecidas nas normas estaduais, compostas pela Lei 8.149 de 15 de junho de 2004 que estabelece a Política Estadual de Recursos Hídricos (PERH), no Decreto Estadual 34.847 de 14 de Maio de 2019 e na Resolução CONERH-MA N.º 57 de maio de 2019, que regulamentam a primeira e instituem a política e o sistema de informações de recursos hídricos do Estado do Maranhão (MARANHÃO, 2004; MARANHÃO, 2019).

Para tanto, a regionalização de variáveis hidrológicas é a forma encontrada para transformar dados pontuais em espaciais e obter informações nos locais sem dados. O termo regionalização é utilizado para denominar a transferência de informações de um local para outro dentro de uma área de comportamento hidrológico semelhante (TUCCI, 2002). A regionalização se baseia sempre no comportamento estatístico e na correlação destas variáveis no espaço geofísico. Um mapa de isoietas de uma bacia hidrográfica, que caracteriza a distribuição das chuvas com uma dada duração é uma forma de regionalização pluviométrica, quando se utiliza os postos pluviométricos existentes e se procura desenhar a isoietas que são linhas de mesma precipitação. O traçado destas linhas se baseia em conhecimento da topografia e na interpolação entre os valores e um conhecimento climático da bacia.

Já a regionalização da vazão envolve um conhecimento maior da área estudada, já que esta variável é uma função sinérgica do comportamento da chuva no tempo e no espaço, do tipo e uso do solo, do uso da água e suas variantes e que se apresenta constantemente dinâmica ao longo do tempo. O hidrograma que representa a vazão num determinado local traz informações dos efeitos da descarga em cada intervalo de tempo e, quando se regionaliza esta informação para outro local,

geralmente sobre análise estocástica, assumem-se um risco alto de desvios de valores em alguns locais específicos da bacia hidrográfica. Isso pode superestimar a vazão em locais de rio de ordens de Horton baixas, mas que afluem no rio principal; ou, subestimar a vazão em locais de poucos afluentes e rios bastante longos com períodos de estiagem maiores.

Na regionalização são utilizadas técnicas estatísticas e matemáticas como a regressão entre a variável que se deseja estimar em função de variáveis explicativas que possam ser determinadas nos locais sem dados de vazão. Por exemplo, a regionalização da vazão média de uma bacia é uma estatística útil para realização de regularização e disponibilidade hídrica. Para se determinar a vazão média pode-se utilizar a área de drenagem da bacia, a precipitação (anual ou semestral), evapotranspiração, dentre outras variáveis explicativas e o que se observa na maioria dos locais é a área de drenagem a variável que mais explica a vazão média, seguida da precipitação anual na bacia. Utilizando os locais com dados ajusta-se a equação escolhida e pode-se estimar a vazão média em locais sem dados de vazão, a área de drenagem e a precipitação obtida a partir das isoietas. Outras estatísticas das vazões podem ser estimadas com equações semelhantes ou por curvas adimensionais.

Uma das questões mais importantes é a representatividade dos resultados, que dependem de séries longas e representativas, principalmente quando se quer regionalizar bacias com tamanhos diferentes e representatividade espacial coesa das condicionantes hidrológicas. Uma regionalização com uma base limitada de dados e pouca representatividade levará a resultados certamente tendenciosos. Portanto, a regionalização não substitui uma boa rede e representatividade das informações por meio de uma série histórica consistente (TUCCI, 2002).

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O Brasil possui cerca de 12% das reservas potencialmente utilizáveis de água doce do planeta e apresenta avanços significativos na gestão de suas águas (WOLFF *et al*., 2014). De acordo com a Agência Nacional das Águas (ANA), foram aprovadas e publicadas 54 resoluções referentes a gestão dos recursos hídricos no ano de 2015; 45 resoluções referentes a gestão dos recursos hídricos no ano de 2016; e, 26 atos normativos acerca da questão até junho de 2017, excluindo-se as resoluções de Outorgas do Direito do Uso das águas nos rios de responsabilidade da União. O marco legal que trouxe a matéria principal aplicada a gestão de recursos hídricos no Brasil é a Lei n.° 9433 de 1997, (BRASIL, 1997), que estabelece a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), cria o Sistema Nacional de Gerenciamento dos Recursos Hídricos (SINGREH) e, cita os instrumentos tais como a compensação dos municípios produtores de água, Outorga do Direito de Uso (ODU), Cobrança pelo uso

da água, Plano de Bacias e outros. Segundo Wolff *et al.* (2014), a PNRH proporciona princípios fundamentais para a gestão democrática das águas, ao considerar, dentre outros, os princípios da participação e descentralização na tomada de decisões e incorpora o princípio constitucional de que a água é um bem público, de valor econômico e elege os planos de recursos hídricos como um dos instrumentos para a implementação da PNRH, prevendo sua elaboração para as bacias hidrográficas, para os estados e para o país (WOLFF *et al.*, 2014).

Dentre os instrumentos estabelecidos pela PNRH, a outorga dos direitos de uso da água assume como escopo assegurar um controle quali-quantitativo dos usos da água, bem como garantir à atual e às futuras gerações a necessária disponibilidade de água, adequando o padrão de qualidade aos respectivos usos em cada corpo hídrico de uma bacia hidrográfica (Lei n.º 9.433, art. 11, (BRASIL, 1997)). O Estado do Maranhão regulamentou e instituiu a PERH, por meio da Lei 8.149/2004 (MARANHÃO, 2004), ao estabelecer os valores de referência dos volumes máximos a serem extraídos de um corpo hídrico com base na Q90 e utilizam, um percentual máximo outorgável de 80% da Q90, segundo o Artigo 2º, parágrafos 6° e 8° da Resolução CONERH-MA N.º 57 de maio de 2019 que diz: “Até que se estabeleçam as diversas vazões de referência na Bacia Hidrográfica, será adotada, como vazão de referência para os processos de Outorga de Direito de Uso Superficial no estado”, a Q90 (vazão associada à permanência de 90% do tempo) e, no artigo 6º completa afirmando que “a vazão máxima outorgável para usos consuntivos em mananciais superficiais será de 80% da vazão de referência (Q90), para uma seção de um corpo hídrico” e “o limite máximo individual é de 25% dos 80% da Q90, podendo ser excedido quando a finalidade do uso for o consumo humano e dessedentação animal” (MARANHÃO, 2019). Portanto, é de suma importância quantificar as vazões que servem de referência para a outorga de direitos de uso de recursos hídricos; isto é possível com a coleta de dados das estações fluviométricas, embora elas se localizem em seções específicas da hidrografia (WOLFF *et al.*, 2014).

Em países como o Brasil, cujas dimensões são continentais, o monitoramento dos rios muitas vezes não abrangem todas as áreas de interesse (MELATI, 2016) e traz desafios preponderantes na estimativa da disponibilidade de água superficial nas bacias hidrográficas e impõe aos órgãos gestores e aos técnicos da área o desenvolvimento de estudos hidrológicos que maximizem as informações fluviométricas existentes e que, em paralelo ao procedimento de outorga, promova o desenvolvimento de ações técnicas que mitiguem o efeito da carência de dados, ou, na situação ideal, que as eliminem (SILVEIRA *et al.*, 1998; BAZZO *et al.*, 2017).

É sabido que a rede hidrométrica não cobre os rios do Estado do Maranhão em toda plenitude, bem como acontece em todo Brasil, apesar do esforço da ANA em consórcio com o Serviço geológico do Brasil (CPRM) e com Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais

(CEMADEN) em fazê-lo, e é necessária a utilização de métodos que resultem em informações necessárias para a regionalização hidrológica, a qual consiste em um conjunto de ferramentas exploradoras do máximo de dados disponíveis, para estimar variáveis hidrológicas em locais sem dados ou com dados em quantidade insuficiente (TUCCI, 2009). As metodologias mais utilizadas para regionalizar vazões são métodos estocásticos em que o princípio básico é a utilização de equações de regressão aplicadas a regiões hidrologicamente homogêneas e metodologias que utilizam técnicas de interpolação e extrapolação automáticas em ambiente de sistemas de informações geográficas, como exemplos, o software RH 4.1® desenvolvido pela Universidade Federal de Viçosa, a metodologia do Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo (DAEE) e o método preditivo de Wolff *et al.* (2014). Nesse estudo, propõe-se a regionalização das vazões de permanência, média e máximas no Estado do Maranhão.

Junto à regionalização das vazões médias, de permanência Q90 e vazões máximas desenvolveram-se projeções lineares dos licenciamentos de Outorga de Direito de Uso dos Recursos Hídricos – ODUs, que compõem o cadastro nacional de usuários de recursos hídricos, o CNARH. O CNARH foi desenvolvido pela Agência Nacional de Águas (ANA), em parceria com autoridades estaduais gestoras de recursos hídricos. O objetivo principal é permitir o conhecimento do universo dos usuários das águas superficiais e subterrâneas em uma determinada área, bacia ou mesmo em âmbito nacional (ANA, 2015).

Segundo a Agência Nacional de Águas e Saneamento (ANA), o conteúdo do CNARH inclui informações sobre a vazão utilizada, local de captação, denominação e localização do curso d'água, empreendimento do usuário, sua atividade ou a intervenção que pretende realizar, como derivação, captação e lançamento de efluentes e o preenchimento do cadastro é obrigatório para pessoas físicas e jurídicas, de direito público e privado, que sejam usuárias de recursos hídricos, sujeitas ou não a outorga (Resolução ANA n.º. 317, de 26 de agosto de 2003, que instituiu o CNARH).

2.1 Regionalização de Vazões

WOLFF *et a*l. (2014) agruparam em duas categorias as metodologias mais comuns na literatura científica de regionalização de vazões, que são aquelas baseadas em equações de regressão aplicadas a regiões hidrologicamente homogêneas; e, e outra baseada em técnicas de interpolação e extrapolação automáticas em ambiente de sistemas de informações geográficas (SIG). Existem ainda,

um conjunto de funções de distribuição de probabilidades que podem ser empregadas para a modelação de eventos máximos anuais de variáveis hidrológicas e hidrometeorológicas (NAGHETTINI e PINTO, 2007).

Dentro desse conjunto, pode-se distinguir as distribuições oriundas da teoria clássica de valores, quais sejam as distribuições Gumbel, Fréchet, Weibull e a Generalizada de Valores Extremos (GEV), e aquelas ditas não-extremais, entre as quais as de maior uso são: as distribuições Exponencial e sua forma mais geral que é a Generalizada de Pareto, Pearson III, Log-Pearson III e Log-Normal de 2 parâmetros e, muito embora, a adequação destas distribuições candidatas dependa de critérios variados, incluindo alguns de caráter subjetivo, talvez o atributo mais desejável seja a capacidade dessas distribuições de reproduzir algumas características amostrais relevantes (NAGHETTINI e PINTO, 2007).

De acordo com LOPES *et al*. (2016), o emprego de modelos é essencial para a estimativa dos valores de vazões de microbacias hidrográficas sem monitoramento e a regionalização de vazões visa suprir essa carência de dados hidrológicos a partir da utilização das informações hidrológicas de outra bacia com características físicas similares. A regionalização de uma função ou variável pode ser estabelecida por meio da relação empírica entre valores da função e características conhecidas, espacialmente, do sistema hidrológico, ou em função de relações adimensionais (TUCCI 2001; SILVA e MANZIONE, 2020).

2.2 Regionalização da vazão de permanência Q90

Ao conhecer as vazões de permanência de um curso d'água obtêm-se informações suficientes para o planejamento e a gestão dos recursos hídricos em empreendimentos hidrelétricos, em função da demanda pelo uso e a disponibilidade para geração, e, assim, evitar as condições de escassez no abastecimento público, além de permitir agir com segurança, mesmo com o risco assumido associado, na oferta dos usos múltiplos em quantidade e qualidade para os usuários. Aliado a outros dados, uma curva de permanência possui uma ampla variedade de aplicações na gestão de recursos hídricos, como na disponibilidade hídrica para abastecimento público, irrigação, navegação, análise da qualidade da água, estudos hidrelétricos, análise de frequência de fluxos ecológicos, estudos de estiagem em locais áridos, e outros (BLANCO *et al*. 2013; SILVA e MANZIONE, 2020).

Essa curva retrata a parcela do tempo em que uma determinada vazão é igualada ou superada durante o período analisado (Tucci, 2002), que segundo o autor, para a regionalização, um procedimento de ajuste de uma equação empírica ao trecho de interesse é às vezes mais representativo que o ajuste da curva exponencial, já que, geralmente apresenta resultados satisfatórios apenas na faixa

de valores dos pontos amostrados. Como exemplo, Agra *et al*. (2003), ressalta que as curvas de permanência geradas por meio do ajuste da curva exponencial no trabalho de regionalização do Rio Grande do Sul (IPH/CEEE, 1991), que foram estabelecidas para vazões diárias, de 50% e 95% de permanência (Q50 e Q95, respectivamente), mostrou significativa tendência em áreas muito pequenas.

2.3 Regionalização da vazão média

A determinação da vazão média é importante em uma bacia, pois ela representa a disponibilidade hídrica máxima, dado que é a maior vazão que pode ser regularizada, permitindo a avaliação dos limites superiores do uso da água de um manancial para as diferentes finalidades (Tucci, 2002). Sua regionalização e sua distribuição estatística podem ser realizadas com base em duas etapas: na curva adimensional de probabilidade de vazões médias anuais; e na equação de regressão entre a vazão média de longo período (Q_{MLT}) e as características físicas e climáticas da bacia (Agra *et al*. 2003).

2.4 Regionalização da vazão máxima

A vazão média geralmente apresenta muito boa correlação com a área da bacia, através de uma função de potência (Tucci, 2002). No trabalho de regionalização realizado pelo Instituto de Pesquisas Hidráulicas e Companhia Estadual de Energia Elétrica, a Vazão Média de Longo Prazo (Q_{MLP}) na maioria das regiões também levou em conta a precipitação média anual e são recomendadas para A> 300 km² (OLIVEIRA, 2013).

2.5 Regiões Hidrológicas

Para executar o estudo foi necessário identificar as regiões hidrológicas semelhantes, via previsão e métodos estocásticos, para a realização dos cálculos de aderência das vazões em cada região com seu regime hidrológico. Dessa maneira, foi necessário conhecer cada uma das bacias hidrográficas do Estado para alcançar os melhores resultados. Para tanto, fez-se também um levantamento das bacias hidrográficas no Maranhão, e nesse caso específico, da Bacia Hidrográfica do Rio Itapecuru.

A Bacia Hidrográfica do Rio Itapecuru possui área equivalente a 16,03% do Maranhão, totalizando 53.216,84 km², compreendendo 57 municípios e população da ordem de 1.019.398 habitantes (15,5% da população total do estado). Destacam-se entre esses municípios: Caxias, Codó,

Colinas, Coroatá, Dom Pedro, Itapecuru-Mirim e Timbiras. (UEMA, 2011). Entre os afluentes do Rio Itapecuru estão os rios: Correntes, Pirapemas, Itapecuruzinho, Alpercatas, Peritoró, Pucumã, Baixão do Vigia, Baixão da Bandeira, Douradinho, Olho D´água, Codozinho, dos Porcos, Igarapé Grande; e os riachos: Seco, do Ouro, Gameleira, Cachimbo, Guaribas, São Felinha, da Prata e dos Cocos (UEMA, 2011). Nesse trabalho, a equipe do Núcleo Geoambiental da UEMA realizou a regionalização com base em região pré-determinada, sem necessariamente seguir o regime hidrológico, mas levando em conta as regiões hidrográficas semelhantes e adequando a regionalização à separação PR-e-determinada do médio e Alto Curso do Rio Itapecuru.

Na Bacia Hidrográfica do Rio Itapecuru, separada em Médio Curso, estão os rios: Correntes, Balseiro, Itapecuruzinho, Pra Quê, Codozinho e seus afluentes, que por sua vez são afluentes do Rio Itapecuru. Como o Rio Codozinho tem uma relação hidrográfica com o Rio Itapecuru, de infraestrutura e também socioeconômica, diferente do restante do Médio Itapecuru, recebeu atenção especial em termos de regionalização fluviométrica. Já no Alto Itapecuru estão os dois principais rios dessa bacia hidrográfica: Itapecuru e seu principal afluente, o rio Alpercatas, ambos se encontram no município de Colinas, próximo à sede municipal.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

As estações fluviométricas do Alto, Médio e Baixo Cursos do Rio Itapecuru estão representadas na

Tabela 1 (Coluna 1), juntamente com sua posição em coordenadas geográficas decimais com *Datum* WGS1984 para o auxílio da sua visualização em KML (Coluna 6). Estão também elencados o código (Coluna 2), que podem ser o Cadastro de Usuários de Recursos Hídricos (CNARH) ou o código da estação do Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH/Hidroweb) ou a data do documento expedido no Sistema de Informação e Gestão de Licenciamento Ambiental (SIGLA), da Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Naturais do Estado do Maranhão (SEMA-MA); o nome do corpo hídrico monitorado (Coluna 3); a região do curso do corpo hídrico, na qual cada ponto de monitoramento de vazões faz parte, se Médio ou Alto Curso do Rio Itapecuru (Coluna 4); o identificador de origem do ponto (Coluna 5); o período de retorno em anos para as estações utilizadas (Coluna 7); a área de drenagem do manancial à montante do ponto de monitoramento (Coluna 8); e, a pluviosidade anual em mm/ano (Coluna 9).

Tabela 1 – Estações e pontos de medição de vazão separados em região dos cursos Alto, Médio e Baixo do rio Itapecuru e dados de identificação, origem, coordenadas, QMLT, período da série histórica, área de drenagem e pluviosidade.

Estação	Código	Corpo Hídrico	Região	Origem	Lat./long. (KML)	TR anos	Área de Dren. km²	Pluvio. Anual Regionalizada
São_Felino	33410000	Rio Itapecuru	Alto	Hidroweb	-6,70000 -44,71670	21	3660	1322,4
Mirador	33420000	Rio Itapecuru	Alto	Hidroweb	-6,37008 -44,36030	51	6060	1222,3
Fernando_Falcão	33430000	Rio Alpercatas	Alto	Hidroweb	-6,17000 -44,86890	19	4864	972,6
Campo_Largo	33450000	Rio Alpercatas	Alto	Hidroweb	-6,06690 -44,70860	47	5750	1210
Porto_do_Lopes	33460000	Rio Alpercatas	Alto	Hidroweb	-6,00720 -44,34000	49	6890	1137,9
Colinas	33480000	Rio Itapecuru	Alto	Hidroweb	-6,02080 -44,24860	50	15000	1223,8
Nazaré	33490000	Rio Balseiro	Alto	Hidroweb	-6,00000 -43,90000	20	2290	1211,5
Outorga	221479	Rio Itapecuru	Alto	SIGLA	-6,73870 -45,02310	-	2862	1103
Outorga	*/2018	Rio Alpercatas	Alto	SIGLA	-6,41150 -45,36220	-	3004	1180,2
Outorga	*/2019	Rio Inhumas	Alto	SIGLA	-5,97630 -43,73110	-	760	1229,6
Mendes	33520000	Rio Correntes	Médio	Hidroweb	-5,70610 -43,58610	47	5320	1285
Montevidéu	33530000	Rio Itapecuru	Médio	Hidroweb	-5,34000 -43,88000	46	27300	1083,7
Caxias	33550000	Rio Itapecuru	Médio	Hidroweb	-4,86500 -43,36750	56	32700	1547,2
Outorga	*/2019	Riacho do Brejão	Médio	SIGLA	-5,61700 -43,50210	-	194	1313,7
Outorga	*/2018	Alto Codozinho	Médio	SIGLA	-5,11180 -44,14500	-	1324	1336,7
Outorga	*2020	R. Itapecuruzinho	Médio	SIGLA	-5,48080 -43,36340	-	217	1272,4
Outorga	212800	Sem denominação	Médio	SIGLA	-5,32150 -43,65460	-	152	1457,3
Outorga	*/2016	Rio Itapecuru	Baixo	Sigla	-4,12520 -44,11705	3	43800	1603,6
Fazenda Sobral	33620000	Rio Codozinho	Baixo	ANA	-4,46530 -43,93333	44	5560	1464,3
Caxias	33550000	Rio Itapecuru	Baixo	ANA	-4,86500 -43,36750	51	32700	1471,7
Coroatá	33630000	Rio Itapecuru	Baixo	ANA	-4,12580 -44,12972	43	43800	1603,6
Outorga	*/2017	Rio Piritoró	Baixo	Sigla	-4,37033 -44,34053	-	570,3	1505,2
Outorga	*/2016	Rio Peritoró	Baixo	Sigla	-3,71667 -44,28333	34	3103	1833,6
Medição de vazão	-	Rio Codozinho	Baixo	Sigla	-4,52057 -44,16844	-	150	1465,5
Codó	33590000	Rio Itapecuru	Baixo	ANA	-4,45833 -43,87500	49	37200	1472,1
Outorga	*/2020	Rio Tapuio	Baixo	Sigla	-3,86985 -44,37269	-	1104	1761,0
Medição de vazão	-	Rio Pirapemas	Baixo	Sigla	-3,97989 -43,96958	-	787	1680,4

Fonte: Registros da Pesquisa (2023).

As 284 Estações Pluviométricas utilizadas para a regionalização da pluviosidade por meio dos polígonos de Thiessen para todo Estado do Maranhão e recortados para a Bacia do Itapecuru estão na Tabela 2 contendo a identificação, a referência geográfica da Estação, a média pluviométrica anual, o desvio padrão e o coeficiente de variação das vazões e o total de anos de cada série histórica.

Tabela 2 – As 284 Estações Pluviométricas utilizadas para a regionalização da pluviosidade média anual.

Estação	latitude	longitude	Nome da Estação Pluviométrica	Média pluviométrica do total anual	Desvio	Coeficiente de variação (CV)	Anos da Série Histórica
144000	-1,83333	-44,88333	CURURUPU – SUDENE	1206,53	540,98	0,45	12
144002	-1,82611	-44,86778	CURURUPU – ANA	1874,36	680,59	0,36	29
145001	-1,40000	-45,78333	GODOFREDO VIANA - SUDENE	2578,89	643,65	0,25	16
145002	-1,30000	-45,86667	LUÍS DOMINGUES - SUDENE	2051,27	744,72	0,36	21
145003	-1,85000	-45,06667	SERRANO – SUDENE	1580,75	871,98	0,55	16
145004	-1,56667	-45,36667	TURIAÇU – INMET	2106,25	624,89	0,30	22
145005	-1,67000	-45,37000	TURIAÇU – SUDENE	1977,96	810,09	0,41	18
145006	-1,45583	-45,72806	CÂNDIDO MENDES - ANA	2249,68	633,86	0,28	31
146004	-1,21667	-46,01667	CARUTAPERA – SUDENE	2103,01	639,55	0,30	19
242000	-2,75000	-42,83333	BARREIRINHAS - SUDENE	1584,23	517,79	0,33	25
242001	-2,76667	-42,28333	TUTÓIA – SUDENE	1518,11	707,03	0,47	23
242002	-2,90222	-42,31306	BARRO DURO – ANA	1294,00	454,98	0,35	33
244000	-2,45000	-44,80000	BEQUIMÃO – SUDENE	1624,46	492,34	0,30	19
244001	-2,13333	-44,61667	GUIMARÃES – SUDENE	2424,66	1353,58	0,56	23
244002	-2,55000	-44,06667	SÃO JOSÉ DE RIBAMAR - SUDENE	1891,61	588,58	0,31	27
244003	-2,95000	-44,25000	ROSÁRIO – SUDENE	1935,68	501,96	0,26	25
244006	-2,88333	-44,35000	SÃO LUÍS – INMET	2164,56	635,14	0,29	46
244007	-2,53333	-44,30000	SÃO LUÍS – SUDENE	2246,77	794,91	0,35	22

Estação	latitude	longitude	Nome da Estação Pluviométrica	Média pluviométrica do total anual	Desvio	Coeficiente de variação (CV)	Anos da Série Histórica
244010	-2,71667	-44,83333	SÃO BENTO- SUDENE	2057,07	1039,75	0,51	23
244011	-2,12944	-44,60694	GUIMARÃES – ANA	2292,53	741,04	0,32	29
244012	-2,70111	-44,82333	SÃO BENTO – ANA	1843,05	537,89	0,29	30
245001	-2,95389	-45,66472	ALTO TURI – ANA	1855,34	448,48	0,24	45
245003	-2,05222	-45,95833	MARACAÇUMÉ – ANA	1944,30	452,63	0,23	45
245004	-2,80000	-45,31667	PARAÍSO – SUDENE	2284,96	1060,21	0,46	10
245005	-2,51667	-45,08333	PINHEIRO – SUDENE	1644,16	596,94	0,36	26
245006	-2,23333	-45,30000	SANTA HELENA - SUDENE	2692,31	1381,98	0,51	23
245007	-2,50472	-45,78417	BR-316 RIO PARUÁ - ANA	1852,34	385,18	0,21	34
245008	-2,97083	-45,35500	PEDRO ROSÁRIO – ANA	2183,89	825,07	0,38	31
245009	-2,59028	-45,36528	PIMENTA – ANA	1615,89	389,00	0,24	32
245010	-2,51528	-45,08556	PINHEIRO – ANA	1645,38	361,07	0,22	31
245011	-2,27389	-45,27111	SANTA HELENA – ANA	1698,74	441,34	0,26	31
342000	-3,68333	-42,80000	BREJO -SUDENE	2002,84	1121,91	0,56	28
342001	-3,11667	-42,93333	VERTENTES – SUDENE	1355,59	488,59	0,36	21
342009	-3,36472	-42,72389	BARRA DA ONÇA – ANA	1497,49	523,51	0,35	33
343000	-3,73333	-43,35000	CHAPADINHA – SUDENE	1623,49	617,61	0,38	22
343001	-3,55361	-43,87361	IGUARÁ – ANA	1720,09	490,31	0,29	45
343003	-3,45944	-43,89889	NINA RODRIGUEZ – ANA	1647,35	495,38	0,30	48
343004	-3,59528	-43,70861	MUNIM – ANA	1653,41	528,45	0,32	44
343005	-3,21000	-43,41000	URBANO SANTOS-SUDENE	2385,23	1999,78	0,84	28
343006	-3,55000	-43,95000	VARGEM GRANDE - SUDENE	2639,38	998,01	0,38	8
343008	-3,73333	-43,35000	CHAPADINHA – INMET	1616,18	491,67	0,30	22
343009	-3,62583	-43,11222	MATA ROMA – ANA	1501,39	585,15	0,39	32
343010	-3,92611	-43,50111	BREJO DO MEIO – ANA	1457,32	602,67	0,41	32
343011	-3,04111	-43,23667	GONÇALO – ANA	1564,86	383,17	0,24	32
344000	-3,26667	-44,63333	ANAJATUBA – SUDENE	1288,90	658,71	0,51	23
344001	-3,86667	-44,16667	BALAIADA – SUDENE	1950,38	440,17	0,23	10
344003	-3,63333	-44,40000	CANTANHEDE – SUDENE	1826,26	622,15	0,34	20
344004	-3,63250	-44,37639	CANTANHEDE – ANA	1937,09	636,07	0,33	48
344005	-3,40000	-44,35000	ITAPICURU MIRIM - SUDENE	1601,96	614,77	0,38	25
344007	-3,70639	-44,28722	PERITORÓ II – ANA	1708,62	423,65	0,25	45
344008	-3,94361	-44,01750	PEDRAS – ANA	1658,78	447,74	0,27	37
344010	-3,08472	-44,08361	PRESIDENTE JUSCELINO - ANA	2070,51	526,97	0,25	33
344011	-4,03222	-44,47194	SÃO MATEUS DO MARANHÃO - ANA	1711,75	808,05	0,47	33
344012	-3,56667	-44,58333	MIRANDA – ANA	1778,69	522,91	0,29	33
344013	-3,76667	-44,83333	LAGO AÇU – ANA	1653,36	434,60	0,26	32
345000	-3,77083	-45,21833	ARATOI GRANDE – ANA	1630,68	445,35	0,27	47
345001	-3,56667	-45,63333	BOM JARDIM – SUDENE	1709,99	328,45	0,19	8
345002	-3,11667	-45,63333	CENTRO DO JOSIAS - SUDENE	2298,28	1101,94	0,48	8
345003	-3,35000	-45,45000	MARAJÁ -SUDENE	1837,37	154,71	0,08	6
345005	-3,61667	-45,35000	PINDARÉ-MIRIM - SUDENE	2087,30	499,68	0,24	27
345006	-3,65833	-45,44306	PINDARÉ-MIRIM – ANA	2017,79	657,19	0,33	45
345007	-3,88333	-45,26667	PIO XII – SUDENE	1603,58	314,86	0,20	11
345008	-3,31667	-45,61667	ROSILÂNDIA – SUDENE	1902,69	336,55	0,18	8
345009	-3,21667	-45,00000	VIANA- SUDENE	1853,32	447,70	0,24	22
345010	-3,23333	-45,61667	ZÉ DOCA – SUDENE	1797,60	353,06	0,20	22
345011	-3,26667	-45,65000	ZÉ DOCA (MONÇÃO) - INMET	1776,30	360,85	0,20	23
345012	-3,40278	-45,01056	BOA VISTA DO PINDARÉ - ANA	2072,11	694,83	0,34	34
345013	-3,42444	-45,66944	NEWTON BELO – ANA	1730,33	302,72	0,17	32
345014	-3,66972	-45,84056	ALTO ALEGRE	1375,43	313,85	0,23	6
346002	-4,23139	-46,17889	TUCUMÃ – ANA	1485,04	550,67	0,37	32
442013	-4,15278	-42,94611	DUQUE BACELAR - ANA	1516,92	423,65	0,28	33
443001	-4,86667	-43,35000	CAXIAS – INMET	1378,36	450,33	0,33	25
443002	-4,83333	-43,35000	CAXIAS – SUDENE	1524,54	463,30	0,30	10
443003	-4,86528	-43,35833	CAXIAS – ANA	1601,24	499,45	0,31	7
443005	-4,48333	-43,88333	CODÓ - SUDENE	1414,30	577,73	0,41	9
443006	-4,45861	-43,87667	CODÓ - ANA	1546,76	403,82	0,26	50
443007	-4,46444	-43,93111	FAZENDA SOBRAL - ANA	1437,01	469,67	0,33	45
443008	-4,10000	-43,26667	CEDRO - SUDENE	1571,81	566,92	0,36	26
443009	-4,25000	-43,95000	TIMBIRAS - SUDENE	1569,79	613,69	0,39	23
443011	-4,42056	-43,64917	PALMEIRA DO NORTE - ANA	1518,84	555,80	0,37	34
443012	-4,62639	-43,46889	ALDEIAS ALTAS	1305,22	347,35	0,27	31
444000	-4,23333	-44,78333	BACABAL - ANA	1671,04	429,56	0,26	20
444001	-4,16278	-44,16583	COROATÁ - ANA	1504,61	411,06	0,27	50
444002	-4,88333	-44,88333	ESPERANTINÓPOLIS - SUDENE	1842,36	568,08	0,31	20
444003	-4,96667	-44,23333	GONÇALVES DIAS - SUDENE	1390,61	380,80	0,27	28
444004	-4,58333	-44,66667	PEDREIRAS - DNOS	1472,55	505,33	0,34	22
444005	-4,57028	-44,60500	PEDREIRAS II - ANA	1496,28	354,69	0,24	48
444006	-4,58333	-44,66667	PEDREIRAS - SUDENE	1485,63	512,07	0,34	22
444008	-5,10139	-44,96083	SANTA VITORIA - ANA	1214,42	327,34	0,27	42
444009	-4,33333	-44,31667	PEREIRO - SUDENE	1470,32	383,48	0,26	18
444012	-4,21667	-44,76667	BACABAL - INMET	1736,03	424,83	0,24	22
444013	-4,37500	-44,33333	PERITORÓ BR-316 - ANA	1472,75	346,90	0,24	32
444014	-4,22639	-44,83861	BAMBU BR-316 - ANA	1644,42	410,78	0,25	12
445000	-4,71667	-45,46667	ENCRUZILHADA - SUDENE	1237,58	181,26	0,15	6
445001	-4,03000	-45,77000	ESPERANTINA-ANA	1676,78	456,09	0,27	44
445002	-4,33333	-45,16667	LAGO DA PEDRA (JEJUI) - SUDENE	1376,19	631,19	0,46	10
445003	-4,91667	-45,61667	MADAIL - ANA	1071,33	378,02	0,35	6
445005	-4,28333	-45,55000	TRÊS LAGOS - SUDENE	1374,97	411,98	0,30	10
445006	-4,08333	-45,16667	VITORINO FREIRE - SUDENE	1687,51	547,11	0,32	28

Estação	latitude	longitude	Nome da Estação Pluviométrica	Média pluviométrica do total anual	Desvio	Coeficiente de variação (CV)	Anos da Série Histórica
445007	-4,74278	-45,18056	ANGICO - ANA	1408,60	405,35	0,29	34
445008	-4,88639	-46,01139	ARAME - ANA	1139,23	389,68	0,34	32
445009	-4,56056	-45,12556	LAGO DA PEDRA - ANA	1586,38	428,38	0,27	32
445010	-4,24056	-45,35806	SÃO JOÃO DO GRAJAÚ - ANA	1790,85	526,39	0,29	31
445011	-4,53778	-45,32611	FAZENDA SABESA - ANA	1479,13	442,35	0,30	12
446000	-4,30417	-46,49361	PONTE BR-222 – ANA	1376,53	439,28	0,32	34
446001	-4,40917	-46,74750	FAZENDA PEDREIRAS - ANA	1205,04	462,51	0,38	32
446002	-4,69806	-46,93917	VALE DO PINDARÉ - ANA	1305,10	399,58	0,31	32
447002	-4,84139	-47,27389	RETA KM - 32 – ANA	1542,58	654,88	0,42	31
447004	-4,92083	-47,49694	AÇAILÂNDIA	1431,81	354,62	0,25	21
543000	-5,85000	-43,85000	BURITI BRAVO - SUDENE	1213,83	295,87	0,24	9
543001	0,00000	0,00000	BURITI CORTADO - SUDENE	1710,23	707,17	0,41	24
543002	-5,48444	-43,35861	LAGOA - ANA	1272,31	463,05	0,36	35
543003	-5,70000	-43,23333	MATÕES - SUDENE	1384,17	448,93	0,32	22
543004	-5,70917	-43,58722	MENDES - ANA	1284,98	353,08	0,27	46
543005	-5,31667	-43,51667	PAIOL - SUDENE	1717,17	1412,11	0,82	21
543006	-5,03333	-43,73333	PEDRAS - SUDENE	1494,13	526,94	0,35	23
543007	-5,26667	-43,83333	SÃO JOSÉ DOS PERDIDOS - SUDENE	1400,33	448,76	0,32	12
543011	-5,97000	-43,41583	VEREDA GRANDE - ANA	1260,71	403,85	0,32	32
543012	-5,33806	-43,88417	MONTEVIDÉU - ANA	1081,58	231,77	0,21	6
544000	-5,68333	-44,06667	FAZENDA FORTUNA - SUDENE	989,12	271,29	0,27	25
544001	-5,98333	-44,90000	LEANDRO - SUDENE	1484,21	1084,36	0,73	20
544002	-5,25000	-44,51667	PRESIDENTE DUTRA - SUDENE	1246,68	269,87	0,22	24
544004	-5,70000	-44,36667	SÃO DOMINGOS DO MARANHÃO - SUDENE	1178,73	419,02	0,36	28
544005	-5,80000	-44,73333	SÃO JOAQUIM DOS MELOS - SUDENE	1171,23	320,84	0,27	16
544006	-5,41972	-44,92833	FLORES - ANA	1198,72	337,34	0,28	45
544009	-5,40500	-44,33556	GRAÇA ARANHA - ANA	1317,16	345,84	0,26	32
545000	-5,73333	-45,33333	ALDEIA SARDINHA	1043,09	404,59	0,39	19
545001	-5,16667	-45,58333	ALDEIA VELHA	1089,98	331,17	0,30	9
545003	-5,50000	-45,21667	BARRA DO CORDA - INMET	1177,69	341,36	0,29	28
545004	-5,51667	-45,25000	BARRA DO CORDA - DNOS	1135,71	406,51	0,36	19
545005	-5,51667	-45,25000	BARRA DO CORDA - SUDENE	1098,48	281,08	0,26	8
545006	-5,50000	-45,25000	BARRA DO CORDA - ANA	947,00	222,32	0,23	6
545007	-5,51667	-45,81667	CACETE - SUDENE	836,53	181,12	0,22	6
545008	-5,46667	-45,56667	NARU - SUDENE	1296,98	693,04	0,53	26
545009	-5,58333	-45,88333	SOLTA DO CARLOS - SUDENE	985,15	299,01	0,30	20
545010	-5,60000	-45,25000	RIO CORDA - ANA	1306,58	209,71	0,16	8
545011	-5,72750	-45,31306	RIO CORDA II - ANA	975,21	343,72	0,35	29
545012	-5,89222	-45,30194	SÃO CARLOS - ANA	985,77	364,20	0,37	12
546000	-5,56667	-46,76667	AMARANTE DO MARANHÃO - SUDENE	1299,16	387,26	0,30	27
546001	-5,58333	-46,25000	GADO BRAVO - ANA 2	1184,29	268,56	0,23	8
546002	-5,81667	-46,46667	GRAJAÚ - INMET	1222,25	465,43	0,38	28
546003	-5,81667	-46,13333	GRAJAÚ - SUDENE	1249,43	300,95	0,24	28
546004	-5,81667	-46,13333	GRAJAÚ - ANA	1103,22	303,25	0,27	6
546005	-5,28333	-46,36667	PATOS - SUDENE	1139,00	335,80	0,29	22
546006	-5,60444	-46,23861	FORTALEZA - ANA	1095,45	272,59	0,25	37
546007	-5,88417	-46,70194	SÍTIO NOVO – ANA	1189,51	360,89	0,30	35
547000	-5,53500	-47,47833	IMPERATRIZ - INMET	1443,41	350,82	0,24	42
547001	-5,53333	-47,48333	IMPERATRIZ - SUDENE	1299,71	287,94	0,22	17
547003	-5,83333	-47,06667	MONTES ALTOS - SUDENE	1456,63	551,55	0,38	20
547005	-5,59444	-47,01917	BURITIRANA - ANA	1302,18	316,70	0,24	35
643000	-6,50000	-43,70000	SÃO JOÃO DOS PATOS - SUDENE	1242,19	249,82	0,20	20
643011	-6,61000	-43,40111	LAGES – ANA	1127,74	296,02	0,26	35
643012	-6,17472	-43,77917	PASSAGEM FRANCA - ANA	1239,45	377,07	0,30	34
643013	-6,76194	-4,02639	BARÃO DE GRAJAÚ - ANA	984,98	279,04	0,28	35
644000	-6,38333	-44,98333	CAMPO LARGO - SUDENE	1441,53	525,20	0,36	24
644001	-6,03333	-44,25000	COLINAS – SUDENE	1184,79	278,33	0,23	19
644003	-6,02750	-44,25389	COLINAS – ANA	1239,30	275,37	0,22	48
644004	-6,51667	-44,63333	IBIPIRA – SUDENE	2125,88	1253,21	0,59	27
644006	-6,36667	-44,36667	MIRADOR – SUDENE	1270,43	334,75	0,26	23
644007	-6,36917	-44,35944	MIRADOR – ANA	1217,59	276,47	0,23	46
644009	-6,68333	-44,05000	NOVA IORQUE - SUDENE	1053,40	303,09	0,29	20
644010	-6,50000	-44,01667	PARAIBANO - SUDENE	1334,99	630,45	0,47	20
644011	-6,60000	-44,08333	PASTOS BONS - SUDENE	1486,43	561,03	0,38	16
644012	-6,01028	-44,34444	PORTO DO LOPES - ANA	1136,31	270,38	0,24	47
644013	-6,66667	-44,31667	ROÇADO – SUDENE	1131,26	333,56	0,29	21
644014	-6,81667	-44,65000	SÃO DOMINGOS - SUDENE	1078,59	349,99	0,32	25
644015	-6,06694	-44,71444	CAMPO LARGO - ANA	1209,82	372,57	0,31	45
644017	-6,03333	-44,23333	COLINAS – INMET	1248,52	305,04	0,24	22
644018	-6,17000	-44,86889	FERNANDO FALCÃO - ANA	972,52	280,45	0,29	11
644019	-4,21750	-46,49056	FAZENDA VARIG - ANA	910,57	420,28	0,46	10
645000	-6,51667	-45,61667	JOSÉ MIGUEL – SUDENE	1231,20	299,37	0,24	20
645001	-6,28333	-45,21667	RESPLANDES – SUDENE	1186,08	351,65	0,30	23
645002	-6,00222	-45,39417	PAPAGAIO – ANA	1200,64	345,07	0,29	34
645003	-6,84417	-45,10917	MATO GROSSO – ANA	991,31	247,10	0,25	31
645004	-6,03917	-45,92056	FAZENDA PIRANHAS - ANA	953,26	298,35	0,31	18
646000	-6,23333	-46,46667	CONCEIÇÃO – SUDENE	1212,55	376,92	0,31	25
646001	-6,33333	-46,05000	FORMOSA – SUDENE	1255,40	302,10	0,24	25
646002	-6,90000	-46,16667	FORTALEZA DOS NOGUEIRAS - SUDENE	1075,65	386,93	0,36	22
646003	-6,63333	-46,88333	SÃO PEDRO – SUDENE	1337,29	530,00	0,40	25
646005	-6,81833	-46,33361	FAZENDA SÃO VICENTE - ANA	1118,21	241,49	0,22	31

Estação	latitude	longitude	Nome da Estação Pluviométrica	Média pluviométrica do total anual	Desvio	Coeficiente de variação (CV)	Anos da Série Histórica
646006	-6,19278	-46,26889	FAZENDA SEMPRE VIVA - ANA	1060,81	275,44	0,26	32
647002	-6,33333	-47,40000	PORTO FRANCO - SUDENE	1260,20	287,45	0,23	5
647008	-6,19639	-47,04056	LAJEADO NOVO – ANA	1073,04	379,55	0,35	6
744000	-7,08139	-44,81250	SÃO FÉLIX DE BALSAS - ANA	1047,85	266,53	0,25	50
745000	-7,48333	-45,13333	BREJO COMPRIDO BOTO - SUDENE	1229,40	339,82	0,28	26
745001	-7,08333	-45,13333	LORETO – SUDENE	881,79	214,47	0,24	17
745002	-7,01667	-45,48333	SÃO RAIMUNDO DAS MANGABEIRAS – SUDENE	1129,97	277,70	0,25	18
745004	-7,13861	-45,34778	SAMBAÍBA – ANA	1077,18	280,94	0,26	39
745005	-7,37472	-45,60778	FAZENDA TIGRE – ANA	1078,34	305,36	0,28	32
745007	-7,52556	-45,81306	BALSINHAS BR-324 - ANA	1003,61	212,29	0,21	12
746001	-7,53333	-46,03333	BALSAS – SUDENE	1062,65	358,41	0,34	17
746002	-7,66667	-46,46667	COQUEIRO – SUDENE	1302,99	347,91	0,27	28
746003	-7,75000	-46,88333	FAZENDA ANGICOS - SUDENE	1175,90	431,68	0,37	20
746005	-7,53333	-46,03333	BALSAS – INMET	1114,80	338,91	0,30	21
746006	-7,52333	-46,03389	BALSAS – ANA	1164,60	318,19	0,27	35
746007	-7,92861	-45,98861	BREJO COMPRIDO – ANA	1300,12	337,37	0,26	34
746008	-7,15778	-46,55444	MORRO VERMELHO - ANA	1126,82	396,92	0,35	31
746009	-7,33139	-46,30750	RECURSOS – ANA	1143,32	307,21	0,27	32
747000	-7,32306	-47,46444	CAROLINA – ANA	1531,51	299,54	0,20	48
747003	-7,33333	-47,46667	CAROLINA – INMET	1718,36	266,60	0,16	32
747004	-7,71667	-47,21667	HELENÓPOLIS – SUDENE	1462,87	278,90	0,19	28
747006	-7,21667	-47,25000	GENIPAPO (CABECEIRA DA LAGE) - SUDENE	1434,30	505,59	0,35	7
747008	-7,33333	-47,46667	CAROLINA – SUDENE	1676,63	282,71	0,17	13
845000	-8,73333	-45,88333	CACHOEIRA – SUDENE	952,39	185,45	0,19	10
845001	-8,46667	-45,76667	TASSO FRAGOSO - SUDENE	1162,37	244,67	0,21	25
845003	-8,31750	-45,96778	BABILÔNIA – ANA	1461,86	502,30	0,34	34
845004	-8,10139	-45,58750	BARRA DO FOSDÃO - ANA	1156,15	255,13	0,22	32
845005	-8,82111	-45,96806	INHUMAS – ANA	1273,52	267,73	0,21	32
846000	-8,96667	-46,86667	AMARO LEITE – SUDENE	1332,61	358,95	0,27	26
846001	-8,50000	-46,46667	COROATÁ – SUDENE	1093,55	235,87	0,22	23
846002	-8,16667	-46,23333	OURO	1204,17	268,49	0,22	23
846003	-8,91667	-46,15000	SALINAS – SUDENE	1120,81	350,02	0,31	20
846004	-8,71667	-46,71667	RIO VERDE – SUDENE	1315,53	457,25	0,35	23
846005	-8,81278	-46,07806	BOA VISTA – ANA	1360,85	363,01	0,27	32
945000	-9,13333	-45,93333	ALTO PARNAÍBA - SUDENE	1367,55	377,30	0,28	19
945010	-9,10000	-45,93333	ALTO PARNAÍBA - INMET	1252,30	350,68	0,28	22
945011	-9,11306	-45,92611	ALTO PARNAÍBA - ANA	1312,70	333,10	0,25	34
946000	-9,30000	-46,70000	CABECEIRA - SUDENE	1375,55	422,99	0,31	31
946001	-9,16667	-46,20000	CAMBUÍ - SUDENE	1282,67	335,50	0,26	15
946002	-9,45000	-46,30000	MORRINHOS - SUDENE	1069,51	507,53	0,47	27
146008	-1,81750	-46,34390	ALTO BONITO-CPRM	2035,86	493,08	0,24	41
146009	-1,23140	-46,18780	VISEU-CPRM	2280,08	622,08	0,27	36
241000	-2,88330	-41,66670	LUIZ CORREIA-DNOCS	1279,26	605,27	0,47	31
241002	-2,91670	-41,78330	PARNAÍBA-SUDENE	1293,12	569,52	0,44	34
246002	-2,23530	-46,43560	SANTA MARIA DO GURUPI - CIGANA-CPRM	2063,95	427,99	0,21	12
247005	-2,77170	-46,80250	CAFEZAL-CPRM	1854,97	448,88	0,24	32
341001	-3,18330	-41,86670	BURITI DOS LOPES-SUDENE	1309,56	461,74	0,35	34
342003	-3,65000	-42,13330	FAZENDA BOA VISTA DOS CARIOCAS-SUDENE	1375,78	376,81	0,27	29
342004	-3,46670	-42,36670	LUZILÂNDIA (PORTO ALEGRE) -SUDENE	1324,26	344,94	0,26	34
342005	-3,71670	-42,55000	MATIAS OLÍMPIO-SUDENE	1658,59	557,78	0,34	36
342006	-3,90000	-42,71670	PORTO-DNOCS	1717,26	489,51	0,29	36
342007	-3,46220	-42,37330	LUZILÂNDIA-CPRM	1382,29	350,52	0,25	33
342008	-3,50000	-42,18330	ONÇA (JOAQUIM PIRES) -DNOCS	1426,96	389,82	0,27	12
346001	-3,34690	-46,87720	FAZENDA RURAL ZEBU-CPRM	1381,33	395,99	0,29	29
347001	-3,75330	-47,49690	GURUPIZINHO-CPRM	1422,62	415,46	0,29	35
347002	-3,46250	-47,47940	FAZENDA PLANALTO CPRM	1640,34	656,11	0,40	34
442006	-4,33330	-42,55000	FAZENDA LUSTOSA-SUDENE	1570,26	519,58	0,33	29
442010	-4,16720	-42,89000	MIGUEL ALVES-CPRM	1692,01	542,23	0,32	46
442011	-4,58330	-42,86670	UNIÃO-DNOCS	1527,41	557,97	0,37	35
442015	-4,05000	-42,70000	NOSSA SENHORA DOS REMÉDIOS-SUDENE	1400,93	513,71	0,37	11
447001	-4,29110	-47,56530	KM ZERO / PA-70-CPRM	1701,09	450,14	0,26	35
447003	-4,11670	-47,54690	LIGAÇÃO DO PARÁ-CPRM	1423,79	452,78	0,32	28
448000	-4,80360	-48,06890	RONDON DO PARÁ-CPRM	1800,63	590,87	0,33	34
542000	-5,03330	-42,46670	ALTOS-SUDENE	1406,66	494,25	0,35	36
542004	-5,85000	-42,81670	CANTINHO-SUDENE	1369,89	403,95	0,29	29
542005	-5,36670	-42,70000	DEMERVAL LOBÃO-SUDENE	1261,60	408,34	0,32	29
542007	-5,58330	-42,61670	MONSENHOR GIL-SUDENE	1479,13	493,35	0,33	35
542011	-5,08330	-42,81670	TERESINA-INMET	1213,83	378,79	0,31	33
542012	-5,08780	-42,79920	TERESINA - CHESF-CPRM	1366,44	406,52	0,30	32
542020	-5,76110	-42,66670	AGRICOLÂNDIA-EMATER	1340,29	490,22	0,37	17
547006	-5,95220	-47,51220	MAURILÂNDIA DO TOCANTINS-CPRM	1360,95	287,19	0,21	10
548000	-5,64830	-48,12500	ARAGUATINS-CPRM	1484,16	370,92	0,25	43
548001	-5,25970	-48,20690	SÃO SEBASTIÃO DO TOCANTINS-CPRM	1680,23	459,58	0,27	33
548002	-5,05140	-48,63360	BOM JESUS DO TOCANTINS-CPRM	1838,61	295,38	0,16	17
548003	-5,36220	-48,53860	ESPERANTINA-CPRM	1608,07	546,36	0,34	12
549002	-5,36560	-49,12500	MARABÁ-INMET	1879,46	385,04	0,20	42
549011	-5,49670	-49,22280	FAZENDA ALEGRIA-CPRM	1262,42	446,41	0,35	13
642001	-6,25000	-42,85000	AMARANTE-DNOCS	1196,24	352,08	0,29	34
642008	-6,96670	-42,66670	NAZARÉ DO PIAUÍ-SUDENE	938,81	224,10	0,24	34

Estação	latitude	longitude	Nome da Estação Pluviométrica	Média pluviométrica do total anual	Desvio	Coeficiente de variação (CV)	Anos da Série Histórica
642009	-6,23330	-42,68330	REGENERAÇÃO-SUDENE	1218,15	485,07	0,40	32
647000	-6,28860	-47,39190	TOCANTINÓPOLIS-CPRM	1434,95	356,67	0,25	46
647001	-6,83920	-47,97060	WANDERLÂNDIA - RD BELÉM - BRASÍLIA-CPRM	1624,68	361,07	0,22	41
742010	-7,31670	-42,78330	TAMBORIL-SUDENE	933,57	324,15	0,35	30
742012	-6,61830	-42,69390	FRANCISCO AYRES-CPRM	1011,89	337,40	0,33	32
743003	-7,08330	-43,51670	JERUMENHA-SUDENE	1016,32	343,27	0,34	33
743004	-7,26670	-43,93330	LANDRI SALES-SUDENE	1140,11	310,88	0,27	34
743009	-7,24530	-43,64440	BARRA DO LANCE-CPRM	1003,75	303,49	0,30	34
744001	-7,68330	-44,60000	ALTO BONITO-SUDENE	1062,02	334,37	0,31	29
744011	-7,39580	-44,61170	FAZENDA BANDEIRA-CPRM	1043,22	191,14	0,18	12
745003	-7,55720	-45,24440	RIBEIRO GONÇALVES-CPRM	1045,40	243,32	0,23	40
747001	-7,71470	-47,31500	GOIATINS-CPRM	1581,71	366,63	0,23	45
747009	-7,85940	-47,92890	PALMEIRANTE-CPRM	1511,30	334,94	0,22	33
748002	-7,56060	-48,42280	FAZ. PRIMAVERA - ROD. BEL - BRASÍLIA-CPRM	1715,82	441,52	0,26	43
847001	-8,39170	-47,76280	ITACAJÁ-CPRM	1837,04	444,89	0,24	44
847002	-7,97110	-46,80640	CAMPOS LINDOS-CPRM	1514,08	282,19	0,19	33
847003	-8,73750	-47,24170	RECURSOLÂNDIA-CPRM	1566,21	355,92	0,23	17
847004	-8,96420	-47,33390	CENTENÁRIO-CPRM	1656,92	283,07	0,17	12
945001	-9,95000	-45,48330	BARREIRAS DO PIAUÍ-SUDENE	1041,93	273,20	0,26	30
945003	-9,40000	-45,23330	BREJO-SUDENE	909,23	342,40	0,38	20
945008	-9,83330	-45,35000	GILBUES-SUDENE	958,34	277,72	0,29	25
945016	-9,72890	-45,02810	CONTRATO (UNIÃO)-CPRM	917,81	229,48	0,25	12
946003	-9,59720	-46,67280	LIZARDA-CPRM	1437,36	305,40	0,21	38
1045006	-10,56220	-45,69500	COACERAL-CPRM	1091,18	239,05	0,22	17
1046001	-10,54640	-46,41860	MATEIROS-CPRM	1503,93	506,92	0,34	19

Fonte: Registros da Pesquisa (2023).

3.1 Regionalização de Vazões

Foram utilizados os dados das estações fluviométricas e pluviométricas disponíveis no site da Agência Nacional de Águas (ANA) no endereço de sítio *www.snirh.gov.br*, do Sistema Nacional de Informações de Recursos Hídricos (SNIRH), para a construção das isoietas de pluviosidade dentro do Estado do Maranhão no intuito de se encontrar regiões hidrológicas semelhantes.

Os dados de imagens de elevação foram retirados do site do INPE, cujo endereço é o http://www.webmapit.com.br/inpe/topodata/, para a construção do mosaico e das imagens de elevação do terreno e consequente traçado das bacias hidrográficas. Os dados dos cadastros de usos múltiplos dos recursos hídricos em cada uma das bacias utilizados foram os do Cadastro Nacional de Recursos Hídricos (CNAR40) e os dados organizados e tabulados da Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Naturais do Estado do Maranhão (SEMA-MA).

Os softwares utilizados foram Qgis® e GoogleEarth Pro® para operações de mapas e organização espacial dos dados e, a partir da separação das regiões hidrográficas, determinou-se a regionalização por meio dos dados das estações fluviométricas do SINIR-Hidroweb. Devido à escassez de estações na bacia foram utilizados os dados de usuários presentes na bacia para melhor ajuste da regionalização das vazões de referência Q90 e das vazões médias. Cada um dos processos analisados são processos renovados que mantiveram a periodicidade das medições e batimetria em cada uma de duas ou mais renovações do licenciamento do uso dos recursos hídricos no Alto e Médio Cursos do Rio Itapecuru.

Para o traçado das sub-bacias hidrográficas do Rio Itapecuru, foi obtido o arquivo em formato shapefile da hidrografia do Brasil, no site do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2016). Na geração das curvas de nível, foram coletados dados quanto à elevação no Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil, com projeto denominado TOPODATA (INPE, 2008). As MDEs (Modelo Digital de Elevação) possuem as informações quanto à altitude, e tiveram como resultado um mosaico para geração das curvas de nível no local da bacia do Rio Itapecuru. Foram traçados, com o uso de ferramentas de geoprocessamento, com a rede hidrográfica e as curvas de nível, os polígonos de algumas bacias hidrográficas dos afluentes do Rio Itapecuru, do próprio Rio Itapecuru e dos locais onde não existem estações fluviométricas, mas existem usuários realizadores do monitoramento fluviométrico.

A metodologia das vazões regionalizadas nesse trabalho foi realizada nas duas categorias baseadas em equações de regressão aplicadas a regiões hidrologicamente homogêneas, utilizando-se de duas variáveis explicativas: Área (A) e Pluviosidade (P) e pelo método estatístico tradicional por meio da distribuição das vazões adimensionalizadas das regiões homogêneas versus a variável reduzida de Gauss, verificadas por aderência às curvas de previsão Normal, Log-normal, Gumbel, Pearson Tipo III, Log-Pearson Tipo III. Dessa maneira, pôde-se associar uma dada vazão a um tempo de retorno específico para fins de planejamento e gestão de recursos hídricos.

Além disso, as vazões foram estipuladas por meio de Krigagem Ordinária Circular baseada na metodologia de Wolff *et al.* (2014), que é uma técnica de interpolação e extrapolação automáticas em ambiente SIG. Essa interpolação levou em consideração as vazões obtidas nas Estações do SNIRH-Hidroweb e em locais com informações de vazões fornecidas por empreendedores cadastrados no banco de dados da SEMA-MA, os quais possuem mais de cinco anos de dados monitorados. Esses dados por serem muito incipientes, receberam tratamento estocástico para diminuir o efeito pepita do semivariograma e se realizar uma interpolação consistente. Aqueles postos com menos de 5 anos de série histórica foram excluídos a fim de melhor atender a regionalização pluviométrica, além de se lançar mão de dados de estudos hidrológicos de afluentes e pequenas sub-bacias da Bacia Hidrográfica do Rio Itapecuru registrados no sistema de informações e cadastro de usuários da Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Recursos Naturais do Maranhão (SEMA-MA).

O processo de regionalização foi desenvolvido por Krigagem, construindo-se um coeficiente adimensional de regionalização sobreposto por um coeficiente em função da área de drenagem de cada região hidrográfica da bacia com a conotação da unidade de vazão específica em $m^3.h^{-1}.km^{-2}$ e que gerou uma imagem matricial. Os *pixels* dessa imagem e seus valores são aplicados à rede fluvial da Bacia Hidrográfica do Rio Itapecuru. Notadamente, para cada usuário, após se fazer o traçado da sub-bacia hidrográfica a partir do ponto de captação ou lançamento contribuinte, a definição da vazão regionalizada

se dá ao se multiplicar o valor do pixel pela área da bacia traçada, calculando-se a regionalização da Q90, das vazões médias e das vazões máximas nos diferentes corpos hídricos da bacia.

O processo de traçado da bacia hidrográfica deve ser realizado de maneira metódica e coesa para que os limites de cada região hidrográfica sejam respeitados em termos de vazões regionalizadas, ou seja, a partir das áreas de drenagem conhecidas e da pluviosidade gerar equações de parametrização regionalizada de coeficientes de vazão específica para cada pixel dos corpos hídricos da bacia em unidades de $m^3.h^{-1}.km^{-2}$. Com essa parametrização, basta traçar a área de drenagem do ponto no qual se quer conhecer as vazões de permanência Q90, as vazões médias e ou as vazões máximas, utilizando-se dos mapas de vazões regionalizados respectivos, multiplicando o coeficiente associado – o valor do pixel, pela área de drenagem encontrada para a sub-bacia.

3.2 Regionalização da vazão de permanência Q90

A regionalização das vazões Q90 foram baseadas na variável física explicativa de área (km²), nas vazões de permanência históricas das estações do SNIRH, nas vazões registradas e coletadas por usuários cadastrados no CNARH e na variável explicativa climática de pluviosidade, em metros, e regionalizada pelo método dos polígonos de Thiessen.

3.3 Regionalização da vazão média

A determinação da vazão média foi realizada com base na variável física explicativa de área (km²); nas vazões de permanência históricas das estações do SNIRH; naquelas coletadas por usuários cadastrados no CNARH na variável explicativa climática de pluviosidade em metros, e regionalizada pelo método dos polígonos de Thiessen; no modelo tradicional estatístico de previsão das vazões adimensionalizadas para associar a um determinado Tr; em regressões múltiplas, exponenciais, lineares e potenciais para determinação da equação de ajuste de maior aderência para qualquer ponto dos corpos hídricos oriundos do *shapefile* do IBGE (2016) que se deseja regionalizar dentro da bacia.

3.4 Regionalização da vazão máxima

A determinação da vazão máxima foi realizada semelhantemente à regionalização da vazão média e também com base nas variáveis físicas explicativas de área (km²) e declividade (m/m); na variável explicativa climática de pluviosidade, em metros, e regionalizada pelo método dos polígonos de Thiessen; no modelo tradicional estatístico de previsão das vazões adimensionalizadas para associar a um determinado Tr; e, em regressões múltiplas e regressões exponenciais para determinação da equação de ajuste de maior aderência para qualquer ponto dos corpos hídricos oriundos do *shapefile* do IBGE (2016) que se deseja regionalizar dentro da bacia. No entanto, apenas os dados das estações oriundas do SNIRH-Hidroweb foram usados para a regionalização das vazões máximas.

3.5 Banco de dados de usuários de outorgas

O banco de dados de usuários foi obtido no Cadastro Nacional de Usuários de Recursos Hídricos (CNARH 4.0) e no banco de dados internos do Sistema de Informação e Gestão de Licenciamento Ambiental (SIGLA), da Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Naturais do Estado do Maranhão (SEMA-MA). Foram selecionados os melhores dados de batimetria e medição de vazão, bem como usuários com vários anos de cadastro ativo e monitoramento das vazões por meio do bom cumprimento das condicionantes da Outorga do Direito de Uso dos Recursos Hídricos no Estado do Maranhão (ODU).

3.6 Cenários de projeção de Outorgas

Os cenários de projeção de ODUs para o Alto e Médio cursos foram realizados com base na projeção aritmética para cada finalidade e separadamente para o Alto e Médio cursos do Rio Itapecuru com horizontes de 5, 10 e 20 anos (2027, 2032 e 2042), respectivamente. Sabe-se, no entanto, que essa projeção deve seguir modulação logística e ou decrescente, já que há um valor de saturação dos números de outorgas emitidas diretamente relacionadas à disponibilidade hídrica de cada corpo hídrico, e esse efeito é bastante pronunciado nos afluentes do Rio Itapecuru, nos quais há uma menor área de drenagem e rios menos caudalosos.

Os cenários futuros podem ainda ser confrontados com os dados de crescimento dos censos agropecuário, comércio e serviços e saneamento do IBGE para os anos de 1986, 1996, 2006 e 2016, para se avaliar a expectativa futura de outorgas nas diversas áreas. Especialmente para o corpo hídrico principal da Bacia Hidrográfica do Rio Itapecuru, é necessário que se estipulem limites de outorga por usuários menores do que aqueles limites máximos - 25% dos 80% da Q90 como limite máximo por

usuário - estabelecidos pela Resolução CONERH-MA n.º 57 de 2019, podendo ser ampliado se o empreendedor comprovar não haver usuários com demanda expressiva à montante e jusante da captação. Com a finalidade de se realizar essa projeção de cenários deverão ser homologados e consolidados os coeficientes de regionalização da bacia hidrográfica, o que dará suporte à tomada de cisão do volume máximo estipulado por usuário em cada trecho dos corpos hídricos, levando em consideração a sua área de drenagem e a Q90 regionalizada.

Embora a projeção aritmética possa não ser uma boa previsão em termos de longo prazo, para o curto e médio prazo, ela dá uma ideia do potencial de licenciamento das atividades por setor e finalidade, e isso melhorará, ao serem comparados os dados do crescimento do licenciamento com os dados de crescimento econômico dentro da bacia hidrográfica, a capacidade de planejamento e gerenciamento em termos de área irrigada, os serviços de saneamento e abastecimento de água, a geração de energia, a pecuária e a aquicultura, o comércio, os serviços e outros dados importantes do senso oficial do IBGE. Essa comparação acarretará numa perspectiva de potencial real de desenvolvimento econômico e dará suporte ao planejamento não só dos recursos hídricos, mas também de infraestrutura e planejamento socioeconômico da região.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

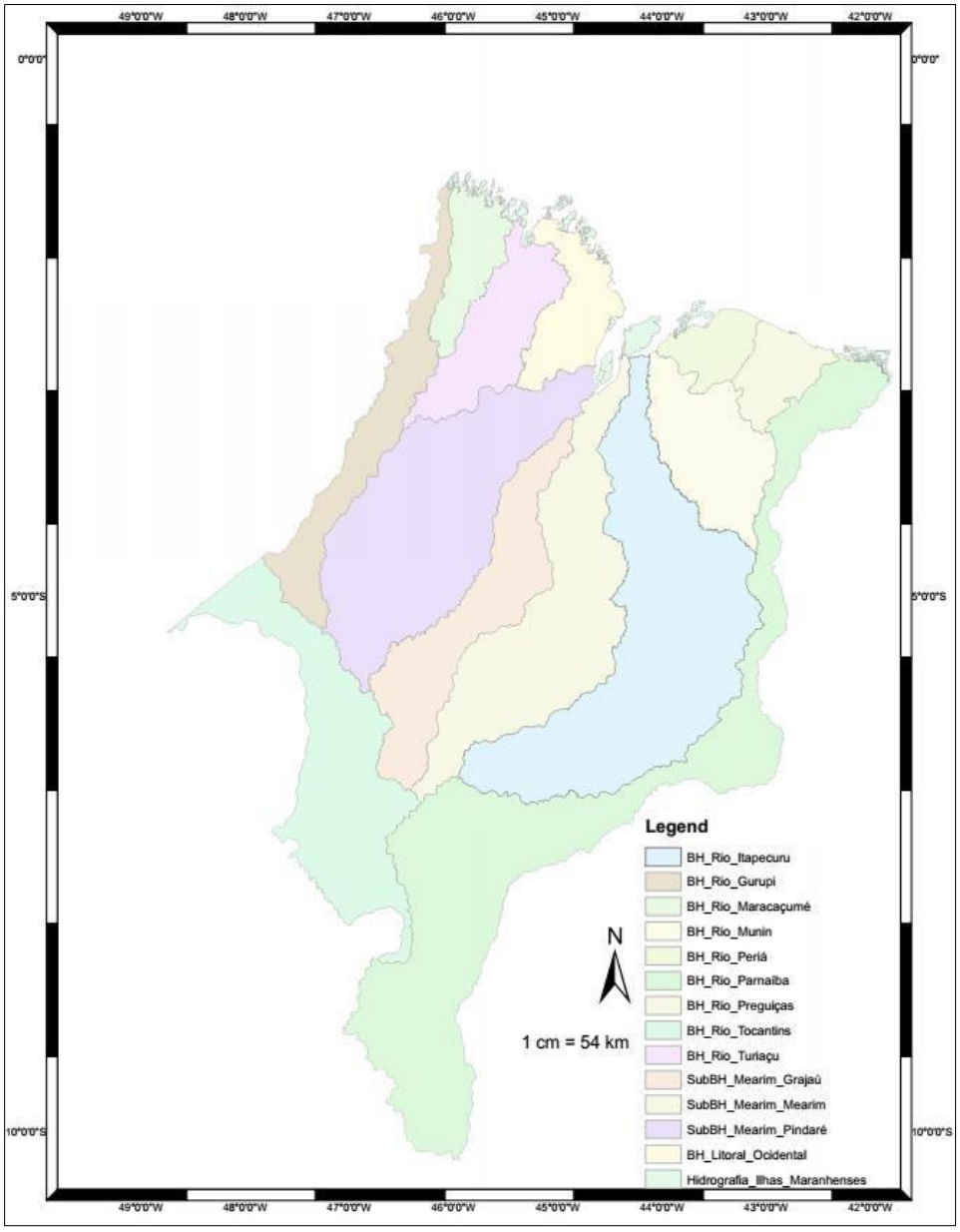
Os resultados ainda estão em fase de consolidação, mas já é possível avaliar os valores obtidos de vazões regionalizadas e compará-los aos medidos nas estações de monitoramento de vazões dentro da Bacia Hidrográfica do Rio Itapecuru. Foram gerados os mapas de vazões médias, vazão de permanência Q90 e vazões máximas dentro da bacia e mapas com a distribuição e variabilidade espacial dos usuários cadastrados por finalidade de uso da água, além das projeções dos cenários futuros do cadastramento de usuários na Bacia Hidrográfica do Rio Itapecuru.

Na Figura 1 há as Sub-bacias do Estado do Maranhão que são o objeto desse estudo e que pode ser multiplicado para todo Estado. Nas sub-bacias foram inseridos os postos fluviométricos, pluviométricos e de usuários do Estado do Maranhão, que por sua vez, deram suporte à geração do modelo de isoietas, das vazões regionalizadas e do cadastramento de usuários separados por finalidade para o Alto e Médio cursos do Rio Itapecuru.

Na Bacia do Rio Mearim (Figura 1), considerada como uma única bacia hidrográfica pela ANA, foram recortadas três sub-bacias devido à importância de cada uma delas, tanto em relação ao processo de regionalização, quanto a sua afluência ao Rio Mearim já ocorrer quase na foz e próxima a Baía de São Marcos e áreas alagadas da baixada maranhense, com potencial hídrico próprio de cada uma delas a saber: Bacia hidrográfica do Rio Grajaú, cujo rio é de extrema importância econômica, social e ambiental da bacia, nasce ao Sul do Estado do Maranhão e corre na parte central da bacia, passando por áreas de importância econômica para irrigação e áreas indígenas dentro do Estado.

O Rio Pindaré também teve sua bacia recortada como sub-bacia da Bacia do Mearim, cuja sua drenagem fica na extremidade oeste da Bacia do Mearim, com suas nascentes ao Sul do Estado e em importante região de expansão agrícola na qual existem diversos pedidos de Outorga para uso consuntivo em irrigação de grãos. Já o Rio Mearim, que corre à leste da Bacia do Mearim, deságua na Baía de São Marcos do lado ocidental da Ilha em que se encontra a capital do Estado, São Luís; é uma importante baía para escoamento de produção de grãos e *commodities* dos estados do Tocantins, Pará, Maranhão, Mato Grosso e outros. O Rio Mearim drena as águas das regiões com déficit hídrico bastante pronunciado e mune diversos municípios de água para todos os tipos de uso incluindo industriais, geração de energia, pecuária e abastecimento de diversos municípios.

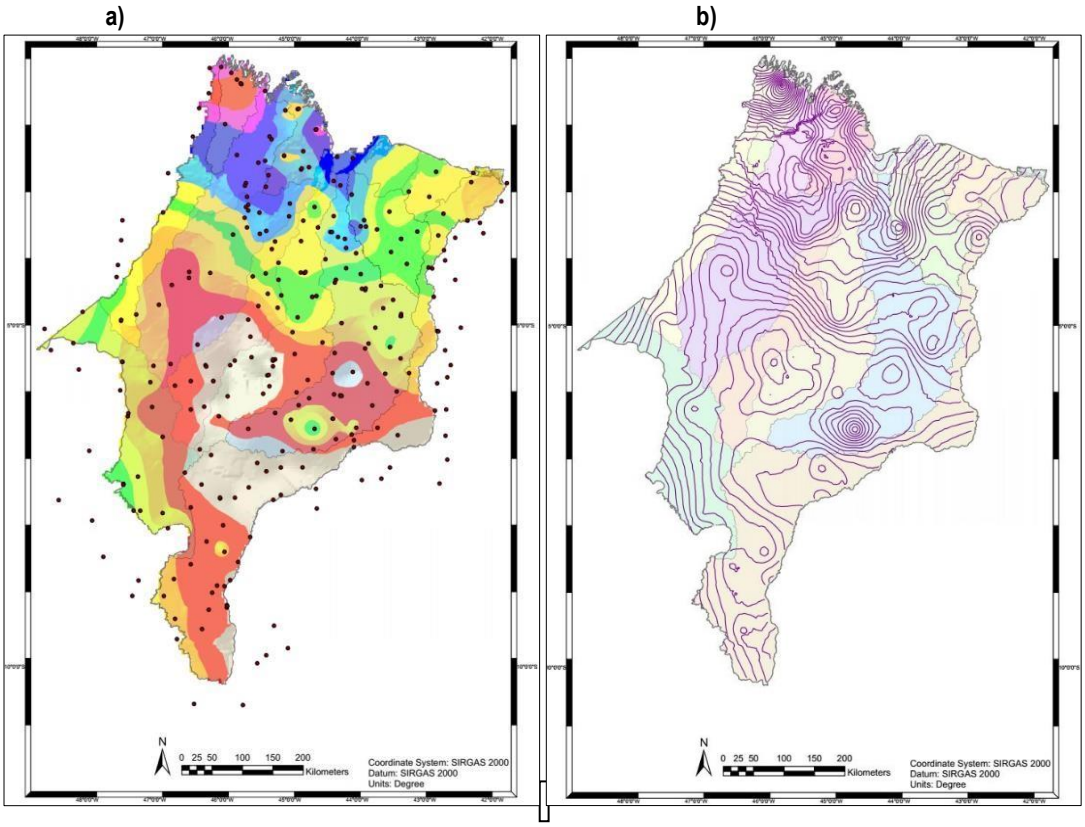
Figura 1 – Bacias hidrográficas do Maranhão com três sub-bacias na Bacia do Rio Mearim.



Fonte: Registros da Pesquisa (2023).

Na Figura 2a estão as estações pluviométricas do Estado do Maranhão sobre a imagem Raster gerada por meio da interpolação da Pluviosidade média anual para geração das isoietas. Esse processo deu suporte à seleção das áreas chamadas de regiões hidrológicas de mesma pluviosidade. Observa-se que as regiões mais secas estão próximas ao alto Parnaíba e centro sul do Estado, enquanto na região Noroeste do Estado, onde é uma área já bastante próxima ao Bioma Amazônico, a pluviosidade é maior.

Figura 2 – a) Pluviosidade média anual das séries históricas no Estado do Maranhão e Postos Pluviométricos; b) Isoietas geradas em intervalos de 50 mm.

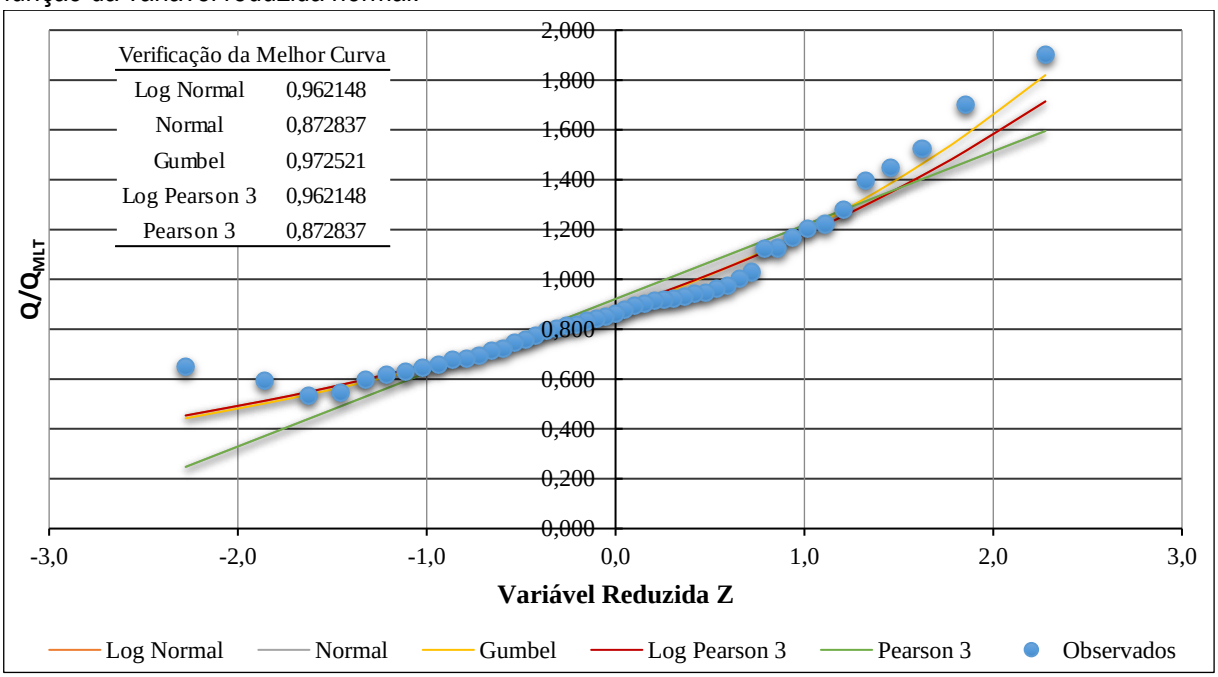


Fonte: Registros da Pesquisa (2023).

4.1. Aderência às Curvas de Probabilidade para o Modelo Estocástico de Regionalização com Vazões Associadas ao Período de Retorno para Alto e Médio Itapecuru

As curvas geradas a partir da Vazão média de Longo Termo (Q_{MLT}) para serem associadas a um dado Tempo de Retorno (Tr) foram geradas a partir das séries históricas do SNIRH-Hidroweb e ajustadas às curvas de probabilidade da Log-Normal com R^2 de 0,96, Normal com R^2 de 0,87, Gumbel com R^2 de 0,97; e, Pearson Tipo III e Log-Pearson Tipo III com R^2 de 0,87 e 0,96, respectivamente. Apesar de o ajuste ter sido melhor para a curva de distribuição de probabilidade de Gumbell, sugerem-se que sejam calculadas as vazões médias para um dado Tr, a partir do ajuste da Log-Normal. As Curvas de Probabilidade em função da Variável Reduzida de Gauss (Z) pela média anual da série histórica das estações dividido pela sua $Q_{MLT,}$ são mostradas na Figura 3.

Figura 3 – Plotagem das observações adimensionalizadas pela Q_{MLT} do Alto e médio Itapecuru em função da variável reduzida normal.



Fonte: Registros da Pesquisa (2023).

Na **Tabela 3** apresenta-se o ajuste da variável Z em função do período de retorno não extrapolado e associado à probabilidade de Blom. Esse método pode ser bastante útil quando associado à regionalização ou se aplicado a outros métodos como os descritivos e ou geoespaciais, mas sua vantagem principal é associar as vazões de longo termo a situações em que se espera acreditar num Tr para realizar obras e planejamentos dependentes dessas vazões.

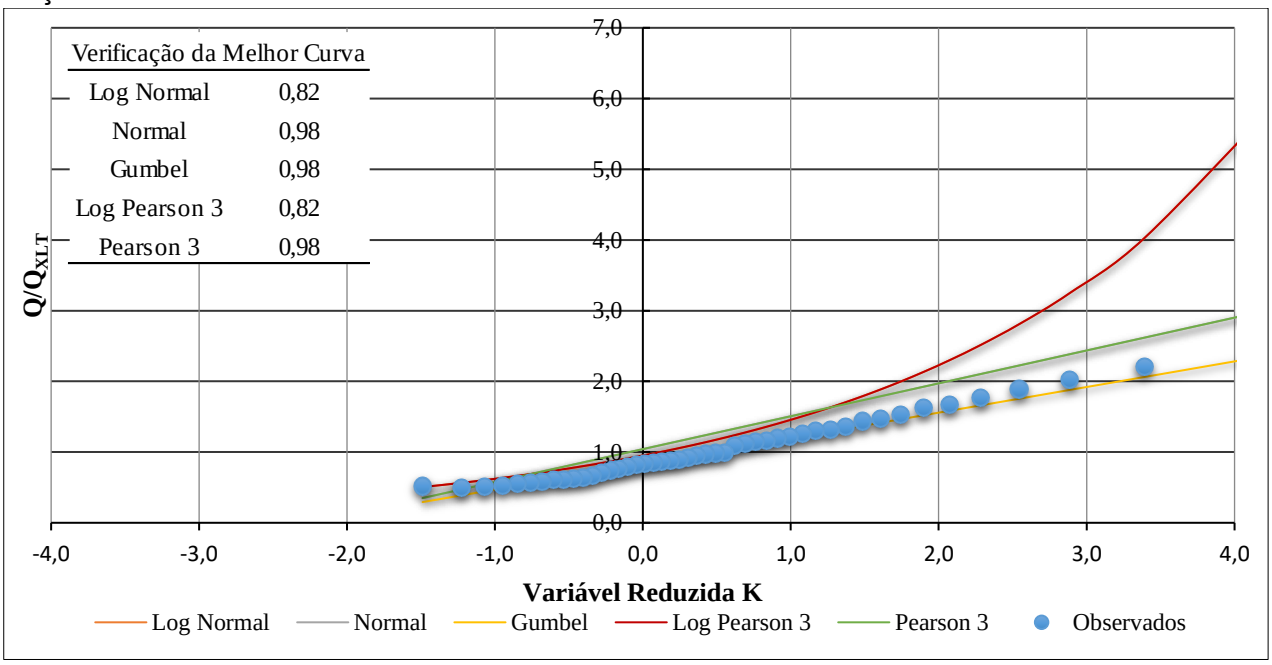
Tabela 3 – Vazão média admensionalizada pela vazão média de longo período do Alto e médio Itapecuru, associado a um Tr e distribuída em Log-Normal.

Tr	P(X≤x)	Z	Q/QMLT
87,7	0,011	2,277	1,899
50,0	0,020	2,054	1,723
31,5	0,032	1,856	1,701
25,0	0,040	1,751	1,523
19,2	0,052	1,625	1,524
20,0	0,050	1,645	1,516
15,0	0,067	1,502	1,439
10,0	0,100	1,282	1,274
7,5	0,134	1,110	1,221
5,0	0,200	0,842	1,115
4,0	0,250	0,674	1,011
3,0	0,337	0,420	0,941
2,0	0,500	0,000	0,751
1,5	0,663	-0,420	0,664
1,0	0,968	-1,856	0,481

Fonte: Registros da Pesquisa (2023)

As curvas geradas a partir da Vazão Máxima de Longo Termo (Q_{XLT}) para serem associadas a um dado Tempo de Retorno (Tr) foram geradas a partir das séries históricas do SNIRH-Hidroweb e ajustadas às curvas de probabilidade da Log-Normal com R^2 de 0,82, Normal com R^2 de 0,98, Gumbel com R^2 de 0,98; e, Pearson Tipo III e Log-Pearson Tipo III com R^2 de 0,98 e 0,82, respectivamente. Nesse caso, o ajuste escolhido foi a curva de distribuição de probabilidade de Gauss, pela sua simplicidade, mas sugerem-se que tanto Gumbell, Pearson Tipo III ou Gaussiana podem ser utilizadas para o cálculo das vazões máximas a partir de um Tr. As Curvas de Probabilidade em função da Variável Reduzida de Gauss para Máximas (K) pela média anual da série histórica das estações dividido pela sua Q_{XLT}, são mostradas na Figura 4.

Figura 4 – Plotagem das observações adimensionalizadas pela Q_{XLT} do Alto e Médio Itapecuru em função da variável reduzida normal.



Fonte: Registros da Pesquisa (2023).

Na Tabela 4 há o ajuste da variável Z em função do período de retorno não extrapolado e associado à probabilidade de ocorrências, também de Blom. Existe uma dificuldade da utilização desse método por ter que haver um monitoramento mínimo para ser utilizado, o que faz com que o método fique direcionado àqueles poucos pontos de observação histórica das vazões. Felizmente, esse método pode ser bastante útil quando associado a uma regionalização, ao ser utilizado em conjunto com outros métodos descritivos e ou geoespaciais, qualquer ponto dos corpos hídricos dentro dos limites da Bacia Hidrográfica do Rio Itapecuru pode ser determinado desde que seja determinada a área da bacia hidrográfica do ponto de drenagem e a pluviosidade para aplicar as equações de regionalização

ajustadas. Esse dado regionalizado poderá ser utilizado por sua vez associando-se um determinado Tr, com a utilização da tabela a seguir:

Tabela 4 – Vazão média admensionalizada pela vazão máxima de longo período do Alto e Médio Itapecuru, associado a um Tr distribuído em Normal

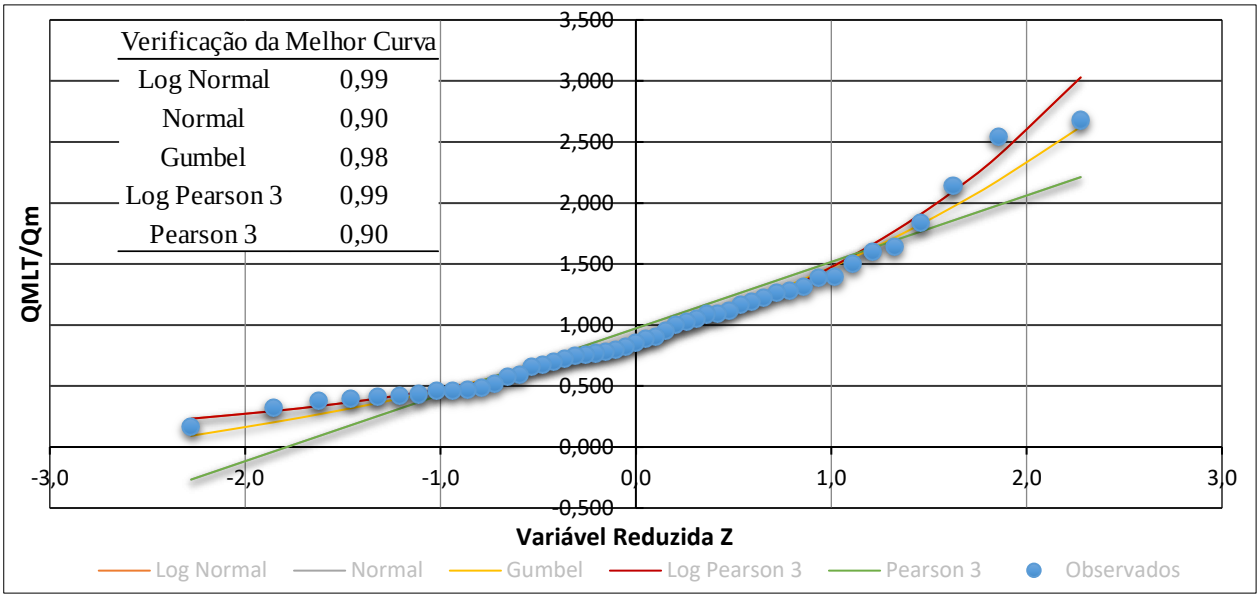
Tr	P(X≤x)	K	Q/QXLT
84	0,012	4,427	1,917
50	0,020	3,830	1,885
30	0,033	3,391	1,723
20	0,118	2,075	1,516
15	0,139	1,898	1,439
10	0,160	1,744	1,274
5	0,203	1,484	1,115
2	0,500	0,367	0,481

Fonte: Registros da Pesquisa (2023).

4.2. Aderência às Curvas de Probabilidade para o Modelo Estocástico de Regionalização com Vazões Associadas ao Período de Retorno para o Baixo Itapecuru

As curvas geradas a partir da Vazão média de Longo Termo (Q_{MLT}) para serem associadas a um dado Tempo de Retorno (Tr) foram geradas a partir das séries históricas do SNIRH-Hidroweb e ajustadas às curvas de probabilidade da Log-Normal com R^2 de 0,99, Normal com R^2 de 0,90, Gumbel com R^2 de 0,98; e, Pearson Tipo III e Log-Pearson Tipo III com R^2 de 0,90 e 0,99, respectivamente. Sugerem-se que sejam calculadas as vazões médias para um dado Tr, a partir do ajuste da Log-Normal para o Baixo Itapecuru. As Curvas de Probabilidade em função da Variável Reduzida de Gauss (Z) pela média anual da série histórica das estações dividido pela sua $Q_{MLT,}$ são mostradas na Figura 5.

Figura 5 – Plotagem das observações adimensionalizadas pela Q_{MLT} do Baixo Itapecuru em função da variável reduzida normal.



Fonte: Registros da Pesquisa (2023).

Na **Tabela 5** há o ajuste da variável Z em função do período de retorno não extrapolado e associado à probabilidade de Blom. Esse método pode ser bastante útil quando associado a uma regionalização, ou se aplicado a outros métodos como os descritivos e ou geoespaciais. Mas sua vantagem principal é associar as vazões de longo termo, a situações em que se espera acreditar num Tr para realizar obras e planejamentos que dependem dessas vazões.

Tabela 5 – Vazão média admensionalizada pela vazão média de longo período do Baixo Itapecuru, associado a um Tr e distribuída em Log-Normal.

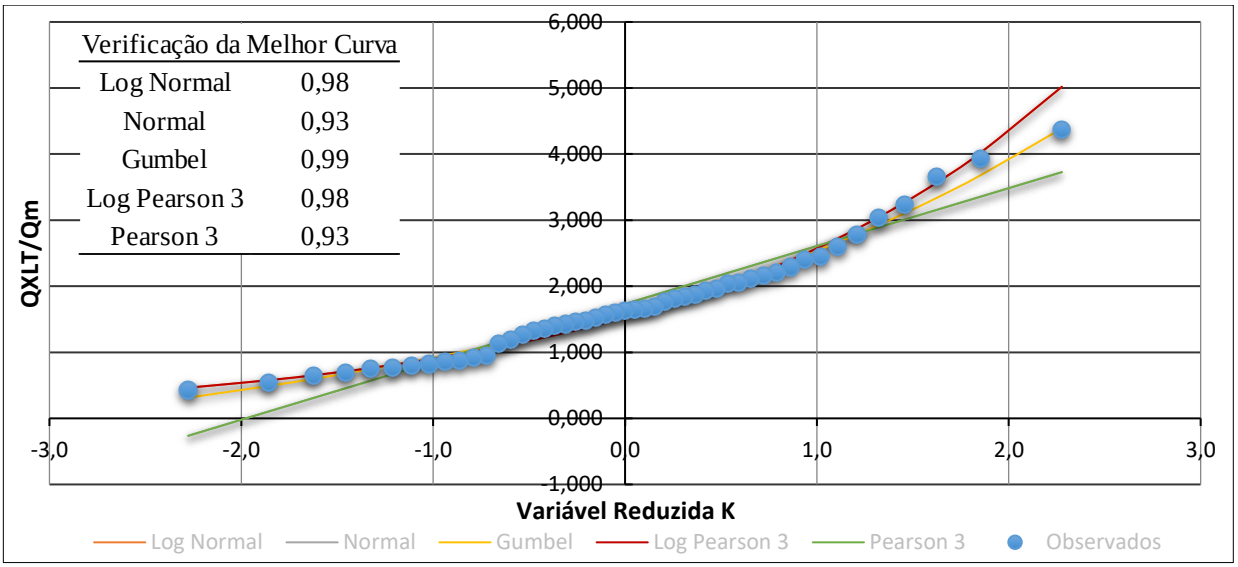
Tr	P(X≤x)	Z	Q/QMLT
97	0,010	2,314	2,679
50	0,020	2,054	2,538
35	0,029	1,898	2,139
25	0,040	1,751	1,842
21	0,047	1,672	1,643
20	0,050	1,645	1,600
15	0,067	1,502	1,503
10	0,100	1,282	1,397
8	0,121	1,169	1,384
5	0,200	0,842	1,317
4	0,250	0,674	1,279
3	0,306	0,507	1,260
2	0,454	0,116	1,223
2	0,602	-0,258	1,189
1	0,879	-1,169	1,165

Fonte: Registros da Pesquisa (2023)

As curvas geradas a partir da Vazão Máxima de Longo Termo (Q_{XLT}) do Baixo trecho do Rio Itapecuru, para serem associadas a um dado Tempo de Retorno (Tr), foram geradas a partir das séries

históricas do SNIRH-Hidroweb e ajustadas às curvas de probabilidade da Log-Normal com R² de 0,98, Normal com R² de 0,93, Gumbel com R² de 0,99 e, Pearson Tipo III e Log-Pearson Tipo III com R² de 0,93 e 0,98, respectivamente. Nesse caso, o ajuste escolhido foi a curva de distribuição de probabilidade de Gauss, pela sua simplicidade, mas sugerem-se que tanto a curva de Gumbell ou Log-Pearson Tipo III ou a Gaussiana podem ser utilizadas para o cálculo das vazões máximas a partir de um Tr. As Curvas de Probabilidade em função da Variável Reduzida de Gauss para Máximas (K) pela média anual da série histórica das estações dividido pela sua $Q_{XLT,}$ são mostradas na Figura 6.

Figura 6 – Plotagem das observações adimensionalizadas pela Q_{XLT} do Baixo Itapecuru em função da variável reduzida normal.



Fonte: Registros da Pesquisa (2023).

Na **Tabela 6** há o ajuste da variável K em função do período de retorno não extrapolado e associado à probabilidade de ocorrências de Gringorten, calculando-se os valores da média aritmética das vazões adimensionais correspondentes a cada intervalo, consideradas todas as estações da região do Baixo Itapecuru, e associando-se o valor médio das vazões ao K correspondente ao ponto médio do intervalo. Tendo por base os novos pontos assim definidos, ajustou-se a distribuição empírica para a região.

Tabela 6 – Vazão média admensionalizada pela vazão máxima de longo período do Baixo Itapecuru, associado a um Tr distribuído em Log-Normal

Tr	P(X≤x)	K	Q/QXLT
97	0,010	2,314	4,366

Tr	P(X≤x)	K	Q/QXLT
50	0,020	2,054	3,924
35	0,029	1,898	3,655
25	0,040	1,751	3,232
21	0,047	1,672	3,034
20	0,050	1,645	2,781
15	0,067	1,502	2,593
10	0,100	1,282	2,451
8	0,121	1,169	2,401
5	0,200	0,842	2,290
4	0,250	0,674	2,209
3	0,306	0,507	2,165
2	0,454	0,116	2,120
2	0,602	-0,258	2,057
1	0,879	-1,169	2,038

Fonte: Registros da Pesquisa (2023).

4.3. Modelo Tradicional de Regionalização com Associação das Variáveis Explicativas para o Alto e Médio Cursos do Rio Itapecuru

Foram realizados ajustes exponenciais, polinomiais, de regressão múltipla e lineares para as estações do Alto e Médio Itapecuru e seus afluentes e, os melhores ajustes de máximas e de médias, foram aquelas apresentadas nas Tabelas 7 e 8, cuja aptidão estatística do Teste F para duas amostras foram bastante positivas em relação às suas variâncias. Portanto, além dos coeficientes de correlação quadrática e Nash-Sutcliffe que tiveram resultados razoáveis para a maior parcela de equações, foram também calculados a comparação das variâncias com nível de significância de 5%.

Para a Q_{MLT} o F calculado foi maior que o tabelado (F_{calc} 1,57 < F_{tab} 2,40) e, o valor de P (0,19), foi maior que o nível de significância adotado (0,05). Já para as vazões máximas o F da Q_{XLT} calculado foi maior que o tabelado (F_{calc} 2,20 < F_{tab} 2,98) e, o valor de P (0,01), foi maior que o nível de significância adotado (0,05), isto é a equação que possui o menor contraste entre as médias dos dados medidos e calculados é aquela com maior aptidão de representar o modelo. Portanto, foram selecionados os modelos presentes neste tópico para cada restrição de uso da área de no mínimo 150 km².

Foram observados os maiores erros e resíduos das vazões médias para os pequenos afluentes, em magnitude de -1,73 m³/s de resíduo e -76,6% de erro em Nazaré para o Rio Balseiro, na Estação Mendes com -4,6 m³/s de resíduo e -69,97% de erro para o Rio Correntes; -1,75 m³/s de resíduo e -22,0% de erro para o Riacho Inhumas, -1,12 m³/s de resíduo e -50,9% de erro para o Riacho do Brejão. Esses erros para as vazões médias são esperados devido a diversos fatores, tais como, no caso de Nazaré, que monitora o Rio Balseiros, e que possui uma série histórica pequena de sete anos; e, os outros dois pontos definidos a partir do Banco de Dados da SEMA-MA que são também uma série

histórica de até seis anos e não são dados monitorados diuturnamente e sim nos trimestres mais secos. No entanto, todos esses resíduos e erros para um trabalho sem campo, estão geralmente ponderados a favor da segurança, ao se acreditar que esses valores são menores que aqueles usuais ocorridos dentro da sub-bacia - os erros tenderão a diminuir à medida que os valores de vazão crescerem para valores próximos do calculado, condicionados ao aumento da série histórica.

Tabela 7 – Equação de regionalização de vazões médias para o médio e alto Itapecuru.

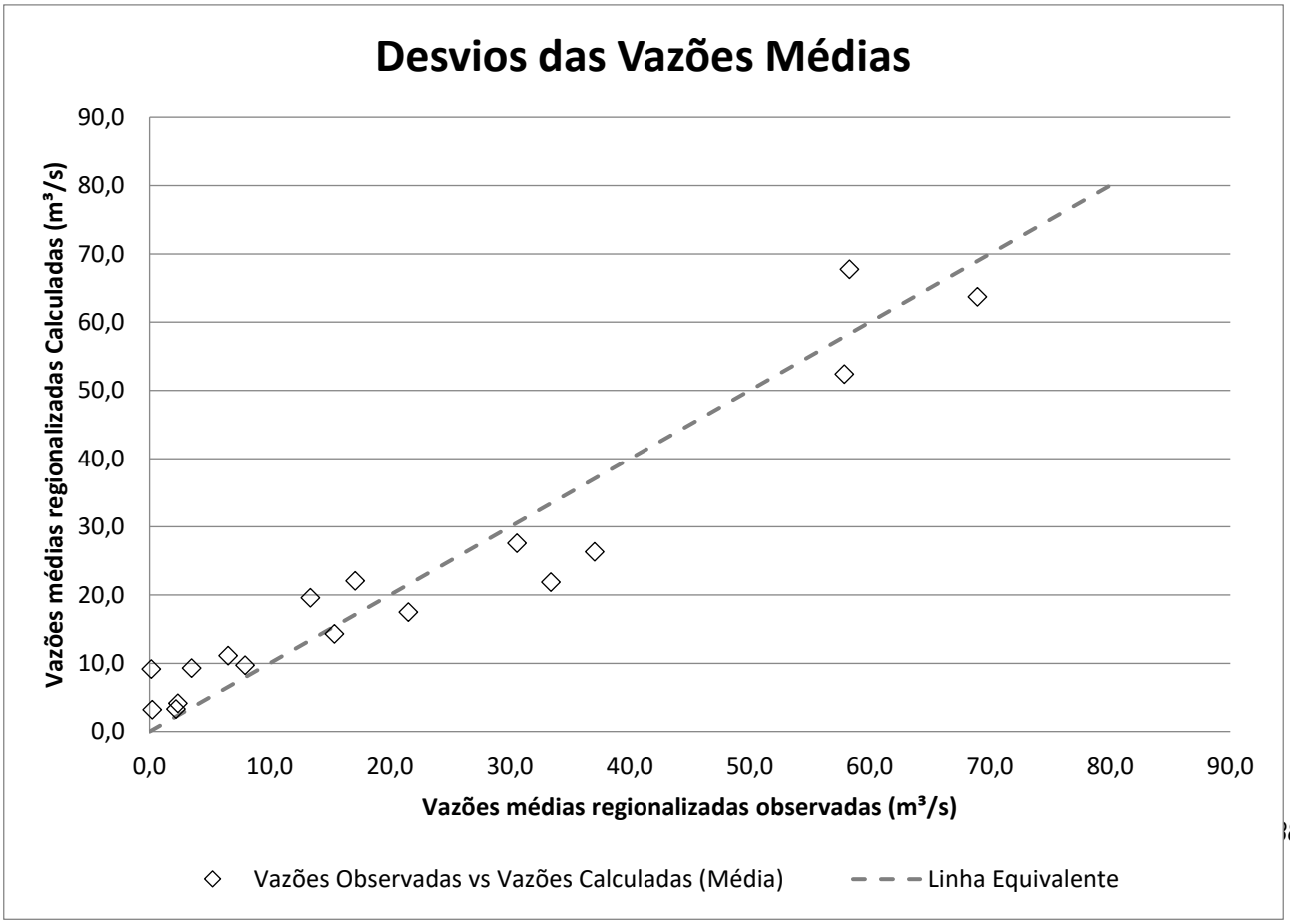
Qmédia Regionalizada	R^2	Nash-Sutcliffe	F
Q = 48,62+0,00195*A-31,36*P	0,85	0,83	1,57
Limites de utilização 150 < A< 50.000 km²			

Fonte: Registros da Pesquisa (2023).

A Figura 7 representa a ilustração dos desvios das vazões médias quando apresenta nos eixos das abscissas os valores de vazão observados dos postos fluviométricos e processos e, no eixo das ordenadas, atribuem-se os valores de vazão calculados pela equação da Tabela 5. A linha pontilhada representa o valor equivalente da vazão.

Por sua vez, os erros e resíduos das vazões máximas ocorreram para as estações de Colinas, Mirador e Montevidéu que monitoram as vazões do rio principal, o Rio Itapecuru. Os valores de erros e resíduos foram de 11,37% e 22,65 m³/s para Colinas; erros e resíduos de 26,11% e 23,29 m³/s para Mirador; e, erros e resíduos de 10,35% e 26,87 m³/s para Montevidéu, respectivamente. Esse erro era esperado já que se trata de vazões de cheia e outros fatores relacionados ao comportamento hidráulico nesses locais, em pontos do próprio Rio Itapecuru, com áreas drenantes bastante grandes e justificado pelos efeitos hidráulicos de áreas de baixa declividade e alagados; de áreas de remanso; de condições de uso e ocupação do solo; da hidrogeologia e das condições do solo da região; da casualidade de eventos de baixo tempo de recorrência em sequência; de obras de infraestrutura e drenagem; e, da influência dessas drenagens e das áreas urbanas e suas regiões ribeirinhas. Todos esses fatores podem gerar locais de enchimento e drenagem que podem alterar as vazões em determinados trechos em diversos graus de magnitude.

Figura 7 – Vazões médias calculadas em função das vazões médias observadas e linha equivalente.



Fonte: Registros da Pesquisa (2023).

Durante o processo global da Bacia Hidrográfica do Itapecuru, esses dados poderão ser modificados de acordo com a região hidrográfica (ALTO, BAIXO E MÉDIO CURSOS), podendo os maiores erros serem separados nas regiões hidráulicas corretas, já que Montevidéu e Caxias estão na metade do médio para o Baixo Curso e podem estar associadas às equações do Baixo Curso do Rio Itapecuru.

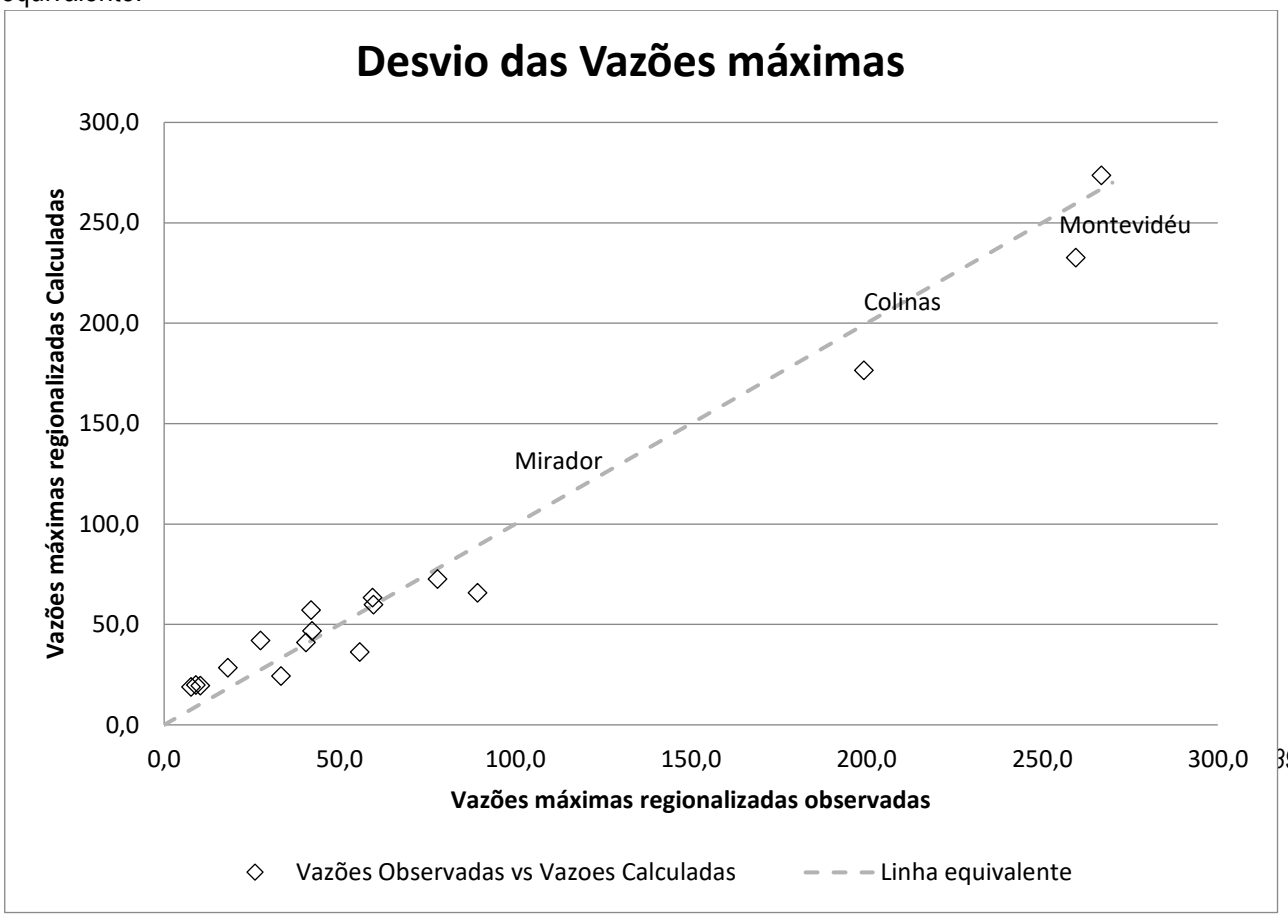
Tabela 8 – Equação de regionalização de vazões máximas para o médio e alto Itapecuru

Vazão Máxima Regionalizada	R^2	Nash-Sutcliffe	F
Q = 21,9+0,008*A-2,815*P	0,95	0,94	1,26
Limites de utilização 150 < A< 50.000 km²			

Fonte: Registros da Pesquisa (2023).

A Figura 8 representa a ilustração dos desvios das vazões máximas ao apresentar nos eixos das abscissas os valores de vazão observados dos postos fluviométricos e processos e, no eixo das ordenadas, atribuem-se os valores de vazão calculados pela equação da Tabela 6. A linha pontilhada representa o valor equivalente da vazão.

Figura 8 – Vazões máximas calculadas em função das vazões máximas observadas e linha equivalente.



Fonte: Registros da Pesquisa (2023).

4.4. Modelo Tradicional de Regionalização com Associação das Variáveis Explicativas para o Baixo Curso do Rio Itapecuru

Foram realizados ajustes exponenciais, polinomiais, de regressão múltipla e lineares para as estações do Alto e Médio Itapecuru e seus afluentes e, os melhores ajustes de máximas e de médias, foram aquelas apresentadas na Tabela 9, cuja aptidão estatística do Teste F para duas amostras, foram bastante positivas em relação às suas variâncias. Os coeficientes de correlação quadrática e Nash-Sutcliffe também tiveram resultados razoáveis para a maior parcela de equações, foram também calculados a comparação das variâncias com nível de significância de 5%. Para a Q_{MLT} o F calculado foi maior que o tabelado (F_{calc} 1,10 < F_{tab} 3,17) e, o valor de P (0,04), foi maior que o nível de significância adotado (0,05). Já para as vazões máximas o F da Q_{XLT} calculado foi maior que o tabelado (F_{calc} 0,31 < F_{tab} 0,86) e, o valor de P (0,04), foi maior que o nível de significância adotado (0,05). A equação que possui o menor contraste entre as médias dos dados medidos e calculados é que têm maior aptidão de representar o modelo.

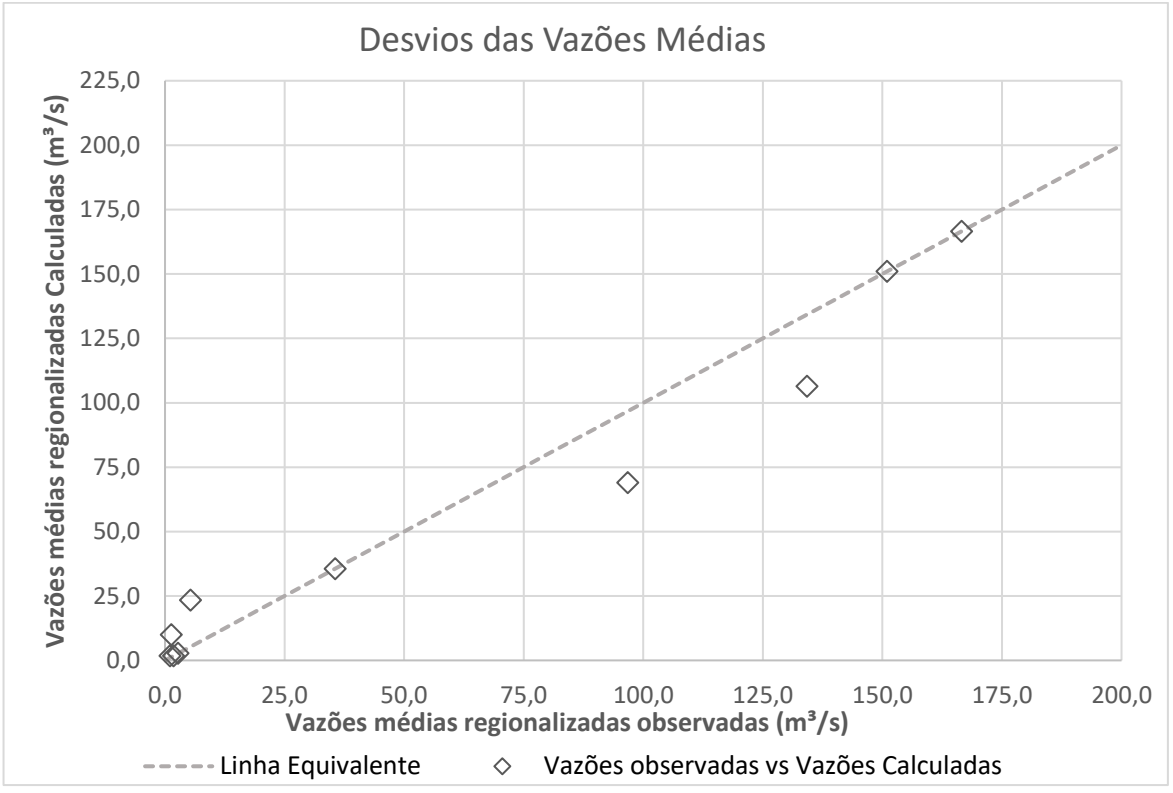
Foram observados os maiores erros e resíduos das vazões médias também para os pequenos afluentes, em magnitude na Estação Caxias e Codó com -27,8 m³/s de resíduo e -0,8 e 15,4 % de erro, respectivamente, para o Rio Itapecuru nessas localidades; -0,75 m³/s de resíduo e -8% de erro para o Rio Peritoró, -1,8 m³/s de resíduo e -63,6 % de erro para o Rio Pirapemas. Todos esses resíduos e erros para um trabalho sem campo, estão geralmente ponderados a favor da segurança, em razão de que esses valores são menores que aqueles usuais ocorridos dentro da sub-bacia, ou seja, os erros tenderão a diminuir à medida que os valores de vazão crescerem para valores próximos do calculado, condicionados ao aumento da série histórica.

Tabela 9 – Equação de regionalização de vazões máximas e médias para o Baixo Itapecuru.

	Vazões regionalizadas	R²	Nash-Suctcliffe	F
Máximas	$Q = 0{,}962.A^{1{,}49}$	0,98	0,94	1,10
Médias	$Q = 0{,}52.A^{1{,}307}$	0,98	0,97	0,31

Fonte: Registros da Pesquisa (2023).

Figura 9 – Vazões máximas calculadas em função das vazões máximas observadas e linha equivalente.

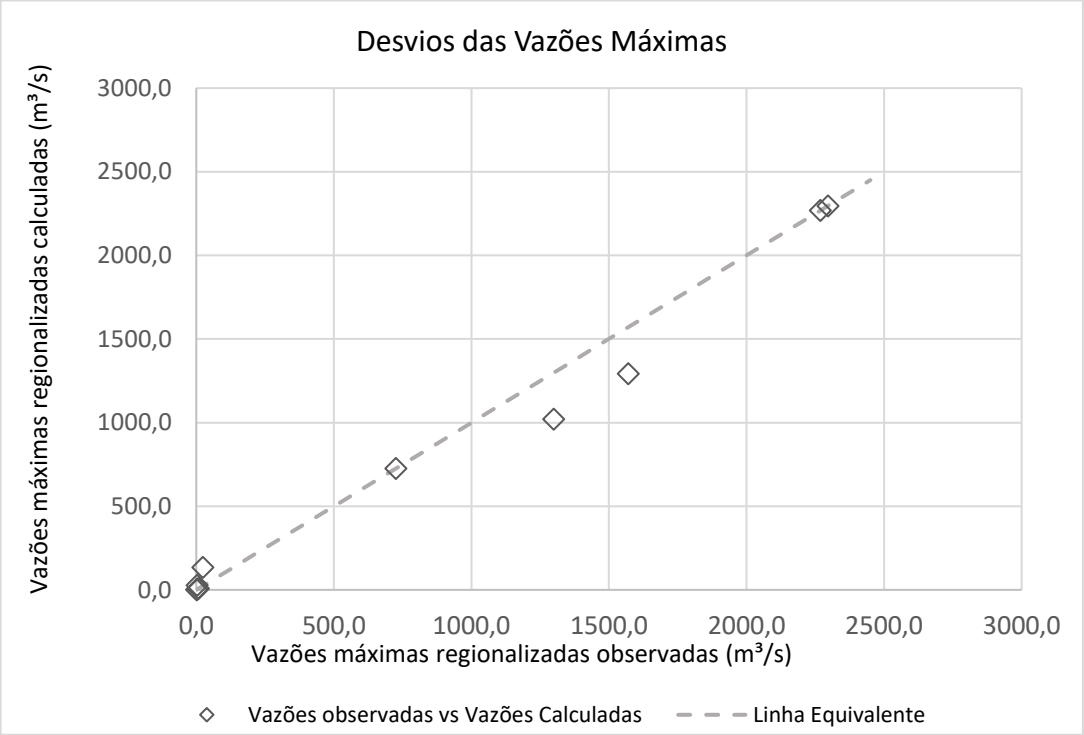


Fonte: Registros da Pesquisa (2023).

A Figura 10 representa a ilustração dos desvios das vazões máximas ao apresentar nos eixos das abscissas os valores de vazão observados dos postos fluviométricos e processos e, no eixo

das ordenadas, atribuem-se os valores de vazão calculados pela equação da Tabela 6. A linha pontilhada representa o valor equivalente à vazão.

Figura 10 – Vazões máximas calculadas em função das vazões máximas observadas e linha equivalente.



Fonte: Registros da Pesquisa (2023).

4.5. Modelo de Regionalização por Krigagem Ordinária Circular

Lançar mão da Krigagem Ordinária Circular com bacias hidrográficas com poucos dados de monitoramento é um desafio por dois motivos: Primeiro que os efeitos pepita e os semivariogramas dão uma péssima ideia de correlação em regiões extremas do recorte e podem gerar erros significativos; e, segundo, as sub-bacias hidrográficas devem estar contidas no recorte espacial para gerar uma menor variabilidade em termos de área de drenagem e representatividade da vazão. Por outro lado, é também uma grande vantagem, pois traduzem a estimativa no nível de planejamento e gerenciamento dos recursos hídricos para analistas e profissionais da área, e o mais importante, com o menor custo possível.

A Krigagem Ordinária Circular foi realizada com os dados das estações SNIRH-Hidroweb (para máximas e médias) e processos da SEMA-MA (apenas para médias) e geraram resultados bastante representativos com resíduos, erros pequenos e menores que 5% em 90,2% da amostra (46 pontos). Os erros maiores foram encontrados na regionalização por Krigagem Ordinária Circular para a

vazão média nas estações Mendes e Nazaré com -11,7% e 16,35%, respectivamente; e, para as vazões máximas nas Estações Montevidéu e Caxias com valores de erros de -24,21% e resíduo de -49,4 m³/s e 18,53% e resíduo de -49,43 m³/s, respectivamente.

Os coeficientes de vazão para média, máximas e da Q90 foram atribuídos aos corpos hídricos da Bacia do Rio Itapecuru e foram mapeados em ambiente SIG. A classificação nos mapas não demonstram a real condição da regionalização devido ao gradiente de cores e ao pequeno número de intervalos de classe para sua representação em relatório, mas o coeficiente segue uma proporcionalidade entre a vazão e a área da bacia hidrográfica e, portanto, as vazões regionalizadas seguem uma distribuição espacial razoável que leva em consideração a área de drenagem e a direção da água na bacia hidrográfica, isto é, de montante para jusante os coeficientes crescem no canal principal.

Entretanto, os dados poderão ser baixados e utilizados após seu carregamento em um repositório de imagens que será disponibilizado junto aos Metadados para plena utilização. A Tabela 10 traz as vazões de permanência Q90 observadas nas estações e regionalizadas por Krigagem Ordinária Circular, associadas aos erros e resíduos em cada ponto, além dos coeficientes utilizadas para a regionalização do Alto, Médio e Baixo Cursos do Rio Itapecuru.

Observa-se que as estações obtiveram erros pequenos em relação aos valores calculados com a exceção da Estação Nazaré (33490000), Fazenda Sobral e Rio Peritoró para as vazões de 90% de permanência no tempo Q90. No entanto, no caso da Estação Nazaré, mesmo com um erro aproximado de -16,35% o resíduo observado foi de -0,02 m³/s que garante a segurança da utilização do método. O mesmo pode ser observado para Fazenda sobral e Peritoró, em que os erros de -21,05 % e 13,93 % geram resíduos de -0,16 e 0,04 m³/s, respectivamente.

Tabela 10 – Vazão regionalizada da Q90 do Alto e Médio Cursos do Rio Itapecuru com respectivos erros e resíduos dos pontos utilizados para regionalização.

	Vazão Q90 Regionalizada						
	Estação	**Código**	Q90 observada (m³/s)	Coeficientes da Q90 ($m^3.h^{-1}.km^{-2}$)	Q90 regionalizada (m³/s)	Erro (%)	resíduo (m³/s)
Alto Curso	São Felino	33410000	2,77	2,82	2,87	-3,65	-0,1
	Mirador	33420000	10,66	6,37	10,73	-0,61	-0,07
	Fernando Falcão	33430000	23,1	17,1	23,11	-0,03	-0,01
	Campo Largo	33450000	25,02	15,72	25,11	-0,37	-0,09
	Porto do Lopes	33460000	25,17	13,12	25,11	0,25	0,06
	Colinas	33480000	31,32	7,67	31,95	-2,01	-0,63
	Nazaré	33490000	0,1	0,18	0,12	-16,35	-0,02
	Outorga	221479	5,71	7,15	5,69	0,42	0,02
	Outorga	*/2018	12,2	14,65	12,22	-0,18	-0,02
	Outorga	*/2019	0,25	1,16	0,24	2,36	0,01
Médio	Mendes	33520000	0,78	0,59	0,87	-11,7	-0,09

	Vazão Q90 Regionalizada						
	Estação	**Código**	Q90 observada (m^3/s)	Coeficientes da Q90 ($m^3.h^{-1}.km^{-2}$)	Q90 regionalizada (m^3/s)	Erro (%)	resíduo (m^3/s)
	Montevidéu	33530000	32,77	4,32	32,75	0,06	0,02
	Caxias	33550000	34,18	3,86	35,08	-2,63	-0,9
	Outorga	*/2019	0,07	1,29	0,07	0,75	0
	Outorga	*/2018	1,23	3,38	1,24	-1,42	-0,02
	Outorga	*2020	0,08	1,33	0,08	-0,36	0
	Outorga	212800	0,03	0,78	0,03	-2,51	0
Baixo Curso	Faz. São Pedro	*/2016	35,50	2,92	35,50	0,00	0,00
	Fazenda Sobral	33620000	0,74	0,58	0,90	-21,05	-0,16
	Coroatá	33630000	38,66	3,26	39,66	-2,60	-1,00
	Peritoró	*/2017	0,30	1,63	0,26	13,93	0,04
	Peritoró	*/2016	0,60	0,70	0,60	0,00	0,00
	Fazenda São José	-	0,88	21,87	0,91	-3,32	-0,03
	Codó	33590000	36,44	3,31	34,24	6,04	2,20
	Rio Tapuio	*/2020	0,67	2,24	0,69	-2,42	-0,02
	Pirapemas	-	1,98	8,35	1,83	7,76	0,15

Fonte: Registros da Pesquisa (2023).

Na **Tabela 11** estão as vazões médias observadas nas estações e regionalizadas por Krigagem Ordinária Circular, associadas aos erros e resíduos em cada ponto, além dos coeficientes utilizados para a regionalização do Alto, Médio e Baixo Cursos do Rio Itapecuru.

Tabela 11 – Vazão média regionalizada do Alto e Médio Cursos do Rio Itapecuru com respectivos erros e resíduos dos pontos utilizados para regionalização.

	Vazão Média Regionalizada						
	Estação	**Código**	Vazão Média observada (m^3/s)	Coeficientes de média ($m^3.h^{-1}.km^{-2}$)	Média regionalizada (m^3/s)	Erro (%)	Resíduo (m^3/s)
Alto Curso	São Felino	33410000	15,38	15,08	15,33	0,34	0,05
	Mirador	33420000	17,12	10,16	17,1	0,16	0,03
	Fernando Falcão	33430000	30,59	22,63	30,57	0,07	0,02
	Campo Largo	33450000	33,43	20,96	33,48	-0,16	-0,05
	Porto do Lopes	33460000	37,08	19,17	36,69	1,04	0,39
	Colinas	33480000	57,89	13,89	57,88	0,01	0,01
	Nazaré	33490000	2,35	3,8	2,42	-2,75	-0,06
	Outorga	221479	13,38	16,83	13,38	0,02	0,00
	Outorga	*/2018	21,53	25,76	21,49	0,17	0,04
	Outorga	*/2019	0,52	2,49	0,53	-0,84	0,00
Médio Curso	Mendes	33520000	6,53	4,42	6,53	-0,06	0,00
	Montevidéu	33530000	58,31	7,72	58,51	-0,35	-0,20
	Caxias	33550000	68,97	7,57	68,73	0,36	0,25
	Outorga	*/2019	0,15	2,84	0,15	0,18	0,00
	Outorga	*/2018	3,5	9,51	3,5	0,09	0,00
	Outorga	*2020	0,14	2,31	0,14	-0,01	0,00
	Outorga	212800	0,24	5,77	0,24	0,13	0,00
Baixo Curso	Fazenda São Pedro	*/2016	166,60	13,41	163,16	2,07	3,45
	Fazenda Sobral	33620000	35,58	20,07	31,00	12,89	4,58
	Coroatá	33630000	150,99	13,96	169,85	-12,49	-18,86
	Peritoró	*/2017	1,05	6,54	1,04	1,15	0,01

Vazão Média Regionalizada						
Estação	**Código**	Vazão Média observada (m^3/s)	Coeficientes de média ($m^3.h^{-1}.km^{-2}$)	Média regionalizada (m^3/s)	Erro (%)	Resíduo (m^3/s)
Peritoró	*/2016	2,73	3,32	2,86	-5,01	-0,14
Fazenda São José	-	1,34	19,85	0,83	38,23	0,51
Codó	33590000	106,46	10,22	105,61	0,80	0,85
Rio Tapuio	*/2020	1,80	5,87	1,80	0,00	0,00
Pirapemas	-	5,34	8,91	1,95	63,51	3,39

Fonte: Registros da Pesquisa (2023).

Observa-se que as vazões médias foram as que melhor responderam ao método ao gerar erros mínimos e resíduos irrelevantes associados no Alto e Médio Cursos. Para o Baixo Curso, a estação de Coroatá e Fazenda Sobral e Fazenda São José tiveram erros expressivos de 12,49, 12,89 e 38,23 %, respectivamente. Para as Fazendas Sobral e São José os processos hidráulicos não são monitorados por série histórica diária. Nessas localidades as vazões foram medidas a cada trimestre e encaminhadas a SEMA-MA, justificando, portanto, o erro apresentado pelo método.

A Tabela 10 traz as vazões máximas observadas nas estações e regionalizadas por Krigagem Ordinária Circular, associadas aos erros e resíduos em cada ponto, além dos coeficientes utilizados para a regionalização do Alto, Médio e Baixo Cursos do Rio Itapecuru. As vazões máximas foram aquelas que apresentaram o ajuste com maior erro, principalmente nas estações em que se concentram todo o volume drenado no Alto, Médio e Baixo Cursos do Rio Itapecuru e que correspondem as Estações de Montevidéu, Caxias, Mendes e Fazenda Sobral. A regionalização de máximas foi realizada apenas para estações do SNIRH-Hidroweb e não consideraram vazões de cheias dos pontos levantados no banco de dados da SEMA-MA por não haver nenhuma informação de cheias nos processos. Esse fato também associa o maior erro da regionalização das vazões médias à falta de dados na bacia sobre as vazões de cheia.

No entanto, algumas parametrizações estão em teste e ensaios de campo em planejamento, para a realização de batimetria, topografia e medição de vazão em pontos objetivos e cruciais para uma regionalização razoável de toda a bacia hidrográfica, tais como o Rio Codozinho, que foi feita uma campanha, não fez parte da regionalização por Krigagem, mas serviu como comparação para o método e está presente na Tabela 12. Alguns desses pontos e campanhas tem como objeto as bacias do Rio Codozinho (Médio e Baixo Cursos) e do Rio Pirapemas (BAIXO CURSO) que estarão associados a vazões diferenciadas dentro da bacia hidrográfica do Rio Itapecuru, não só pelo seu regime e hidrografia, como também pela sua condição regional e de infraestrutura.

Tabela 12 – Vazão máxima regionalizada do Alto e Médio Cursos do Rio Itapecuru com respectivos erros e resíduos dos pontos utilizados para regionalização.

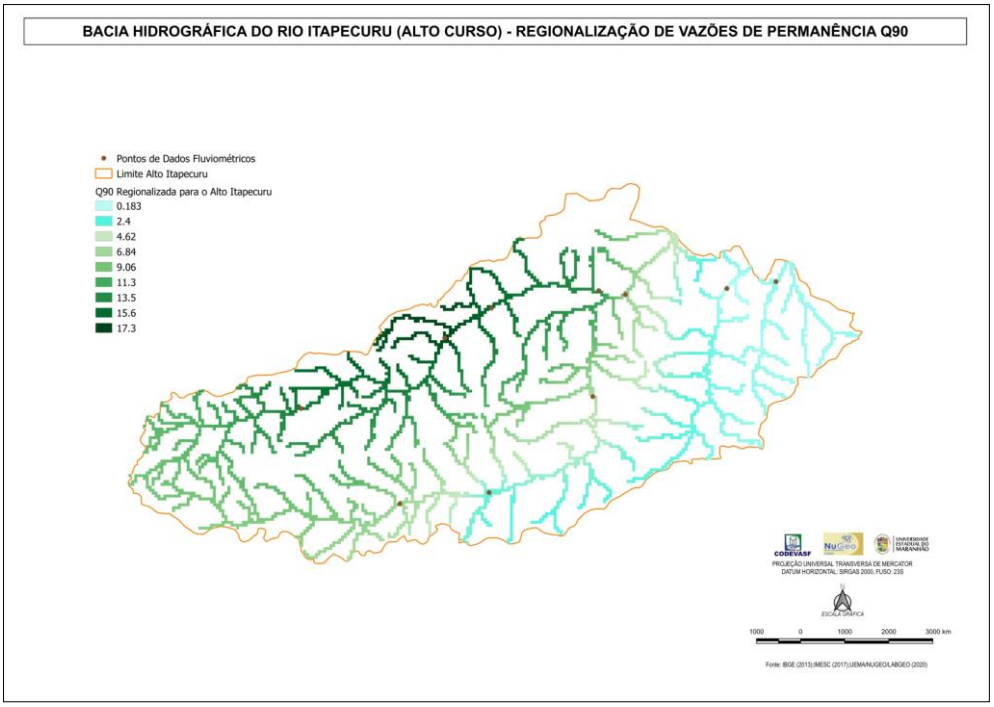
	Vazão Máxima Regionalizada						
	Estação	Código	Vazão Máxima observada (m^3/s)	Coeficientes de máxima ($m^3.h^{-1}.km^{-2}$)	Máxima regionalizada (m^3/s)	Erro (%)	resíduo (m^3/s)
Alto Curso	São Felino	33410000	42,08	42,73	43,44	-3,25	-1,37
	Mirador	33420000	89,19	53,01	89,23	-0,05	-0,04
	Fernando Falcão	33430000	41,86	33,75	45,6	-8,93	-3,74
	Campo Largo	33450000	59,32	38,94	62,2	-4,86	-2,89
	Porto do Lopes	33460000	77,83	42,72	81,77	-5,06	-3,94
	Colinas	33480000	199,25	47,96	199,83	-0,29	-0,58
	Nazaré	33490000	55,71	87,48	55,65	0,12	0,07
Médio Curso	Mendes	33520000	59,6	45,55	67,31	-12,94	-7,71
	Montevidéu	33530000	204,04	33,42	253,44	-24,21	-49,4
	Caxias	33550000	266,82	34,82	316,25	-18,53	-49,43
	Alto Codozinho	**Calculada**	18,12	52,5	19,31	-6,55	-1,19
Baixo Curso	Fazenda Sobral	33620000	725,30	399,37	616,80	14,96	108,50
	Coroatá	33630000	2295,90	187,60	2282,47	0,59	13,44
	Peritoró	33661000	2,63	2,46	2,12	19,37	0,51
	Codó	33590000	1292,68	126,78	1310,06	-1,34	-17,38

Fonte: Registros da Pesquisa (2023).

As Figuras de 11 a 19 apresentam as vazões regionalizadas para permanência de 90% do tempo (Q90), das vazões médias e das vazões máximas separadamente em Baixo, Alto e Médio Cursos do Rio Itapecuru. A utilização dos mapas de regionalização é feita realizando-se o traçado da sub-bacia hidrográfica a partir do ponto de captação e encontrando-se a área de drenagem dessa sub-bacia. Após esse processo basta multiplicar a área de drenagem em km² pelo coeficiente encontrado no pixel sobre o corpo hídrico para encontrar a vazão desejada, seja ela a Q90 (utilizando os mapas de Q90), a média (utilizando os mapas de vazões médias), ou das máximas (utilizando os mapas de vazões máximas). Claro que, para se obter um bom desempenho deve-se encontrar o valor do pixel (que é o valor do coeficiente de vazão) no arquivo original ".tif" no qual se objetará o valor do pixel no ponto de captação, dado que o intervalo de classificação como representado nos mapas a seguir dão apenas uma razoável estimativa das vazões sem a precisão adotada nesse trabalho.

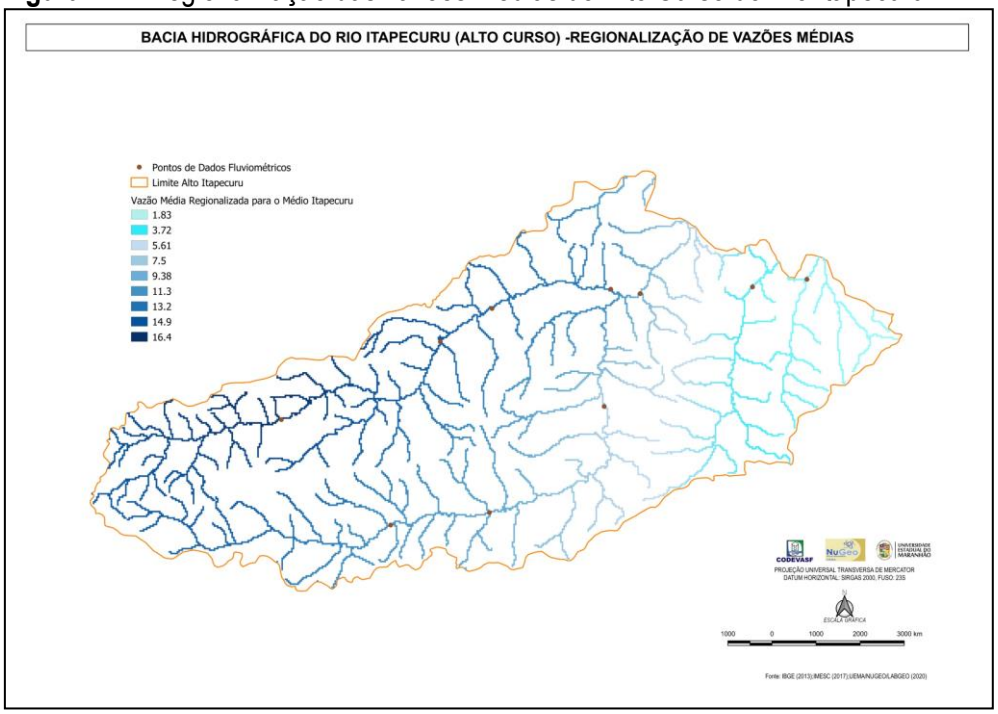
Nos mapas do Baixo e Médio Cursos na localização noroeste deles, está o Rio Codozinho que é um afluente do Rio Itapecuru, que deságua nele em seu Baixo Curso. Por esse motivo houve uma campanha de batimetria do leito e da topografia local para o estabelecimento de curvas de vazões com formulação hidráulica de *Manning*. Assim, o recorte do Rio Codozinho no Médio Curso foi elencado como Alto Codozinho e possui regionalização própria e concernente a todo o processo de regionalização apresentado nesse trabalho. Já no Baixo Itapecuru, da mesma forma, encontra-se o Baixo Codozinho.

Figura 11 – Regionalização das vazões Q90 do Alto Curso do Rio Itapecuru.



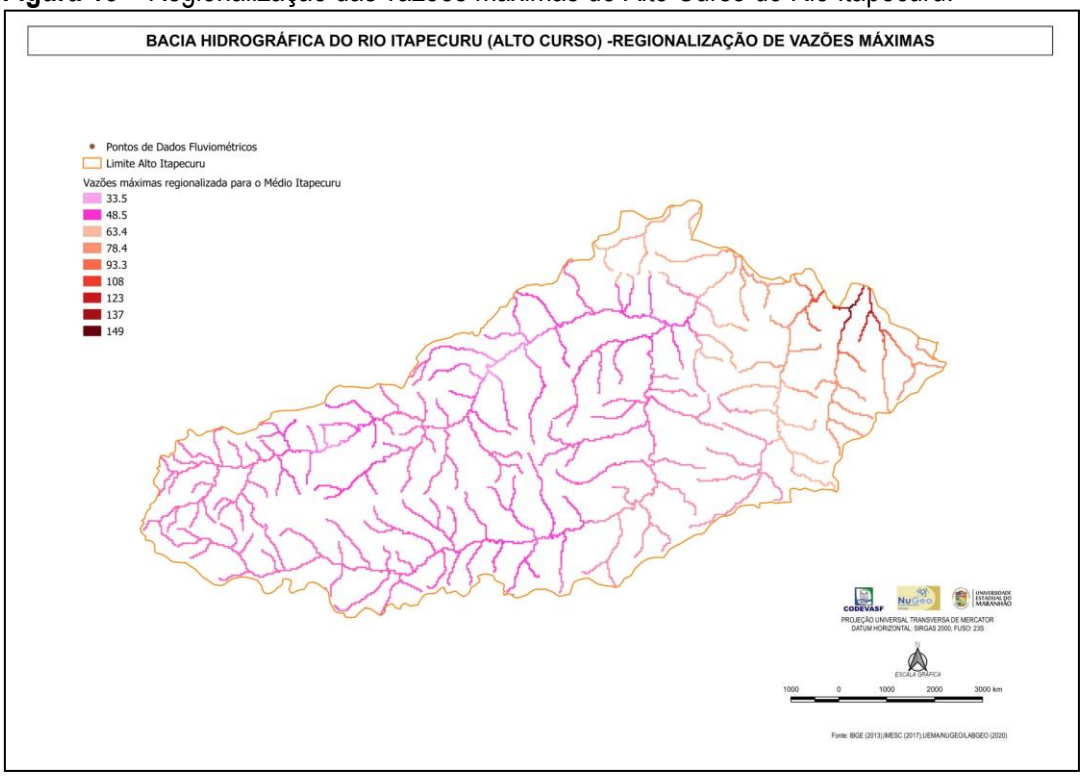
Fonte: Registros da Pesquisa (2023).

Figura 12 – Regionalização das vazões médias do Alto Curso do Rio Itapecuru.



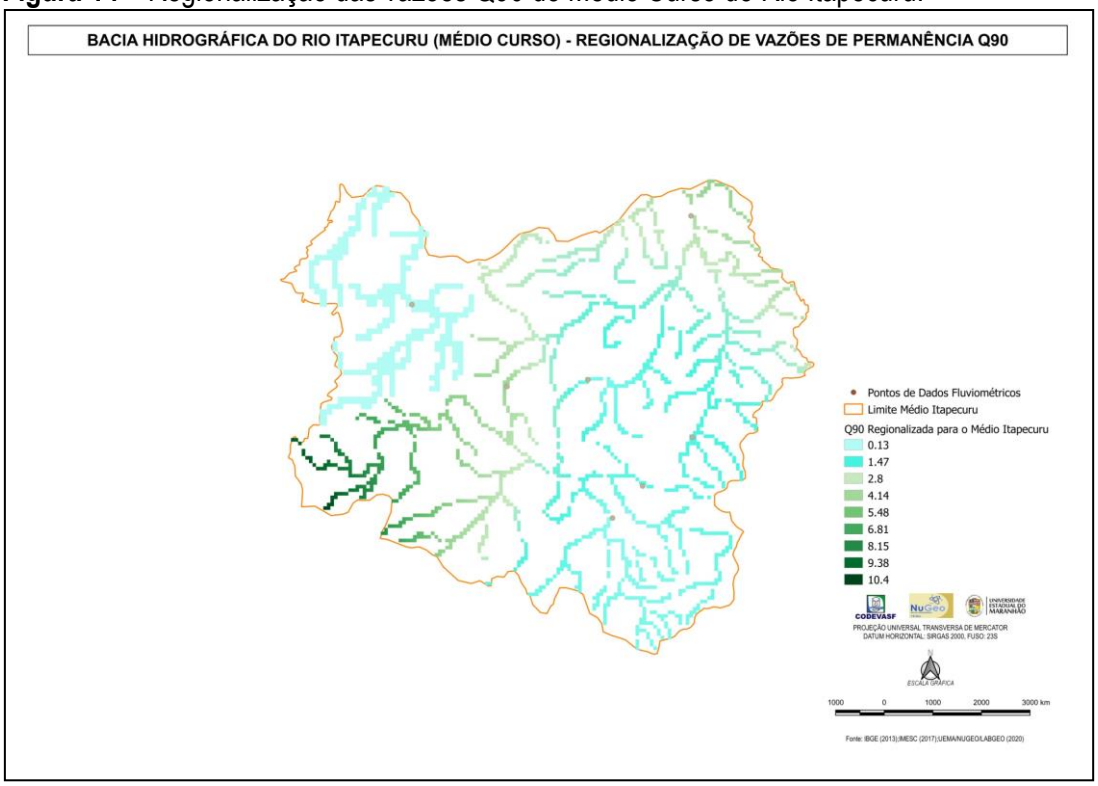
Fonte: Registros da Pesquisa (2023).

Figura 13 – Regionalização das vazões máximas do Alto Curso do Rio Itapecuru.



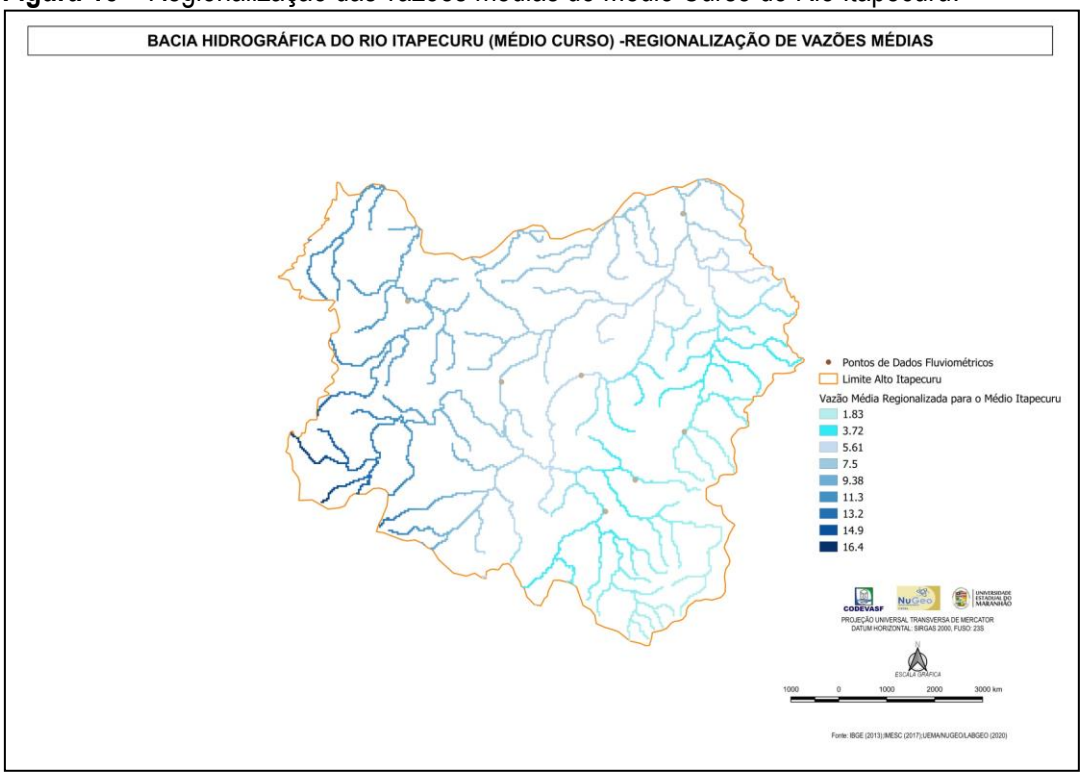
Fonte: Registros da Pesquisa (2023).

Figura 14 – Regionalização das vazões Q90 do Médio Curso do Rio Itapecuru.



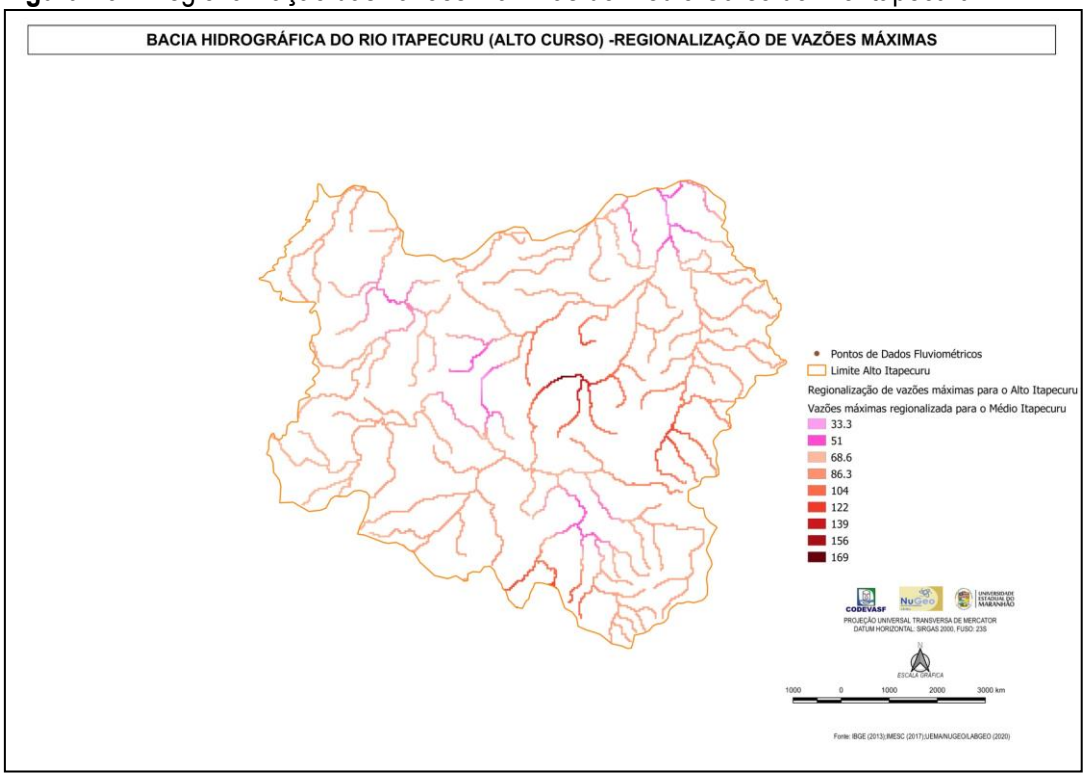
Fonte: Registros da Pesquisa (2023).

Figura 15 – Regionalização das vazões médias do Médio Curso do Rio Itapecuru.



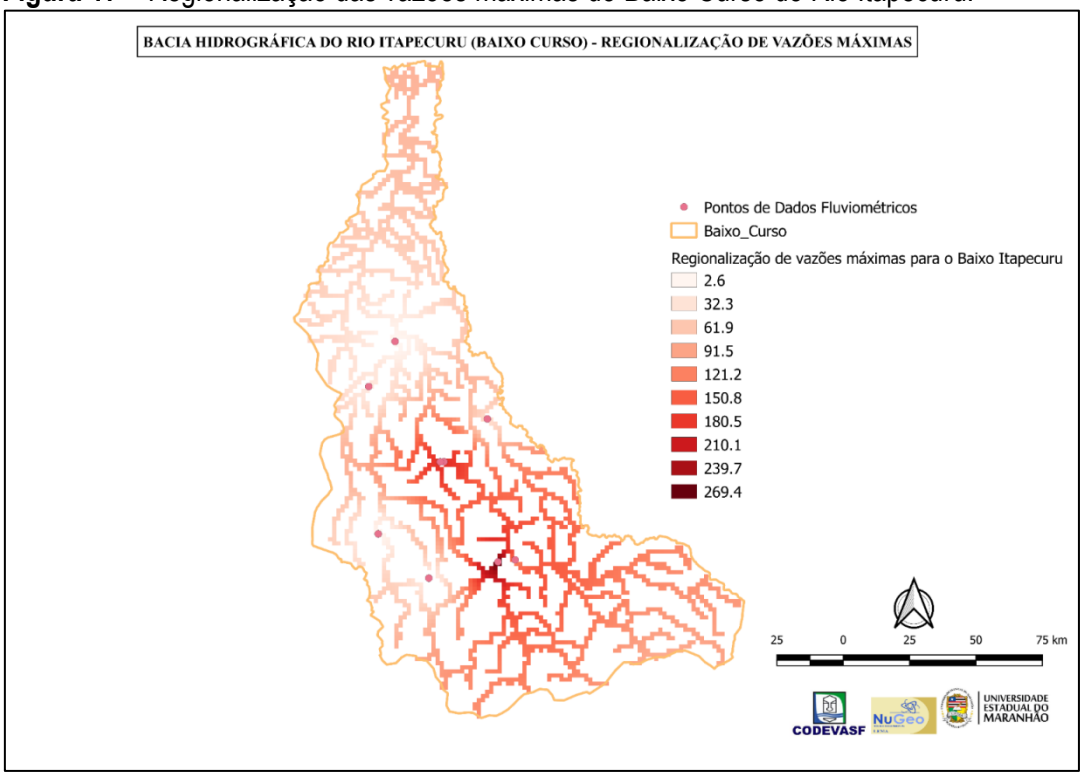
Fonte: Registros da Pesquisa (2023).

Figura 16 – Regionalização das vazões máximas do Médio Curso do Rio Itapecuru.



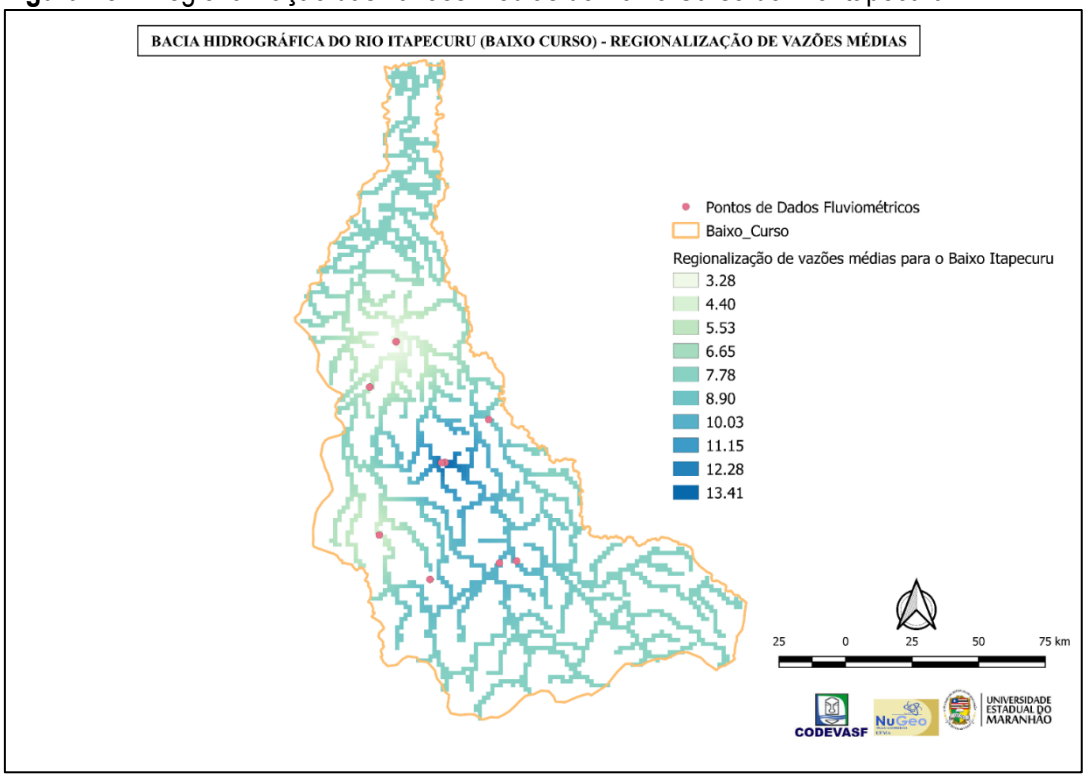
Fonte: Registros da Pesquisa (2023).

Figura 17 – Regionalização das vazões máximas do Baixo Curso do Rio Itapecuru.



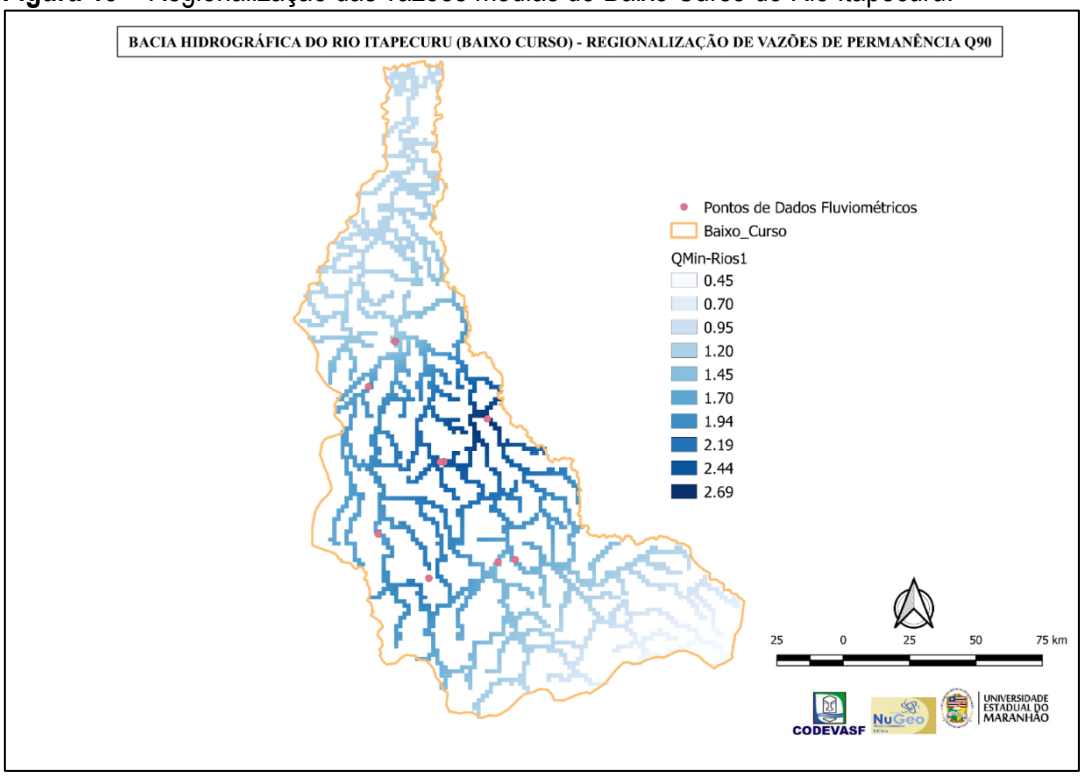
Fonte: Registros da Pesquisa (2023).

Figura 18 – Regionalização das vazões médias do Baixo Curso do Rio Itapecuru.



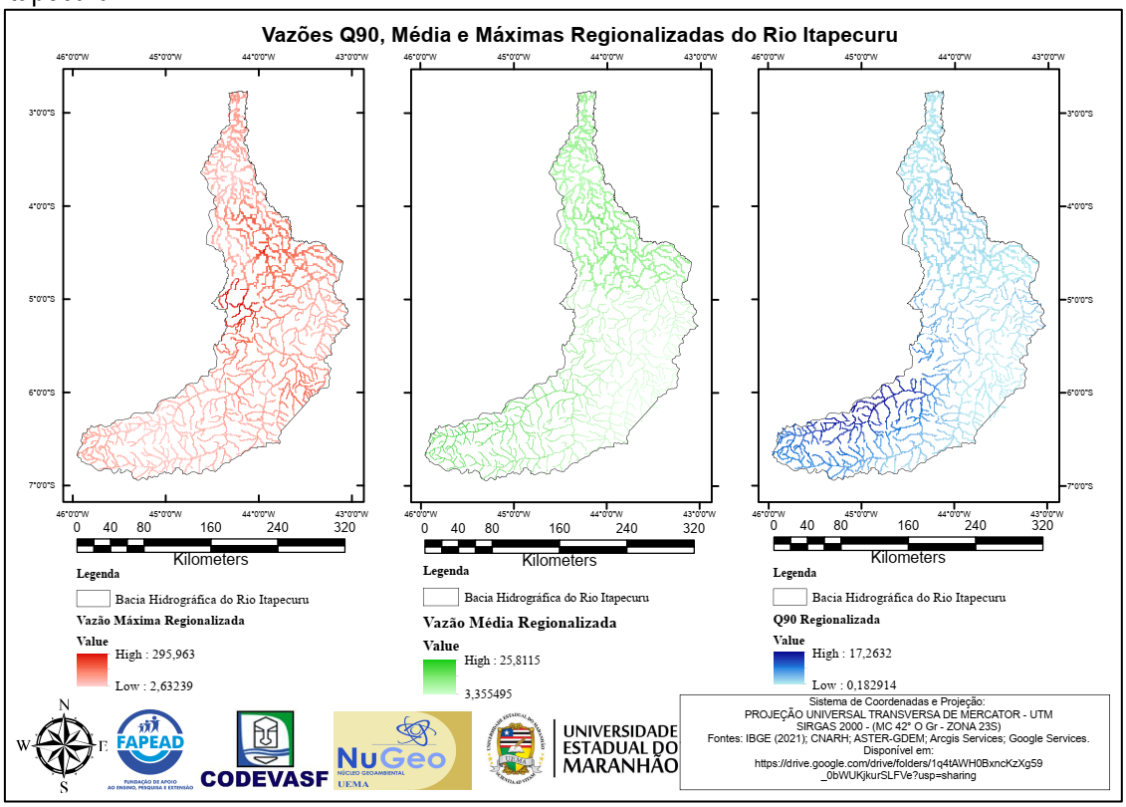
Fonte: Registros da Pesquisa (2023).

Figura 19 – Regionalização das vazões médias do Baixo Curso do Rio Itapecuru.



Fonte: Registros da Pesquisa (2023).

Figura 20 – Regionalização das vazões Q90, máximas e médias da Bacia Hidrográfica do Rio Itapecuru.



Fonte: Registros da Pesquisa (2023).

4.6 Banco de Dados de Usos e Finalidades da Água no Alto, Médio e Baixo Cursos do Rio Itapecuru

O banco de dados é oriundo do Cadastro Nacional de Usuários de Recursos Hídricos – CNARH, e possuem informações entre os anos de 2012 a 2022 dos volumes requeridos; das horas de bombeamento; dos níveis estáticos e dinâmicos quando se trata de manancial subterrâneo; dos números do CNARH e do processo; dados pessoais dos requerentes; a origem da água (subterrânea ou superficial); a finalidade do uso da água; a referência geoespacial; o número da Outorga de Uso e sua validade. Esses dados foram tratados, corrigidos e consolidados para se estabelecer a separação por altura do curso hídrico e sua origem, para finalmente ser gerado o banco de dados espacializado.

A partir da consolidação do banco de dados foi possível estabelecer cenários para horizontes de 5, 10 e 20 anos em relação ao crescimento do licenciamento ambiental do uso da água, no território da Bacia Hidrográfica do Rio Itapecuru. Também foi possível observar as finalidades predominantes por trecho da Bacia do Rio Itapecuru, verificar o *déficit* do saneamento básico em termos de cadastro, correlacionar atividades econômico-financeiras e de serviços que utilizam água em seu processo produtivo, seja ela meio ou fim, para cada região, o que faz que seja possível prever políticas públicas de saneamento e ou atividades econômico-financeiras e de serviços dentro da bacia do Itapecuru.

No entanto, na espacialização dos dados há uma enorme lacuna entre os empreendimentos realizados no território estudado e as licenças para o uso da água, seja ela subterrânea ou superficial, o que equivale dizer que há um *déficit* enorme de Outorgas do Direito de Uso da Água (ODUs) e devem ser considerados futuramente nas campanhas de autodeclaração e vistorias para esses usos pelo setor público.

Embora o recurso hídrico seja tão importante nas atividades econômicas, o que se percebe é que não há uma relação direta entre desenvolvimento e cadastro de usuários de recursos hídricos, nesse caso há uma lacuna entre as atividades econômicas estabelecidas na Bacia do Rio Itapecuru e o seu licenciamento ambiental em termos do uso da água. E isso, pode ser obeservado quando é tratada a estreita relação entre o cadastro de usuários com Outorga de Diluição de Efluentes e ou captação para abastecimento público, que são concessões de serviços públicos, os quais se constituem como pedidos universalizados e primordiais ao desenvolvimento de uma dada região.

Foram analisados 726 processos, entre os quais, Outorga do Direito de Uso (ODU) e de Diluição de Efluentes; Dispensa ou Carta de Inexibilidade; Renovação de Outorgas (renovadas por um mesmo usuário); pleitos indeferidos, além da validade de cada uma dessas licenças. Destaca-se a quantidade de licenças vencidas, o equivalente a 68% do total de pedidos de licenciamento por usuários,

número que supera as válidas. Nesse trabalho são reportados todos os pleitos de usuários e considerados nas análises metodológicas de projeção e consolidação do banco de dados.

Essas licenças requeridas e deferidas, com validade vencida e sem renovação, em sua maioria, ainda se encontram em uso e isso decorre da pequena mobilização para cadastramento de usuários de recursos hídricos pelo órgão gestor e fiscalização ambiental incipiente ou inexistente. Também o fato de que a expedição do documento Outorga do Direito de Uso (ODU), obrigatório para um solicitante de financiamento em bancos ou entidades financeiras, não esteja sendo requerida ao órgão gestor responsável por essa expedição.

Após a documentação exigida para a emissão de outorga do uso de recursos hídricos ser apresentada ao Órgão Estadual de Meio Ambiente (OEMA) e o recurso financeiro for elegido, será realizada a lavratura do documento licenciador outorgante. Depois, considerando o prazo máximo de vigência do documento, serão necessárias outras motivações para que o usuário faça sua requisição. Dessa maneira, o OEMA poderá exigir novos documentos para instrução processual ou indicar procedimento de cadastramento, pela fiscalização ou para manter e ou emitir certificações ou outorgas de uso de recursos hídricos na bacia hidrográfica, ou podem ser renovadas pela vontade e interesse do usuário em estar em dias com o órgão gestor de recursos hídricos estadual.

No Quadro 1 estão as quantidades de Outorgas analisadas que pertecem a Bacia Hidrográfica do rio Itapecuru, além dos dados de pedidos de águas superficiais, subterrâneas, total, inexigibilidade, renovação, indeferimento e validade.

Quadro 1 – Quantidade de pedidos de Outorgas do Direito de Uso dos recursos Hídricos na Bacia Hidrográfica do Rio Itapecuru.

Origem	ODU	ODU Simplificada	Renovação	Indeferimento	Válidas	Vencidas
Superficial	223	27	9	4	75	188
Subterrânea	426	3	33	1	209	254
Total	**649**	**30**	**42**	**5**	**284**	**442**

Fonte: Registros da Pesquisa (2023).

No **Quadro 2** informa a quantidade de Outorgas válidas e vencidas por trecho do Rio Itapecuru separados em Superficiais e Subterrâneas e o total de pedidos de ODUs por trecho. É demonstrado que dentre as licenças superficiais, as vencidas superam as válidas em todos os trechos do Rio Itapecuru. Já para o licenciamento das águas subterrâneas, de maneira singular, o Alto Curso possui uma quantidade maior de licenças válidas em detrimento das licenças superficiais. Mas, como a região do Alto Curso do Rio Itapecuru faz parte da expansão agrícola, industrial e de serviços nos últimos

15 anos, é esperado, que esses números estejam de acordo com o desenvolvimento econômico da região nas duas últimas décadas.

Quadro 2 – Quantidade ODUs válidas e vencidas por Trecho da Bacia Hidrográfica do Rio Itapecuru

	Alto	**Médio**	**Baixo**
Total de Licenças Superficiais	**48**	**67**	**148**
Válidas	20	13	44
Vencidas	28	54	104
Total de Licenças Subterrâneas	**116**	**158**	**188**
Válidas	62	64	83
Vencidas	54	94	105
Total	**165**	**225**	**336**

Fonte: Registros da Pesquisa (2023).

Na Tabela 13 **–** Outorgas Superficiais do Direito de Uso da Água por municípios no Alto Curso do Rio Itapecuruestão as ODUs em números, por município e utilização das águas da Bacia Hidrográfica do Rio Itapecuru nos limites de seu Alto Curso (*i.e*. alguns municípios têm áreas sobre duas ou mais bacias, mas a origem da água deve ser aquela da bacia hidrográfica estudada, que sofre os processos hidrológicos superficiais e desconsideram efeitos hidrogeológicos heterogêneos e adversidades das bacia geológicas locais). Também estão apresentados no quadro os pleitos separados por finalidade, o total de pedidos de Outorgas por trecho e a quantidade de ODUs.

É bastante preocupante, do ponto de vista do saneamento ambiental, o grande número de licenças vencidas na região e, até agosto de 2022, não há registro de ODUs para Esgotamento Sanitário e ou Diluição de Efluentes em águas superficiais, e apenas cinco licenças para abastecimento público, somando-se autorizações superficiais e subterrâneas em 21 municípios integrantes do Alto Curso.

Tabela 13 – Outorgas Superficiais do Direito de Uso da Água por municípios no Alto Curso do Rio Itapecuru.

Município / Usos	Total de ODUs Superficiais	Abastecimento Público	Consumo Humano	Criação Animal	Esgotamento Sanitário	Aquicultura	Indústria	Irrigação	Mineração	Obras Hidráulicas	Reservação e Energia	Comércio e Serviços	Outras
Colinas	9	1	0	0	0	1	0	6	0	0	0	0	1
Fernando Falcão	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Loreto	8	0	0	1	0	0	0	6	0	0	0	0	1
Mirador	8	0	0	3	0	0	0	4	1	0	0	0	0
Passagem Franca	6	0	0	3	0	0	0	1	0	0	0	0	2
Pastos Bons	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
São Domingos do Azeitão	2	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0
São Domingos do Maranhão	9	1	0	6	0	1	0	0	0	1	0	0	0
São Felix de Balsas	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Tuntum	3	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	1
Total	**48**	**2**	**0**	**13**	**0**	**2**	**0**	**21**	**1**	**2**	**0**	**0**	**7**

Fonte: Registros da Pesquisa (2023).

As ODUs em números por município dentro dos limites do Alto Curso do Rio Itapecuru, separados por finalidade, total de Outorgas e quantidade de ODUs Subterrâneas por finalidade estão na Tabela 14. É notado grande número de licenças vencidas e não renovadas na região, principalmente aquelas referentes ao consumo humano. A maior parte das ODUs, denominadas de outras, é para umectação de vias e balneabilidade.

Tabela 14 – Outorgas Subterrâneas do Direito de Uso da Água por município no Alto Curso do Rio Itapecuru.

Município / Usos	Total de ODUs Subterrâneas	Abastecimento Público	Consumo Humano	Criação Animal	Esgotamento Sanitário	Aquicultura	Indústria	Irrigação	Mineração	Obras Hidráulicas	Reservação e Energia	Comércio e Serviços	Outras
Colinas	26	1	12	3	0	0	2	1	0	0	0	0	7
Fernando Falcão	6	0	4	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Jatobá	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
Loreto	3	0	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Mirador	22	0	14	0	0	0	0	3	0	0	0	0	5
Paraibano	4	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Passagem Franca	8	0	3	2	0	0	1	0	0	0	0	0	2
Pastos Bons	3	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sambaíba	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
São Domingos do Azeitão	29	0	28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
São Domingos do Maranhão	21	2	5	0	0	0	0	6	0	0	0	0	8
São Félix de Balsas	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
São João dos Patos	2	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
São Raimundo das Mangabeiras	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Sucupira do Norte	3	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Tuntum	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Total	**133**	**3**	**79**	**9**	**0**	**0**	**3**	**10**	**0**	**0**	**0**	**0**	**29**

Fonte: Registros da Pesquisa (2023).

Na Tabela 15 estão presentes a totalidade de ODUs Superficiais por finalidade, por município, que fazem parte dos usuários de recursos hídricos do Médio Curso do Rio Itapecuru. Novamente nenhuma ODU Superficial para abastecimento público e apenas três autorizações de diluição de efleuentes em 25 municípios que integram esse curso do rio.

Tabela 15 – Outorgas do Direito de Uso da Água Superficial por município no Médio Curso do Rio Itapecuru.

Município / Usos	Total de ODUs Superficiais	Abastecimento Público	Consumo Humano	Criação Animal	Esgotamento Sanitário	Aquicultura	Indústria	Irrigação	Mineração	Obras Hidráulicas	Reservação e Energia	Comércio e Serviços	Outras
Buriti Bravo	9	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	6	1
Caxias	12	0	0	1	3	2	1	3	0	0	0	0	2
Dom Pedro	5	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fortuna	2	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1
Gonçalves Dias	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
Governador Eugênio Barros	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Governador Luiz Rocha	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Graça Aranha	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Lagoa do Mato	11	0	0	6	0	1	0	0	0	2	0	1	1
Matões	3	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0
Parnarama	25	0	0	0	0	0	0	10	0	1	0	9	5
Total	**69**	**0**	**0**	**13**	**3**	**3**	**1**	**17**	**0**	**5**	**0**	**16**	**11**

Fonte: Registros da Pesquisa (2023).

Na **Tabela 16** apresenta-se a totalidade de ODUs Subterrâneas por finalidade, por município, que fazem parte dos usuários de recursos hídricos do Médio Curso do Rio Itapecuru.

Tabela 16 – Outorgas do Direito de Uso da Água Subterrâneas por município no Médio Curso do Rio Itapecuru.

Município / Usos	Total de ODUs Subterrâneas	Abastecimento Público	Consumo Humano	Criação Animal	Esgotamento Sanitário	Aquicultura	Indústria	Irrigação	Mineração	Obras Hidráulicas	Reservação e Energia	Comércio e Serviços	Outras
Buriti Bravo	11	0	6	0	0	0	2	0	0	0	0	0	3
Caxias	66	1	32	6	0	0	17	0	0	0	0	0	10
Dom Pedro	3	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Fortuna	3	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1
Governador Archer	2	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Governador Eugênio Barros	10	1	2	4	0	0	0	1	0	0	0	0	2
Governador Luiz Rocha	3	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Graça Aranha	2	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1
Lagoa do Mato	4	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	2
Matões	6	0	4	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1
Parnarama	17	0	12	2	0	0	0	0	0	0	0	0	3
Santo Antônio dos Lopes	6	0	3	0	0	0	1	0	0	0	0	0	2
São João do Soter	7	1	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Senador Alexandre Costa	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
Timon	6	0	0	0	0	3	0	1	0	0	0	0	2
Total	**148**	**3**	**70**	**14**	**0**	**4**	**20**	**5**	**0**	**0**	**0**	**0**	**32**

Fonte: Registros da Pesquisa (2023).

Para melhor análise das ODUs no Médio Curso do Rio Itapecuru há de se destacar a quantidade total de Outorgas vencidas, que não foram renovadas, mas que há a possibilidade de estar ainda em uso pelo requerente e que devem ter atenção do Poder Público

O licenciamento ambiental do empreendimento, tais como as LIs, LPs e LOs não são requeridas pelos bancos, mas a Outorga do Uso da Água o é, e portanto, ao requerer e receber a Outorga pela primeira vez o usuário consegue seu financiamento e não vê a importância de se renovar a ODU. Isso contribui para o alto número de licenças vencidas identificadas no banco de dados. O número de licenças totais para o Médio Curso é de 229 ODUs entre os anos de 2013 e 2020, no entanto, apenas 91 dessas licenças estão válidas e 86 delas estão vencidas, e mais 52 novas licenças estão em análise na SEMA-MA. Tal fato demonstra a incapacidade atual do Órgão Gestor de recursos Hídricos em atuar na orientação, no acompanhamento efetivo das ações e planejamento estratégico em relação às águas e na fiscalização; visto que, essa demanda será crescente e desafiadora para o órgão gestor.

No Médio Curso o total de ODUs entre os anos de 2012 e 2022 são de 225 Outorgas emitidas dentro desse intervalo de tempo, no entanto, apenas 77 delas são válidas, 148 se encontram vencidas e sem proposta de renovação. Isso demonstra que há uma relação direta entre o número das ODUs subterrâneas e o quantitativo de ODUs para consumo humano na maioria dos municípios representados nas duas tabelas.

As Tabela 17 e 18 apontam o total de ODUs Superficiais e Subterrâneas por finalidade, por município, que fazem parte dos usuários de recursos hídricos do Baixo Curso do Rio Itapecuru.

Tabela 17 – Outorgas do Direito de Uso da Água Superficiais por município no Baixo Curso do Rio Itapecuru

Município / Usos	Total de ODUs Superficiais	Abastecimento Público	Consumo Humano	Criação Animal	Esgotamento Sanitário	Aquicultura	Indústria	Irrigação	Mineração	Obras Hidráulicas	Reservação e Energia	Comércio e Serviços	Outras
Aldeias Altas	7	0	0	2	0	1	1	3	0	0	0	0	0
Alto Alegre do Maranhão	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Arari	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Axixá	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Bacabal	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Bacabeira	6	0	0	0	0	2	0	1	2	0	0	0	1
Cantanhede	8	1	0	0	0	2	0	2	2	0	0	0	1
Capinzal do Norte	4	0	1	0	0	2	1	0	0	0	0	0	0
Codó	21	0	0	2	0	4	2	7	0	1	0	0	5
Coroatá	13	1	0	1	1	1	0	3	2	0	0	1	3
Itapecuru Mirim	33	2	1	0	5	2	18	1	0	0	0	0	4
Lima Campos	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Matões do Norte	3	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Miranda do Norte	5	0	0	1	2	0	0	0	0	0	1	0	1
Peritoró	3	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0
Pirapemas	8	1	0	5	0	0	0	0	1	0	0	0	1
Presidente Juscelino	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Rosário	11	1	0	0	4	0	1	0	0	1	0	0	4
Santa Rita	20	3	0	0	0	6	0	4	0	4	0	0	3
São Luís Gonzaga do Maranhão	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
São Mateus do Maranhão	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Timbiras	3	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0
Vargem Grande	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	**146**	**10**	**2**	**13**	**15**	**21**	**23**	**21**	**8**	**6**	**1**	**1**	**25**

Fonte: Registros da Pesquisa (2023).

Tabela 18 – Outorgas do Direito de Uso da Água Subterrâneas por município no Baixo Curso do Rio Itapecuru.

Município / Usos	Total das ODUs Superficiais	Abastecimento Público	Consumo Humano	Criação Animal	Esgotamento Sanitário	Aquicultura	Indústria	Irrigação	Mineração	Obras Hidráulicas	Reservação e Energia	Comércio e Serviços	Outras
Aldeias Altas	7	1	2	2	0	0	2	0	0	0	0	0	0
Alto Alegre do Maranhão	7	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Arari	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Axixá	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Bacabal	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Bacabeira	10	0	3	0	0	0	3	0	1	0	0	0	3
Cantanhede	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Capinzal do Norte	7	0	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Codó	33	1	8	1	0	2	12	0	0	0	0	0	9
Coroatá	12	1	7	2	0	0	0	0	0	0	0	0	2
Itapecuru Mirim	11	0	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
Lima Campos	6	0	3	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1
Matões do Norte	5	0	2	2	0	0	0	1	0	0	0	0	0
Miranda do Norte	16	0	9	0	0	0	0	0	0	0	1	0	6

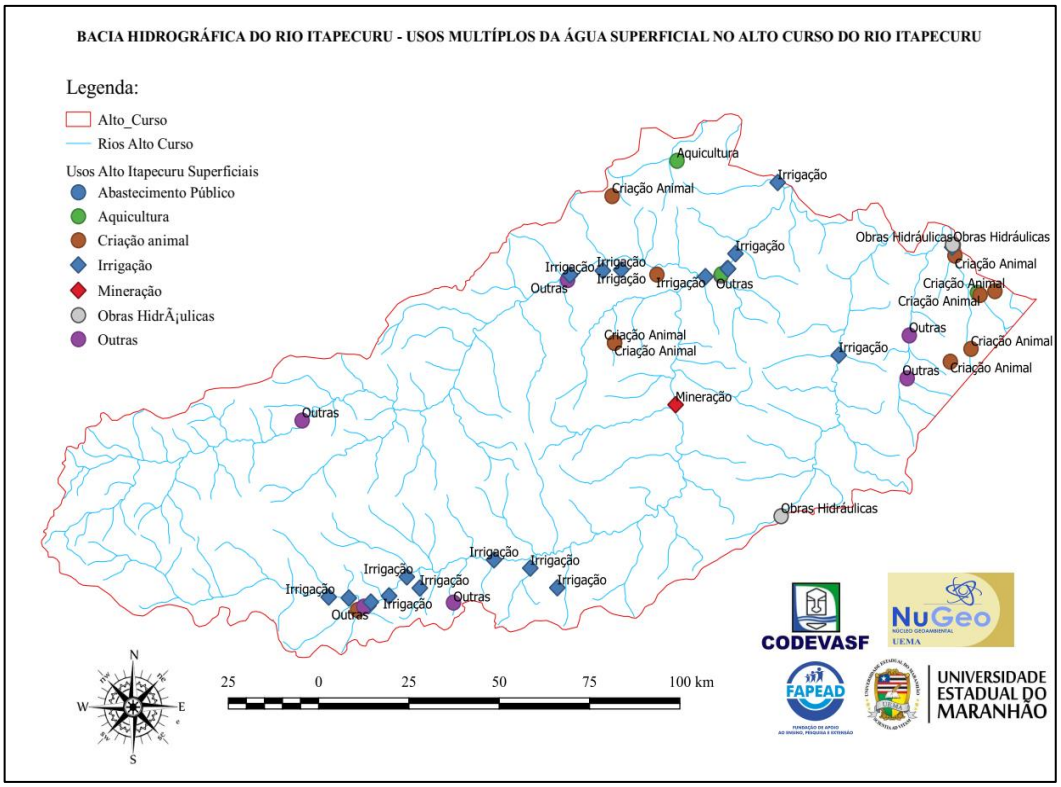
Município / Usos	Total das ODUs Superficiais	Abastecimento Público	Consumo Humano	Criação Animal	Esgotamento Sanitário	Aquicultura	Indústria	Irrigação	Mineração	Obras Hidráulicas	Reservação e Energia	Comércio e Serviços	Outras
Peritoró	5	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
Pirapemas	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Presidente Juscelino	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Rosário	38	3	25	1	0	1	4	0	0	0	0	0	4
Santa Rita	16	0	7	0	0	0	3	0	0	0	0	3	3
São Luís Gonzaga do Maranhão	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
São Mateus do Maranhão	7	0	3	0	0	1	3	0	0	0	0	0	0
Timbiras	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Vargem Grande	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	**182**	**6**	**96**	**8**	**0**	**5**	**27**	**1**	**1**	**0**	**1**	**4**	**33**

Fonte: Registros da Pesquisa (2023).

O Baixo Curso do Itapecuru é a região da bacia mais desenvolvida e possui a maior quantidade de ODUs requeridas, somando 336 outorgas divididas em 148 superficiais e 188 subterrâneas, entretanto é a região com a maior quantidade de ODUs vencidas, 104 e 105, respectivamente, com apenas 127 ODUs válidas, o que representa 37,8% do tatal de licenças emitidas pelo órgão gestor.

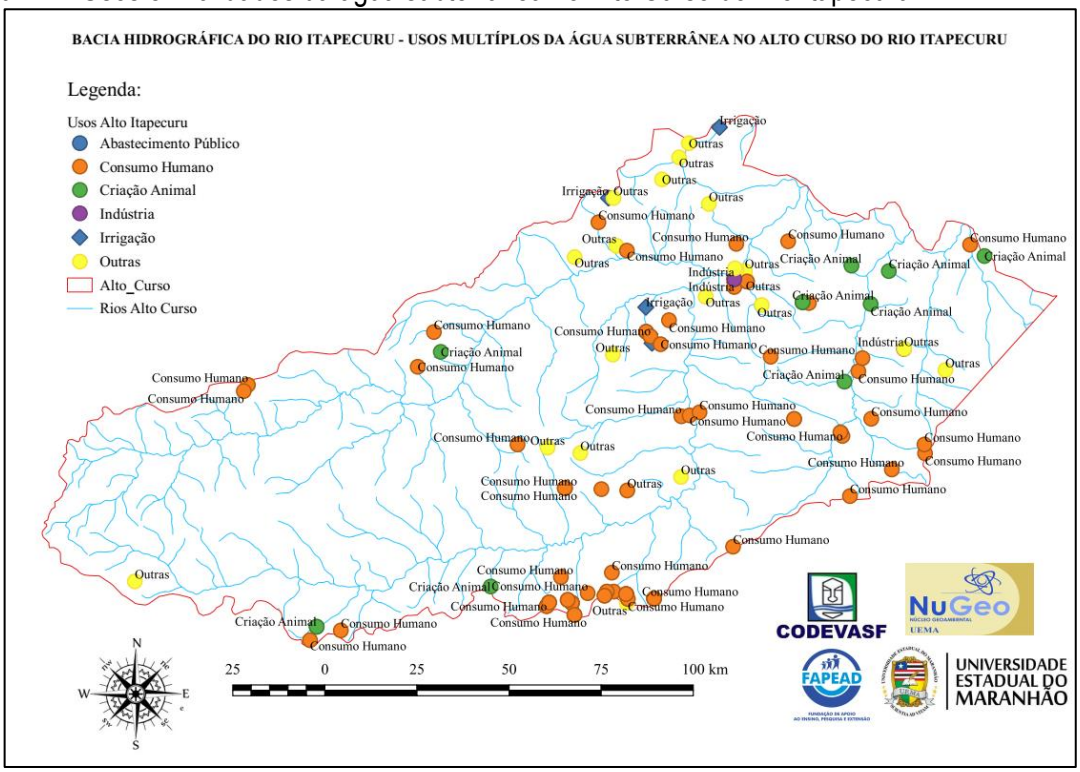
Os dados espacializados de usos e finalizadas na Bacia Hidrográfica do Rio Itapecuru podem ser vistos nas Figuras de 21 a 26 e foram separados para melhor representação esquemática em origem subterrânea e superficial para o Alto e Médio Cursos.

Figura 21 – Usos e finalidades da água superficial no Alto Curso do Rio Itapecuru.



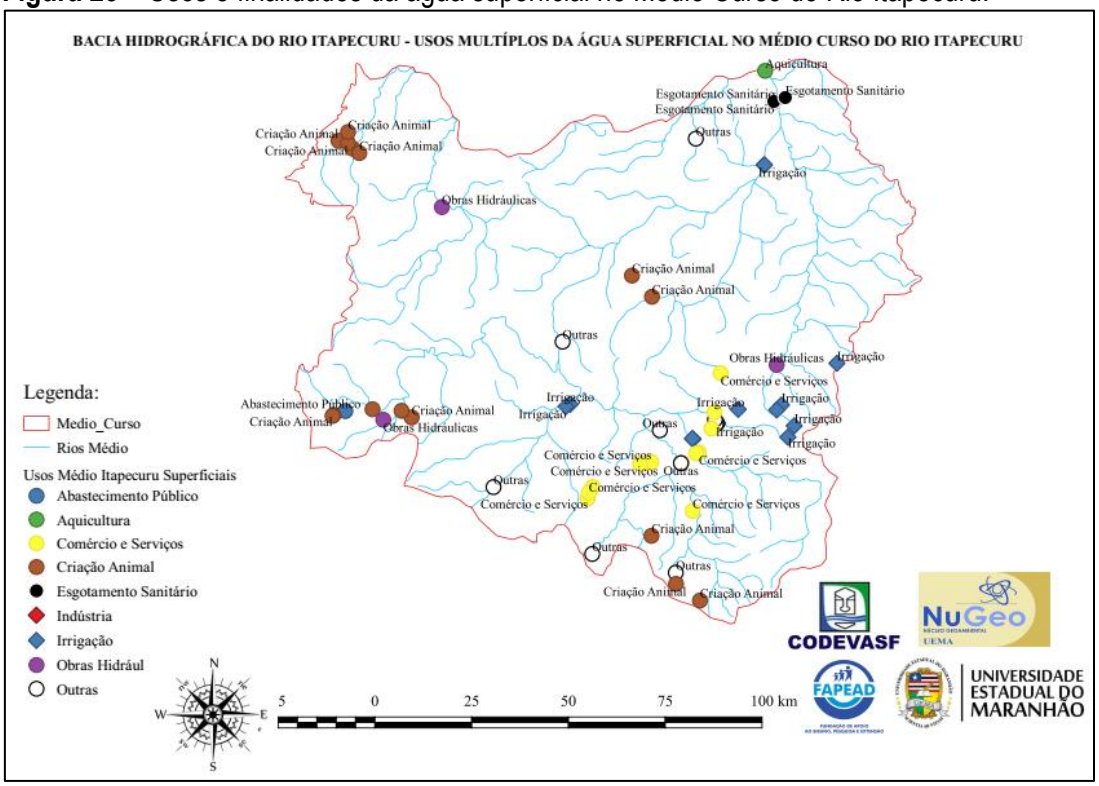
Fonte: Registros da Pesquisa (2023).

Figura 22 – Usos e finalidades da água subterrânea no Alto Curso do Rio Itapecuru.



Fonte: Registros da Pesquisa (2023).

Figura 23 – Usos e finalidades da água superficial no Médio Curso do Rio Itapecuru.

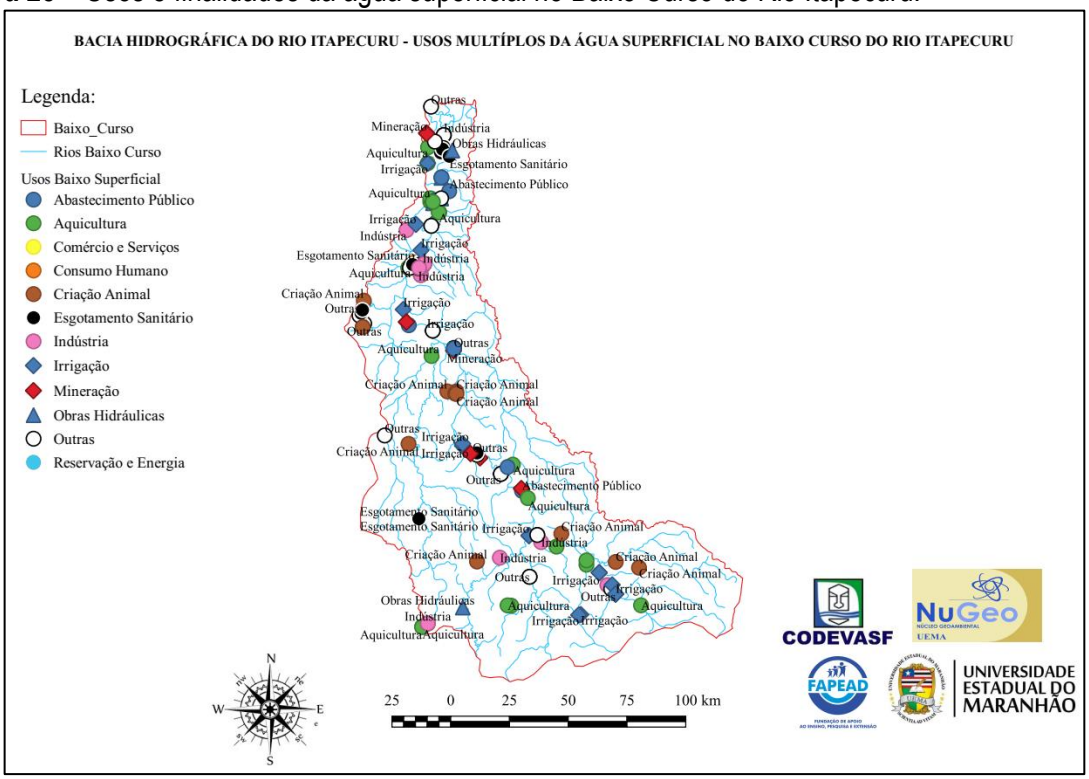


Fonte: Registros da Pesquisa (2023).

Figura 24 – Usos e finalidades da água subterrânea no Médio Curso do Rio Itapecuru.

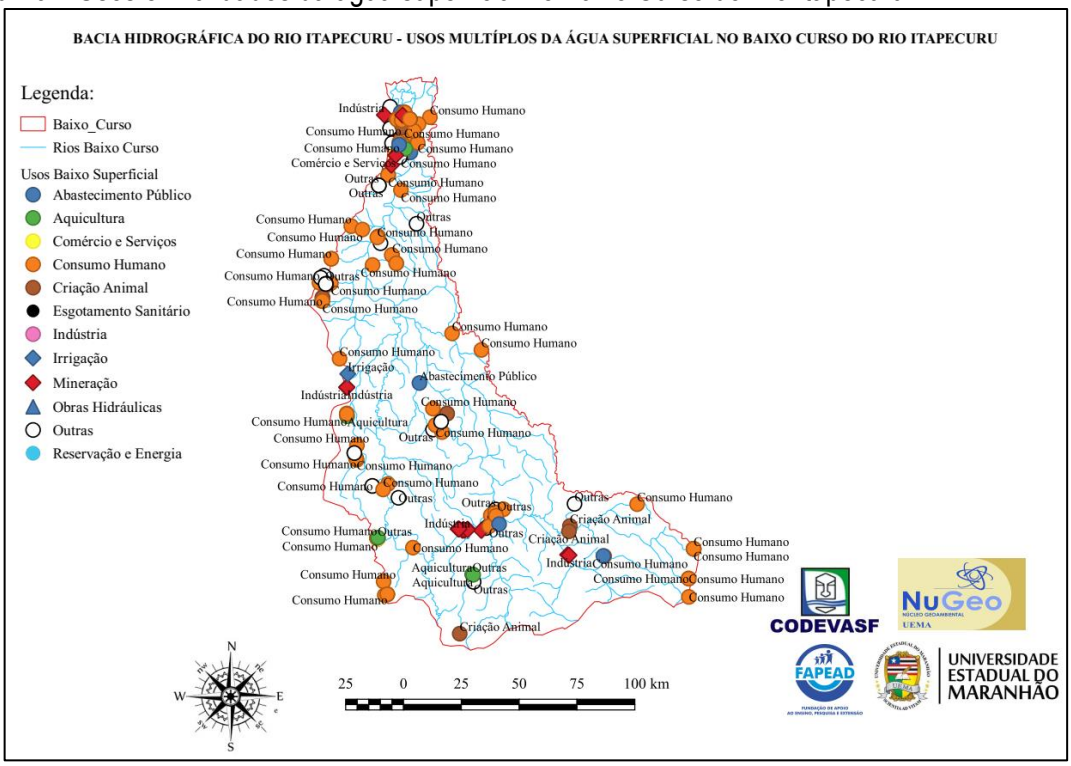
Fonte: Registros da Pesquisa (2023).

Figura 25 – Usos e finalidades da água superficial no Baixo Curso do Rio Itapecuru.



Fonte: Registros da Pesquisa (2023).

Figura 26 – Usos e finalidades da água superficial no Baixo Curso do Rio Itapecuru.



Fonte: Registros da Pesquisa (2023).

4.7 Cenários para 5, 15 e 20 anos

As ocorrências de Outorgas em 10 anos de dados (2012 a 2022) deram uma ideia do crescimento linear projetado para horizontes de 5, 15 e 20 e até mais anos pela curva aritmética e podem ser confrontados com dados do Censo e gerados em outros modelos. Esses dados podem ser associados aos Agropecuário, de comércio e serviços e saneamento do IBGE para os anos de 1986, 1996, 2006 e 2016, para o Estado do Maranhão para verificar tendências mais razoáveis de crescimento sob a luz da legalidade ambiental.

As Tabelas 19, 20 e 21 apresentam projeções de crescimento de ODUs em regime aritmético para análise futura do Alto, Médio e Baixo Cursos da Bacia Hidrográfica do Rio Itapecuru. No entanto, esse crescimento pode estar bem aquém do crescimento real, dos possíveis licenciamentos e cadastros de usuários nos próximos anos, já que são recentes as mudanças nos novos decretos que permitiram, a partir de 2019: a flexibilização participativa, desde que registrada em Ata e homologada pelo CONERH-MA; a emissão de ODUs personalizadas para cada caso e sub-bacias; e, da possibilidade de regulamentação por meio de resoluções mais dinâmicas e flexíveis para cada caso.

Fruto desse marco regulatório no Estado do Maranhão, a Resolução n° 57 de 2019 passou a considerar um aumento de volume captado da Q90, passando de 20% para 80% dessa, e possibilitou a ampliação do prazo de validade da Outorga. Aliado a todo este processo agilizaram as Declarações de Inexigibilidade, que são emitidas para pequenos usuários e ampliaram-se todos os serviços de abertura de processos e atendimento ao usuário, para todo Estado do Maranhão, na rede mundial de computadores, onde todos os serviços a terceiros são prestados de forma contínua e abertos na nova plataforma de gerenciamento da SEMA-MA, explicando uma maior possibilidade de crescimento de registros de Outorgas para os próximos anos.

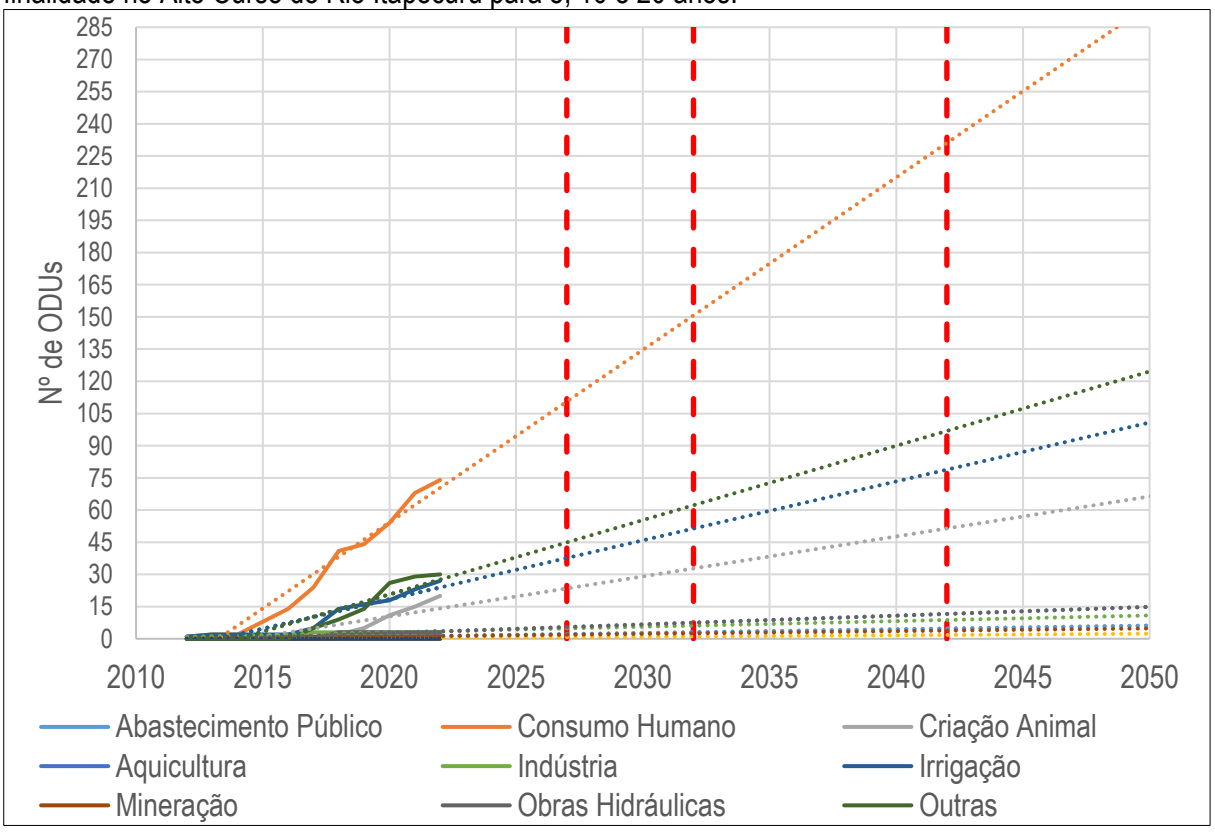
Na Tabela 19 há projeções de crescimento de ODUs em regime aritmético (projeção linear), de Outorgas por finalidade no Alto Curso do Rio Itapecuru para 5, 10 e 20 anos, ou seja, 2027, 2032 e 2042. Já o Gráfico 1 são apresentadas as equações de projeção linear das Outorgas por finalidade no Alto Curso do Rio Itapecuru para 5, 10 e 20 anos.

Tabela 19 – Projeção linear do número de Outorgas superficiais e subterrâneas por finalidade no Alto Curso do Rio Itapecuru para 5, 10 e 20 anos.

Finalidade	Equação	2027	2032	2042
Abastecimento Público	y = 0,1727x - 347,94	2	3	5
Consumo Humano	y = 8,0364x - 16179	111	151	231
Criação Animal	y = 1,8636x - 3754,1	23	33	51
Esgotamento Sanitário	(y=0)	0	0	0
Aquicultura	y = 0,4091x - 823,77	5	8	12
Indústria	y = 0,2636x - 529,57	5	6	9
Irrigação	y = 2,7455x - 5527,4	38	51	79
Mineração	y = 0,1273x - 256,07	2	3	4
Obras Hidráulicas	y = 0,4091x - 823,77	5	8	12
Reservação e Energia	(y=0)	0	0	0
Comércio e Serviços	(y=0)	0	0	0
Outras	y = 3,4636x - 6975,9	45	62	97

Fonte: Registros da Pesquisa (2023).

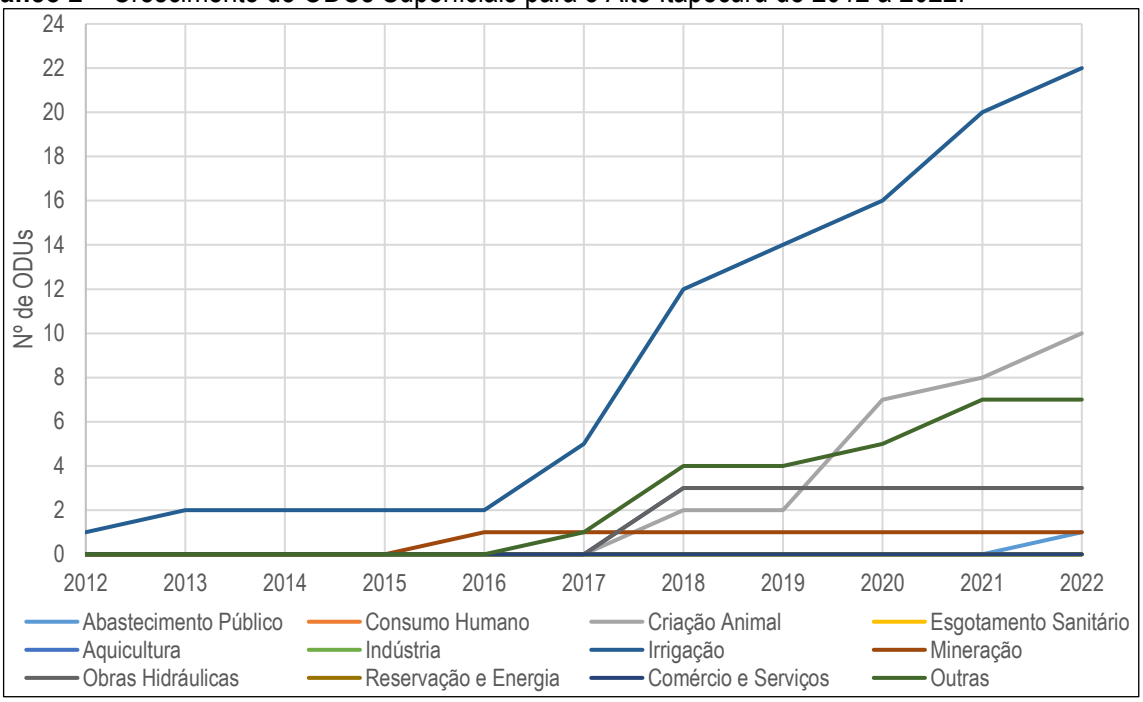
Gráfico 1 – Projeção linear do número de Outorgas superficiais e subterrâneas separadas por finalidade no Alto Curso do Rio Itapecuru para 5, 10 e 20 anos.



Fonte: Registros da Pesquisa (2023).

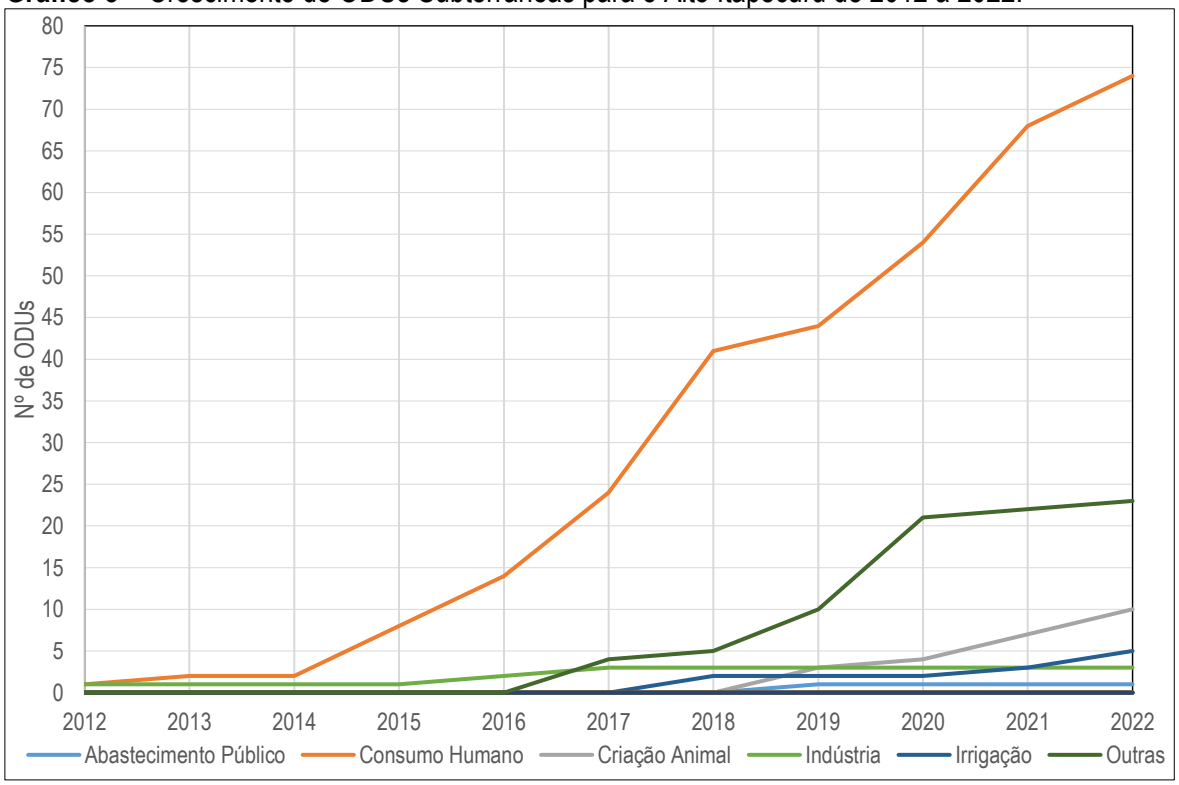
Nos Gráficos 2 e 3 encontram-se as quantidades de ODUs superficiais e subterrâneas para cada finalidade, respectivamente, de 2012 a 2022 para o Alto trecho da Bacia Hidrográfica do Rio Itapecuru.

Gráfico 2 – Crescimento de ODUs Superficiais para o Alto Itapecuru de 2012 a 2022.



Fonte: Registros da Pesquisa (2023).

Gráfico 3 – Crescimento de ODUs Subterrâneas para o Alto Itapecuru de 2012 a 2022.



Fonte: Registros da Pesquisa (2023).

Na Tabela 20 são apresentadas as projeções de crescimento de ODUs em regime aritmético para análise futura de Outorgas, por finalidade no Médio Curso do Rio Itapecuru para 5, 10 e 20 anos. No que concerne aos valores projetados ao consumo humano há um grande volume de outorgas para águas subterrâneas, e isso é recorrente em todos os trechos Alto e Médio Cursos. Os dados da finalidade "Outras" também chamam a atenção, posto que são finalidades de umectação de vias, reservação para balneabilidade com volume menor que 30 000 m³, irrigação de mudas e outras finalidades que não se encontram nas opções de preenchimento do CNARH, mas que aparecem em grande número nos Alto, Médio e Baixo Cursos da Bacia Hidrográfica do Rio Itapecuru.

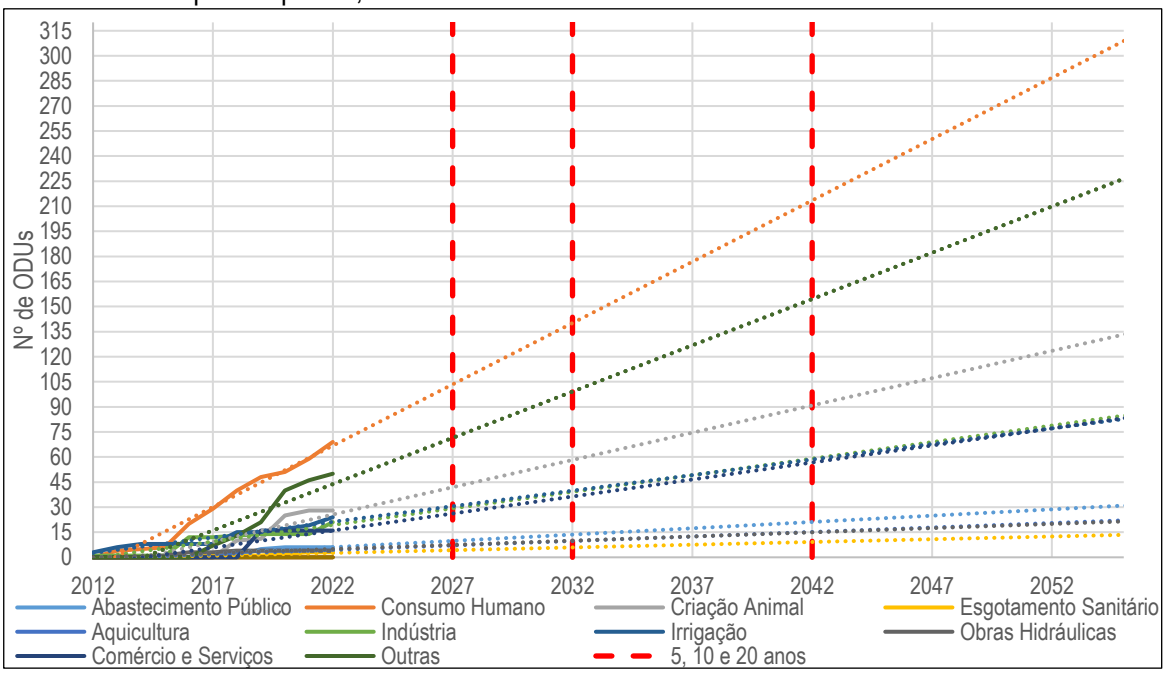
No Gráfico 4 são apresentadas as equações de projeção linear das Outorgas por finalidade no Médio Curso do Rio Itapecuru para 5, 10 e 20 anos.

Tabela 20 – Projeção linear do número de Outorgas superficiais e subterrâneas por finalidade no Médio Curso do Rio Itapecuru para 5, 10 e 20 anos.

Finalidade	Equação	2027	2032	2042
Abastecimento Público	y = 0,7545x - 1519,6	10	14	21
Consumo Humano	y = 7,3364x - 14767	104	141	214
Criação Animal	y = 3,2636x - 6573,5	42	58	91
Esgotamento Sanitário	y = 0,3273x - 659,11	4	6	9
Aquicultura	y = 0,5364x - 1080,1	7	10	15
Indústria	y = 1,9818x - 3987,9	29	39	59
Irrigação	y = 1,8636x - 3747	31	40	58
Mineração	(y = 0)	0	0	0
Obras Hidráulicas	y = 0,5x - 1006	8	10	15
Reservação e Energia	(y = 0)	0	0	0
Comércio e Serviços	y = 2,0364x - 4101,5	26	36	57
Outras	y = 5,5364x - 11151	71	99	154

Fonte: Registros da Pesquisa (2023).

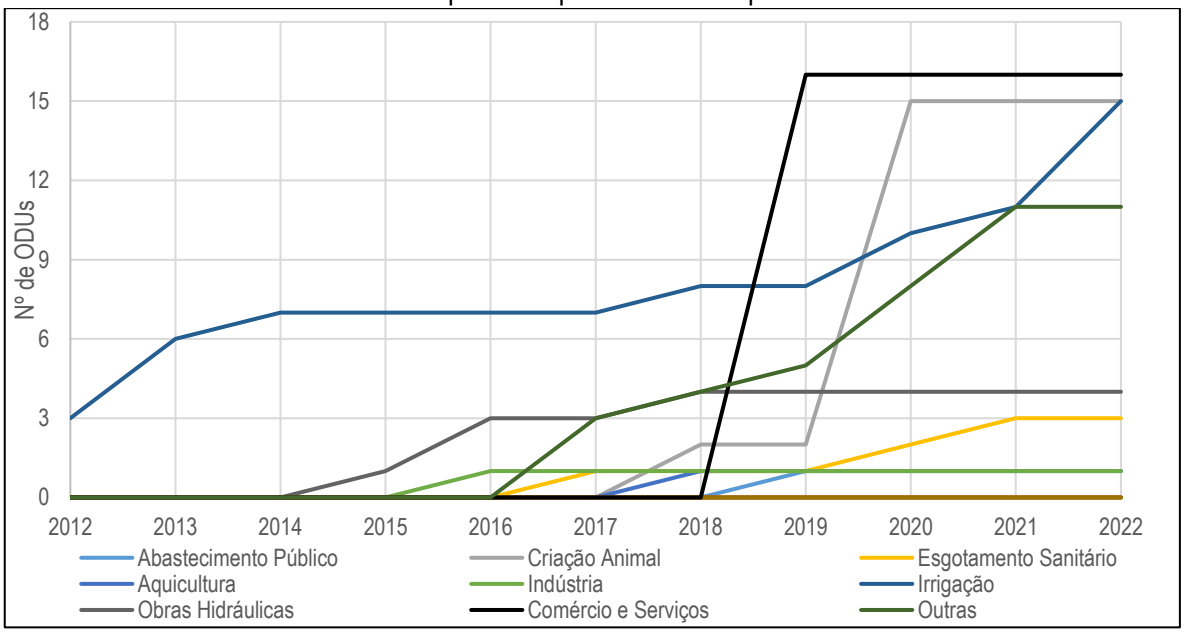
Gráfico 4 – Projeção do número de Outorgas superficiais e subterrâneas por finalidade no Médio Curso do Rio Itapecuru para 5, 10 e 20 anos.



Fonte: Registros da Pesquisa (2023).

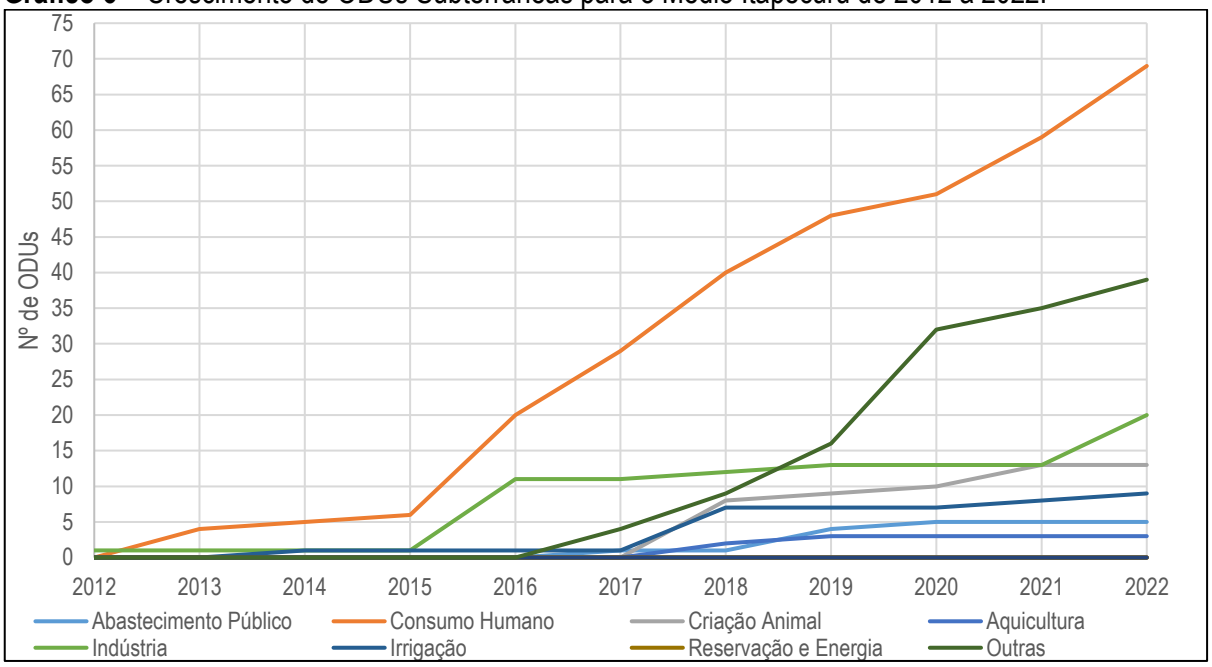
Nos Gráficos 5 e 6 estão as quantidades de ODUs superficiais e subterrâneas para cada finalidade, respectivamente, de 2012 a 2022 para o Médio trecho da Bacia Hidrográfica do Rio Itapecuru.

Gráfico 5 – Crescimento de ODUs Superficiais para o Médio Itapecuru de 2012 a 2022.



Fonte: Registros da Pesquisa (2023).

Gráfico 6 – Crescimento de ODUs Subterrâneas para o Médio Itapecuru de 2012 a 2022.



Fonte: Registros da Pesquisa (2023).

Na Tabela 21 há projeções de crescimento de ODUs em regime aritmético para análise futura, de Outorgas por finalidade no Baixo Curso do Rio Itapecuru para 5, 10 e 20 anos. Percebe-se que para o Baixo Curso a preponderância é de ODUs para Abastecimento Público e é o local onde os múltiplos usos aparecem em sua totalidade. Os dados da finalidade Outras, novamente chamam a atenção, posto que são finalidades de umectação de vias, reservação para balneabilidade com volume menor que 30 000 m³, irrigação de mudas e outras finalidades que não se encontram nas opções de preenchimento do CNARH, mas aparecem em grande número nos Alto, Médio e Baixo Cursos da Bacia Hidrográfica do Rio Itapecuru. Outro número que chama a atenção no Baixo Curso é a quantidade de Outorgas com finalidade industrial que aparecem no Baixo Curso.

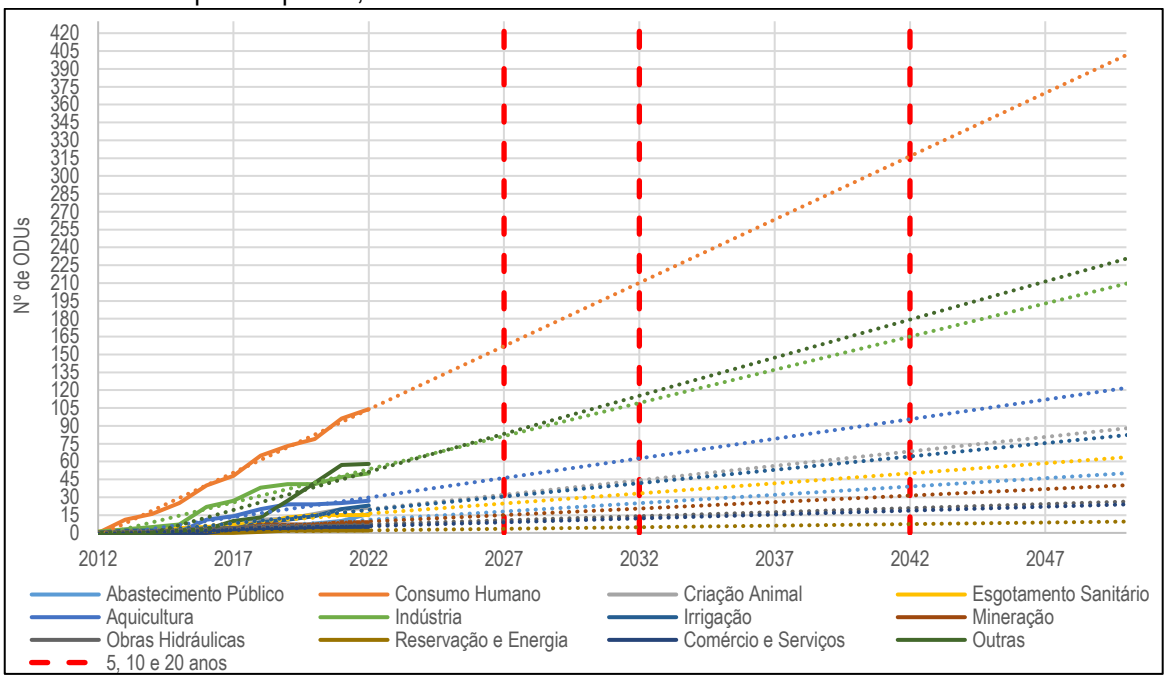
No Gráfico 7 são apresentadas as equações de projeção linear das Outorgas por finalidade no Médio Curso do Rio Itapecuru para 5, 10 e 20 anos.

Tabela 21 – Projeção linear do número de Outorgas superficiais e subterrâneas por finalidade no Baixo Curso do Rio Itapecuru para 5, 10 e 20 anos.

Finalidade	Equação	2027	2032	2042
Abastecimento Público	y = 10,636x - 21403	156	209	316
Consumo Humano	y = 1,4x - 2819,8	18	25	39
Criação Animal	y = 2,4273x - 4888	32	44	69
Esgotamento Sanitário	y = 1,6909x - 3402,7	25	33	50
Aquicultura	y = 3,2909x - 6624,5	46	63	96
Indústria	y = 5,5727x - 11215	81	109	164
Irrigação	y = 2,2455x - 4521	31	42	64
Mineração	y = 1,0909x - 2196,3	15	20	31
Obras Hidráulicas	y = 0,6818x - 1371,4	11	14	21
Reservação e Energia	y = 0,2636x - 530,94	3	5	7
Comércio e Serviços	y = 0,6545x - 1317,9	9	12	19
Outras	y = 6,4x - 12890	83	115	179

Fonte: Registros da Pesquisa (2023).

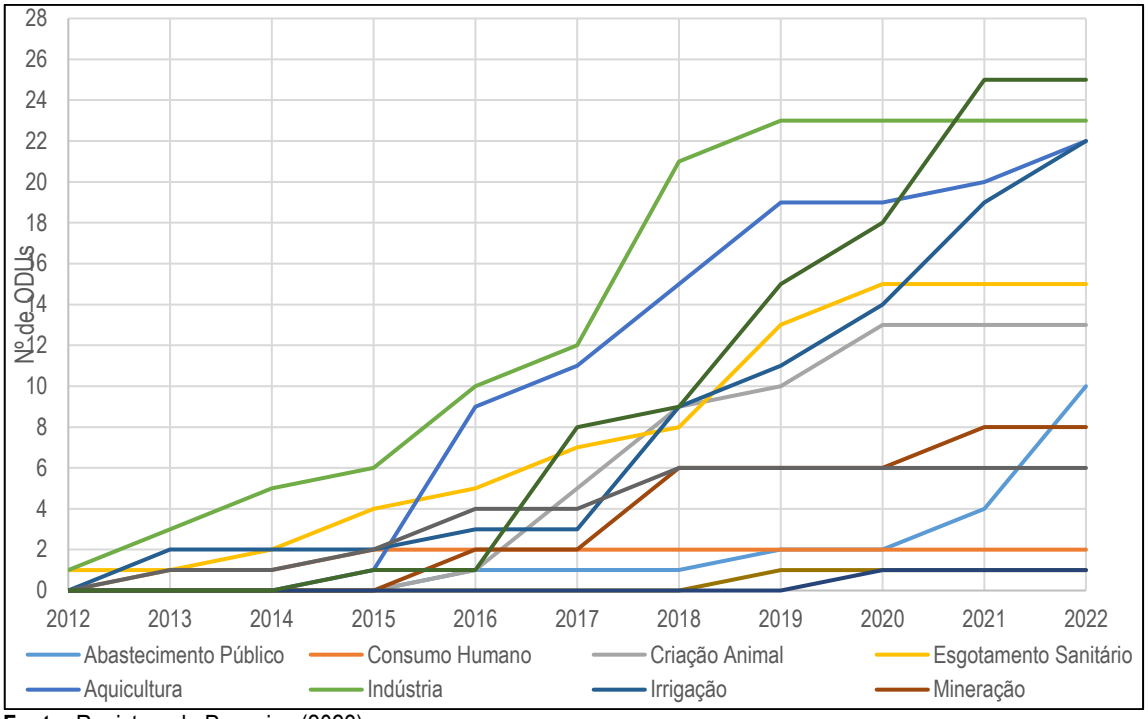
Gráfico 7 – Projeção linear do número de Outorgas superficiais e subterrâneas, por finalidade no Baixo Curso do Rio Itapecuru para 5, 10 e 20 anos.



Fonte: Registros da Pesquisa (2023).

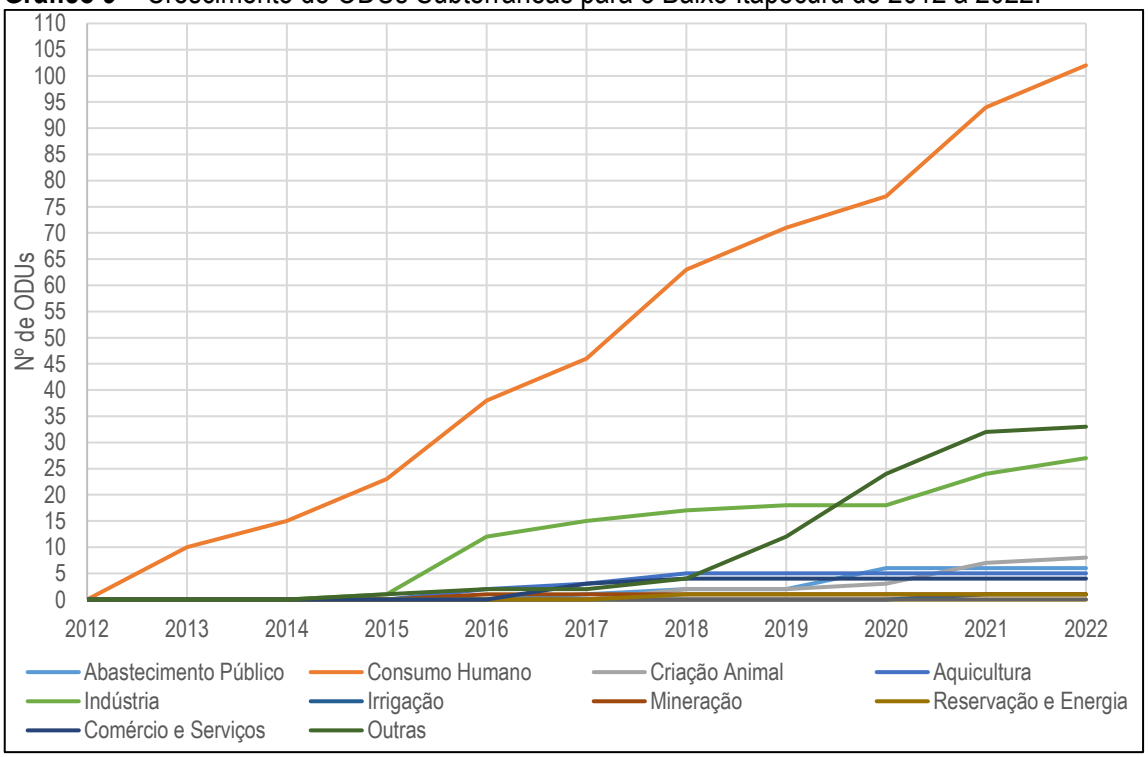
Nos Gráficos 8 e 9 estão as quantidades de ODUs superficiais e subterrâneas para cada finalidade, respectivamente, de 2012 a 2022 para o Médio trecho da Bacia Hidrográfica do Rio Itapecuru.

Gráfico 8 – Crescimento de ODUs Superficiais para o Baixo Itapecuru de 2012 a 2022.



Fonte: Registros da Pesquisa (2023).

Gráfico 9 – Crescimento de ODUs Subterrâneas para o Baixo Itapecuru de 2012 a 2022.



Fonte: Registros da Pesquisa (2023).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os métodos de regionalização aplicados nesse trabalho respondem, no geral, guardadas as devidas proporções de escala, a questões relativas ao gerenciamento e planejamento dos recursos hídricos dentro dos limites da Bacia do Rio Itapecuru. Podem ser utilizados com certo cuidado e não podem ser generalizados para premissas não correspondidas no texto. Pequenas áreas mais distantes drenadas por afluentes do Rio Itapecuru apresentaram boa correlação e balanço de área em função da vazão. Se um afluente está distante do curso principal, mas é caudaloso, o coeficiente é ponderado pela distância, pela pluviosidade local, pela declividade e pela série histórica mais próximas, apresentando um coeficiente moderado. Do contrário, se o afluente tem as mesmas características, mas é menos caudaloso, o coeficiente se torna pequeno e modesto. As regiões mais próximas do rio principal tiveram os maiores valores regionalizados.

Em relação às projeções, demonstrou-se pelo parco cadastramento projeções inexistentes no médio e Alto Curso por não apresentarem sequer um cadastro de usuário, público ou privado, nas áreas de diluição de efluentes domésticos ou industriais, o que não representa a realidade do Estado. Também para o abastecimento público, as projeções foram aquém do esperado, já que os municípios utilizam ou água subterrânea ou superficial, por meio de uma concessão ou do próprio Estado, para atender a demanda de abastecimento, não só dos centros urbanos, como também de algumas áreas rurais ou em crescimento.

Apresentou-se também que os números de ODUs para consumo humano estão como os das variáveis anteriores, ou seja, muito incipientes, dado que não é necessário apresentar autorização de uso à empresa perfuradora para que ela perfure e entregue o poço a particulares. No entanto, as projeções têm exatamente esse objetivo, mostrar e elencar os pontos mais frágeis e debilitados do cadastramento para que o poder público possa planejar ações e campanhas fortalecedoras do cadastro de usuários e gestão para dirimir conflitos e preservar os recursos hídricos do estado.

REFERÊNCIAS

BRASIL. Lei nº 9433, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, 9 jan. 1997.

MARANHÃO (NUGEO). Bacias hidrográficas: subsídios para o planejamento e a gestãoterritorial. Universidade Estadual do Maranhão/Núcleo Geoambiental, São Luís: UEMA, 2011.

MARANHÃO. Política Estadual de Recursos Hídricos, o Sistema de Gerenciamento Integrado de Recursos Hídricos, 2004. Lei nº8.149 de 15 de junho de 2004. Planejamento e Gestão do Poder Executivo.

MARANHÃO. Decreto Regulamentador da Lei nº8.149 de 2004, PERH, 2011. Decreto nº27.845 de 18 de novembro de 2011. Planejamento e Gestão do Poder Executivo.

TUCCI, C.E.M. Hidrologia: Ciência e aplicação. Porto Alegre, Ed. ABRH/UFRGS, 2009. 944p.

TUCCI, C.E.M. Regionalização de vazões. Porto Alegre, Ed. ABRH/ UFRGS, 2002. 256 p.

WOLFF, W.; DUARTE, S. N.; MINGOTI, R. Nova metodologia de regionalização de vazões, estudo de caso para o estado de São Paulo. Revista Brasileira de Recursos Hídricos. v. 9, n. 4, out/dez, 2014, p. 21-33.

SILVA, C. O. F., MANZIONE, R. L. Revisitando a Regionalização de Vazões na Região do Médio Paranapanema no Estado de São Paulo: Utilização de Curvas de Permanência em Microbacias Hidrográficas. Revista do Instituto Geológico, São Paulo, 41 (2), 1-13, 2020. DOI10.33958/revig.v41i2.678.

LOPES, T.R.; PRADO, G.; ZOLIN, C.A.; ANTONIEL, L.S. 2016. Regionalização de vazões máximas e mínimas para a bacia do Rio Ivaí – PR. Irriga, 21(1): 188-201. https://doi.org/10.15809/irriga.2016v21n1p188-201

NAGHETTINI, M., PINTO, E. J. A. Hidrologia Estatística. Belo Horizonte: CPRM, 2007. 552 p.

BAZZO, K. R., GUEDES, H. A. S., CASTRO, A. S., SIQUEIRA, T. M., TEXEIRA-GANDRA, C. F. A. Regionalização da vazão Q95: comparação de métodos para a bacia hidrográfica do Rio Taquari-Antas, RS. Rev. Ambient. Água vol. 12 n. 5 Taubaté – Sep. / Oct. 2017. doi:10.4136/1980-993X.

BLANCO, C.J.C.; SANTOS, S.S.M.; QUINTAS, M.C.; VINAGRE, M.V.A.; MESQUITA, A.L.A. 2013. Contribution to hydrological modelling of small Amazonian catchments: application of rainfall–runoff models to simulate flow duration curves. Hydrological Sciences Journal, 58(7): 1423-1433. https://doi.org/10.1080/02626667.2013.830727.

AGRA, S. G., SOUZA, V. C. B., NEVES, M. G. F. P., CRUZ, M. A. S. Metodologias de Regionalização de Vazões: Estudo Comparativo na Bacia do Rio Carreiro – RS. XV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2003.

OLIVEIRA, V. A. 2013. Regionalização de Vazões nas Regiões das Unidades de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos GD1 e GD2, Minas Gerais. LAVRAS: UFLA, 2013. Dissertação de Mestrado. 99 p. : Il.

QUALIDADE DAS ÁGUAS E ENQUADRAMENTO DOS CORPOS HÍDRICOS DA BACIA DO ITAPECURU (MA)

Karina Suzana Feitosa Pinheiro
Leila Maria Feitosa Pinheiro
Letícia Pontes de Araújo Cavalcante
Rony Lopes Lunguinho

1. CONTEXTO GERAL

O Brasil é um país privilegiado em termos de disponibilidade hídrica, entretanto, a distribuição dessa disponibilidade, no espaço e no tempo, se apresenta de forma muito variada nas diferentes regiões do País, contrastando situações de abundância e de convivência com graves cenários de escassez, além de comprometimento da qualidade das águas dos mananciais, devido grandes poluições nos rios que compõem as bacias hidrográficas, ocasionando assim, um desequilíbrio e deterioração do meio ambiente.

O uso indiscriminado dos recursos naturais e os problemas sociais de infraestrutura básica, gerados por intransigências do próprio homem, conduzem à escassez dos recursos hídricos, que tem grande importância para a vida e afeta a todos. Segundo Braile e Cavalcante (1979), a poluição do meio ambiente tornou-se assunto de interesse público em todas as partes do mundo, uma vez que não apenas os países em desenvolvimento são afetados pelos problemas ambientais, como as nações desenvolvidas sofrem graves impactos da poluição. A partir da década de 90, com o advento da Conferência Rio-92 sobre o meio ambiente do planeta, a sociedade passou a requerer melhor qualidade de vida atrelada à certificação ambiental por parte das empresas, na perspectiva de alcançar desenvolvimento sustentável e gestão compartilhada das águas.

Diante dessa nova mentalidade, exigiu-se que os fatores ambientais passassem a ser expressamente considerados pelos governos, ao aprovarem leis e portarias, programas de investimentos e projetos de grande porte, no sentido de harmonizar o desenvolvimento socioeconômico e tecnológico com o meio ambiente.

Segundo Souza *et al.* (2014) “apesar da importância que os recursos hídricos exercem para o desenvolvimento em todas as escalas (local, regional, nacional e global), a qualidade e a quantidade das águas dos corpos hídricos vêm sendo cada vez mais afetadas pela ocupação desordenada das bacias hidrográficas”. Independentemente do aperfeiçoamento do uso da água em muitos países desenvolvidos, a demanda pela água doce tem continuado a crescer, à medida em que a população mundial e a atividade econômica têm se expandido, aumentando a procura por água e provocando alterações de ordem física, química e biológica nos ecossistemas aquáticos.

Como tratar, então, a questão de qualidade da água sem atuar no tratamento dos resíduos sólidos e do esgotamento sanitário? Como implantar uma política de saúde sem levar em consideração as doenças veiculadas pela água, uma vez que ela é responsável por cerca de 70% das intervenções hospitalares do Brasil?

Perante o exposto, esse estudo tem como objetivo apresentar um panorama geral da qualidade das águas superficiais da bacia hidrográfica do rio Itapecuru e contribuir com a gestão dos recursos hídricos em âmbito local e regional, para tomada de decisões por parte do poder público, privado e organizações não governamentais, com ações mais efetivas para conservação da qualidade das águas da bacia hidrográfica do rio Itapecuru.

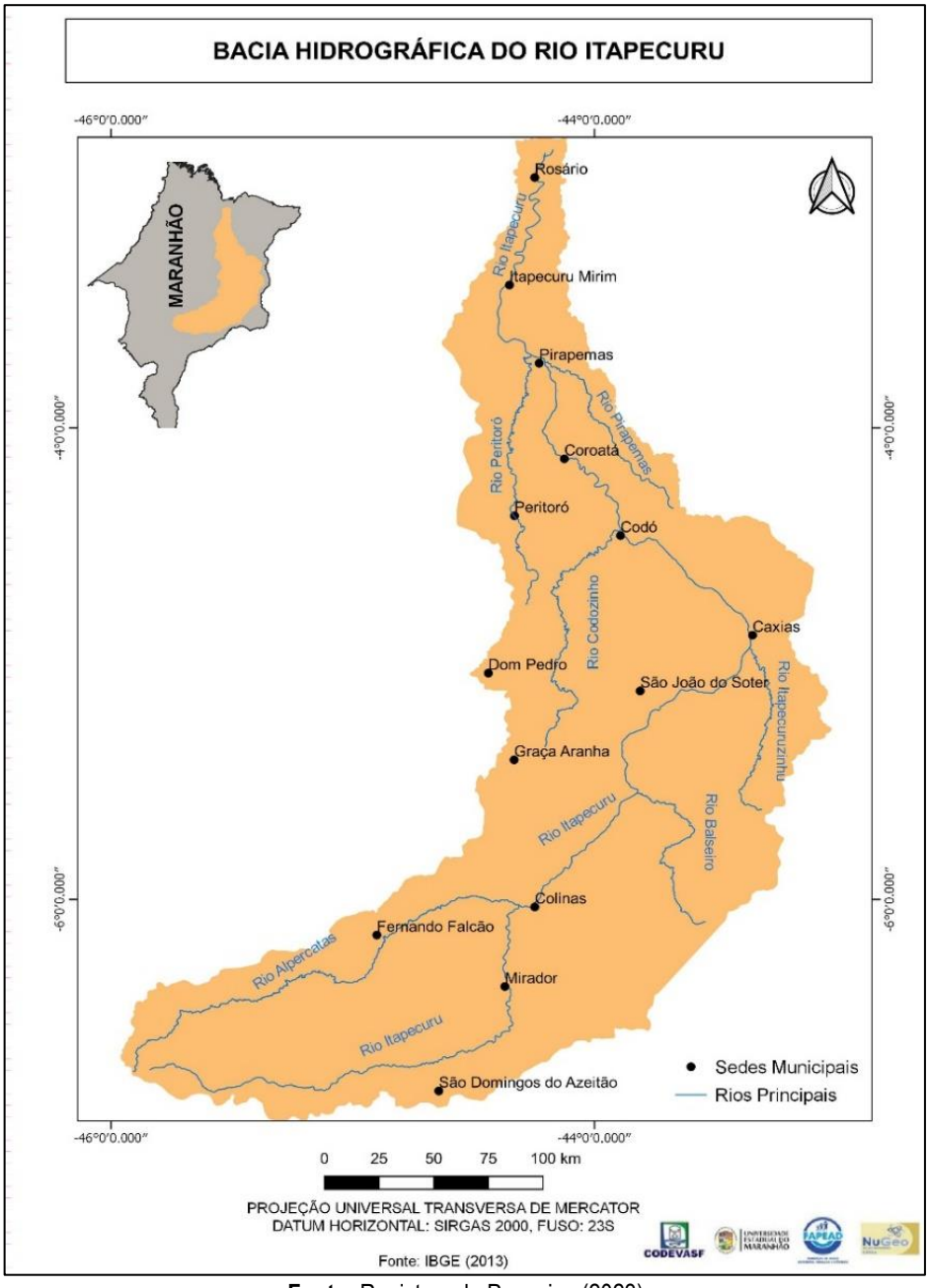
2. BACIA DO RIO ITAPECURU

O território maranhense é composto por 12 bacias hidrográficas, e a do rio Itapecuru configura-se como uma das mais importantes. Com 1.450 km de extensão e largura que varia de 50 a 120 metros, o rio Itapecuru nasce no sul do Estado, no Parque Estadual do Mirador na confluência das serras Crueiras, Confusão, Itapecuru e Alpercatas, e corre no sentido nordeste-norte até desaguar na baía de São José, Golfão Maranhense. Os principais tributários do rio Itapecuru, com importante contribuição à sua vazão na margem esquerda os rios Alpercatas, Pucumã, Codozinho e Peritoró, e na direita os rios: Itapecuruzinho, Corrente, Santo Amaro, Gameleira e Pirapemas (**Figura 27).**

Figura 27 Com 52.972,1 Km² e ocupando 16% do território estadual, a bacia do Itapecuru encontra-se inteiramente localizada no Maranhão e abastece 60% da população de São Luís, capital do estado, além de outras cidades. A população residente na bacia, estimada em 2017 pelo IBGE, era de 1.695.964 habitantes, distribuída nos 55 municípios que fazem parte da bacia, entre os quais 20 estão totalmente inseridos em seu vale e 35 situam-se, parcialmente, em sua área.

A área drenada da bacia limita-se ao norte com a baía de São Marcos; a leste com a bacia do rio Parnaíba; a nordeste com a bacia do rio Munim; e a oeste com a bacia do rio Mearim. A bacia apresenta vazão média de 267,1 m^3/s, e uma disponibilidade hídrica de 45,57 m^3/s. O rio Itapecuru, com 267,1 m^3 /s, é o segundo rio com maior vazão média no estado do Maranhão, apesar de ter uma vazão específica média de 4,98 $l/s/km^2$, considerada baixa.

Figura 27: Mapa da Bacia Hidrográfica do Rio Itapecuru.



Fonte: Registros da Pesquisa (2023)

Em termos de uso e ocupação do solo na bacia, o desmatamento das margens do rio é um dos fatores responsáveis pela degradação da bacia, que contribui para o processo de assoreamento. O processo de poluição da água, o assoreamento, a destruição das matas ciliares e a retirada ilegal de areia já fizeram o rio perder 73% do seu volume (CODEVASF, 2017).

3. FINALIDADE DO USO DA ÁGUA

Segundo Tucci (2001), dentre os recursos naturais, um dos que apresentam os mais variados usos são os recursos hídricos, tanto as águas superficiais quanto subterrâneas, sendo os principais:

- Abastecimento público;
- Consumo industrial;
- Matéria prima para indústria;
- Irrigação;
- Recreação;
- Dessendentação de animais;
- Geração de Energia Elétrica;
- Transporte;
- Diluição de despejos, e
- Preservação da flora e fauna (fonte protéica).

Na bacia do rio Itapecuru os usos preponderantes são: o abastecimento de São Luís (capital do estado) e das cidades inseridas na bacia, aquicultura e pesca, transporte e recreação (turismo e lazer), esgotamento sanitário e diluição de efluentes, mineração, irrigação, dessedentação de animais etc. Nesse âmbito, descreve-se de maneira geral as características dos principais usos múltiplos das águas na bacia do rio Itapecuru.

3.1 Abastecimento de Água

O uso das águas para abastecimento público, entre os usos múltiplos das águas, sem dúvida é o mais importante, considerando a manutenção da vida (água para beber), higiene pessoal e das habitações, combate a incêndios, ente outros (TUCCI, 2001).

No estado do Maranhão, a Companhia de Saneamento Ambiental do Maranhão – CAEMA é a concessionária estadual responsável pelo abastecimento de 64% dos municípios, sendo que das 208 sedes municipais, 96% são atendidas por sistemas isolados, isto provavelmente, relaciona-se a boa disponibilidade hídrica subterrânea. As demais, um total de 9 sedes são atendidas por sistemas

integrados que abastecem cerca de 25% da população do Estado. Com relação à bacia do rio Itapecuru, os municípios, na sua maioria são atendidos pela CAEMA, e alguns outros por sistemas isolados, e por Serviço Autônomo de Água e Esgoto -SAEE (ANA, 2010).

3.2 Aquicultura e Pesca

Apesar de constituir um ambiente de grande importância para a aquicultura, a bacia do rio Itapecuru não dispõe de assistência técnica sistêmica a exemplo do Estado, o que compromete seu desenvolvimento. Constitui como ação concreta apenas a programação propiciada pelo Fundo de Amparo ao Trabalhador (FAT), com minicursos para produtores, que na verdade não satisfazem às necessidades do público com verdadeiro potencial pelos processos seletivo e metodológicos efetuados (BARROSO; SOUSA, 2007).

Arana (1999) destaca que os projetos de aquicultura existentes na bacia do rio Itapecuru, não têm nenhum preceito de sustentabilidade, com exceção do Centro de Piscicultura de Mirador, hoje desativado, em que a inobservância da legislação pertinente é nítida em cada direção, predominando uma conceituação neoliberal, mesmo inconsciente, deixando-se de lado a sustentabilidade social pela visão do maior lucro mesmo que os danos ao próximo e ao meio ambiente sejam imensuráveis.

Conforme Pereira *et al.* (2000), “a aquicultura praticada na bacia do rio Itapecuru, apesar de empírica, é responsável por 40% do pescado consumido na região, onde se registrou 22 criadores, cultivando principalmente o tambaqui (*Colossoma macropomum*), tilápia (Oreochromis spp), carpa (*Cyprinus carpio*), curimatá (*Prochilodus spp*), bagre-africano (Clarias gariepinus), camarão-gigante-da-malásia (*Macrobrachium rosenbergii*), camarão-marinho (Litopenaeus vannamei) e rã (*Rana catesbeiana*)”.

De acordo com estudos realizados pela CODEVASF (2017), parte do pescado oriundo da pesca realizada na bacia do rio Itapecuru, assim como de outros setores no Estado, tanto da água doce e marinha, é destinada ao comércio no município de São Luís, no Mercado do Peixe no Portinho, com destaque para o pescado oriundo do rio Itapecuru, do seu Baixo Curso, e do rio Mearim.

3.3 Transporte

Segundo IPEA (2014), o transporte aquaviário é considerado o mais eficiente, entretanto apesar de o Brasil possuir diversos rios caudalosos e extensa costa marítima, características propícias à navegação, esse modo de transporte é pouco utilizado no país, em especial na navegação interior.

Atualmente, o Brasil dispõe de 27,5 mil km de vias fluviais navegáveis, o que corresponde a 64% do potencial total navegável no país para o transporte de cargas e passageiros (ANTAQ, 2012). Em 2011, a navegação de interior transportou 28 milhões de toneladas, destacando-se os granéis sólidos entre os produtos transportados e as hidrovias amazônicas, que representaram, respectivamente, 61,9% e 35,1% do total (IPEA, 2014).

Neste cenário, no Maranhão, o rio Itapecuru, até o início do século, era a principal via de escoamento da produção regional. Sua importância a nível estadual era grande devido ao fato de a bacia ser a principal produtora de água para abastecimento público e privado para a Ilha do Maranhão, por exemplo. Todavia, houve um declínio do rio como meio de transporte a partir da construção da estrada de ferro São Luís a Teresina por volta da década de 20, e posteriormente com o asfaltamento da rodovia BR-316, na década de 60, facilitando a interligação entre o Maranhão e os estados nordestinos (DOURADO, 2008).

Com o passar dos anos, o rio passou a ser via secundária de transporte, com o uso de embarcações de pequeno porte, atendendo principalmente a intercomunicação entre cidades vizinhas, distantes das principais vias estaduais. Além disso, a navegabilidade se tornou prejudicada pela formação de bancos de areia, resultante dos assoreamentos que obstruíram os principais canais circulantes e desse modo dificultavam a passagem de embarcações do tamanho médio, principalmente no período de estiagem ou na baixamar. A desobstrução das vias circulantes, com a retirada dos bancos de areia e com o suporte de uma política de incentivo ao transporte fluvial, poderemos resgatar a importância do rio via de comunicação e integração regional e com isso restabelecer o uso múltiplo do rio Itapecuru.

3.4 Turismo e Lazer

O turismo constitui-se em uma das atividades econômicas mais importantes da atualidade. No Brasil, esta atividade vem sendo intensificada continuamente devido ao grande potencial natural e cultural. Uma das regiões brasileiras mais procuradas é o Nordeste, pelo vasto litoral e rica hidrografia, associando aos cenários naturais com os motivos culturais.

A região Sul do Maranhão, por exemplo, abriga um cenário natural mágico e grandioso. Afastada do litoral, em meio à vegetação característica do cerrado brasileiro, é possível encontrar paisagens deslumbrantes, serras azuis, florestas de buritizais e águas cristalinas que nascem nas montanhas rochosas para formar deliciosas cachoeiras.

Neste contexto, o rio Itapecuru, um dos mais importantes do estado contribui para desenvolvimento da indústria do turismo. As cidades ribeirinhas sempre tiveram o rio como área de lazer, além de ser uma opção para as pessoas que residem fora da sua bacia.

Na bacia no seu Alto Curso, o parque Estadual de Mirador oferece múltiplas funções, não somente como área de preservação ambiental, com suas nascentes e belas cachoeiras, mas também como área de atividades educativas, científicas e culturais.

4. POLUIÇÃO E QUALIDADE DAS ÁGUAS

Neste item, aborda-se os principais tipos e fontes de poluição hídrica, bem como conceitos relacionados à qualidade das águas, conforme preceitua a legislação brasileira.

4.1 Tipos e Fontes de Poluição Hídrica

Segundo Resolução CONAMA 357/2005, "*poluição* é qualquer alteração nas características físicas, químicas e/ou biológicas das águas, que possa constituir prejuízo à saúde, à segurança e ao bem-estar da população e, ainda, possa comprometer a fauna e a utilização das águas para fins recreativos, comerciais, industriais e de geração de energia"

Entende-se que a poluição hídrica corresponde ao processo de deposição de rejeitos na água dos rios, lagos, córregos, nascentes, mares e oceanos. Trata-se de um problema socioambiental de elevada gravidade, pois, embora a água seja um recurso natural renovável, ela pode se tornar cada vez mais escassa, considerando que apenas a água potável é própria para o consumo.

A água poluída é aquela em que ocorrem modificações das propriedades físicas, químicas e biológicas, de forma natural e também de forma antrópica, quando a adição de substâncias líquidas, sólidas ou gasosas tornam as águas impróprias para os diferentes usos a que se destinam. Neste aspecto, a água pode tornar-se *contaminada,* ou seja, não potável e cuja presença de agentes patogênicos vivos, sejam bactérias, vermes, protozoários ou vírus, prejudicam a saúde humana.

A poluição pode ser de causas:

- **Naturais -** causadas por forças da natureza, como tempestades de areia, queimadas provocadas por raios e as atividades vulcânicas, enxurradas após uma forte chuva etc.;
- **Artificiais -** causadas pela atividade do homem, como lançamento de efluentes domésticos e/ou industrial, ou ainda pela contaminação por fertilizantes agrícolas.

A poluição das águas pode ser tipificada como química, física ou biológica:

- **Poluição química -** caracterizada por dois tipos de poluentes: biodegradáveis (produtos químicos que são decompostos pela ação de bactérias ao final de um tempo, como detergentes e inseticidas) e persistentes (persistem no meio ambiente e nos organismos vivos, sendo tóxico para estes, como o mercúrio);
- **Poluição Física –** alteração das características físicas da água, a principal é a poluição por sólidos;
- **Poluição Biológica -** contaminação da água por organismos patogênicos (bactérias, vírus, vermes etc.).

No caso específico da poluição de rios, várias são as fontes poluidoras, entre as quais se destaca o lançamento de esgotos residenciais, industriais, hospitalares não tratados, depósitos de lixos, irrigação e defensivo agrícola.

a) Esgotos domésticos

As águas que compõem o esgoto doméstico, compreendem aquelas utilizadas para higiene pessoal, cocção e lavagem de alimentos e utensílios, além da água usada em vasos sanitários, sendo, portanto, os esgotos domésticos constituídos, primeiramente por matéria orgânica biodegradável, microorganismos (bactérias, vírus etc.), nutrientes (nitrogênio e fósforo), óleos e graxas, detergentes e metais (BENETTI E BIDONE, 1995).

Compreende-se que com o lançamento do esgoto ou efluente doméstico não tratado nos rios há um aumento da matéria orgânica na água e o equilíbrio local é afetado, aumentando determinados microrganismos e dificultando o desenvolvimento de outros. Esse processo, conhecido como eutrofização pode levar ao surgimento de microalgas e ao sufocamento de peixes e outras espécies, além da transmissão de doenças presentes nas fezes humanas para outros consumidores da água.

Nesse caso, o esgoto doméstico pode estar contaminado com substâncias tóxicas não orgânicas e isso requer o conhecimento da destinação correta para cada tipo de esgoto produzido pela residência/indústria, além de informar-se sobre a existência ou não de Estações de Tratamento de Esgoto (ETE) na região e sua eficiência.

b) Efluentes industriais

O lançamento de efluentes provenientes das atividades industriais em rios, lagos e córregos provocam um sério desequilíbrio no ecossistema. As altas cargas poluentes, presentes nesse tipo de resíduo provocam efeitos tóxicos nos seres vivos do local, podendo se acumular em seus organismos, influenciando também a rotina do ser humano, podendo causar doenças e, em casos mais graves, até a morte.

c) Metais pesados

Geralmente resultantes de processos industriais, substâncias como o mercúrio, o chumbo e o cádmio são classificados como metais pesados e têm uma capacidade tóxica altíssima, podendo se acumular no organismo e causar sérios problemas, como câncer ou outras doenças.

A medida para se evitar esse tipo de desastre é as indústrias darem destino correto aos rejeitos do processo produtivo, serem fiscalizadas e monitoradas para realizarem o tratamento adequado desses metais que são lançados nos rios e contaminam todo o curso de águas.

d) Depósitos de lixos

Os depósitos de lixo possuem resíduos sólidos de atividades domésticas, hospitalares, industriais e agrícolas. Entre os principais impactos nos sistemas hídricos está o acúmulo deste material sólido em galerias e dutos, impedindo o escoamento do esgoto pluvial e cloacal. Pode-se ainda citar que a decomposição do lixo produz um líquido altamente poluído e contaminado denominado chorume que em caso de má disposição dos rejeitos atinge os mananciais subterrâneos e superficiais. Este líquido contém concentração de material orgânico equivalente a uma escala de 30 a 100 vezes o esgoto sanitário, além de microorganismos patogênicos e metais pesados (BENETTI E BIDONE, 1995).

O lançamento de lixos nos rios é uma das fontes poluidoras mais comum dos corpos hídricos, principalmente em grandes centros urbanos. O lixo formado por resíduos sólidos, basicamente residenciais e industriais, é acumulado e provoca o assoreamento dos rios a ponto de não permitir o fluxo da água para locais onde o rio é canalizado, provocando enchentes quando ocorrem chuvas intensas.

Além disso, o lixo pode ser levado através das praias ou mesmo de esgotos sendo despejados diretamente nos rios, por embarcações, tais como veleiros, cargueiros ou navios turísticos, que despejam seus resíduos nas águas e atingem a fauna marítima. Nesse cenário, os animais muitas vezes confundem plástico e vidro com seus alimentos naturais e morrem engasgados ou sufocados.

e) Irrigação e Defensivos agrícolas

O uso intensivo da água na irrigação pode gerar diversos impactos ao ambiente. Telles e Domingues (2006) citam alguns desses impactos ocasionados pela irrigação como depleção excessiva da vazão ou do nível do curso d'água, rebaixamento do lençol freático, salinização do solo, disseminação de doenças de veiculação hídrica e contaminação das águas superficiais e subterrâneas. Essas ações antrópicas acabam interferindo direta e/ou indiretamente no uso da água na agricultura irrigada, tanto em termos de quantidade como de qualidade. Água de boa qualidade é de extrema importância para obtenção de produtos saudáveis e no desempenho dos equipamentos de irrigação.

Outro efeito colateral da irrigação é a contaminação de rios, córregos e da água subterrânea, pois o excesso de água aplicada à área irrigada, que não é evapotranspirada pelas culturas, retorna aos rios e córregos por meio do escoamento tanto superficial quanto subsuperficial ou vai para os depósitos subterrâneos, por percolação profunda, arrastando consigo sais solúveis, fertilizantes (N, P e Nitratos), resíduos de defensivos e herbicidas, elementos tóxicos, sedimentos etc. Sem dúvida, a contaminação dos recursos hídricos tem causado sérios problemas ao suprimento de água potável, tanto no meio rural como nos centros urbanos.

A contaminação de rios e córregos é mais rápida e acontece imediatamente após a aplicação da água na irrigação por superfície, ou seja, por sulco, faixa e inundação. No Brasil, verificam-se sérios problemas devido à aplicação de herbicidas na irrigação por inundação do arroz, uma vez que, parte da vazão aplicada sempre circula pelos tabuleiros e retorna aos córregos. É inerente ao método de irrigação por sulco, o escoamento, no seu final, de parte da vazão aplicada no início do sulco. Essa vazão que escoa no final dos sulcos traz sedimentos (em virtude da erosão no início do sulco), fertilizantes, defensivos e herbicidas. No final da parcela, ela é coletada pelo dreno que a conduz aos córregos (TELLES e DOMINGUES, 2006).

A contaminação de rios e córregos também pode ocorrer de um modo pouco mais lento, por meio do lençol freático subsuperficial que arrasta os elementos citados, exceto os sedimentos. Essa contaminação pode ser agravada se, no perfil do solo irrigado, houver sais solúveis, já que a água que se movimenta no perfil do solo arrasta tanto os sais trazidos para a área irrigada pela água de irrigação como os sais dissolvidos no perfil do solo.

A contaminação da água subterrânea é muito mais lenta, pois o tempo necessário para a água percolada atingir a água subterrânea diminui com o decréscimo da permeabilidade do solo e com a profundidade do lençol freático. Dependendo da permeabilidade do solo, o tempo necessário para a água atingir um lençol freático situado a aproximadamente 30m de profundidade pode variar de 20 a 50 anos. Tal fato se torna um problema mais sério, tendo em vista que transcorrerá muito tempo até se ter ciência de que a água subterrânea está contaminada. Na poluição da água subterrânea, os sais

dissolvidos, os nitratos, os pesticidas e os metais pesados são as substâncias químicas mais preocupantes.

Quanto maiores forem as perdas por percolação e por escoamento superficial na irrigação, maiores serão as chances de contaminação dos mananciais e da água subterrânea. Assim, torna-se cada vez mais necessário dimensionar e manejar os sistemas de irrigação com maior eficiência.

Antes de implementar um projeto de irrigação, notadamente de irrigação por superfície, é importante um estudo geológico da região para evitar áreas com alto potencial de contaminação dos recursos hídricos, em razão da existência de grandes concentrações de sais solúveis, no perfil do solo. A água que retorna da irrigação pela superfície ou subsuperfície deve ser considerada componente dos recursos hídricos da bacia hidrográfica. Atualmente, a agricultura irrigada tem descarregado seu retorno de água diretamente no sistema hidrológico da bacia. Contudo, à medida que a área irrigada aumentar, os conflitos sobre o uso de água se agravarão, uma vez que a população, cada vez mais, está conscientizando-se sobre a importância da qualidade dos mananciais.

O uso de defensivos agrícolas é a principal causa de poluição dos rios no meio rural. O engenheiro agrônomo e professor da Universidade Estadual de Campinas, Mohamed Habib, afirma que hoje o Brasil é o maior consumidor de agrotóxico do mundo, embora não seja o maior produtor. Segundo a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (Anvisa), atualmente o Brasil utiliza 19% de todo defensivo agrícola produzido no planeta. Além disso, mais de 99% dos venenos aplicados na lavoura não atingem a praga alvo. Então, pode-se dizer que mais de 99% dos agrotóxicos vão para os rios, para o solo, para o ar e para a água subterrânea.

Os agrotóxicos usados acumulam-se no solo e são direcionados aos rios pela água das chuvas, onde intoxicam e matam diversos seres vivos. Os fertilizantes contêm em sua composição nitrogênio e fósforo, que ao atingirem os rios provocam o desenvolvimento de uma superpopulação de algas, causando a eutrofização das águas. Esse tipo de poluição também é causado por indústrias de fertilizantes que lançam seus efluentes nos rios.

Dentre todas as regiões hidrográficas do Brasil, a região Atlântico Nordeste Ocidental apresenta um dos menores índices de coleta de esgoto. Apenas 28% do esgoto é coletado, sendo que, de todo esgoto gerado, aproximadamente 8% são tratados antes de ser lançado nos corpos d'água (BRASIL, 2012 apud ANA, 2015).

Em geral, há abundância de água no estado do Maranhão, onde 97,2% das águas são subterrâneas, e somente 2,8% são águas superficiais, ocorrendo escassez somente em áreas de excessiva demanda, 74% das sedes municipais são abastecidas exclusivamente por mananciais subterrâneos (poços), enquanto 21% dos municípios são abastecidos com águas superficiais; os 5%

restantes são abastecidos por sistemas híbridos, mananciais superficiais e subterrâneos; sendo que o setor industrial participa com 7% da demanda. Há lançamentos significativos de esgotos domésticos e efluentes industriais “in natura” nos rios.

Os aquíferos são naturalmente mais protegidos quanto à contaminação do que as águas superficiais. Por outro lado, quando se observam anomalias provocadas pela ação do homem, muitas vezes o dano ambiental pode ser de grande proporção e com elevados custos econômicos e sociais para sua recuperação, quando possível.

4.2 Qualidade das águas

A *qualidade das águas* pode ser entendida como um conjunto de características físicas, químicas e biológicas que ela apresenta conforme sua utilização a qual gera um conjunto de critérios e normas para a qualidade da água com variação quanto à finalidade - consumo humano, uso industrial ou agrícola, lazer ou manutenção do equilíbrio ambiental. Esses critérios e normas enquadram a água segundo padrão aceitável para os usos preponderantes.

Os padrões de classificação mais usados pretendem classificar a água de acordo com a sua potabilidade, a segurança que apresenta para o ser humano e para o bem-estar dos ecossistemas. São requisitos científicos que uma água deve apresentar para ser aplicada a um determinado fim e cujos parâmetros são classificados em níveis (concentração), e desta forma, configuram-se como formas de exigências legais de critérios estudados e fixados através de um dispositivo (legal). Diante disso, as águas são enquadradas a partir das concentrações em classes de uso.

No Brasil, as principais regulamentações para o enquadramento das águas superficiais são resoluções do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) e do Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH):

- **Resolução CONAMA 357/2005** dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências;
- **Resolução CONAMA 430/2011** dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução n.º 357/2005.
- **Resolução CONAMA 274/2000** dispõe da condição de balneabilidade das águas doces, salobras e salinas, para assegurar as condições necessárias à recreação de contato primário.

A Resolução Normativa N.º 357/05 do CONAMA (Figura 28) estabelece a classificação das águas doces, salobras e salinas do território nacional em treze classes, segundo a sua utilização, definindo os parâmetros de qualidade a serem atendidos para cada classe. As águas doces são classificadas em 5 classes (Classe Especial, Casse I, Classe II, Classe III e Classe IV).

Figura 28: Requisitos de qualidade da água em função das classes de enquadramento e usos da água (ANA, 2021).

Fonte: CONAMA (2005).

O enquadramento é uma classificação dos sistemas hídricos, de acordo com o tipo de corpo d´água e os usos destes mananciais. Na Resolução CONAMA N.º 357/2005, conforme as exigências de qualidade, os usos são indicados como apresenta a Figura 29.

Figura 29: Usos possíveis de acordo com as Classes (ANA, 2021).

CLASSE	COR	USOS POSSÍVEIS
ESPECIAL		Abastecimento para consumo humano com desinfecção; Preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas; Preservação dos ambientes aquáticos em unidades de conservação de proteção integral.
I (UM)		Abastecimento para consumo humano após tratamento simplificado; Proteção das comunidades aquáticas; Recreação de contato primário (natação); Irrigação de hortaliças que são consumidas cruas e de frutas que se desenvolvem rentes ao solo e que sejam ingeridas cruas sem remoção de película;
		Proteção das comunidades aquáticas em terras indígenas.
II (DOIS)		Abastecimento para consumo humano após tratamento convencional; Proteção das comunidades aquáticas; Recreação de contato primário; Irrigação de hortaliças, plantas frutíferas e de parques, jardins, campos de esporte e lazer, onde o público possa vir a ter contato direto a água; Aquicultura e atividade de pesca.
III (TRÊS)		Abastecimento para consumo humano após tratamento Convencional ou avançado; Irrigação de culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras; Pesca amadora; Recreação de contato secundário; Dessedentação de animais.
IV (QUATRO)		Navegação; Harmonia paisagística. E Aos usos menos exigentes.

Fonte: ANA (2021).

Segundo Costa e Conejo (2009), relacionados a cada “classe” os parâmetros que melhor traduzem a qualidade das águas são os apresentados na Figura 30 .

Figura 30: Parâmetros de qualidade relacionados às classes de uso das águas doces.

USO	PARÂMETROS RELACIONADOS	CLASSE
Proteção das comunidades aquáticas	OD, DBO, pH, Temperatura da água, Nutrientes (N e P), Amônia, Algas, Clorofila a, Turbidez, Substâncias tóxicas (metais, agrotóxicos, entre outros), Coliformes termotolerantes, Sólidos em suspensão	1
Abastecimento humano	Turbidez, DBO, pH, Nutrientes (N e P), Amônia, Algas, Clorofila a, Cloreto, Coliformes termotolerantes, Patógenos, Substâncias Tóxicas, Potencial de formação de trihalometanos, Sólidos em suspensão	1,2 e 3
Recreação	Coliformes Termotolerantes, Algas, Óleos e graxas, Turbidez	2 e 3
Aquicultura e pesca	Oxigênio Dissolvido, pH, Temperatura da água, Nutrientes (N e P), Algas, Turbidez, Substâncias Tóxicas (metais, agrotóxicos, entre outros), poluentes que se acumulam ao longo da cadeia alimentar (POPs)	2
Irrigação	Coliformes termotolerantes, Sólidos totais dissolvidos, cloretos, sódio, pH, Potássio, Cálcio, Magnésio, Condutividade elétrica	2 e 3
Dessedentação de animais	Nitratos, Sulfatos, Sólidos totais dissolvidos, Metais, Poluentes orgânicos (ex: agrotóxicos), Patógenos e Algas	1, 2 e 3
Navegação	Sólidos em suspensão, Materiais flutuantes, Espumas não naturais, Odor, Aspecto da água	4
Harmonia Paisagística	Materiais flutuantes, Espumas não naturais, Odor e Aspecto da água	4

Fonte: Costa e Conejo (2009).

Descreve-se neste trabalho, os principais parâmetros que são importantes na avaliação da qualidade hídrica de sistemas ambientais, sendo:

a) Parâmetros Físicos

- **Cor**

A cor é o parâmetro que trata da aparência da água devido aos sólidos dissolvidos. Sua alteração pode ter origem natural, devido à presença de matéria orgânica ou de íons ferro e manganês ou pode ser derivada de alguma atividade antropogênica, como resíduos industriais ou esgotos domésticos despejados no corpo d'água em questão.

A coloração da água se origina através dos sólidos dissolvidos, decomposição da matéria orgânica que libera compostos orgânicos complexos como ácidos húmicos e fúlvicos (75 a 85% dos casos), ferro e manganês. A cor da água não representa risco à saúde, mas a população pode questionar a qualidade da água (PEREIRA, 2004).

A cor da água é determinada por comparação com soluções padrões (cobalto-platina), os métodos mais utilizados são: Hazen, Ohle e escala Forel-Ule. Segundo a Portaria n.º 1.469, de 29 de dezembro de 2000, o valor máximo permitido para cor aparente em água potável é de 15uH (unidade Hazen – PtCo/L).

- **Sabor e odor**

Sabor e odor presentes na água costumam estar direcionados a substâncias inorgânicas, e com isso proporcionar um sabor amargo na água e ao mesmo tempo gases podem ser liberados durante o processo de decomposição da matéria orgânica e a presença de compostos olorosos.

Segundo Pereira (2004), o sabor e odor podem ter origem natural, através da matéria orgânica em decomposição, microorganismos (fitoplâcton, por exemplo), e gases naturais (gás sulfidrico ou H2S), ou origem antrópica, através de despejos domésticos e industriais.

Conforme (VON SPERLING, 1995), é comum a determinação do sabor e do odor das águas de abastecimento brutas e tratadas, apesar de altos índices destes parâmetros não evidenciarem necessariamente riscos à saúde. O motivo dessa avaliação é o mesmo da cor, suspeita da qualidade da água e além de ser a maior causa de reclamações dos consumidores. Entre as substâncias responsáveis pela alteração do odor e do sabor da água estão os fenóis, provenientes de efluentes não-tratados de refinarias de óleos e indústrias químicas em geral (COWEL E ANDERSON, 1979).

- **Turbidez**

A turbidez pode ser definida como uma medida do grau de interferência à passagem da luz através do líquido. A alteração à penetração da luz na água decorre na suspensão, sendo expressa por meio de unidades de turbidez. A turbidez dos corpos d'água é particularmente alta em regiões com solos erosivos, onde a precipitação pluviométrica pode carrear partículas de argila, silte, areia, fragmentos de rocha e óxidos metálicos do solo.

Conforme FUNASA (2013), a turbidez pode ser provocada também pela presença de algas, plâncton, matéria orgânica e muitas outras substâncias como o zinco, ferro, manganês e areia, resultantes do processo natural de erosão ou de despejos domésticos e industriais. A turbidez tem sua importância no processo de tratamento da água.

- **Sólidos Dissolvidos Totais (SDT)**

Os sólidos totais estão presentes na água devido à ação da erosão da água sobre o meio. É o conjunto de todas as substâncias orgânicas e inorgânicas contidas num líquido sob formas moleculares, ionizadas ou micro granulares. É um parâmetro de determinação da qualidade da água, pois avalia o peso total dos constituintes minerais presentes na água, por unidade de volume.

b) Parâmetros Químicos

- **Temperatura (T °C)**

Avalia a intensidade do calor na água. É um parâmetro importante, pois, influi em algumas propriedades da água (densidade, viscosidade, oxigênio dissolvido), com reflexos sobre a vida aquática. A temperatura pode variar em função de fontes naturais (energia solar) e fontes antropogênicas (despejos industriais e águas de resfriamento de máquinas).

De acordo com Sperling (2005), a temperatura pode ser definida como uma medida da intensidade de calor e apresenta origem natural, ou seja, transferência de calor por radiação, condução e convecção. A origem antrópica deve-se, especialmente, aos despejos industriais, as altas temperaturas aumentam a taxa das reações físicas, químicas e biológicas e diminuem a solubilidade dos gases.

- **Oxigênio Dissolvido (O.D)**

O.D. é importante na água porque através dele o paladar da água melhora, os peixes e outros organismos menores que vivem nela precisam de O.D para sua sobrevivência. O conteúdo de O.D. pode ser acrescido pelo oxigênio produzido por plantas aquáticas, durante a fotossíntese. É o gás mais abundante na água, depois do nitrogênio, e também, o mais importante (ARANA, 1997). Durante a

estabilização aeróbica da matéria orgânica, as bactérias decompositoras fazem uso do oxigênio em seus processos respiratórios, podendo diminuir sua presença no meio. Dependendo da intensidade com que esse oxigênio é consumido e da taxa de aeração do ambiente, podem vir a morrer diversos seres aquáticos devido à ausência de oxigênio.

Segundo Pereira (2004), o oxigênio dissolvido é um dos principais parâmetros para controle dos níveis de poluição das águas. Ele é fundamental para manter e verificar as condições aeróbicas num curso d´água que recebe material poluidor. “Altas concentrações de oxigênio dissolvido são indicadores da presença de vegetais fotossintéticos e baixos valores indicam a presença de matéria orgânica (provavelmente originada de esgotos), ou seja, alta quantidade de biomassa de bactérias aeróbicas decompositoras (O´CONNOR, 1967)”.

- **pH**

Pode ser considerado como um fator de medida da intensidade de amostras ácidas e básicas, com o conhecimento do pH de uma água podemos controlar a proliferação de pequenos seres animais e vegetais e teremos mais eficiências na remoção de bactérias.

O termo pH representa a concentração de íons hidrogênio em uma solução. Na água, esse fator é de excepcional importância, principalmente nos processos de tratamento. Na rotina dos laboratórios das estações de tratamento ele é medido e ajustado sempre que necessário para melhorar o processo de coagulação/floculação da água e também o controle da desinfecção. O valor do pH varia de 0 a 14. Abaixo de 7 a água é considerada ácida e acima de 7, alcalina. Água com pH 7 é neutra (FUNASA, 2013).

O pH atua de forma indireta na precipitação de elementos químicos tóxicos, como metais pesados ou em outras condições que possam exercer efeitos sobre a solubilidade de nutrientes. A utilização de águas ácidas pode acarretar problemas como corrosão em equipamentos (tubos de revestimentos, filtros, bombas etc.), turbidez e presença de ferro na água (CETESB, 2011).

- **Condutividade**

Condutividade elétrica é uma medida da habilidade de uma solução aquosa de conduzir uma corrente elétrica devido à presença de íons. Essa propriedade varia com a concentração total de substâncias ionizadas dissolvidas na água, com a temperatura, com a mobilidade dos íons, com a valência dos íons e com as concentrações real e relativa de cada íon.

- **Dureza**

Define-se como a concentração de cátions metálicos com estados de oxidação iguais ou superiores a dois; Ca^{2+}, Mg^{2+}. Este parâmetro é resultante da presença de sais alcalinos terrosos ou de metais bivalentes que, em grande quantidade, pode provocar sabor desagradável e efeitos laxativos. Valor máximo permitido: 500 $mg.L^{-1}$.

- **Alcalinidade**

Causada por sais alcalinos, principalmente de sódio e cálcio; mede a capacidade da água de neutralizar os ácidos; em teores elevados, pode proporcionar sabor desagradável à água e tem influência nos processos de tratamento da água.

- **Nitrogênio total**

O nitrogênio é componente químico fundamental para as reações biológicas, já que elas ocorrem quando há a presença de quantidade suficiente desse elemento químico. O nitrogênio está presente no ambiente de diferentes formas, sendo, nitrato, nitrito, nitrogênio amoniacal e nitrogênio orgânico. A água que contém altas concentrações de nitrogênio orgânico e amoniacal e pequenas concentrações de nitritos e nitratos não pode ser considerada segura, pois indica que o local teve contaminação recente. No caso de as concentrações de nitrogênio amoniacal terem se reduzido e as de nitrato aumentado, significa que a contaminação não é mais recente (VIEIRA, 2015).

- **Fósforo total**

O Fósforo na água apresenta-se basicamente nas formas de ortofosfato, polifosfato e fosfato orgânico. Os ortofosfatos são diretamente disponíveis para o metabolismo biológico, sem a necessidade de conversão a formas mais simples. Os ortofosfatos mais detectados na água são o PO_4^{3-}, HPO_4^{2-}, H_2PO^{4-} e H_3PO^{4-}. A sua presença na água ocorre em função da presença de sólidos em suspensão e dos sólidos dissolvidos. A sua origem natural é devido à dissolução de compostos do solo e a decomposição da matéria orgânica. A sua origem antropogênica ocorre devido aos despejos domésticos, despejos industriais, detergentes, excrementos de animais e uso de fertilizantes (SPERLING, 2005).

C) Parâmetros Orgânicos

- **Demanda Bioquímica de oxigênio (DBO)**

É a quantidade de oxigênio necessária para estabilizar (oxidar) a matéria orgânica, através de processos bioquímicos de decomposição. Os processos são executados por bactérias aeróbias, para

transformar a matéria orgânica em uma forma inorgânica estável. Trata-se de uma medida indireta da quantidade de matéria orgânica (carbono orgânico biodegradável) (SPERLING, 2005).

A DBO é reconhecida como a quantidade de oxigênio consumido durante um determinado período de tempo, numa temperatura de incubação específica. Quando o período de incubação da DBO é de 5 dias, em uma temperatura de incubação de 20°C, a DBO é conhecida como DBO5,20. A DBO se torna elevada num corpo d'água quando acontecem despejos de origem, predominantemente, orgânica. A existência de um alto teor de matéria orgânica pode resultar no completo esgotamento do oxigênio na água, provocando o desaparecimento de peixes e outras formas de vida aquática (CETESB, 2013).

- **Demanda Química de Oxigênio (DQO)**

É empregado para medir o conteúdo de matéria orgânica das águas. É a quantidade de oxigênio consumido por oxidação química de substâncias orgânicas e algumas inorgânicas contidas na água analisada.

Segundo Pereira (2004), em locais que contêm substâncias tóxicas para as bactérias decompositoras, a única maneira de determinar se a carga é orgânica é pela DQO ou carbono orgânico total, já que a DBO não pode ser aplicada, pois há morte das bactérias. Quando uma amostra possui somente nutrientes e não compostos tóxicos, o resultado da DQO pode também ser usado para estimar-se a DBO carbonácea.

d) Parâmetros Microbiológicos

- **Coliformes**

De acordo com Pereira (2004), os coliformes representam um parâmetro microbiológico e são capazes de desenvolver ácido, gás e aldeído, na presença de sais biliares ou agentes tensoativos (detergentes). As bactérias do grupo coliforme são consideradas indicadores primários da contaminação fecal das águas.

Coliformes fecais compreendem apenas uma porção do grupo coliformes totais e têm maior significância na avaliação da qualidade sanitária do ambiente sendo preferenciais às análises apenas de coliformes totais, menos específicas.

Portanto, os índices de coliformes fecais são bons indicadores de qualidade das águas em termos de poluição por efluentes domésticos (BAUMGARTEN E POZZA, 2001).

As concentrações limites de cada um destes parâmetros dependem do tipo de corpo d´água que está sendo avaliado, as relações entre concentrações e tipo de corpo d´água serão discutidas no enquadramento dos sistemas hídricos.

- **Coliformes termotolerantes**

Ocorrem no trato intestinal de animais de sangue quente e são indicadoras de poluição por esgotos domésticos. Elas não são patogênicas (não causam doenças), mas sua presença em grandes números indica a possibilidade da existência de microorganismos patogênicos que são responsáveis pela transmissão de doenças de veiculação hídrica, a exemplo da disenteria bacilar, febre tifoide, cólera.

5. ASPECTOS QUALITATIVOS DA BACIA DO RIO ITAPECURU

Neste estudo apresenta-se a qualidade das águas do rio Itapecuru a partir da análise dos dados de estações de monitoramento da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico - ANA, de parâmetros Organolépticos e Substâncias Inorgânicas disponibilizados pelo projeto Conexão Água em seu portal do Ministério Público[1]; e a partir de amostras coletadas no campo pela equipe técnica do Laboratório de Recursos Hídricos do Núcleo de Geoprocessamento da Universidade Estadual do Maranhão – LabHidro/NUGEO/UEMA, nos anos de 2020, 2021 e 2022.

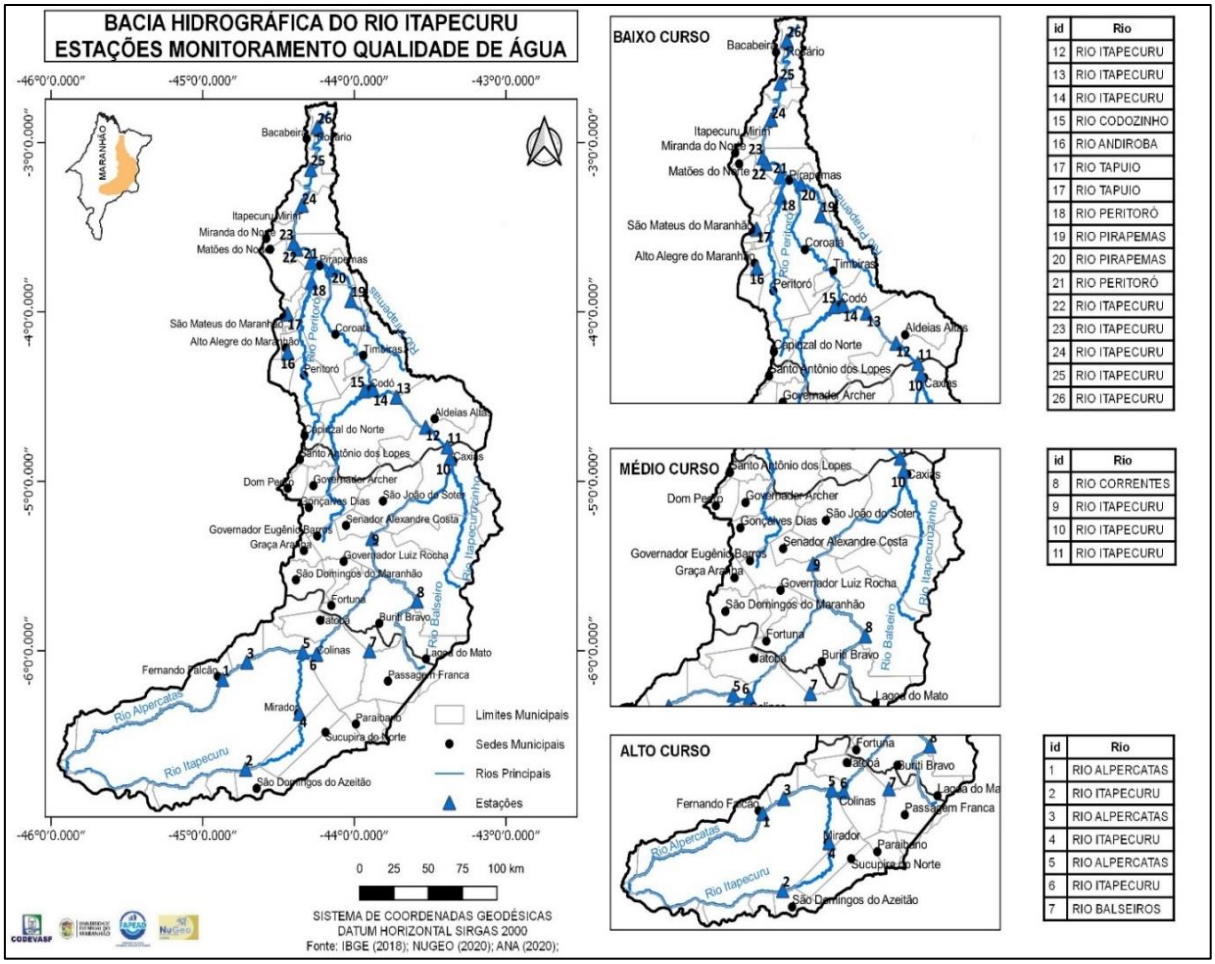
5.1 Qualidade das Águas do rio Itapecuru de Estações de Monitoramento

Os procedimentos metodológicos aplicados neste trabalho consistiram, preliminarmente, em análise dos dados disponibilizados pela Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) por meio do portal HidroWeb que é uma ferramenta integrante do Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH). Foram selecionadas um total de 27 estações fluviométricas, localizadas no rio Itapecuru e principais afluentes, conforme disposição na Figura 31.

Em seguida, selecionou-se, entre as 27 estações, aquelas que dispunham de dados de qualidade. Verificou-se, os anos e meses com informações, sendo os resultados apresentados em tabelas e gráficos. Ainda, por meio do Atlas Esgoto da ANA (2018), retratou-se a Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e a capacidade de diluição dos esgotos para a bacia como um todo.

[1] Portal Conexão Água: água, saúde e saneamento. Disponível em:< https://conexaoagua.mpf.mp.br/>.

Figura 31: Estações Fluviométricas de Qualidade das Águas na Bacia do Rio Itapecuru.



Fonte: Registros da Pesquisa (2023)

Apresenta-se um panorama da qualidade das águas superficiais da bacia com base em dados de temperatura, pH, turbidez, OD, DBO e os resultados da capacidade de diluição de esgotos.

- **Temperatura**

Segundo Percebon *et al.* (2005) e Webb e Walling (1993), a temperatura é considerada um dos parâmetros de qualidade por indicar a saúde de um ambiente aquático, ou seja, dependendo da temperatura esta pode tornar-se atraente ou não para os organismos que habitam no ecossistema aquático, vindo interferir diretamente na sua permanência, reprodução ou mesmo sobrevivência. Neste âmbito, conforme Cruz *et al.* (2010), a temperatura pode influenciar na taxa de crescimento, distribuição e desenvolvimento dos organismos aquáticos. Conforme Bryant (1977) a temperatura média da superfície do planeta é de 15ºC, e, exceto por processos geotérmicos presentes, as águas superficiais não apresentam temperaturas superiores a 25ºC – 40ºC.

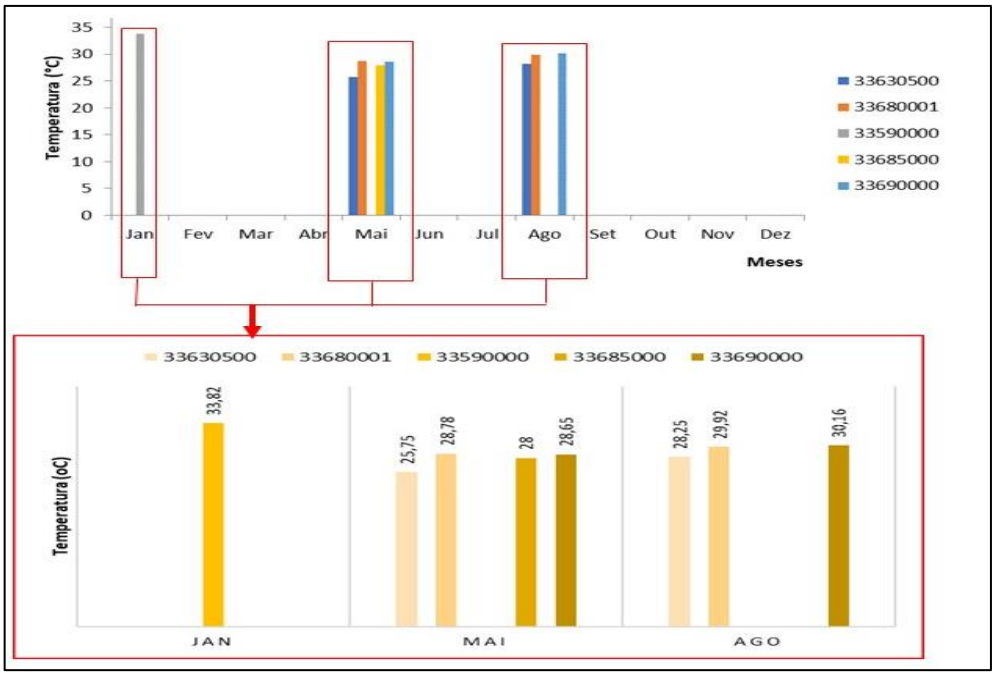
Neste sentido, Percebon *et al.* (2005), aborda que com relação aos padrões de potabilidade de águas, o limite de temperatura para a água de abastecimento público na Alemanha e Comunidade

Europeia é de 25ºC e no Canadá é apenas 15ºC. No Brasil não existe legislação que defina um valor padrão aceitável para as águas doces. A Resolução CONAMA 357 (2005) ou mesmo a Portaria 1469 (2000) indicam apenas a temperatura de lançamento de efluentes, sendo de no máximo 40ºC.

Na análise da temperatura no Alto, Médio e Baixo Cursos do rio Itapecuru, para o ano de 2019 (Figuras 6 a 8), foi verificado que não houve alteração significativa, com resultados entre 26ºC e 29ºC, com exceção da estação 33590000, localizada no município de Codó (BAIXO CURSO) e da estação 33410000, localizada no município de São Domingos do Azeitão (ALTO CURSO), que nos meses de janeiro e fevereiro respectivamente, apresentaram temperaturas acima de 30ºC. Isso, provavelmente, está relacionado a hora da análise, período mais quente do dia.

Esses resultados apontam, a partir das estações estudadas, que a temperatura na bacia apresenta-se estável, sem alterações significativas. Ressalta-se que a oscilação de temperatura da água interfere no comportamento da vida aquática já que os organismos aquáticos possuem uma temperatura ideal para seu desenvolvimento, portanto a elevação/diminuição pode ocasionar migração ou mortes da ictiofauna. Além da influência nas atividades biológicas, a alteração interfere no comportamento dos parâmetros físicos, químicos e microbiológico das águas.

Figura 32: Comportamento da Temperatura no Baixo Curso da bacia do rio Itapecuru.

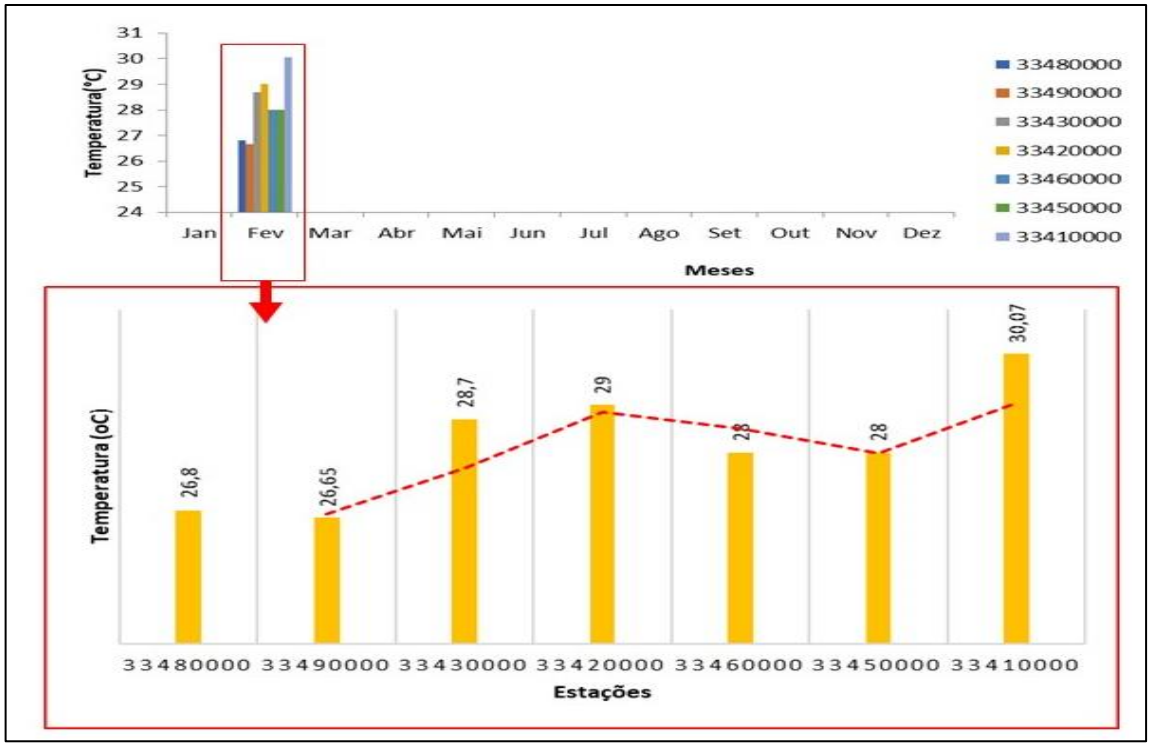


Fonte: Registros da Pesquisa (2023)

Figura 33: Comportamento da Temperatura no Médio Curso da bacia do rio Itapecuru.

Fonte: Registros da Pesquisa (2023)

Figura 34: Comportamento da Temperatura no Alto Curso da bacia do rio Itapecuru.

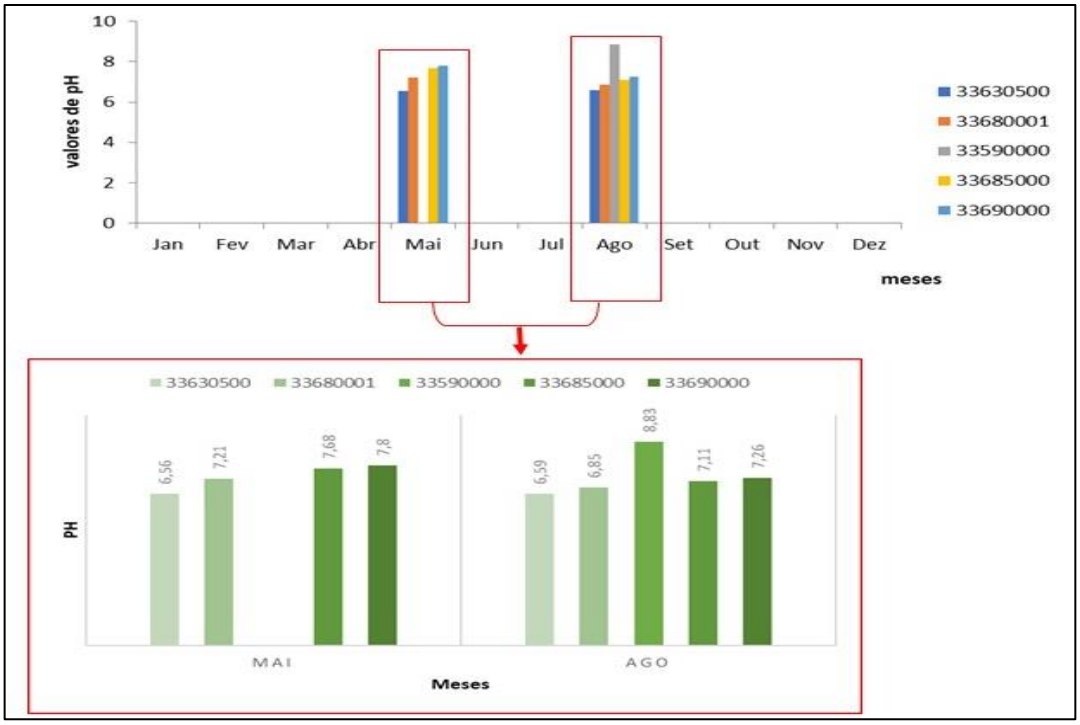


Fonte: Registros da Pesquisa (2023)

- **pH**

A Resolução CONAMA 357/2005 estabelece que águas das Classes Especial I e II são destinadas, entre outros, à preservação da vida aquática (artigo 4º), e estipula que a faixa de pH para essas Classes deve ser de 6,0 a 9,0. Neste sentido, observa-se que nas estações do baixo Itapecuru, o pH, entre 7 e 8, ocorre na tolerância da maioria das espécies de peixe para água doce e em conformidade com a legislação (Figura 35).

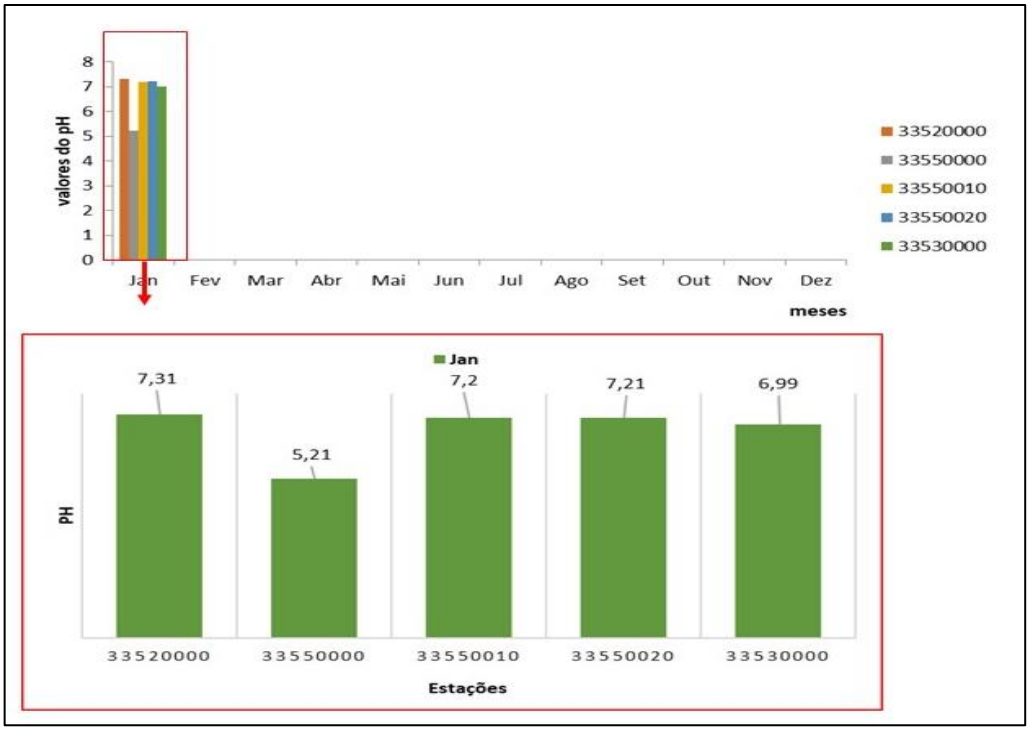
Figura 35: Comportamento do pH no Baixo Curso da bacia do rio Itapecuru.



Fonte: Registros da Pesquisa (2023)

Para as estações do Médio Curso, no mês de janeiro, o pH obteve igualmente às estações do Baixo Curso da bacia, um padrão aceitável, com exceção da estação 33550000, localizada no município de Caxias (Figura 36), com pH igual a 5,21. Acredita-se, que por esta estação está mais próxima do centro urbano deste município, ocorre despejos domésticos e/ou efluentes não tratados diretamente no rio, resultando na alteração do pH.

Figura 36: Comportamento do pH no Médio Curso da bacia do rio Itapecuru.

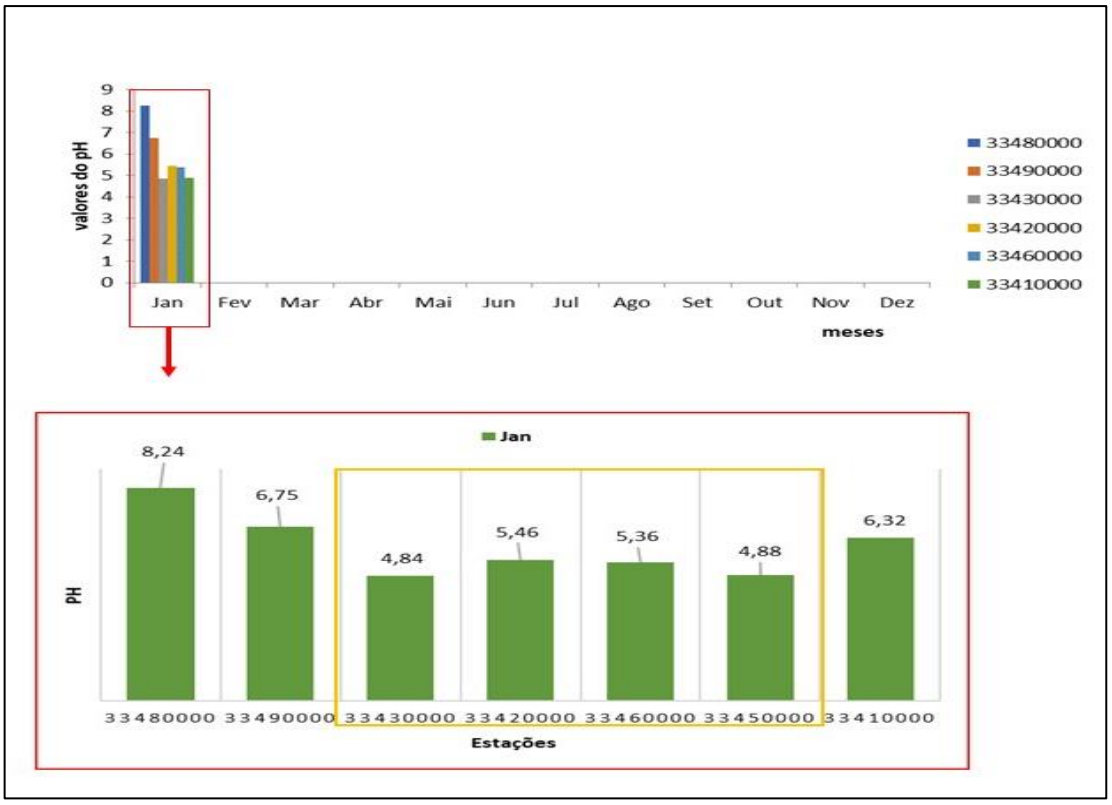


Fonte: Registros da Pesquisa (2023)

Para as estações do Alto Curso da bacia (

Figura **37**), verifica-se que no mês de janeiro do ano de 2019, apenas as estações localizadas nos municípios de: Colinas (estação 33480000/33490000) e São Domingos do Azeitão (estação 33410000) estavam em conformidade com o padrão CONAMA N.º 357/2005, com pH entre 6 e 9. As estações 33430000/33420000, 33450000/33460000, localizadas nos municípios de Fernando Falcão e Mirador respectivamente, estão abaixo do valor, conforme resolução. Com a diminuição do pH da água (por exemplo, por meio do despejo de efluentes ácidos), os peixes apresentarão maior frequência respiratória, passando a abocanhar o ar na superfície; em pH extremamente baixo a morte é imediata, inclusive, alguns metais em pH menor que 4 apresentam maior toxicidade.

Figura 37: Comportamento do pH no Alto Curso da bacia do rio Itapecuru.



Fonte: Registros da Pesquisa (2023)

- **Turbidez**

Segundo Von Sperling (2005), a água apresenta sinais de turbidez pela contaminação de materiais sólidos em suspensão, presença de algas, partículas de rocha ou areia, que ali são depositados naturalmente e por erosão ou provocada pelos despejos domésticos e industriais, depositando nela microorganismos e partículas.

De acordo com as resoluções CONAMA N.º. 357/2005 o limite máximo são de 40 Unidades Nefelométricas de Turbidez (UNT) para Classe I e, até 100 UNT para as Classes 2 e 3, não havendo padrão para a Classe IV (Tabela 22).

Tabela 22: Padrão do parâmetro Turbidez conforme Resolução CONAMA N.º.357/2005.

Parâmetro	Unidade	Padrão Resolução CONAMA Nº. 357/2005			
		Classe I	Classe II	Classe III	Classe IV
Turbidez	UNT	Até 40	Até 100	Até 100	-

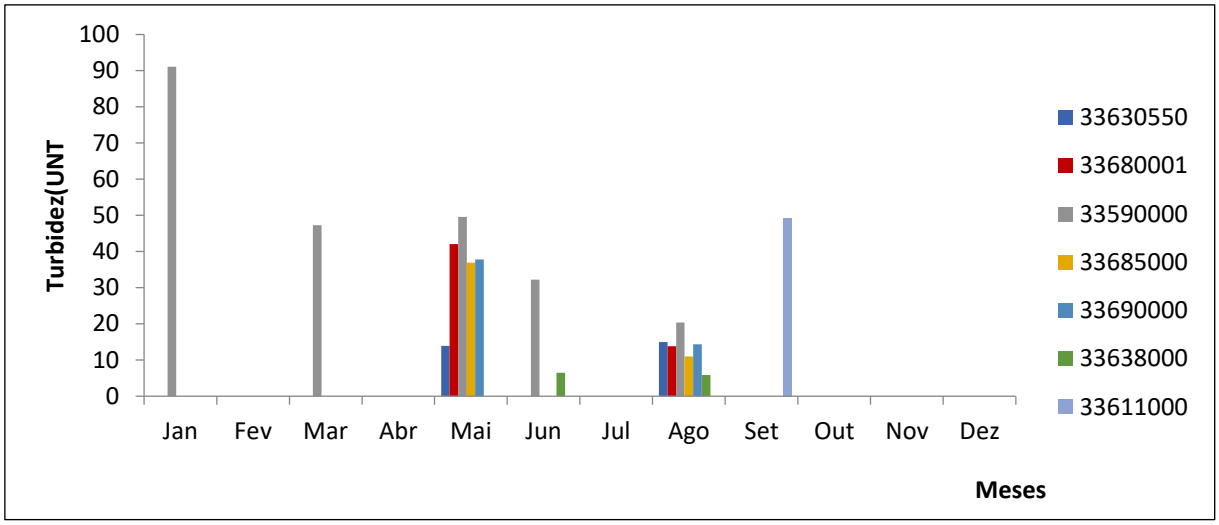
Fonte: CONAMA (2005).

Analisando os dados das estações do Baixo Curso da bacia do rio Itapecuru (Figura 38), verifica-se que na maioria, os valores de turbidez estão abaixo de 40 UNT, e desta forma, estão em conformidade com a resolução CONAMA, para a Classe I, sendo as águas neste trecho, indicadas para o abastecimento humano após desinfecção; para preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas de forma geral.

Três estações apresentaram valores acima de 40 UNT, e, portanto, não estão em conformidade para a Classe I, sendo: a estação 3368001 localizada no município de Alto Alegre do Maranhão, no mês de maio, com valor de turbidez de 42,07 UNT, assim como, da estação 33590000 no município de Codó, no mês de janeiro, com turbidez de 91,1 UNT, e a estação 33661000, no município de Pirapemas, no mês de setembro com 49,26 UNT.

Todavia, como nesses pontos os valores de turbidez estão abaixo de 100 UNT, enquadram-se na Classe II e 3, com possibilidade de uso das águas para além do abastecimento humano após desinfecção, sendo indicadas também para o uso de preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas de forma geral; assim como para: recreação de contato primário; pesca amadora, recreação de contato secundário, navegação, harmonização paisagística e dessedentação de animais.

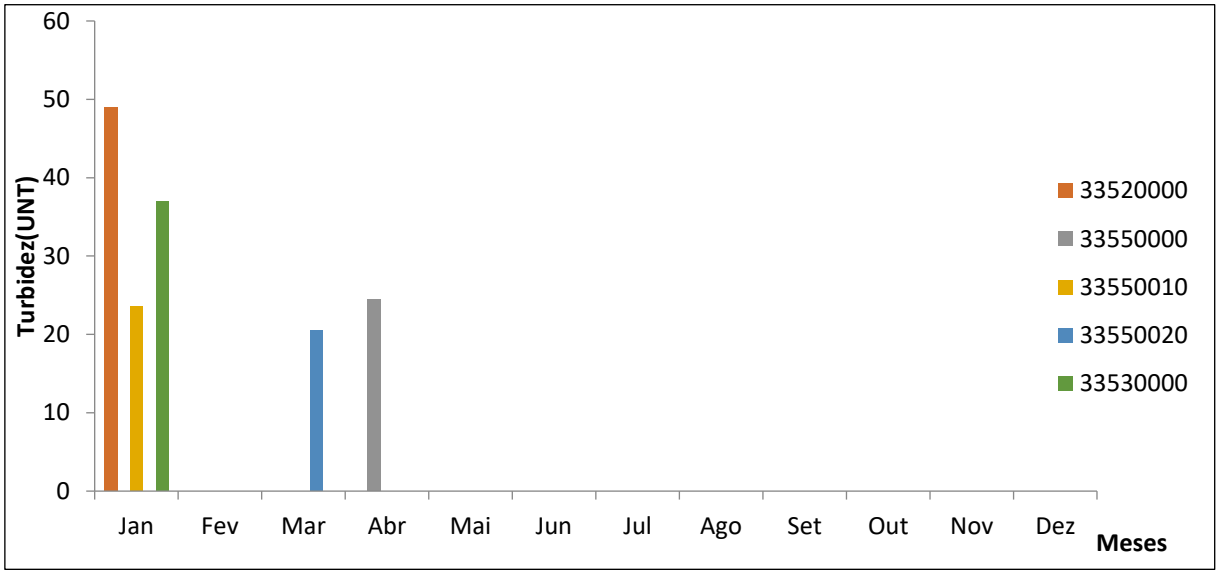
Figura 38: Comportamento da turbidez no Baixo Curso da bacia do rio Itapecuru.



Fonte: Registros da Pesquisa (2023)

No Médio Curso (39), as estações apresentaram comportamento em consonância com a Resolução CONAMA N.º. 357/2005, Classe I, com valor de turbidez ate 40 UNT, com exceção apenas da estação 33520000 localizado no municipio de Buriti Bravo, com valores acima de 47 UNT.

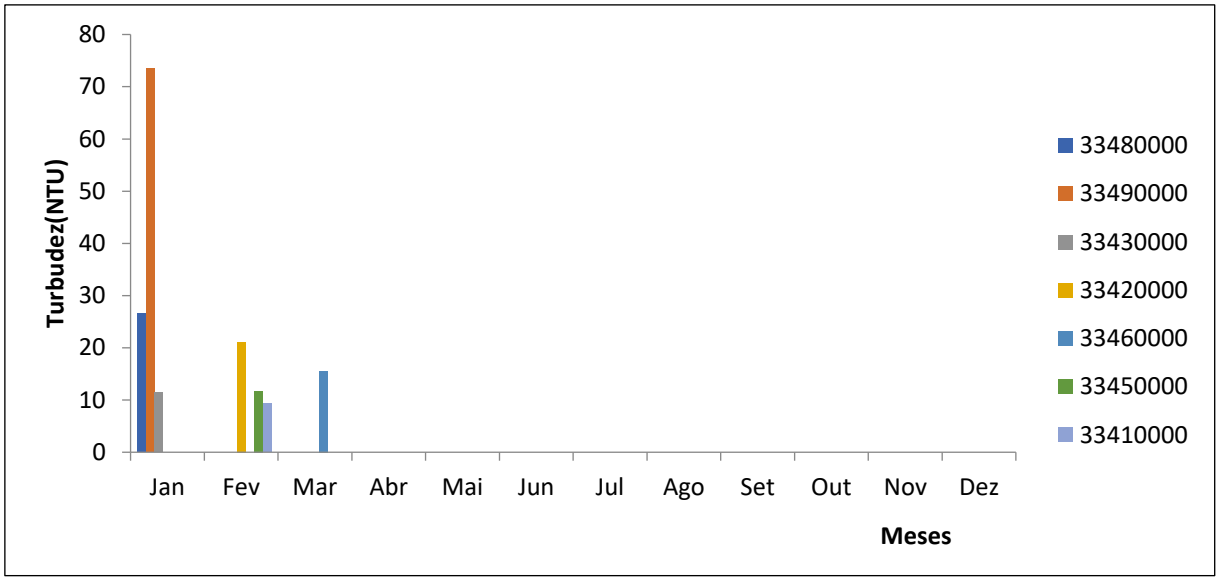
Figura 39: Comportamento da turbidez no Médio Curso da bacia do rio Itapecuru.



Fonte: Registros da Pesquisa (2023)

Os valores de turbidez do Alto Curso (**Figura 40**) variaram de 9,3 NTU a 73,5 NTU (estação 33490000) no município de Colinas, sendo a única não conforme para a Classe I de acordo com Resolução CONAMA 357/2005.

Figura 40: Comportamento da turbidez no Alto Curso da bacia do rio Itapecuru.



Fonte: Registros da Pesquisa (2023)

- **Oxigênio Dissolvido – OD, Demanda Bioquímica de Oxigênio - DBO e Capacidade de Diluição**

Segundo Derisio (1992), o *Oxigênio dissolvido (OD)* é um indicador da concentração de oxigênio dissolvido na água em mg L^{-1}. O oxigênio é um gás pouco solúvel em água e a sua solubilidade depende da pressão (altitude), temperatura e sais dissolvidos, normalmente a concentração de saturação está em torno de 8 mg L^{-1} a 25°C entre 0 e 1.000 m de altitude.

Já a D*emanda Bioquímica de Oxigênio (*DBO_5*),* conforme Porto (1991), é um indicador que determina indiretamente a concentração de matéria orgânica biodegradável através da demanda de oxigênio exercida por microrganismos através da respiração. A DBO é um teste padrão, realizado a uma temperatura constante de 20ºC e durante um período de incubação também fixo, 5 dias. É uma medida que procura retratar em laboratório o fenômeno que acontece no corpo d´água.

Assim uma amostra é coletada em duplicata, e em uma das amostras é medido o oxigênio dissolvido após a coleta; o oxigênio da outra amostra é medido após 5 dias, período em que a amostra fica em uma incubadora a uma temperatura de 20ºC. A diferença de concentração de oxigênio representa a demanda bioquímica de oxigênio (oxigênio consumido para oxidar a matéria orgânica via respiração dos microrganismos).

É um indicador estimativo, já que as condições: turbulência das águas, aeração e insolação etc. não são consideradas. Quando a água possui muita matéria orgânica e microrganismos, é necessário diluir a amostra e introduzir nutrientes. Para efluentes industriais que não possuem oxigênio suficiente e nem microrganismos, é necessário além da diluição e introdução de nutrientes, adicionar

"semente", ou seja, uma porção de esgoto com microrganismos e DBO conhecido para corrigir o resultado. No período de 5 dias a 20ºC (DBO_5), é consumido cerca de 70% a 80% da matéria orgânica (esgoto doméstico); após 5 dias começa a demanda nitrogenada, em que durante cerca de 20 dias são consumidos 100% da matéria orgânica. O esgoto é considerado biodegradável quando a relação DQO/DBO é menor que 5.

Na Figura 15 destaca-se a origem e fatores de alteração do OD e DBO das águas de rios conforme Ministério do Meio Ambiente (MMA), para facilitar a análise dos resultados.

Figura 41: Alguns parâmetros para avaliação da qualidade de uma água relacionados com a química de oxidação-redução (adaptação da tabela disponível em sítio do Ministério do Meio Ambiente na Internet: http://www.mma.gov.br/port/srh/acervo/publica/doc/zoneamen/anexo2.pdf).

Parâmetro	Características gerais	Origem na água e fatores de alteração	Inconvenientes
Oxigênio dissolvido (OD)	• Representa a quantidade de oxigênio molecular (O_2) dissolvido na água; • Expresso, geralmente, em mg L^{-1} ou porcentagem de saturação em uma dada temperatura e pressão.	• Provém naturalmente de processos de dissolução/aeração das águas e como produto da reação de fotossíntese; • Varia em função da temperatura e salinidade da água e da pressão atmosférica; • Reduções significativas nos teores de OD podem ser provocadas por despejos de origem orgânica (esgotos e alguns efluentes industriais) e/ou com elevada temperatura, que pode diminuir a solubilidade do oxigênio na água.	• Apesar de essencial à vida, o oxigênio é fator significativo na corrosão de tubulações de ferro e aço.
Demanda bioquímica de oxigênio (DBO)	• Parâmetro mais usual de indicação da poluição por matéria orgânica; • A determinação envolve a medida do oxigênio dissolvido utilizado pelos microrganismos na oxidação bioquímica da matéria orgânica; • A DBO é avaliada experimentalmente determinando a concentração de OD antes e após um período durante o qual uma amostra de água é mantida no escuro a temperatura de 20 ou 25 °C. A DBO é igual à quantidade de oxigênio consumida como resultado da oxidação de matéria orgânica dissolvida da amostra. As reações de oxidação são catalisadas pela ação de bactérias já presentes na amostra de água natural; • Usualmente, permite-se que a reação se prolongue por 5 dias antes da determinação do oxigênio residual. A demanda determinada por este tipo de teste (DBO_5) corresponde a cerca de 80% do que seria determinada se o experimento fosse realizado após um período de tempo muito longo - o que naturalmente não é prático, • A DBO é expressa em mg L^{-1} (miligramas de O_2 por litro de H_2O); • A DBO é empregada na determinação da quantidade aproximada de oxigênio que será necessária para oxidar biologicamente a matéria orgânica presente na água.	• Ocorre naturalmente nas águas em nível reduzido em função da degradação de matéria orgânica (folhas, animais mortos, fezes de animais); • Aumentos de DBO são provocados por efluentes de origem predominantemente orgânica; • A DBO média para água superficial não poluída nos EUA é cerca de 0,7 mg L^{-1}, que é consideravelmente menor que a solubilidade do O_2 em água (8,1 mg L^{-1} a 25 °C); • Valores de DBO de águas residuais, efluentes ou esgotos de indústrias são em geral de várias centenas de mg L^{-1}; • Águas seriamente poluídas apresentam DBO maior que 10 mg L^{-1}.	• Altos índices podem gerar a diminuição e até a eliminação do oxigênio presente nas águas. Nessas condições, os processos aeróbicos de degradação orgânica podem ser substituídos pelos anaeróbicos, gerando alterações substanciais no ecossistema, inclusive extinção das formas de vida aeróbicas; • O tempo elevado de determinação da DBO é um inconveniente deste parâmetro.

Fonte: Fiorruci e Filho (2005).

Ressallta-se, ainda, que conforme Resolução 357/2005 do CONAMA, os limites permitidos para os parâmetros oxigênio dissolvido e demanda bioquímica de oxigênio são estes apresentados na Tabela 23.

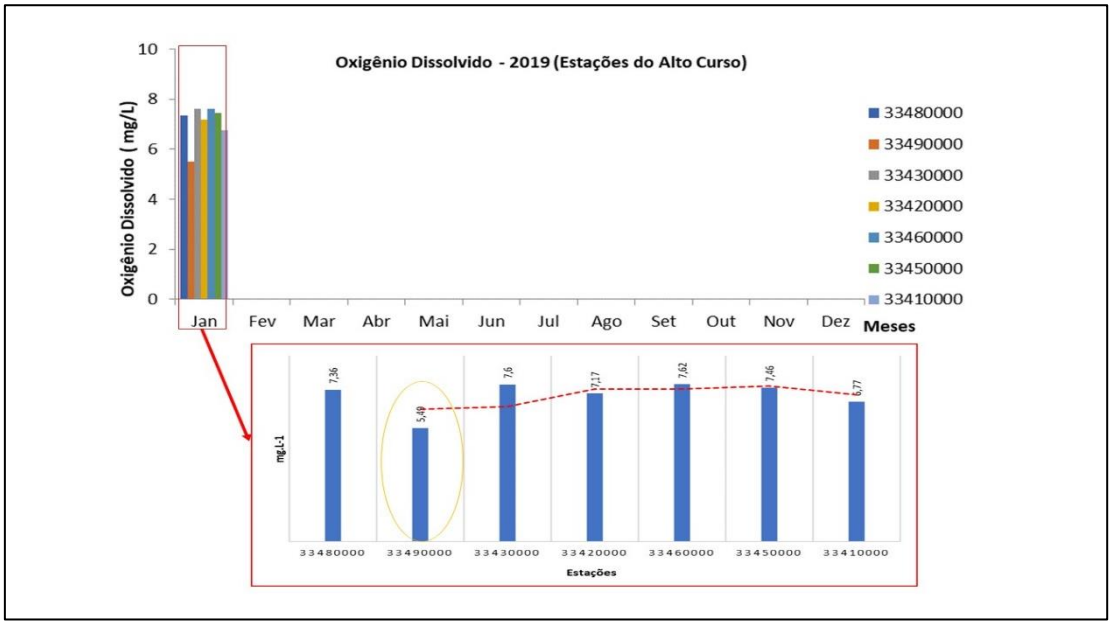
Tabela 23: Padrão dos parâmetros OD e DBO conforme Resolução CONAMA 357/2005.

Parâmetro	Unidade	Padrão Resolução CONAMA 357/2005			
		Classe I	Classe II	Classe III	Classe IV
Oxigênio Dissolvido - OD	$mg.L^{-1}$	≥ 6	≥ 5	≥ 4	≥ 2
Demanda Bioquímica de Oxigênio - DBO	$mg.L^{-1}$	≤ 3	≤5	≤ 10	-

Fonte: CONAMA (2005).

Deste modo, analisando-se o comportamento do OD no Alto Curso da bacia do rio Itapecuru, com informações apenas para o mês de janeiro, verifica-se através do gráfico da **Figura 16,** que os pontos estão em consonância com a Resolução em análise para todas as classes, com exceção da estação 33490000, no município de Colinas, com OD igual a 5,49 $mg.L^{-1}$, não se enquadrando para a Classe I. Isso provavelmente relaciona-se ao aumento de temperatura no ambiente por proporcionar maior escape do oxigênio da água e pela presença de matéria orgânica proveniente do lançamento de efluentes domésticos.

Figura 42: Comportamento do OD no Alto Curso da bacia do rio Itapecuru.



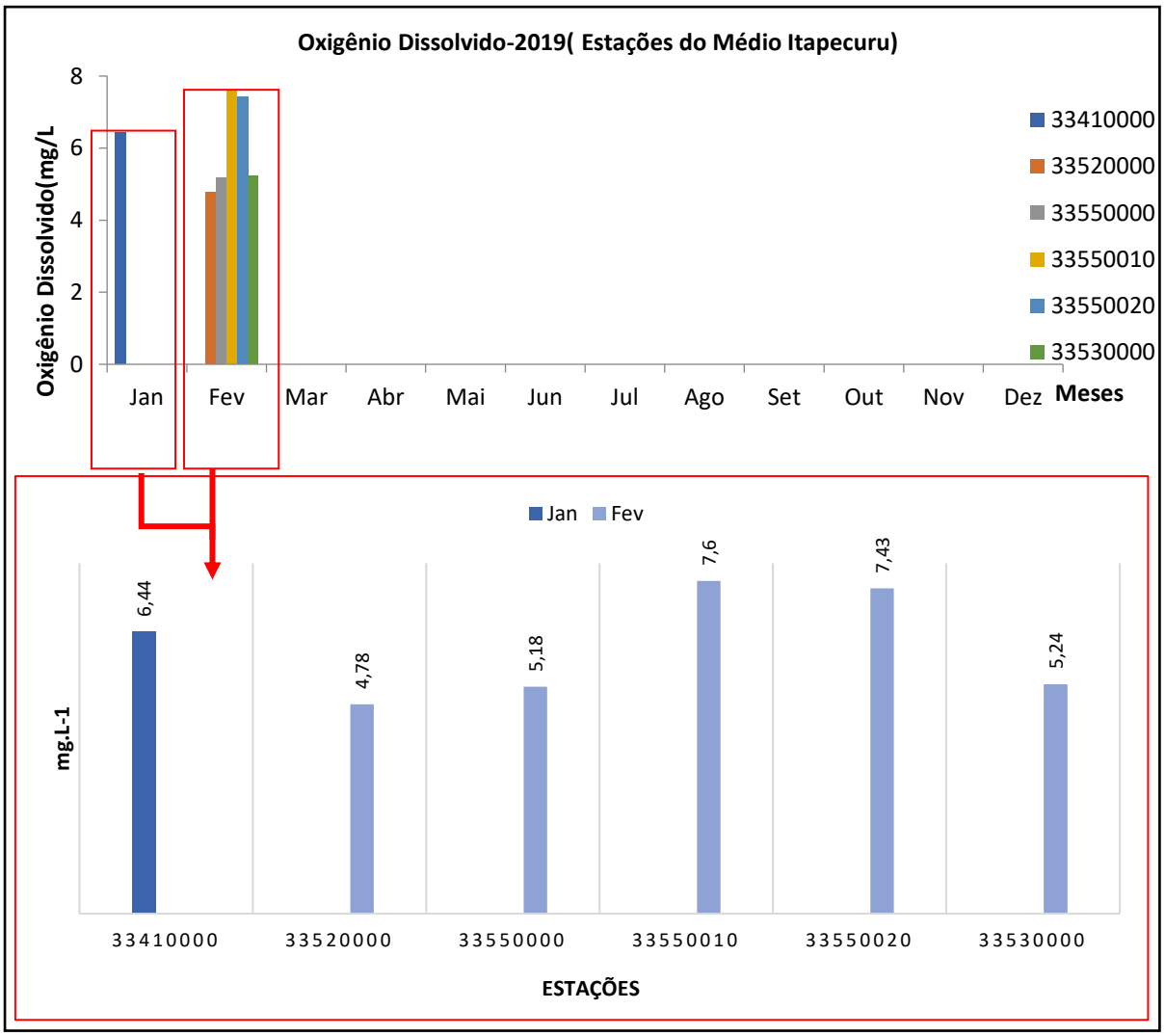
Fonte: Registros da Pesquisa (2023)

Para o Médio Curso (**Figura 17**), entre as estações analisadas, as que apontaram quadro de desacordo com a Resolução CONAMA 357/2005 para a Classe I com valor de OD inferior a 6 $mg.L^{-1}$

foram as localizadas nos municípios de Buriti Bravo (33520000) e Caxias (33550000/33550020/33530000).

Provavelmente, o fato ocorre devido a lançamentos de cargas orgânicas no rio Itapecuru, principalmente esgotos domésticos ou por falta de um tratamento adequado de esgotos sanitários na região.

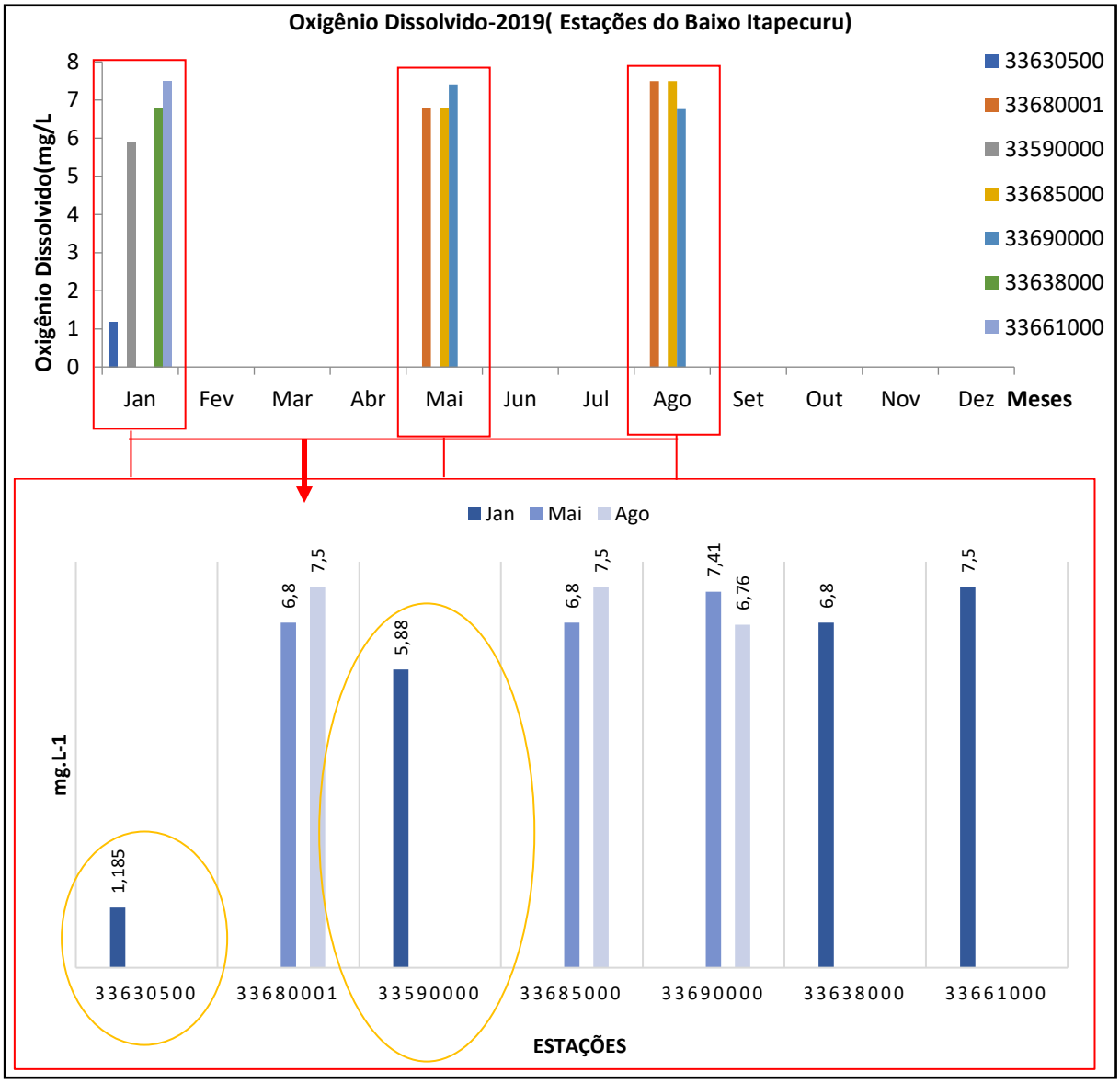
Figura 43: Comportamento do OD no Médio Curso da bacia do rio Itapecuru.



Fonte: Registros da Pesquisa (2023)

No Baixo Curso da bacia, verifica-se que entre as estações analisadas, duas apresentaram valor abaixo do recomentado para a Classe I, conforme Resolução CONAMA 357/2005, sendo: a de código 33620500 no município de Alto Alegre do Maranhão e a 33590000 no município de Codó. Pela urbanização ser mais intensa nesse trecho da bacia, possivelmente os valores mais baixos de OD reflete o lançamento de esgotos e efluentes domésticos (**Figura 44**)

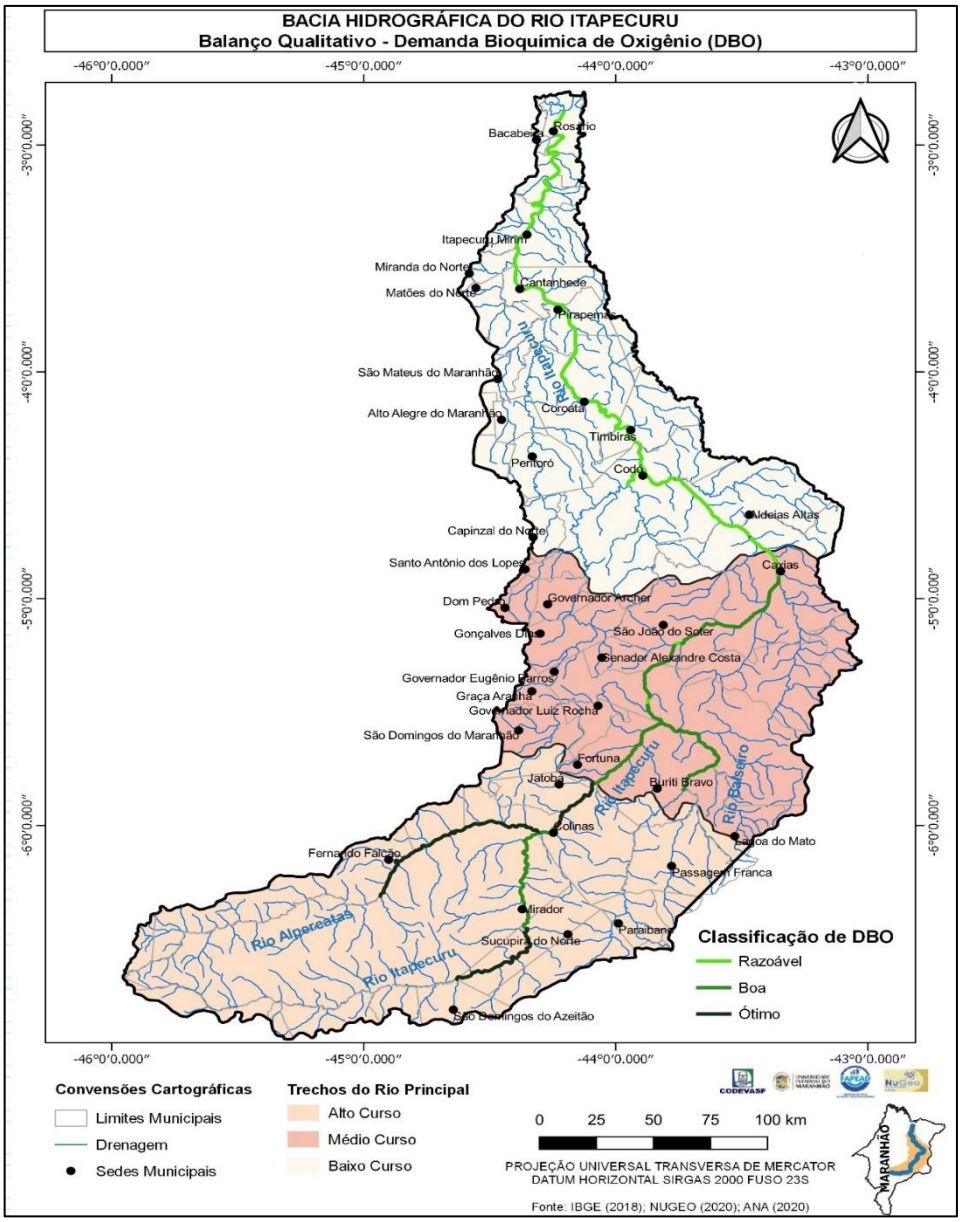
Figura 44: Comportamento do OD no Baixo Curso da bacia do rio Itapecuru.



Fonte: Registros da Pesquisa (2023)

A partir dos dados do Atlas Esgoto (ANA, 2019), gerou-se o balanço qualitativo de DBO para a bacia. Neste observa-se que o Baixo Curso apresenta uma situação inferior aos demais cursos, com a classificação de DBO como uma situação razoável. Este setor da bacia é bem mais urbanizado, resultando em lançamentos de efluentes no rio, principalmente domésticos, comprometendo a qualidade das águas nesse trecho (**Figura 19**).

Figura 45: Balanço qualitativo da Demanda Bioquímica de Oxigênio na Bacia do rio Itapecuru.



Fonte: Registros da Pesquisa (2023)

A DBO é um importante parâmetro de qualidade para se conhecer o grau de poluição de uma água residuária, além de ser necessária para dimensionar uma estação de tratamento de esgoto e a seguir medir a eficiência do processo.

Como apresentado, a DBO corresponde à quantidade de oxigênio consumida por microrganismos presentes em uma certa amostra de efluente (como o esgoto doméstico e o industrial). Como esses microrganismos realizam a decomposição da matéria orgânica no meio aquático, saber a quantidade desse gás é uma forma efetiva de analisar o nível de poluição existente nesse meio. Nas águas naturais a DBO representa a demanda potencial de oxigênio dissolvido que poderá ocorrer devido

à estabilização dos compostos orgânicos biodegradáveis, o que poderá trazer os níveis de oxigênio nas águas abaixo dos exigidos pelos peixes, por exemplo, levando-os à morte.

No que tange a diluição de efluentes, importante destacar que o lançamento sem o adequado tratamento nos corpos hídricos é um dos principais responsáveis pelo comprometimento da qualidade das águas, principalmente próximo às áreas urbanas, podendo impactar na saúde da população e até mesmo inviabilizar o atendimento de usos a jusante do ponto de lançamento, especialmente para o abastecimento humano.

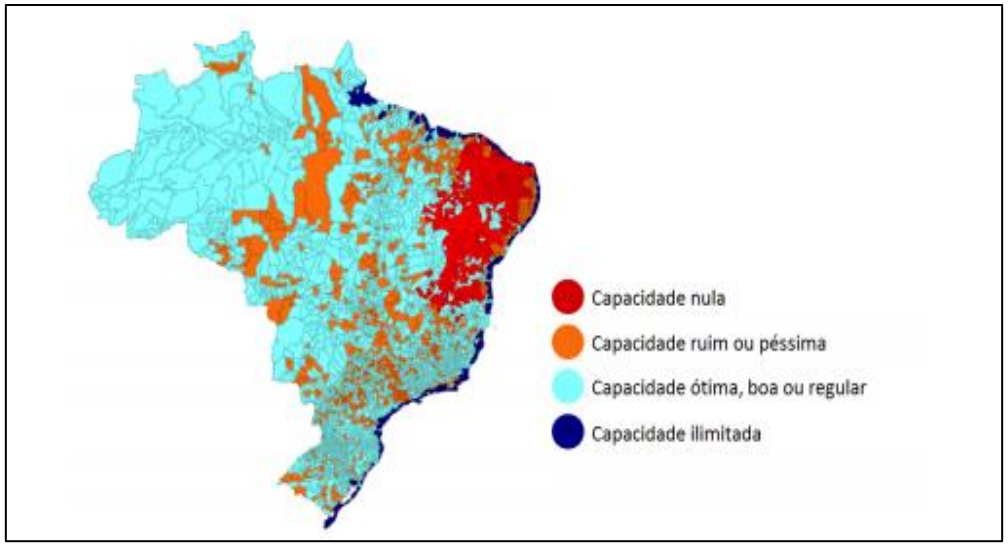
O Informe 2015 de Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil (ANA, 2015) mostra que 21% dos pontos de monitoramento localizados em corpos d'água próximos a áreas urbanas resultaram num Índice de Qualidade das Águas – IQA "ruim" ou "péssimo", enquanto para todos os pontos monitorados do País que possuem dados suficientes para o cálculo do IQA, os resultados "ruim" ou "péssimo" somam cerca de 7%. Esses dados corroboram a percepção de que muitos problemas de qualidade de água, especialmente relacionados ao aporte de matéria orgânica e nutrientes, estão concentrados próximos a aglomerados urbanos.

A capacidade de diluição no corpo receptor depende, principalmente, da disponibilidade hídrica e das características dos efluentes lançados, como vazão e concentração de poluentes que para o esgoto domiciliar urbano, de forma simplificada, é uma função da população. Por sua vez, para possibilitar os usos da água nos corpos hídricos é necessário que sejam atendidos requisitos de qualidade das águas, definidos pelo seu enquadramento.

Segundo a CNI (2018), cerca de 44% dos municípios brasileiros dispõem de corpos receptores, com capacidade de diluição do esgoto ruim, péssima ou nula. Em outras palavras, esses municípios não possuem vazão suficiente para diluir os efluentes sanitários nas sedes urbanas, sem prejudicar os padrões dos corpos receptores.

Estudos realizados pela ANA (2017), como apresentado pela **Figura 20** indicam a relação entre a disponibilidade hídrica e a população urbana residente na área de contribuição de cada corpo receptor. O estudo também considera o "efeito cumulativo dos efluentes na bacia, de forma que a influência dos lançamentos a montante fosse contemplada na avaliação da capacidade de diluição dos trechos localizados a jusante".

Figura 46: Distribuição da capacidade de diluição dos esgotos por município (ANA, 2017).



Fonte: ANA (2017).

A partir do estudo da ANA (2017), as classificações da capacidade de diluição (Disponibilidade Hídrica / População Urbana em L/hab.dia) são apresentadas na **Tabela 3**.

Tabela 24: Classificação da capacidade de diluição de esgotos em relação à disponibilidade hídrica/população urbana em L/hab. Dia (ANA, 2017).

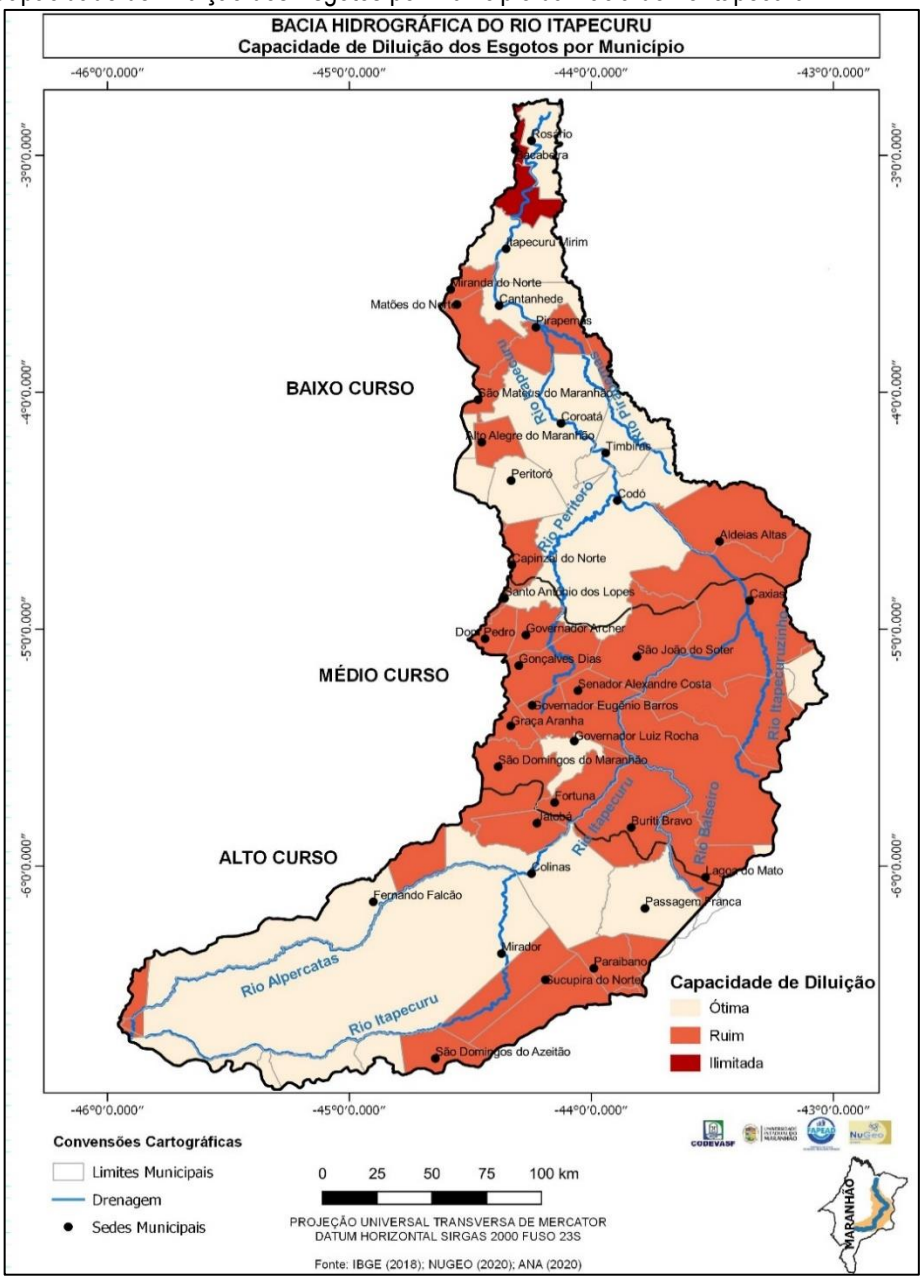
Classificações da capacidade de diluição	Disponibilidade Hídrica / População Urbana em L/hab.dia
Ilimitada	possibilidade de lançamento no mar
Ótima	maior do que 11 mil L/hab.dia
Boa	entre 4,5 mil e 11 mil L/hab.dia
Regular	entre 2 mil e 4,5 mil L/hab.dia
Ruim	entre 300 e 2 mil L/hab.dia
Péssima	menor do que 300 mil L/hab.dia
Nula	corpo receptor efêmero ou intermitente, sem vazão de diluição

Fonte: ANA (2017).

Neste cenário, a bacia do rio Itapecuru (**Figura 21**) apresenta condições de diluição ótima em seu Alto Curso, com exceção dos municípios de São Domingos do Azeitão, Sucupira do Norte, Paraibano e Fernando Falcão. No Médio Curso, a situação é complicada, praticamente o trecho tem ruim capacidade de diluição para todos os municípios, com exceção, do município São Domingos do Maranhão. Em seu Baixo Curso, os municípios de: Alto Alegre, São Mateus do Maranhão, Pirapemas, Matões do Norte, Miranda do Norte apresentaram uma condição ruim de diluição dos esgotos. Os

municípios de Cantanhede, Itapecuru Mirim e Rosário apresentaram uma condição de diluição ótima, e Bacabeira, uma condição de diluição ilimitada, com possibilidade de lançamento no mar.

Figura 47: Capacidade de Diluição dos Esgotos por Municipio da Bacia do rio Itapecuru



Fonte: Registros da Pesquisa (2023)

5.2 Qualidade das Águas de Parâmetros Organolépticos e Substâncias Inorgânicas

Apresenta-se um panorama geral dos parâmetros organolépticos e substâncias inorgânicas disponibilizados pelo projeto Conexão Água em seu portal. O projeto Conexão Água é uma evolução do Projeto Qualidade da Água, desenvolvido pela 4ª Câmara de Coordenação e Revisão do MPF desde 2015. O projeto é uma rede colaborativa para a melhoria da qualidade e quantidade das águas no Brasil e Governança Participativa e Transparente da Água, formada por representantes dos diversos setores da sociedade civil e governo. Desta forma, por meio do portal Conexão Água, tem-se acesso a dados de qualidade das águas por meio de parâmetros organolépticos e substância inorgânicas.

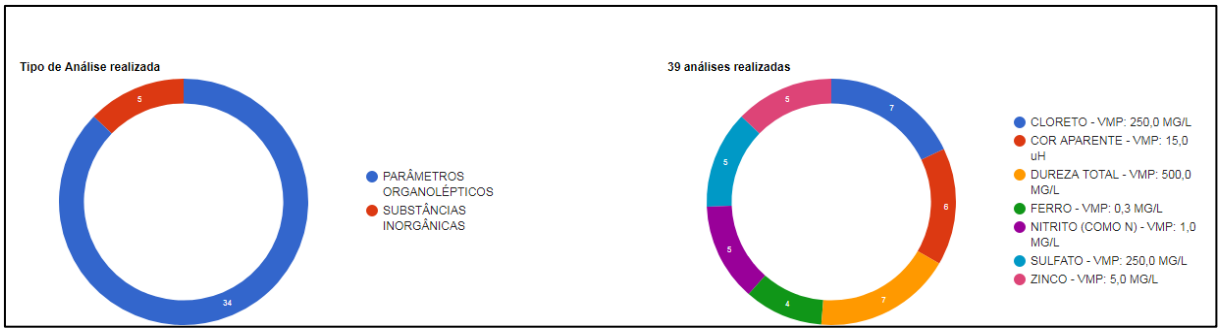
Neste estudo, o quantitativo de parâmetros monitorado nos municípios de Itapecuru Mirim, Caxias e Colinas representa trechos da bacia do rio Itapecuru em seu Alto, Médio e Baixo Cursos.

Para o município de Itapecuru Mirim, localizado no Baixo Curso da bacia, no ano de 2019 foram realizadas 39 análises (**Figura 22**) pelo Setor de Saúde da CAEMA, em pontos de captação do rio Itapecuru e no sistema de distribuição. Os resultados das análises foram disponibilizados para o projeto Conexão Água, no seu portal. Os parâmetros analisados foram: Cloreto, Cor Aparente, Ferro, Dureza Total, Nitrito, Sulfato e Zinco. Os resultados das análises disponibilizados no Apêndice 1A deste documento, demonstram que os parâmetros, estão em conformidade com a Resolução CONAMA 357/2005 para a Classe I.

No ano de 2020 (**Figura 23**), para este mesmo município, foram realizadas 62 análises de apenas parâmetros organolépticos (Cloretos, Cor Aparente e Dureza Total), os resultados encontram-se no Apêndice 1B. Por meio deste, observa-se que apenas a Cor Aparente não estava em conformidade com a indicação do Valor Máximo Permitido (VMP). As amostras foram coletadas no sistema de distribuição da CAEMA. A cor verdadeira se refere à determinação de cor em amostras sem turbidez (Ex: após filtração ou centrifugação). E a cor aparente se refere à determinação de cor em amostras com turbidez (com material coloidal ou em suspensão).

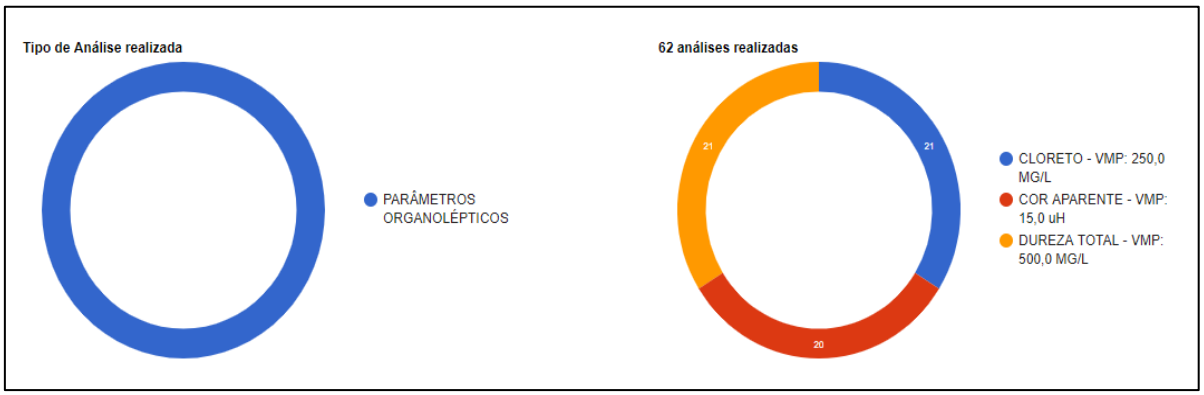
A cor é geralmente um indicador da presença de metais (Fe, Mn), húmus (matéria orgânica oriunda da degradação de matéria de origem vegetal), plâncton (conjunto de plantas e animais microscópicos em suspensão nas águas) dentre outras substâncias dissolvidas na água.

Figura 48: Qualidade das águas do rio Itapecuru, no Baixo Curso, no Município de Itapecuru Mirim no ano de 2019 (Conexão Água).



Fonte: Registros da Pesquisa (2023)

Figura 49: Qualidade das águas do rio Itapecuru, no Baixo Curso, no Município de Itapecuru Mirim no ano de 2020 (Conexão Água).

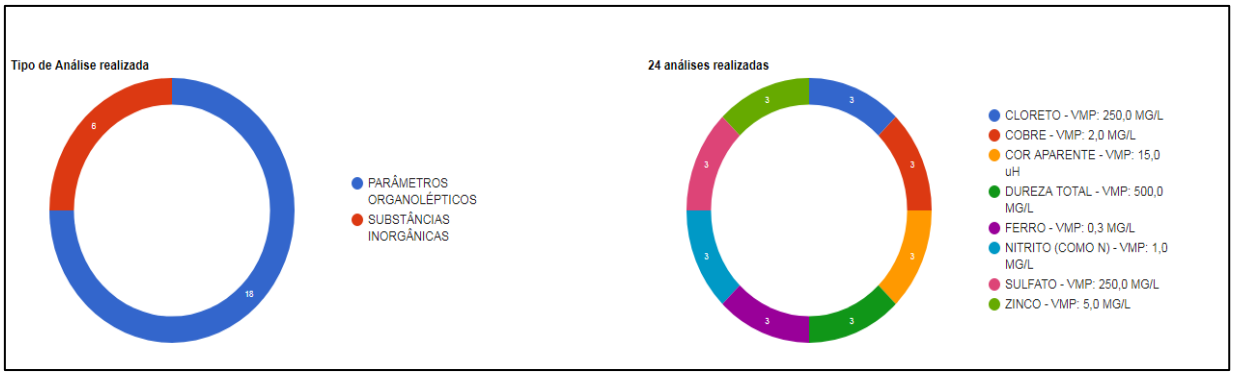


Fonte: Registros da Pesquisa (2023)

Para os munícipios de Caxias foram realizadas 24 análises no ano de 2018 (**Figura 24**), considerando-se os parâmetros: cloreto, cobre, cor aparente, dureza total, ferro, nitrito, Sulfato e zinco, que se mantiveram em conformidade com a Resolução CONAMA 357/2005 para a Classe I, conforme os resultados no **Apêndice 2A.**

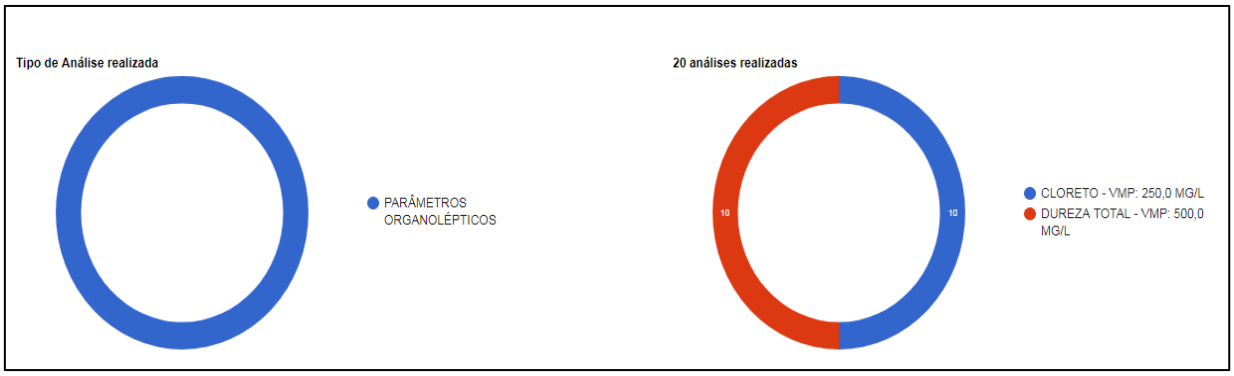
Comportamento análogo ao município de Caxias, e o município de Colinas com 20 análises realizadas (**Figura 25**) no ano de 2018 dos parâmetros cloreto e dureza total apresentaram conformidade com a legislação vigente. Os resultados encontram-se no **Apêndice 2B.**

Figura 50: Qualidade das águas do rio Itapecuru, no Médio Curso, no Município de Caxias no ano de 2018 (Conexão Água).



Fonte: Registros da Pesquisa (2023)

Figura 51: Qualidade das águas do rio Itapecuru, no Alto Curso, no Município de Colinas no ano de 2018 (Conexão Água).



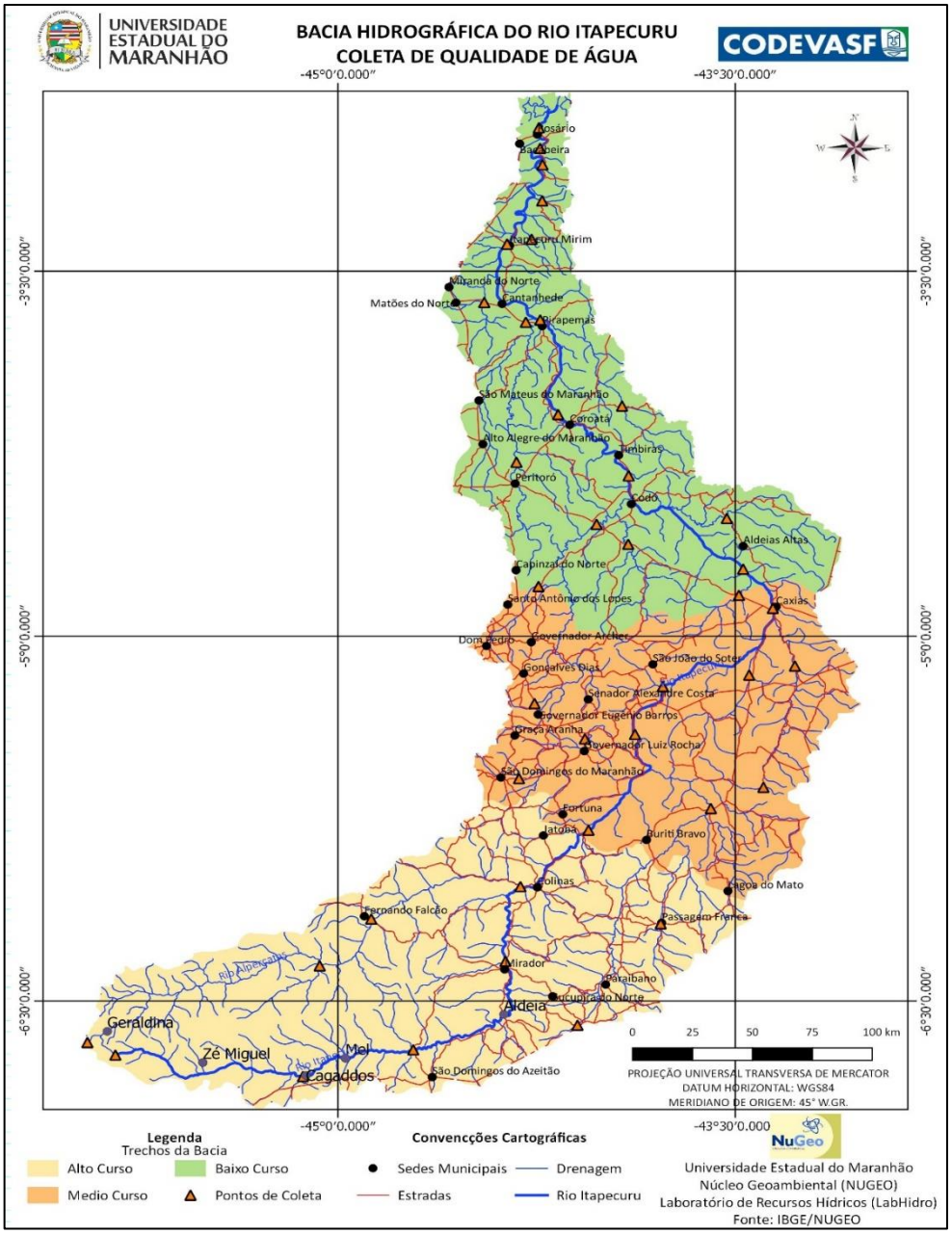
Fonte: Registros da Pesquisa (2023)

5.3 Qualidade das Águas da Bacia do Itapecuru (2020 – 2022)

Dos 43 pontos planejados para monitoramento, foram realizadas coletas de amostra *in loco* em 38 pontos ao longo da bacia (Figura 52), pela equipe técnica do Laboratório de Recursos Hídricos da Uema, considerando: o acesso, a perenidade de água no canal e a representatividade em termos da bacia, em três campanhas - no Alto Curso (de 02 setembro a 26 outubro de 2020), no Médio Curso (de 13 a 21 de dezembro de 2021) e Baixo Curso (de 15 a 23 agosto de 2022).

Para o estudo proposto, foram adotados parâmetros: **físicos e químicos** (Temperatura, pH, Turbidez, Sólidos Dissolvidos Totais, Dureza, Condutividade, OD, DBO, Fósforo, Sulfato e Sulfeto); **microbiológicos** (Coliformes Totais, *Escherichia coli*) e **hidrobiológico** (Clorofila-a). **Metais:** Crômio, Cádmio, Chumbo Total, Cobre Total, Ferro Dissolvido, Ferro Total, Mercúrio Total, Níquel Total, e Zinco Total. Além destes, realizou-se **análise de agrotóxicos** para o Alto Curso, por ser considerado o setor das nascentes do Itaperuru.

Figura 52: Pontos de Coleta de Amostras de Água do Rio Itapecuru por equipe do Labhidro.



Fonte: Registros da Pesquisa (2023)

As medições da Temperatura da água, pH, Condutividade elétrica, Turbidez, Sólidos Dissolvidos Totais (SDT) e Oxigênio Dissolvido (OD) foram realizados *in loco* através de Sonda Multiparâmetro. As amostragens foram realizadas a 20cm de profundidade na coluna de água; posteriormente foram armazenadas em frascos etiquetados de polietileno e vidro, sendo então, preservadas e acondicionadas em caixas térmicas contendo gelo; transportadas até o laboratório, onde foram realizadas as análises físico-químicas e biológicas. Para as análises teve-se como arcabouço legal:

✓ Portaria N.º 274 (2000), do Ministério da Saúde, que define os critérios para a classificação de águas destinadas à recreação de contato primário. As águas doces, salobras e salinas terão sua condição avaliada por parâmetros e indicadores específicos, de modo a assegurar as condições de balneabilidade;

✓ Resolução N.º 357 (2005), do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA, que trata da classificação e dos critérios ambientais para o enquadramento dos corpos d'água superficiais, além de estabelecer condições e padrões de lançamento de efluentes;

✓ Resolução N.º 430 (2011), do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA, que altera parcialmente e complementa a Resolução CONAMA N.º 357 (2005);

✓ Portaria N.º 2914 (2011), do Ministério da Saúde - MS, que dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade;

✓ Portaria N.º 888 (2021), do Ministério da Saúde - MS, que altera o Anexo XX da Portaria de Consolidação GM/MS N.º 5, de 28 de setembro de 2017, para dispor sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade.

5.3.1 Análise dos Parâmetros Físico – Químicos

Apresenta-se os resultados das análises dos parâmetros: Temperatura, pH, Turbidez, Sólidos Dissolvidos Totais, Dureza, Condutividade, OD, DBO, Fósforo, Sulfato e Sulfeto.

a) Temperatura

Em termos de corpos d'água, a temperatura é analisada em conjunto com outros parâmetros, tais como oxigênio dissolvido; e em águas residuárias, a temperatura deve proporcionar condições para as reações, sabendo-se, que a elevação na temperatura aumenta a energia cinética das partículas dos reagentes, aumentando a quantidade de choques efetivos e a velocidade das reações; e considerando o comportamento do oxigênio dissolvido, pode ocorrer, por exemplo, a diminuição da solubilidade dos gases.

Além disso, a oscilação da temperatura da água interfere no comportamento da vida aquática, que necessita de uma temperatura ideal para seu desenvolvimento. Deste modo, a elevação/diminuição pode ocasionar migração ou mortes da ictiofauna. De forma geral, a temperatura na bacia, apresenta-se estável, e sem alterações significativas a partir dos pontos estudados. O rio principal, o Itapecuru, mostra características térmicas similares em toda sua extensão. Em média, a

temperatura da bacia do Itapecuru, no período avaliado, foi de 28ºC. A maior temperatura, entre os trechos, foi do Baixo Curso da bacia (Tabela 25).

Tabela 25: Média de temperatura do baixo, médio e alto da Bacia do Itapecuru.

Trecho	Valores Médios (ºC)
BAIXO CURSO	**29,50**
MÉDIO CURSO	**27,94**
ALTO CURSO	**27,35**

Fonte: Registros da Pesquisa (2023)

b) pH, Dureza, Sólidos Dissolvidos Totais (SDT), Turbidez e Condutividade Elétrica

A partir dos resultados (Figura 53), verifica-se, que o pH para a bacia se aproxima da neutralidade, com média geral igual a 7. O Baixo Curso apresenta maior média (pH igual a 7,35) e o Médio Curso com (pH igual a 6,65) o valor mais baixo. Segundo Von Sperling (2005), a variação do pH dos corpos hídricos pode ser de origem natural (dissolução de rocha, absorção de gases da atmosfera e fotossíntese) ou antropogênica (despejos domésticos e industriais). Apesar de não constar implicações em termos de saúde pública, desconsiderando casos extremos, sua importância se manifesta em diversas vertentes da potabilização das águas para o consumo humano, como afirma Costa e Ferreira (2015) *apud* Libânio (2010), que destacam a relevância na desinfecção com compostos de cloro, na coagulação com sais de ferro e alumínio, no controle de corrosão.

A Resolução CONAMA N.º 357/2005 estabelece que águas das Classes Especial, I e II, são destinadas, entre outros, à preservação da vida aquática (artigo 4º), com a faixa de pH entre 6,0 e 9,0. A partir dos resultados, observa-se, que o pH para a bacia está nesse intervalo, com média igual a 7, onde ocorre maior tolerância da maioria das espécies de peixe para água doce.

Figura 53: Comportamento dos parâmetros: pH, Dureza, Sólidos Dissolvidos Totais (STD) e Turbidez (Turb.) para a bacia hidrográfica do Itapecuru.

(a) Alto curso

Trecho	Pontos	Municípios	Rio	pH	Dureza	SDT	Turb.
Alto Curso	C01	São Raimundo das Mangabeiras	Nascente Rio Itapecuru	5,70	0	0,19	0,00
	C02	São Raimundo das Mangabeiras	Nascente Rio Alpercatas	5,64	60	0,17	0,05
	C03	Mirador	Rio Itapecuru	6,73	0	0,16	0,10
	C04	Pastons Bons	Riacho Balseiro	6,83	16	0,30	37,80
	C05	Passagem Franca	Riacho Inhumas	7,44	176	0,17	1,80
	C06	Colinas	Rio Itapecuru	8,09	32	0,13	0,00
	C07	Fernando Falcão	Rio Alpercatas	7,86	0	0,16	0,00
	C08	Mirador	Rio Itapecuru	6,62	0	0,16	8,80
	C09	Fernando Falcão	Rio Alpercatas	7,51	0	0,14	0,00
	C10	Loreto	Rio Itapecuru	7,43	0	0,17	0,00
			Média	6,99	28	0,17	4,86

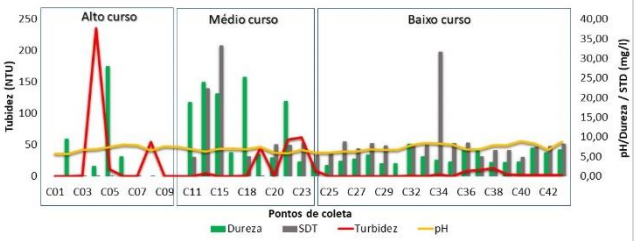
(b) Médio curso

Trecho	Pontos	Municípios	Rio	pH	Dureza	SDT	Turb.
Médio Curso	C11	Fortuna	Rio Itapecuru	6,90	118	31,30	0,00
	C13	São Domingos do Maranhão	Riacho Pucumã	6,20	150	140,00	0,73
	C15	Parnarama	Riacho do Brejão	7,00	132	208,30	0,05
	C16	Buriti Bravo	Rio Correntes	6,93	38	0,58	0,00
	C18	Gonçalves Dias	Rio Sem Nome	6,80	158	31,70	0,10
	C19	Codó	Riacho Pau Não Cessa	7,50	36	0,38	7,30
	C20	Caxias	Rio Itapecuru	6,00	30	51,00	0,10
	C21	São João do Sóter	Rio Itapecuru	5,80	120	50,30	9,30
	C23	Caxias	Riacho Itapecuru	6,70	24	53,00	9,91
			Média	6,65	90	62,95	3,05

(c) Baixo curso

Trecho	Pontos	Municípios	Rio	pH	Dureza	SDT	Turb.
Baixo Curso	C24	Caxias	Rio Itapecuru	6,00	23	34,00	1,50
	C25	Codó	Rio Itapecuru	6,00	18	37,70	0,02
	C26	Codó	Rio Saco	6,20	25	55,70	0,00
	C27	Codó	Rio Itapecuru	6,30	28	44,30	0,03
	C28	Peritoró	Rio Peritoró	6,80	35	53,00	0,04
	C29	Coroatá	Rio Itapecuru	6,70	21	49,30	0,02
	C30	Aldeias Altas	Rio Gameleira	6,70	21	33,70	0,02
	C32	Cantanhede	Rio Itapecuru	7,90	52	51,00	0,20
	C33	Cantanhede	Rio Peritoró	8,40	32	50,30	0,01
	C34	Matões do Norte	Igarapé Jundiaí	8,30	26	198,30	0,43
	C35	Itapecuru Mirim	Rio Itapecuru	8,00	24	53,00	0,04
	C36	Itapecuru Mirim	Igarapé Passarinho	6,90	42	54,20	1,28
	C37	Santa Rita	Igarapé Criminoso	6,90	42	31,70	1,60
	C38	Rosário	Rio Itapecuru	7,90	23	42,00	2,00
	C39	Rosário	Rio Itapecuru	7,90	23	42,00	0,40
	C40	Rosário	Rio Itapecuru	8,90	24	31,30	0,30
	C41	Timbiras	Rio Itapecuru	8,30	46	47,00	0,31
	C42	Pirapemas	Rio Itapecuru	6,70	38	48,00	0,30
	C43	Santa Rita	Rio Itapecuru	8,80	43	52,00	0,23
			Média	7,35	30,84	53,08	0,46

(d) Bacia hidrográfica do Itapecuru



Fonte: Registros da Pesquisa (2023)

Segundo Baccan (2004), a dureza da água é uma propriedade referente à concentração de determinados cátions em solução, principalmente cálcio e magnésio. Pode-se classificar a dureza da água em duas partes:

a) dureza temporária, devido à presença de sais de carbonato e bicarbonato desses cátions, que são insolúveis após o aquecimento da amostra;

b) dureza permanente, devido à presença de sais de cloretos, nitratos e outros que são solúveis mesmo após aquecimento. A soma das duas durezas é chamada de dureza total.

Outros cátions que se encontram associados a esses dois, por exemplo, ferro, alumínio, cobre e zinco, geralmente são mascarados ou precipitados antes da determinação da dureza da água. Convencionou-se expressar a dureza da água através da concentração de carbonato de cálcio $CaCO_3$ (embora sejam outros cátions e outros ânions que possam estar presentes na água), em uma relação de partes por milhão, que neste caso, expressa-se em $mg.L^{-1}$. Na Figura 54 estão demonstradas a classificação da água de acordo com a faixa de concentração de $CaCO_3$.

Figura 54: Classificação das faixas de dureza da água

Qualidade da água	Nível de dureza (mg/L de $CaCO_3$)
Água normal	< 60
Água moderadamente dura	61 a 120
Água dura	121 a 180
Água muito dura	> 180

Fonte: Dados adaptados de ALVARADO, 1999.

Fonte: Adaptado de ALVARADO (1999).

Segundo Mendonça e Flores (2017), numerosos processos industriais, tais como fábricas de cervejas, conservas, papel, celulose e muitas outras, requerem águas brandas, pois águas duras formam crostas em caldeiras de vapor, ocasionando, com isso, elevadas perdas de calor e podendo também provocar explosões. De acordo com Alvarado (1999), até na logística de distribuição de água potável via tubulações a dureza da água influencia, de modo que águas brandas geram grandes perdas na distribuição, enquanto águas duras causam entupimento das tubulações.

Na bacia do Itapecuru, em seu Alto Curso, as águas classificam-se com dureza **Normal**, com exceção, do ponto C5 (riacho Inhumas), no município de Passagem Franca, com dureza igual 176 mg/l, que se enquadra como água **Dura**. Considerando o uso e cobertura neste município: savana arborizada sem floresta-de-galeria (Sas), vegetação secundária somente com palmeiras (Vsb), e pastagem (Ap); e os solos (Latossolos Amarelo, Latossolo Vermelho Amarelo, Plintossolo Argilúvico e Neossolo Litólico), compreende-se que a classificação da dureza da água, basicamente tem origem natural, pelo escoamento superficial após chuva, que transporta sais dissolvidos advindo de áreas no entorno deste ponto. Ademais, a coleta das águas fora realizada no período chuvoso, no mês de outubro de 2022, e próximo ao parque de vaquejada da cidade, onde constatou-se a higienização de animais, que possivelmente contribuiu para esse resultado.

Com valores > 100 $mg.L^{-1}$, as águas no Médio Curso, nos rios (Itapecuru, Pucumã, Brejão e outros) classificam-se como, **Moderadamente Dura** a **Dura**, respectivamente nos municípios (Fortuna, São Domingos do Maranhão, Parnarama, Gonçalves Dias e São João do Sóter). No Baixo Curso, as águas classificam-se como água **Normal,** com valores da dureza < 60 $mg.L^{-1}$. Destaca-se, neste curso, o rio Itapecuru, no município de Cantanhede, com dureza igual 52 $mg.L^{-1}$. A Resolução CONAMA N.º 357/2005 não estabelece padrão de enquadramento para este parâmetro.

Com relação aos resultados dos SDT, as águas do Alto Curso da bacia em média apresentam valor de 0,17 $mg.L^{-1}$, com destaque para o riacho Balseiros (no município de Pastos Bons),

com valor igual a 0,30 mg.L^{-1}. No Médio Curso, o riacho Pucumã (no município de São Domingos do Maranhão) o resultado foi de 140 mg.L^{-1}, e no riacho do Brejão (no município de Parnarama) de 208,30 mg.L^{-1}. Os demais mananciais apresentaram valor abaixo de 53 mg.L^{-1}. No Baixo Curso da bacia do Itapecuru, os valores variaram entre 34 mg.L-1 e 57 mg.L^{-1} com exceção do rio Jundiaí (no município de Matões do Norte), cujo valor foi de 198 mg.L^{-1}.

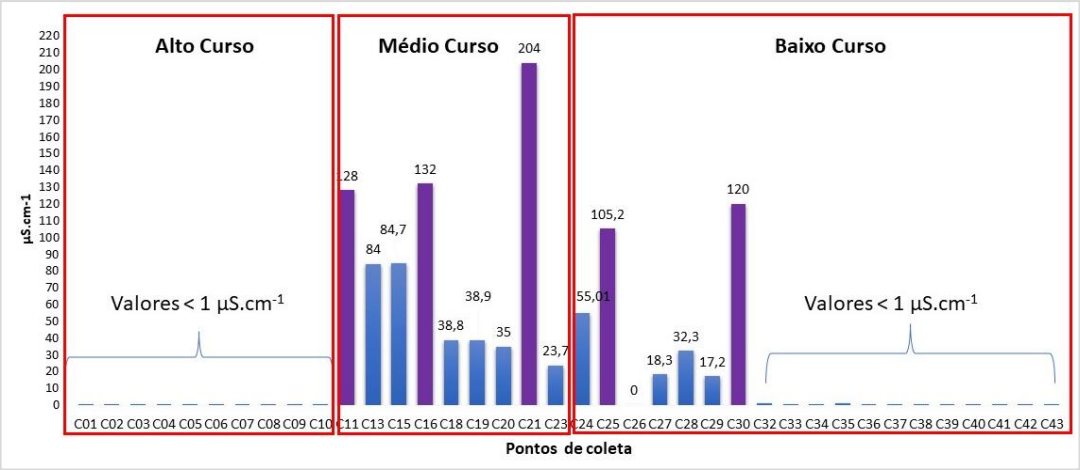
Considerando, o que preconiza a Resolução CONAMA N.º 357/2005, para águas doces de Classe I, II e III, o valor máximo permitido de SDT é de 500 mg.L^{-1}. Desta forma, todos os pontos estudados encontram-se em conformidade com a legislação. Igualmente em conformidade com a resolução, encontra-se, a Turbidez das águas na bacia, com valor médio de 2,79 UNT. A resolução estabelece para as águas doces: Classe I (até 40 UNT), Classe I (até 100 UNT - onde ocorre pesca) e Classe II e III (até 100 UNT).

Com relação à condutividade elétrica, a Resolução CONAMA N.º 357/05 não estabelece limites. Todavia, mesmo sem ser utilizada como um parâmetro restritivo de potabilidade no Brasil, a condutividade elétrica da água representa um parâmetro indicativo das condições hidroquímicas, principalmente para levantamentos de baixo custo onde se busca o conhecimento básico da qualidade das águas. Segundo Tundisi e Matsumura-Tundisi (2008), existe uma correlação estatística entre a condutividade da água e a concentração de diversos elementos e íons.

De acordo com Esteves (2011, 1998) e Von Sperling (2005) nas regiões tropicais a condutividade está relacionada às características geoquímicas da região e condições climáticas (periodicidade de precipitações). Além disso, o uso do solo pode modificar diretamente a composição de uma água refletindo-se na condutividade elétrica.

No Alto Curso, a condutividade elétrica apresentou valores inferiores 1 µS.cm^{-1}. No Médio Curso, a média foi de 85 µS.cm^{-1}, com destaque para os pontos: C11 – rio Itapecuru (128 µS.cm^{-1}), no município de Fortuna, C16 – rio Correntes (132 µS.cm^{-1}) no município de Buriti Bravo, e C11 – rio Itapecuru (204 µS.cm^{-1}), no município de São João do Sóter. No Baixo Curso, predominantemente, igualmente ao Alto Curso, os valores ficaram abaixo de 1 µS.cm^{-1}. Neste curso, destacam-se os pontos C25 – rio Itapecuru (105 µS.cm^{-1}), no município de Codó e C30 – rio Gameleiras (204 µS.cm^{-1}), no município de Aldeias Altas (Figura 55).

Figura 55: Condutividade elétrica das águas da bacia do rio Itapecuru.



Fonte: Registros da Pesquisa (2023)

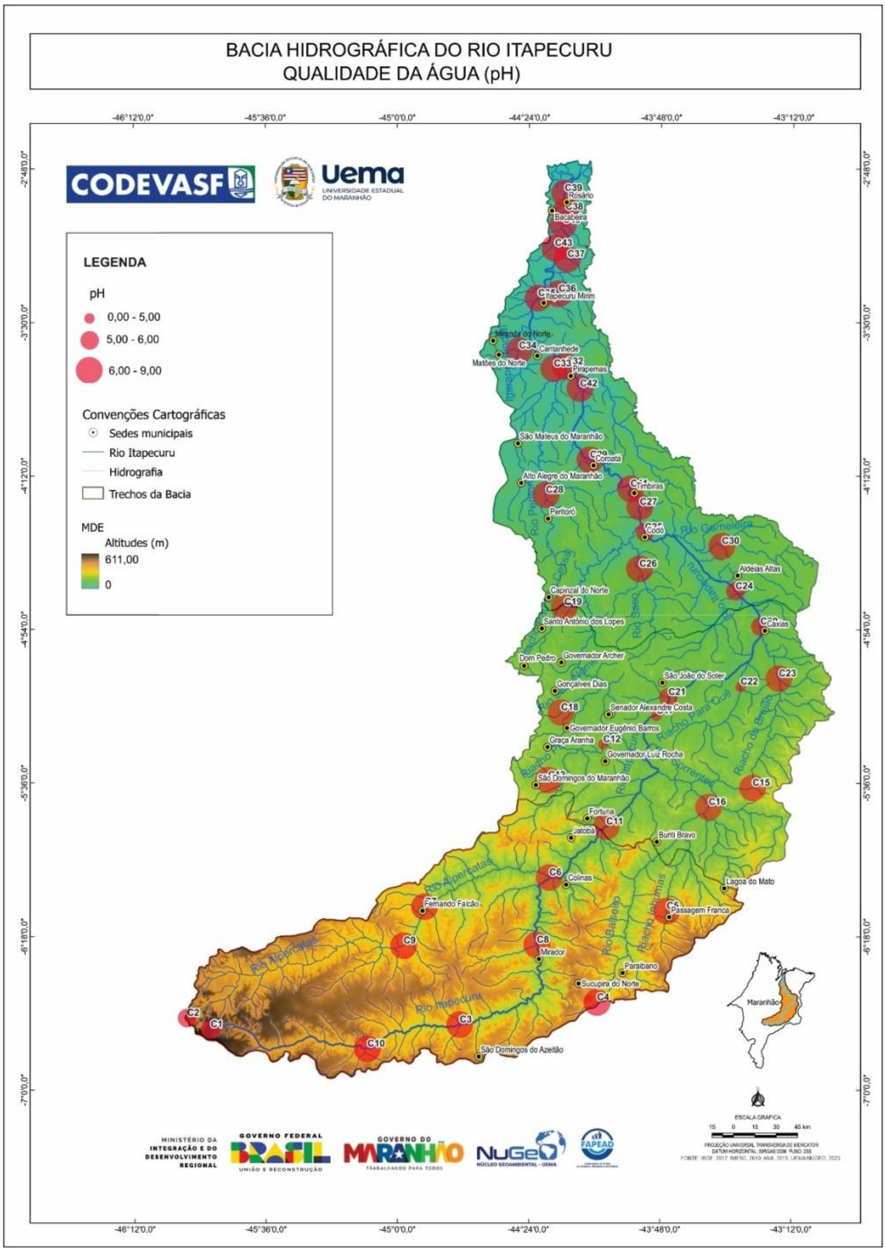
Os mapas das Figuras de 30 a 34 apresentam a distribuição espacial dos parâmetros: pH, Dureza Turbidez, Sólidos Dissolvidos Totais (SDT), Turbidez e Condutividade Elétrica das águas na bacia do rio Itapecuru. Resumidamente, tem-se que:

- o pH comporta-se com neutralidade para a bacia como um todo;
- os maiores valores de Dureza, SDT, Turbidez e Condutividade, concentraram-se no Médio Curso da bacia, onde ocorre predominantemente as unidades geológicas: Formação Corda (J3K1cd), seguido do Grupo Itapecuru (K12it) e Formação Codó (K1c). As Classes de solos dominantes são: Latossolos Amarelo; Latossolo Vermelho e Plintossolo Argilúvico; e os principais uso e cobertura da terra são: Savana Arborizada sem floresta-de-galeria+Pastagem (Sas+Ap), Vegetação Secundária com palmeiras+Palmeiras (Vsp+Fs), Formação Pioneira com influência marinha arbustiva (Pmb);
- além das características geológicas, pedológicas e de uso e cobertura da terra, que contribuem para a concentração dos referidos parâmetros no Médio Curso da bacia, salienta-se, que em ambientes poluídos por esgotos domésticos, as concentrações podem se elevar. No caso da condutividade, segundo Von Sperling (2007), as águas naturais apresentam teores na faixa de 10 a 100 µS cm^{-1}, e em ambientes poluídos por esgotos domésticos ou industriais os valores podem chegar até 1000 µS.cm^{-1}. Valores acima de 100 µS.cm^{-1} foram registrados no rio Itapecuru (municípios de Fortuna e São João do

Sóter), sendo os usos preponderante das águas para irrigação, comércio e serviços, seguido da criação de animais;

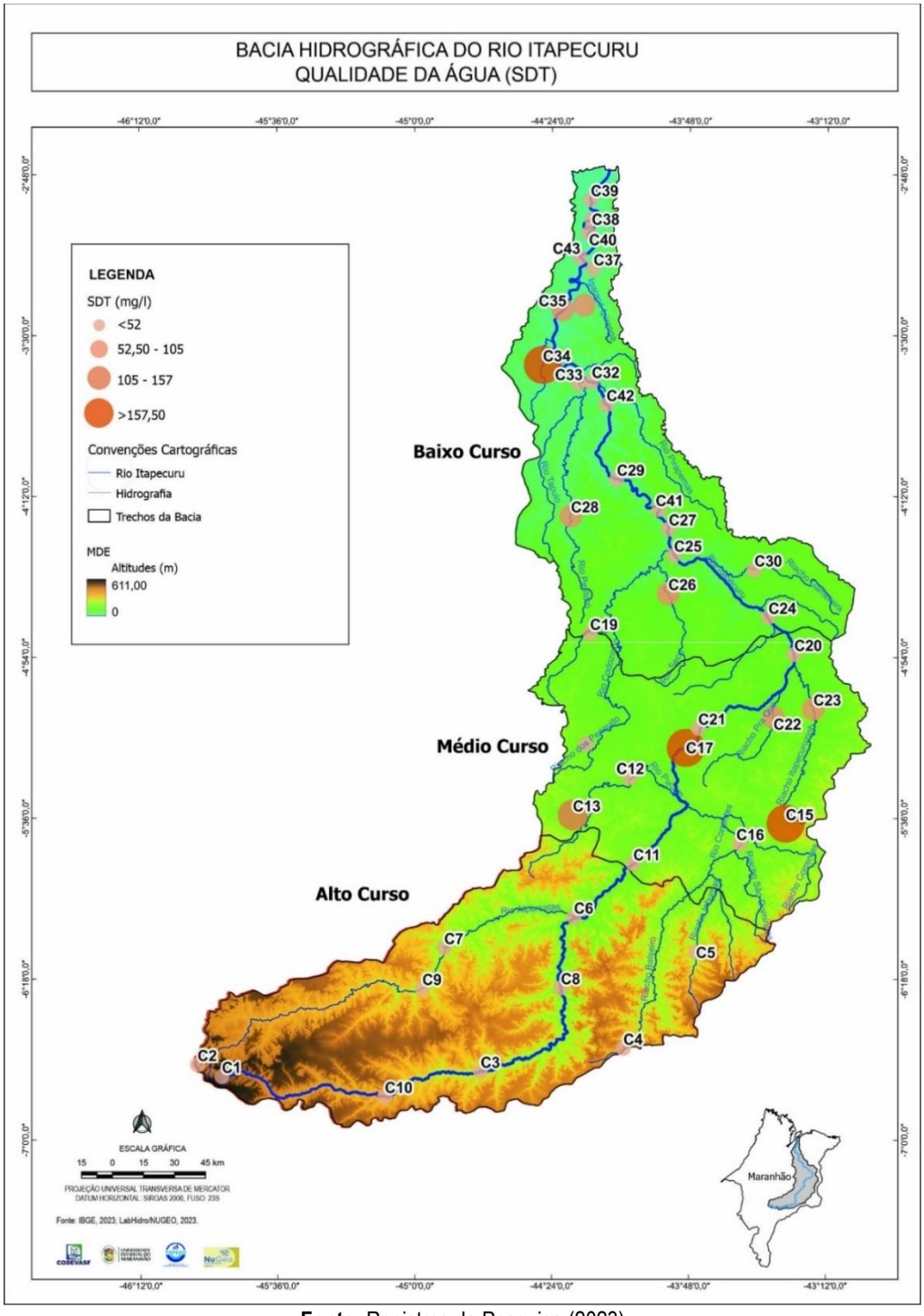
- no Alto Curso, a Turbidez destaca-se no ponto C4, com valor de 37,8 UNT, no riacho Balseiros no município de Pastos Bons, onde a Classe de solo dominante é o Latossolo Amarelo, em ambiente geológico da Unidade Pedra de Fogo (P12pf); sendo a pastagem, o uso predominante da terra.

Figura 56: Comportamento do pH da água da Bacia do Itapecuru.



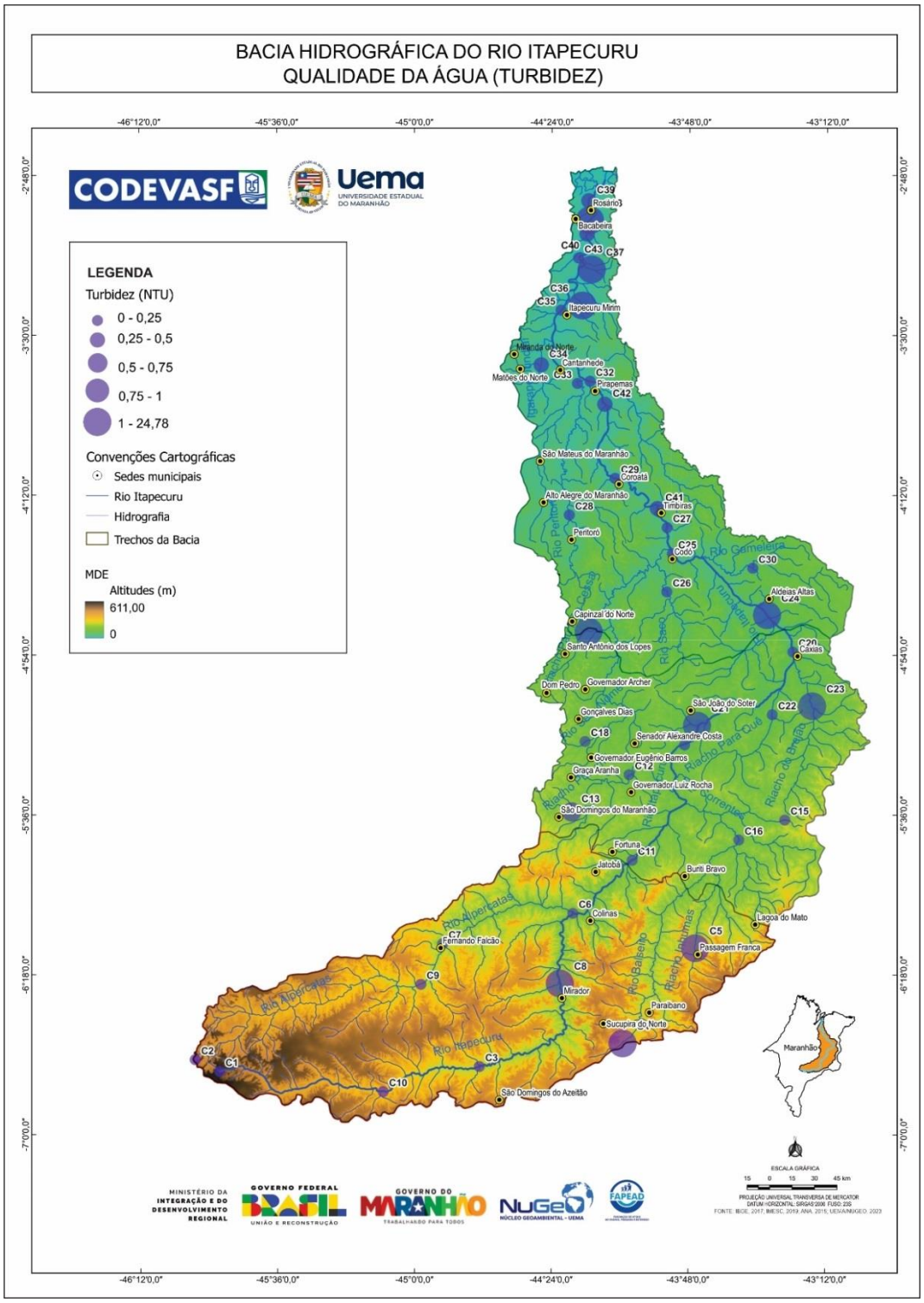
Fonte: Registros da Pesquisa (2023)

Figura 57: Sólidos Dissolvidos Totais (SDT) na Bacia do Itapecuru.



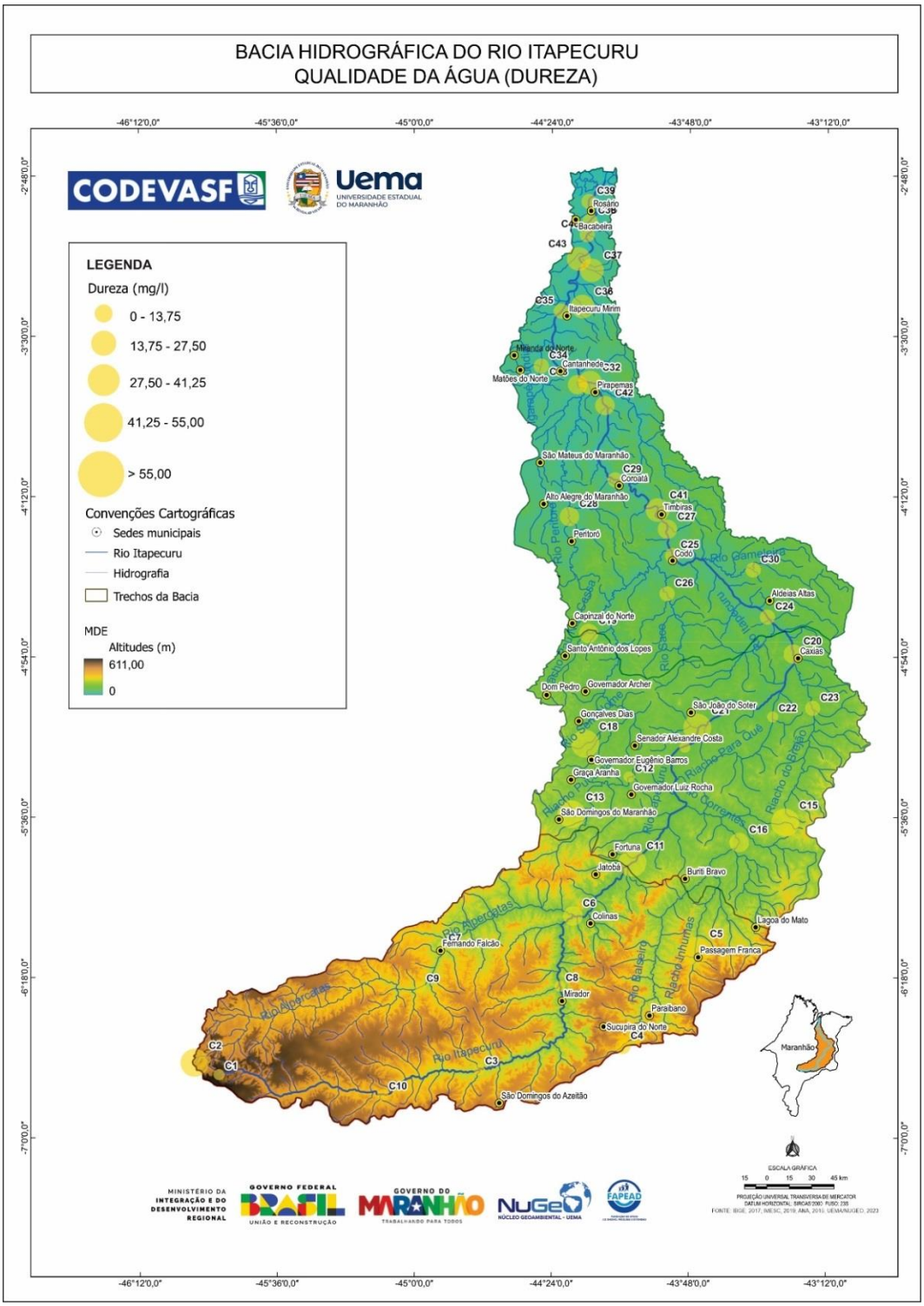
Fonte: Registros da Pesquisa (2023)

Figura 58: Turbidez das águas na Bacia do rio Itapecuru.



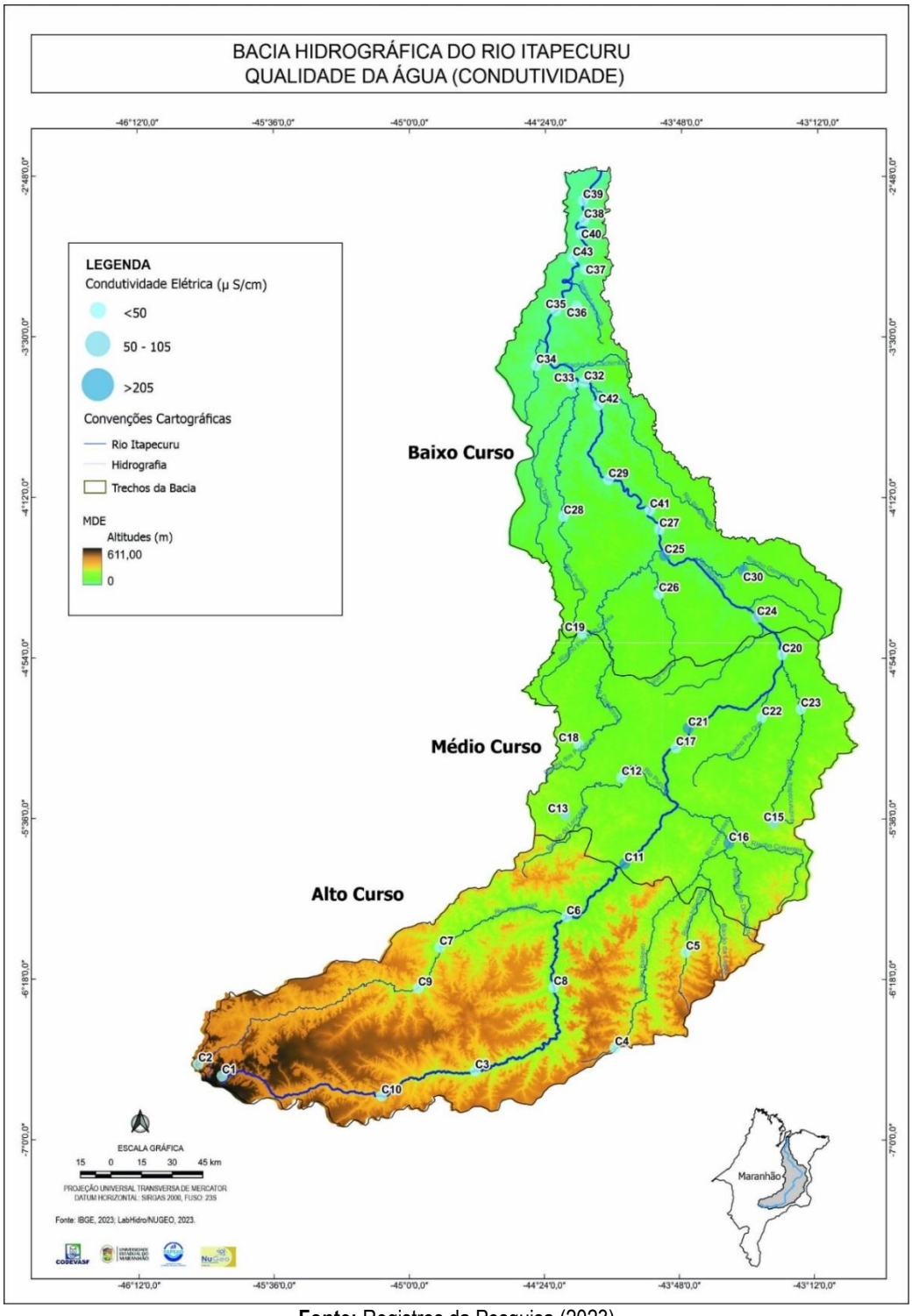
Fonte: Registros da Pesquisa (2023)

Figura 59: Dureza das águas na Bacia do rio Itapecuru.



Fonte: Registros da Pesquisa (2023)

Figura 60: Comportamento da Condutividade elétrica das águas na Bacia do Itapecuru.

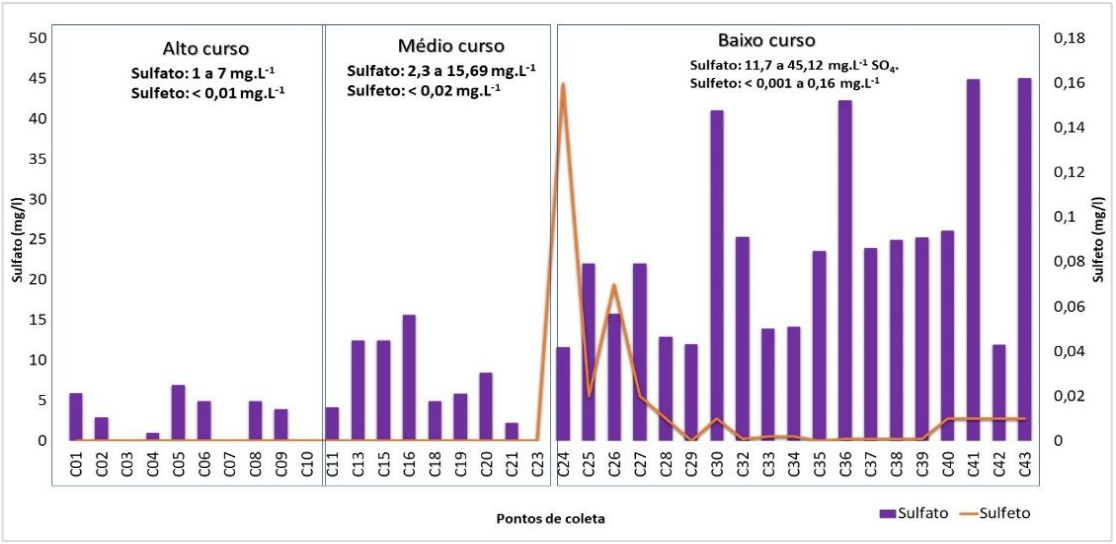


Fonte: Registros da Pesquisa (2023)

e) Sulfato e Sulfeto

A Figura 61 apresenta os valores de Sulfato e Sulfetos nos pontos de coleta na bacia do Itapecuru. Os valores de Sulfato em todos os pontos analisados estão abaixo de 250 mg.L^{-1} SO_4, portanto, em conformidade com a Resolução CONAMA N.º 357/2005. O valor máximo de Sulfato foi obtido no ponto C43, com 45,12 mg.L^{-1} SO_4 (rio Itapecuru no município de Santa Rita), seguido do ponto C36, com 42,36 mg.L^{-1} SO_4 (Igarapé Passarinho no município de Itapecuru Mirim), e do ponto C36, com 41,12 mg.L^{-1} SO4 (rio Gameleira no município de Aldeias Altas). Os valores médios para o Alto Curso estão no intervalo de 1 a 7 mg.L^{-1} SO_4; o Médio Curso, variou de 2,3 a 15,69 mg.L^{-1} SO_4; e o Baixo Curso, de 11,7 a 45,12 mg.L^{-1} SO_4.

Figura 61: Sulfato e Sulfeto das águas da bacia do rio Itapecuru.



Fonte: Registros da Pesquisa (2023)

Segundo a Resolução CONAMA N.º 357/2005, o valor máximo para Sulfeto é de 0,002 mg.L^{-1} (Classe II). Apenas nos rios/igarapé: Itapecuru (município de Cantanhede), Peritoró (em Cantanhede), Igarapé Jundiaí (em Matões do Norte), Igarapé Passarinho (em Itapecuru Mirim), Igarapé Criminoso (em Santa Rita), e Itapecuru (em Rosário) foram registrados valores $\leq$ 0,002 mg.L^{-1}.

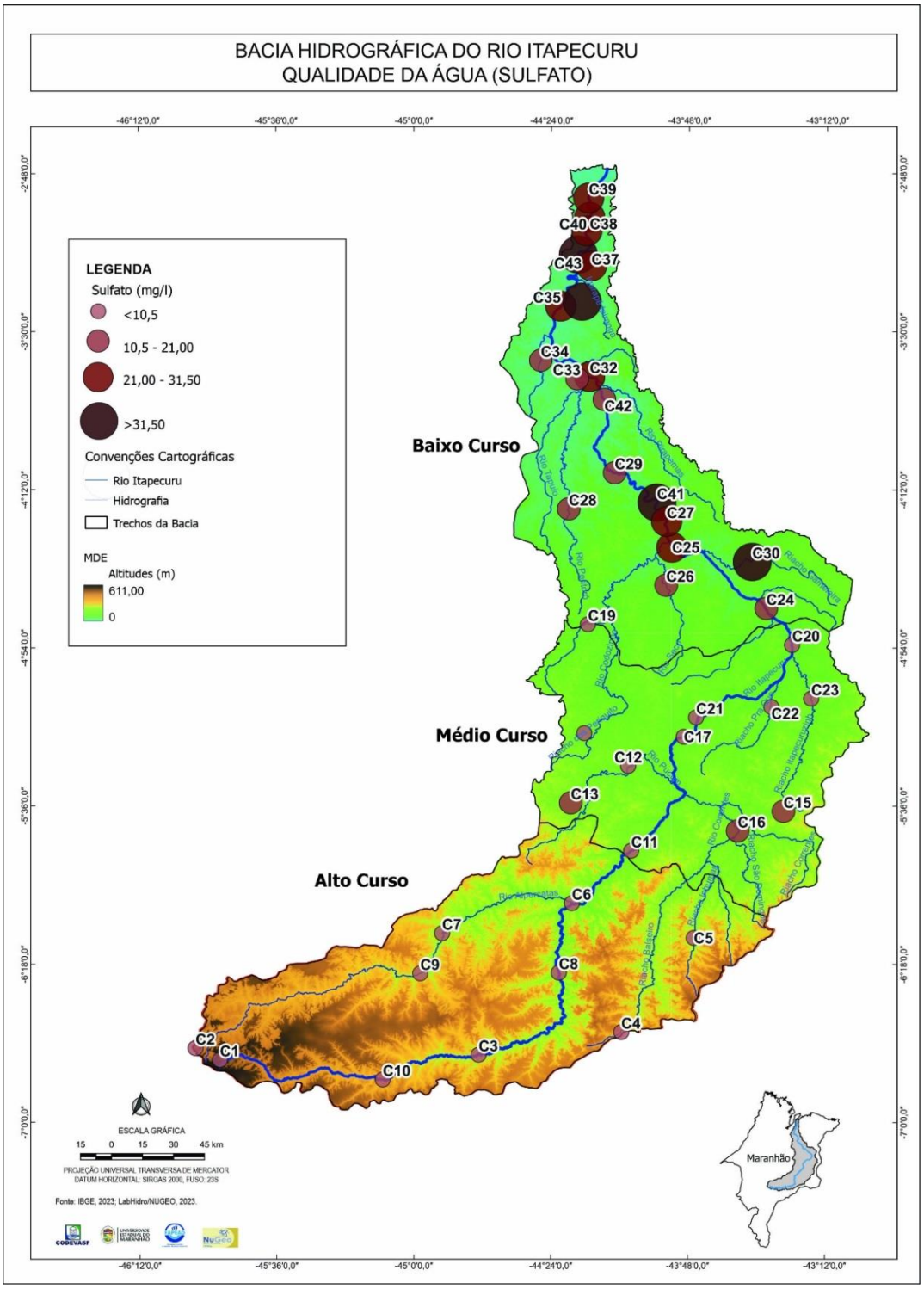
Na bacia, em seu Alto Curso, a média foi de 0,01 mg.L^{-1}; e no Médio Curso foi de 0,02 mg.L^{-1}. No Baixo Curso, o valor do Sulfeto variou de 0,001 a 0,16 mg.L^{-1}. De acordo com Morita (1996), a principal fonte de Sulfeto em águas naturais é o lançamento de esgotos sanitários e de efluentes industriais que contenham Sulfato, em condições anaeróbias. Devido à ação biológica, ocorre a redução

do Sulfato. Em menor proporção, o íon Sulfeto pode também ser gerado da decomposição biológica de matéria orgânica contendo enxofre, notadamente as proteínas albuminóides.

As **Figuras 36 e 37** apresentam os resultados de Sulfato e Sulfeto espacializados na bacia do Itapecuru. Resumidamente verifica-se que:

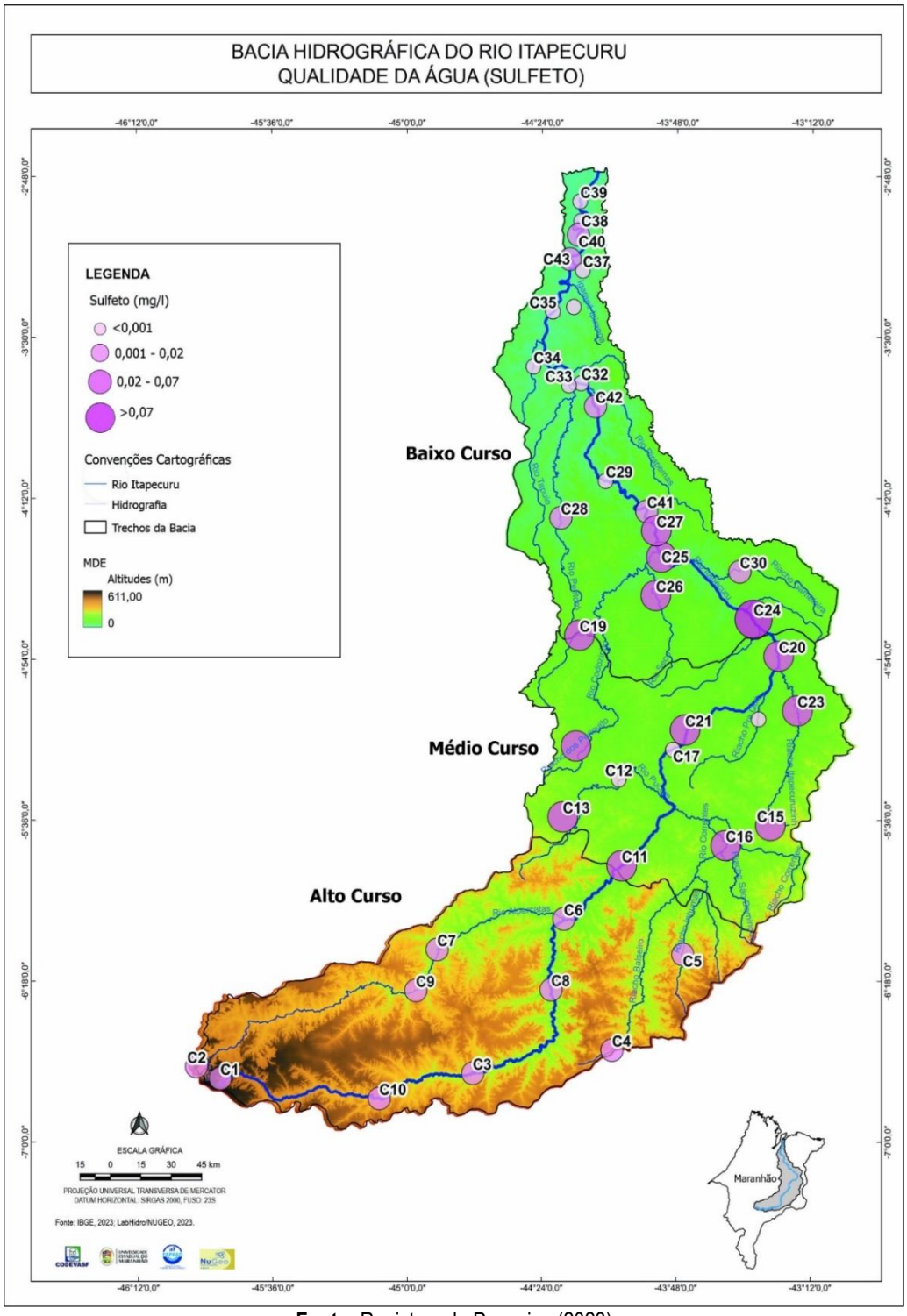
- no Baixo Curso os valores de Sulfato se destacam em relação aos outros cursos da bacia, com variação de 11,4 a 45,12 $mg.L^{-1}$. Predominantemente neste curso, os usos das águas são para abastecimento humano, seguido de usos diversos (umectação de vias e balneabilidade), irrigação e criação de animais. Nas águas superficiais, o Sulfato ocorre através das descargas de esgotos domésticos (por exemplo, através da degradação de proteínas) e efluentes industriais (exemplos: efluentes de indústrias de celulose e papel, química, farmacêutica etc.);
- no Alto e Médio Cursos da bacia, as concentrações de Sulfato variam de: 1 a 7 $mg.L^{-1}$, e de 4,18 a 15,69 $mg.L^{-1}$ respectivamente;
- no Médio e Baixo Cursos, os Sulfetos destacam-se com maiores valores, e acima do padrão estabelecido pela Resolução CONAMA N.º 357/2005, cujo valor máximo é de 0,002 $mg.L^{-1}$ (Classe II). Provavelmente, esses valores associam-se aos efluentes domésticos na região.

Figura 62: Sulfato das águas na Bacia do rio Itapecuru.



Fonte: Registros da Pesquisa (2023)

Figura 63: Sulfeto das águas na Bacia do rio Itapecuru.

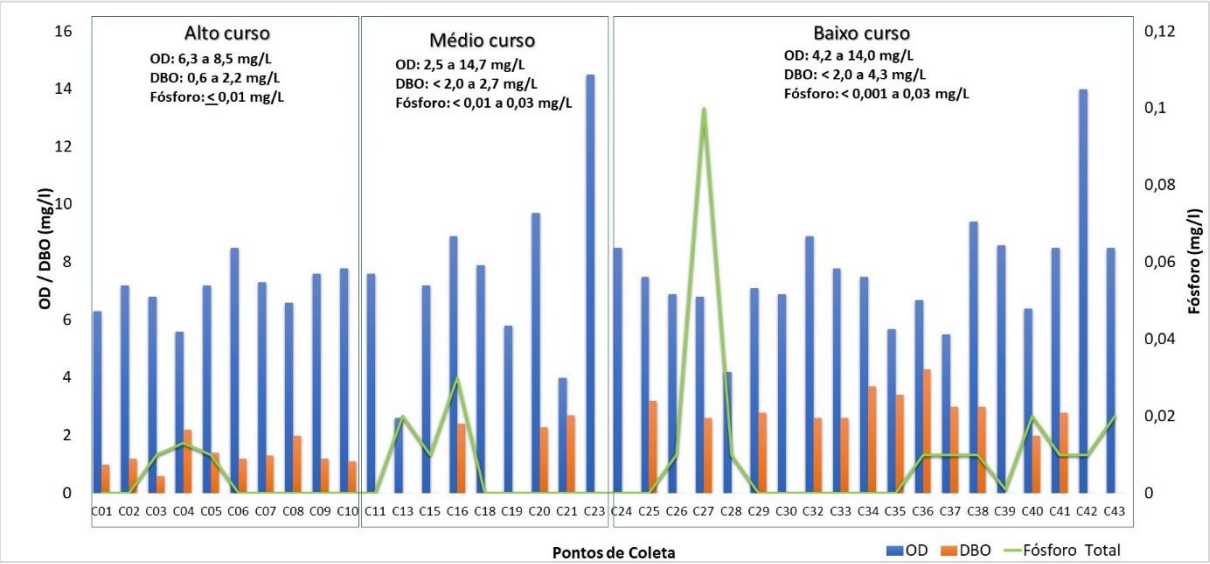


Fonte: Registros da Pesquisa (2023)

g) **OD, DBO e Fósforo**

O gráfico da Figura 64 apresenta o resultado das análises de OD, DBO e Fósforo para os pontos monitorados, com intervalos de variação em cada trecho. Em média na bacia o Oxigênio Dissolvido – OD, durante o período do estudo foi de 7,44 mg.L^{-1}; da Demanda Bioquímica de Oxigênio - DBO foi de 2,3 mg.L^{-1}; e do Fósforo < 0,01 mg.L^{-1}.

Figura 64: Comportamento do OD, DBO e Fósforo das águas da bacia do Itapecuru.



Fonte: Registros da Pesquisa (2023)

Segundo a Resolução CONAMA N.º 357/2005, o valor máximo permitido para os parâmetros OD, DBO e Fósforo apresenta-se conforme **Tabela 5:**

Tabela 26: Padrão de Qualidade das Águas para OD, DBO e Fósforo total (ambiente lótico e tributários de ambientes intermediários) segundo Resolução CONAMA N.º 357/2005.

Parâmetros	Classe I	Classe II	Classe III
OD	≤ 6 mg.L^{-1} O2	≤ 5 mg.L^{-1} O2	≤ 4 mg.L^{-1} O2
DBO	até 3 mg.L^{-1} O2	até 5 mg.L^{-1} O2;	até 10 mg.L^{-1} O2
Fósforo total	0,1 mg.L^{-1} P	0,1 mg.L^{-1} P	0,15 mg.L^{-1} P

Fonte: CONAMA (2005).

Segundo Von Sperling (2005), em termos de corpos d'água, a solubilidade do OD varia com a altitude e a temperatura. Ao nível do mar, na temperatura de 20ºC, a concentração de saturação é igual a 9,2 mg.L^{-1}. Com OD em torno de 4 – 5 mg.L^{-1} morrem peixes mais exigentes. Nesta condição

encontram-se os pontos: C21 (rio Itapecuru em São João do Sóter) com 4 mg.L^{-1}; e C28 (rio Peritoró em Peritoró) com OD foi igual 4,2 mg.L^{-1}. Quando o OD é igual 2 mg.L^{-1} praticamente todos os peixes estão mortos. Próximo a essa condição encontra-se o rio Pucumã, no município de São Domingos dos Maranhão, com OD igual a 2,6 mg.L^{-1}.

Por outro lado, valores acima da saturação entre 8 e 9,2 mg.L^{-1} são indicativos da presença de algas, como ocorre nos rios: a) Itapecuru, no município de Colinas, com OD igual a 8,5 mg.L^{-1}; b) Correntes, em Buriti Bravo, com OD igual a 8,9 mg.L^{-1}; c) Itapecuru em Caxias, com OD igual 9,7 mg.L^{-1} (ponto C20), e (ponto C23) com OD igual a 14,7 mg.L^{-1}, e ainda no (ponto C24) com OD igual a 8,5 mg.L^{-1}; d) Itapecuru em Cantanhede, com OD igual a 8,9 mg.L^{-1}; e) Itapecuru em Rosário, com OD igual a 9,4 mg.L^{-1} (ponto C38) e 8,6 mg.L^{-1} (ponto C39); f) Itapecuru em Timbiras com OD igual 8,5 mg.L^{-1}; e g) Itapecuru em Santa Rita com OD igualmente de 8,5 mg.L^{-1}.

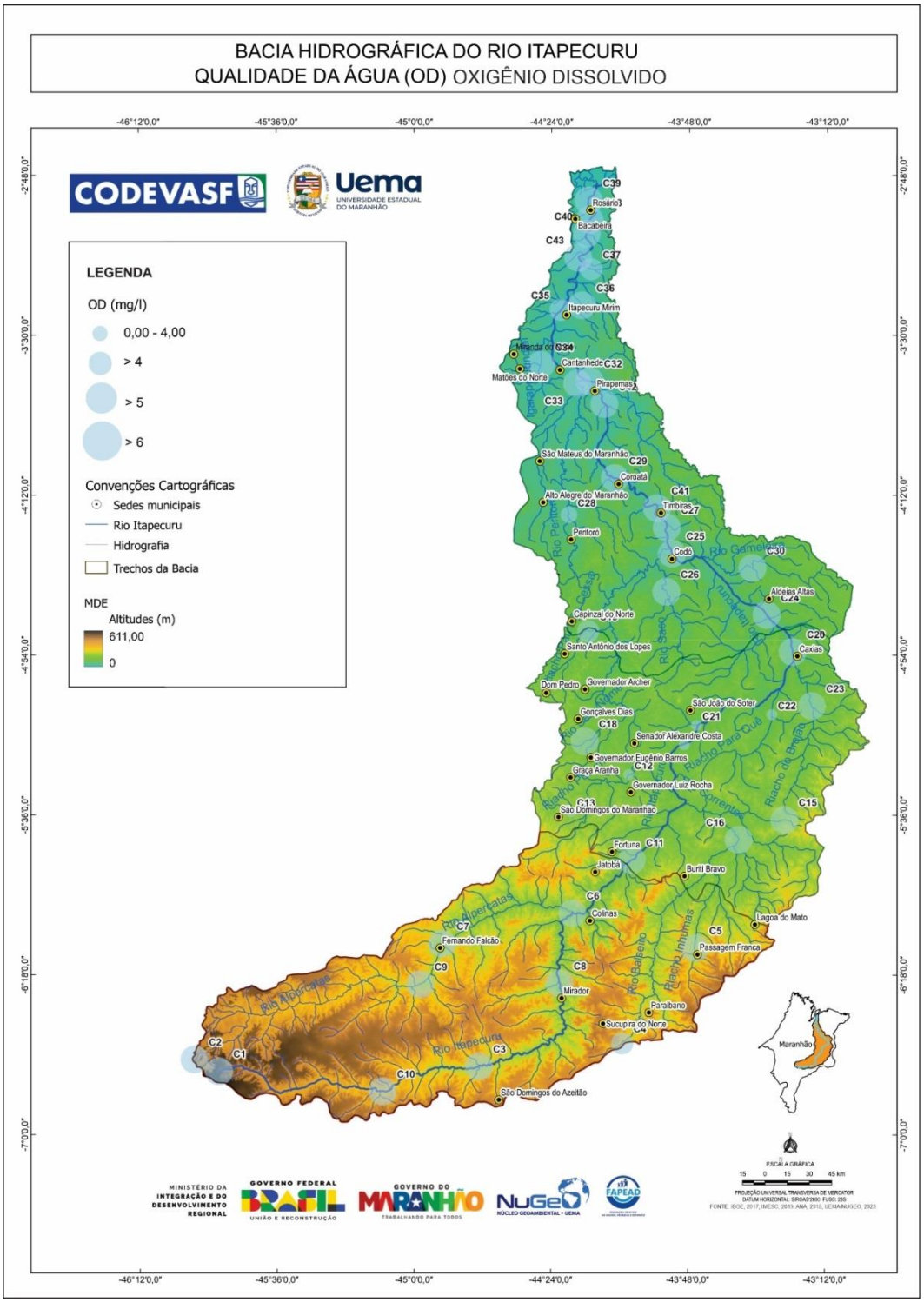
Com relação a DBO, unanimemente, em todos os pontos, os valores foram inferiores a 5 mg.L^{-1}, com destaque para o ponto C36, Igarapé Passarinho no município de Itapecuru Mirim, com valor da DBO igual a 4,6 mg.L^{-1}. Ressalta-se que valores acima do que preconiza a legislação, provavelmente, associa-se a despejos domésticos e/ou industriais.

Com relação ao comportamento do Fósforo, verifica-se que todos os pontos se encontram em conformidade com a Resolução CONAMA N.º 357/2005, com todas as classes (I, II e III), estando abaixo de 0,15 mg.L^{-1}.

Os mapas das **Figuras 39, 40 e 41** apresentam os resultados dos parâmetros OD, DBO e Fósforos espacializados. Resumidamente verifica-se:

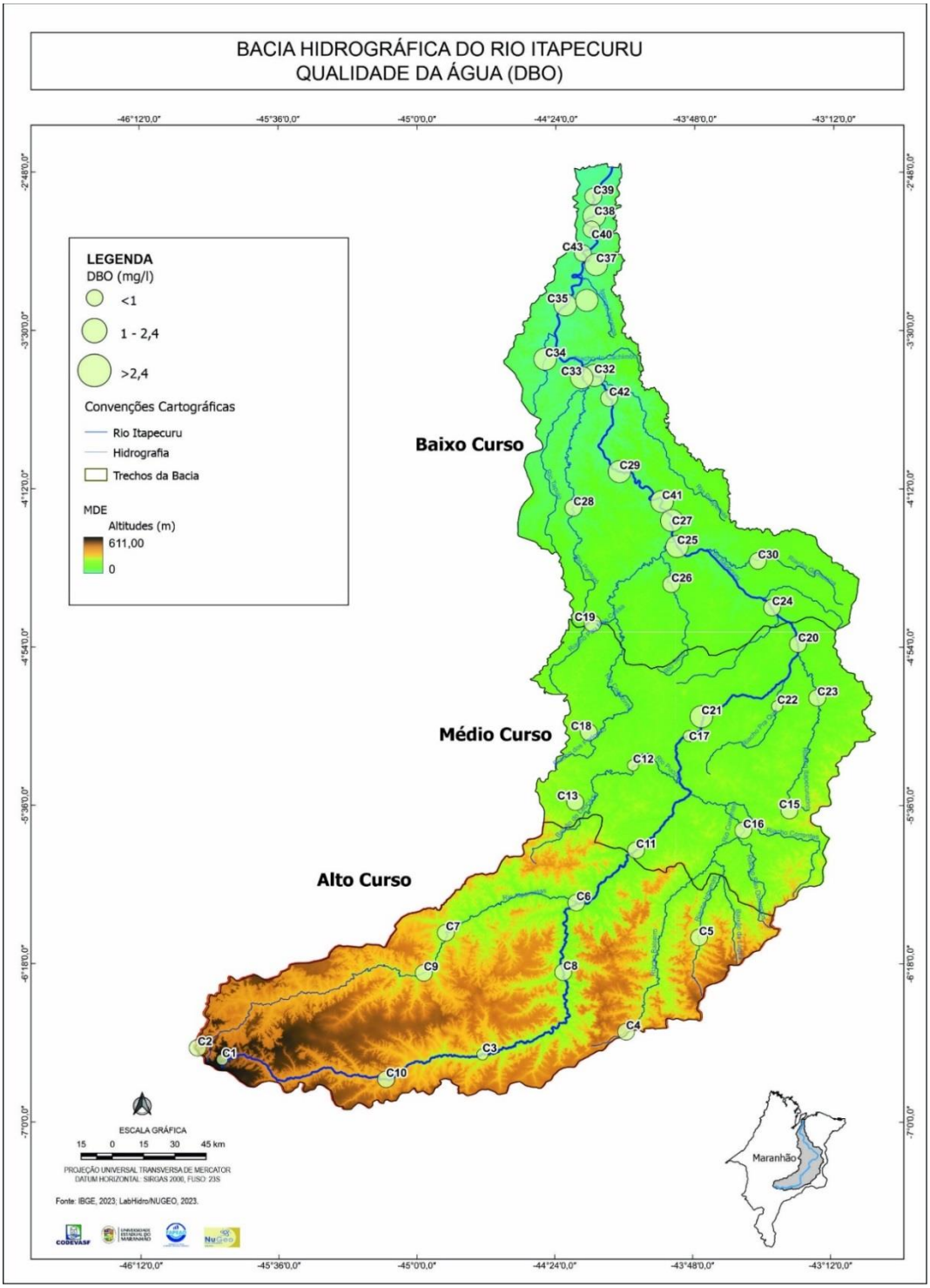
- que ao longo da bacia, o OD manteve-se em média com valor de 7 mg.L^{-1}, enquadrando as águas da bacia na Classe II, segundo Resolução CONAMA N.º 357/2005, com exceção dos pontos o C13 (rio Pucumã em São Domingos do Maranhão), e C21 (rio Itapecuru em São João do Sóter), localizados no Médio Curso, com valores de 2,6 mg.L^{-1} , correspondendo a Classe III;
- que a Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), apresenta maiores concentrações no Baixo Curso, com valores que chegam até a 4,3 mg.L^{-1};
- O Fósforo de maneira geral para as águas da bacia encontra-se dentro dos padrões estabelecidos pela Resolução CONAMA N.º 357/2005 (Classe I, II e III).

Figura 65: Oxigênio Dissolvido (OD) das águas na Bacia do rio Itapecuru.



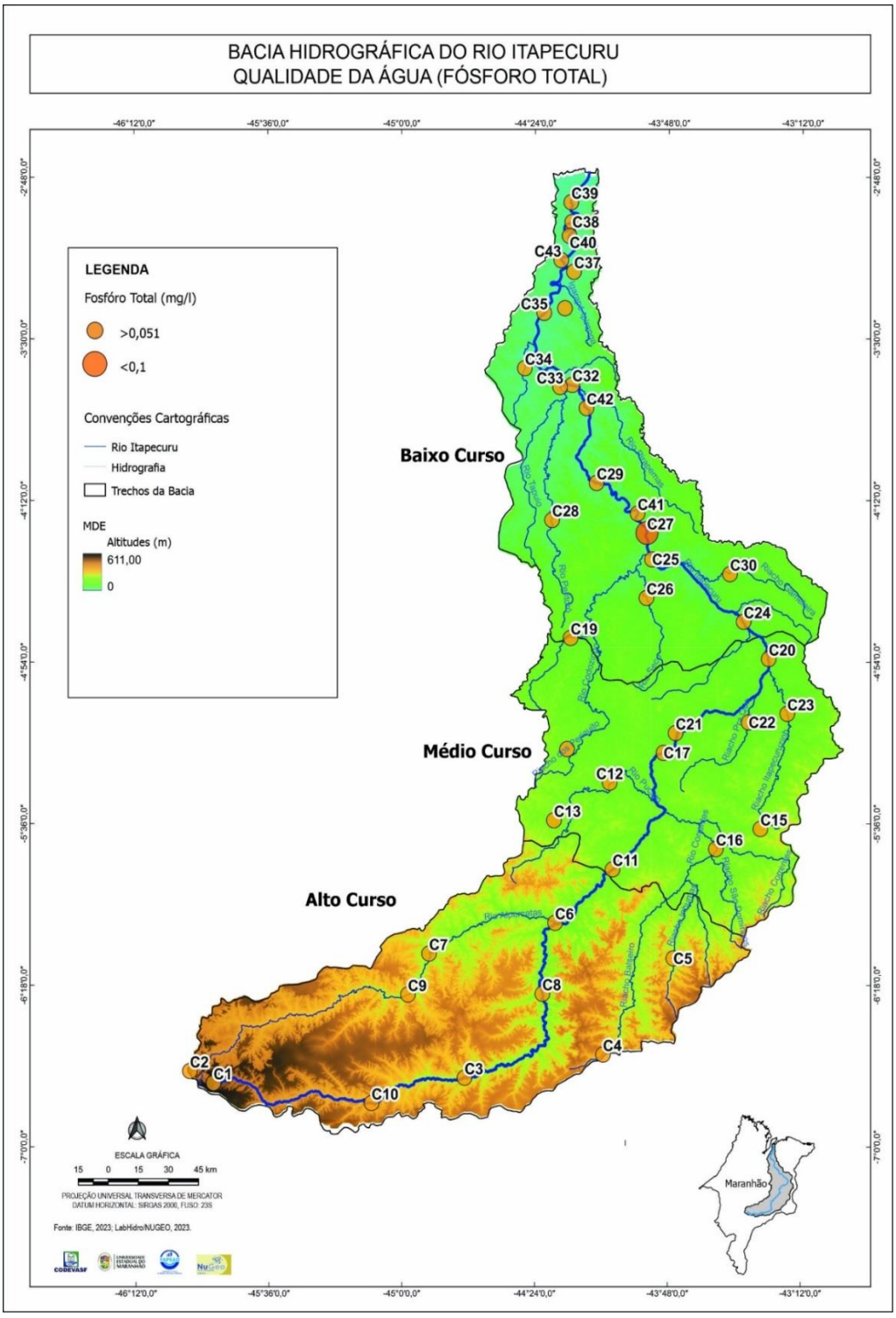
Fonte: Registros da Pesquisa (2023)

Figura 66: Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) das águas na Bacia do rio Itapecuru.



Fonte: Registros da Pesquisa (2023)

Figura 67: Fósforo das águas na Bacia do rio Itapecuru.



Fonte: Registros da Pesquisa (2023)

5.3.1. Análise dos Parâmetros Microbiológicos (Coliforme Total e Escherichia coli) e Clorofila-a

A Resolução CONAMA N.º 357/2005, que dispõe sobre a classificação de corpos de água e diretrizes ambientais para seu enquadramento, utiliza os Coliformes Termotolerantes como padrão de qualidade microbiológica, mas permite sua substituição pela *Escherichia coli*, de acordo com critérios estabelecidos pelo órgão ambiental competente (BRASIL 2005).

Neste sentido, comparou-se, os dados de *Escherichia coli* com a referida resolução para a Classe II, considerando que os usos das águas podem ser destinados:

a) ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional;

b) à proteção das comunidades aquáticas;

c) à recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho, conforme Resolução CONAMA N.º 274, de 2000;

d) à irrigação de hortaliças, plantas frutíferas e de parques, jardins, campos de esporte e lazer, com os quais o público possa vir a ter contato direto; e

f) à aquicultura e à atividade de pesca.

Os critérios de enquadramento para a Classe II estabelecem que o uso da água não deverá ser excedido um limite de 1.000 coliformes termotolerantes por 100 mililitros em 80% ou mais de pelo menos 6 (seis) amostras coletadas durante o período de um ano, com frequência bimestral.

De acordo com a Resolução CONAMA N.º 274/2000, que define critérios para balneabilidade em águas brasileira, comparou-se, igualmente, os resultados da *Escherichia coli*, com as disposições do Art. 2º, que estabelece critérios para as águas doces, salobras e salinas destinadas à balneabilidade (recreação de contato primário) tendo sua condição avaliada nas categorias própria e imprópria, a saber:

- **Própria (EXCELENTE),** quando houver no máximo 250 Coliformes termotolerantes ou 200 *Escherichia coli;*
- **Própria (MUITO BOA),** quando houver no máximo 500 Coliformes termotolerantes ou 400 *Escherichia coli;*
- **Própria (SATISFATÓRIA),** quando houver no máximo 1000 Coliformes termotolerantes ou 800 *Escherichia coli.*

Serão **Impróprias** amostragens superior a 2500 Coliformes termotolerantes ou 2000 *Escherichia coli.*

Ainda para efeito deste estudo, foram realizadas comparações entre os Números Mais Prováveis (NMP) de Coliformes Totais com a Portaria N.º 2914/2011 que dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, como em seu Anexo I (ausência em 100 ml da amostra).

Neste seguimento, a análise geral dos dados (**Tabelas 6, 7 e 8**) permite verificar que em todos os pontos de coleta foi observada a proliferação de Coliforme Total, tornando as águas Impróprias para consumo humano.

Comparando-se os dados de *Escherichia coli*, com as resoluções do CONAMA, obtém-se as seguintes informações:

- em todas as amostras, os resultados atendem aos padrões especificados na Resolução CONAMA N.º 357/2005, para a Classe II para águas doces;
- conforme Resolução CONAMA N.º 274/2000, para o uso de recreação de contato primário, no Alto Curso, em 5 pontos analisados (C1, C2, C3, C4 e C10), as águas enquadram-se como: próprias (EXCELENTES); e em 1 ponto (C8), como própria (MUITO BOA). Nos demais pontos neste curso, bem como, no Médio e Baixo Cursos, as águas classificam-se como Impróprias.

Tabela 27: Comportamento dos parâmetros: Coliforme Total e *Escherichia coli* nas águas da bacia do rio Itapecuru – Alto Curso.

Pontos	Município	Rio	Coliformes totais (NMP/100ml da amostra)	Portaria MS 2914/2011	*Escherichia coli* (NMP/100ml da amostra)	Qualidade CONAMA 357/2005	Qualidade CONAMA 274/2000
C1	São Raimundo das Mangabeiras	Nascente Rio Itapecuru	120	Imprópria	< 10	Classe II	Própria - EXCELENTE
C2	São Raimundo das Mangabeiras	Nascente Rio Alpercatas	120	Imprópria	< 10	Classe II	Própria - EXCELENTE
C3	Mirador	Rio Itapecuru	120	Imprópria	< 10	Classe II	Própria - EXCELENTE
C4	Pastos Bons	Riacho Balseiro	120	Imprópria	< 10	Classe II	Própria - EXCELENTE
C5	Passagem Franca	Riacho Inhumas	15956	Imprópria	540	Classe II	Própria SATISFATÓRIA
C6	Colinas	Rio Itapecuru	1956	Imprópria	98	Classe II	Própria - EXCELENTE
C7	Fernando Falcão	Rio Alpercatas	24196	Imprópria	563	Classe II	Própria SATISFATÓRIA
C8	Mirador	Rio Itapecuru	120	Imprópria	309	Classe II	Própria MUITO BOA
C9	Fernando Falcão	Rio Alpercatas	24196	Imprópria	< 10	Classe II	Própria - EXCELENTE
C10	Loreto	Rio Itapecuru	120	Imprópria	<1,0	Classe II	Própria - EXCELENTE

Fonte: Registros da Pesquisa (2023)

Tabela 28: Comportamento dos parâmetros: Coliforme Total e *Escherichia coli* nas águas da bacia do rio Itapecuru – Médio Curso.

Pontos	Município	Rio	Coliformes totais (NMP/100ml da amostra)	Portaria MS 2914/2011	*Escherichia coli* (NMP/100ml da amostra)	Qualidade CONAMA 357/2005	Qualidade CONAMA 274/2000
C11	Fortuna	Rio Itapecuru	8600	Imprópria	<1,0	Classe II	Própria - EXCELENTE
C13	Governador E. Barros	Riacho Pucumã	9800	Imprópria	<1,0	Classe II	Própria - EXCELENTE
C15	São Dom. do Maranhão	Riacho do Brejão	9100	Imprópria	<1,0	Classe II	Própria - EXCELENTE
C16	Parnarama	Rio Correntes	5800	Imprópria	<1,0	Classe II	Própria - EXCELENTE
C18	Buriti Bravo	Rio Sem Nome	6100	Imprópria	<1,0	Classe II	Própria - EXCELENTE
C19	Senador Alexandre Costa	Riacho Pau Não Cessa	4200	Imprópria	<1,0	Classe II	Própria - EXCELENTE
C20	Gonçalves Dias	Rio Itapecuru	4100	Imprópria	<1,0	Classe II	Própria - EXCELENTE
C21	Codó	Rio Itapecuru	7200	Imprópria	<1,0	Classe II	Própria - EXCELENTE
C23	Caxias	Riacho Itapecuru	8100	Imprópria	<1,0	Classe II	Própria - EXCELENTE

Fonte: Registros da Pesquisa (2023)

Tabela 29: Comportamento dos parâmetros: Coliforme Total e *Escherichia coli* nas águas da bacia do rio Itapecuru – Baixo Curso.

Pontos	Município	Rio	Coliformes totais (NMP/100ml da amostra)	*Escherichia coli* (NMP/100ml da amostra)	Qualidade CONAMA 357/2005	Qualidade CONAMA 274/2000
C25	Caxias	Rio Itapecuru	7100	<1,0	Classe II	Imprópria
C26	Caxias	Rio Saco	6600	<1,0	Classe II	Imprópria
C27	Caxias	Rio Itapecuru	7800	<1,0	Classe II	Imprópria
C28	Codó	Rio Peritoró	7500	<1,0	Classe II	Imprópria
C29	Codó	Rio Itapecuru	3800	<1,0	Classe II	Imprópria
C30	Codó	Rio Gameleira	4700	<1,0	Classe II	Imprópria
C32	Peritoró	Rio Itapecuru	5300	<1,0	Classe II	Imprópria

Pontos	Município	Rio	Coliformes totais (NMP/100ml da amostra)	*Escherichia coli* (NMP/100ml da amostra)	Qualidade CONAMA 357/2005	Qualidade CONAMA 274/2000
C33	Coroatá	Rio Peritoró	7300	<1,0	Classe II	Imprópria
C34	Aldeias Altas	Igarapé Jundiaí	2700	<1,0	Classe II	Imprópria
C35	Cantanhede	Rio Itapecuru	6700	<1,0	Classe II	Imprópria
C36	Cantanhede	Igarapé Passarinho	2900	<1,0	Classe II	Imprópria
C37	Matões do Norte	Igarapé Criminoso	4800	<1,0	Classe II	Imprópria
C38	Itapecuru Mirim	Rio Itapecuru	5100	<1,0	Classe II	Imprópria
C39	Itapecuru Mirim	Rio Itapecuru	5400	<1,0	Classe II	Imprópria
C40	Santa Rita	Rio Itapecuru	6700	<1,0	Classe II	Imprópria
C41	Rosário	Rio Itapecuru	6500	<1,0	Classe II	Imprópria
C42	Rosário	Rio Itapecuru	8800	<1,0	Classe II	Imprópria
C43	Rosário	Rio Itapecuru	7100	<1,0	Classe II	Imprópria

Fonte: Registros da Pesquisa (2023)

Com relação à concentração da Clorofila-a, a Resolução CONAMA N.º 357/2005, estabelece os padrões de acordo com a Tabela 30.

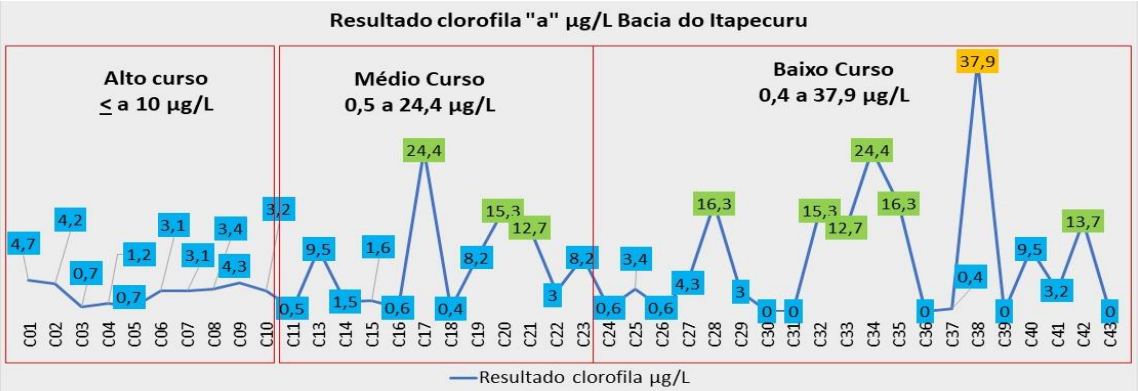
Tabela 30: Padrões para a Clorofila-a nas águas superficiais.

Classe I	Classe II	Classe III
10 µg/L	30 µg/L	60 µg/L

Fonte: CONAMA (2005).

Conforme com os resultados (Figura 68), as amostras encontram-se, em sua maioria, em conformidade com a resolução CONAMA N.º 357/2005, para as três classes. O Alto Curso da bacia, enquadra-se na Classe I, com os valores ≤ a 10 $\mu g.L^{-1}$; no Médio Curso, o valor da clorofila-a, varia de 0,5 a 24,4 $\mu g.L^{-1}$, enquadrando-se na Classe I e II; e no Baixo Curso, de 0,4 a 37,9 $\mu g.L^{-1}$, na Classe I, II e III, destacando-se, o ponto C38 (rio Itapecuru em Rosário) com 37,9 $\mu g.L^{-1}$.

Figura 68: Enquadramento da clorofila-a para as águas da bacia do rio Itapecuru (CONAMA 357/2005).



Fonte: CONAMA (2005).

Segundo (LOPES *et al.,* 2015; SILVA *et al.,* 2018) a clorofila-a é um componente que permite indicar biomassa algas, e dessa forma, determinar qualidade da água no sistema aquático e sua relação com crescimento excessivo de algas (estado trófico). A espacialização do estado trófico possibilita uma solução potencialmente efetiva para monitorar a qualidade de águas interiores e analisar espacialmente a sua distribuição. Neste contexto, os pontos com resultados acima de 10 µg.L^{-1}, apesar de estarem em conformidade com a Classe II, sinalizam para um crescimento de algas e comprometimento da qualidade das águas, como mostra a **Tabela 31**.

Tabela 31: Valores de clorofila-a acima de 10 µg/L nos rios da bacia do Itapecuru.

Ponto	Rio	Município	Resultado clorofila µg/L
C17	Itapecuru	Senador Alexandre Costa	24,4
C20	Itapecuru	Caxias	15,3
C21	Itapecuru	São João do Soter	12,7
C28	Peritoró	Peritoró	16,3
C32	Itapecuru	Coroatá	15,3
C33	Peritoró	Cantanhede	12,7
C34	Igarapé Jundiaí	Matões do Norte	24,4
C35	Itapecuru	Itapecuru Mirim	16,3
C38	Itapecuru	Rosário	37,9
C42	Itapecuru	Pirapemas	13,7

Fonte: Registros da Pesquisa (2023)

Nos gráficos das

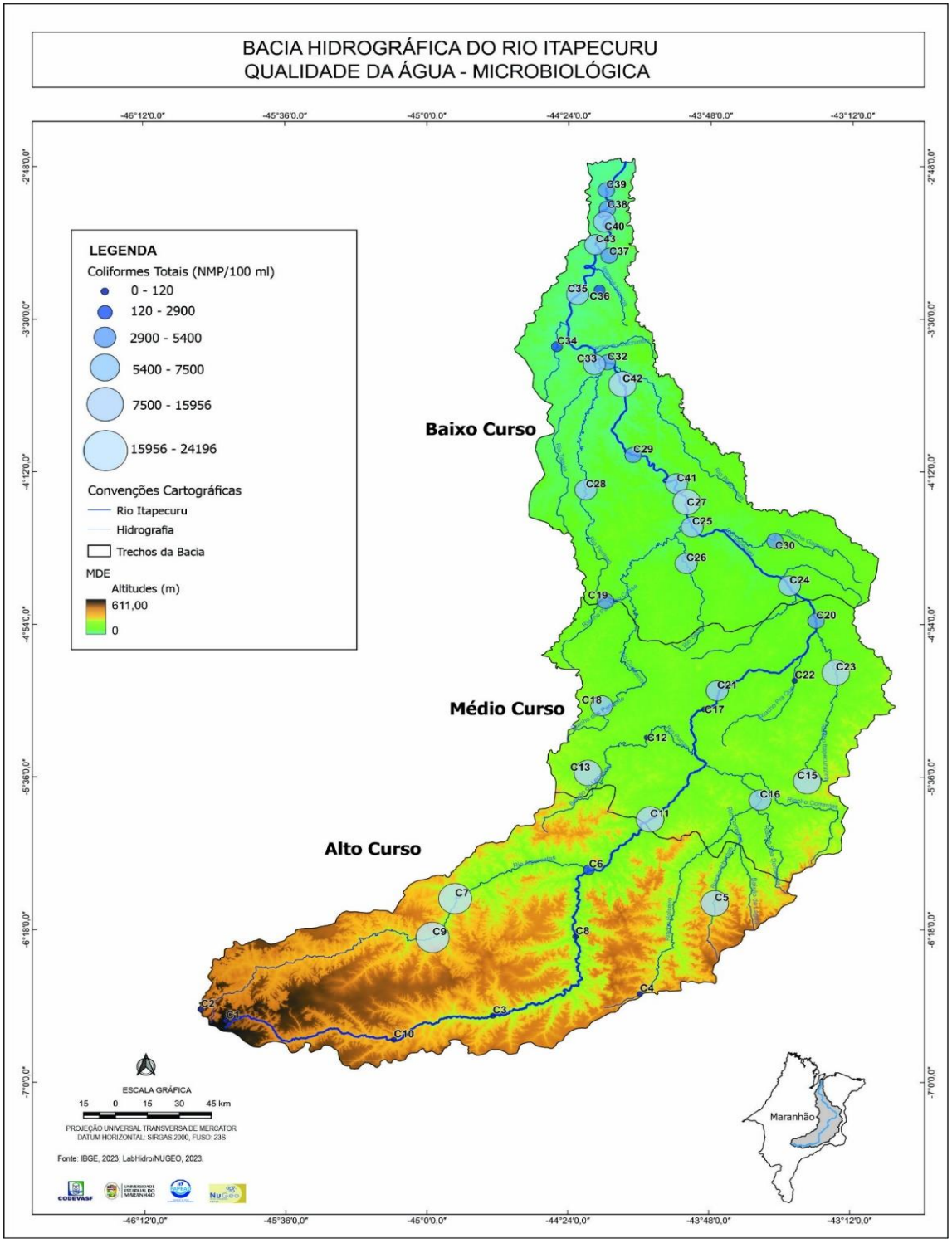
Figura 69,

Figura 70 e **Figura 71** apresentam-se os dados microbiológicos e de clorofila-a, distribuídos espacialmente na bacia do Itapecuru em que são verificados:

- valores mais elevados de Coliformes Totais (> 15000 NMP/100ml) no Alto Curso da bacia, cuja média foi de 6702 NMP/100ml. No Médio Curso, os valores variaram de 4100 a 9800 NMP/100ml, e no Baixo Curso, de 2700 a 7800 NMP/100ml;

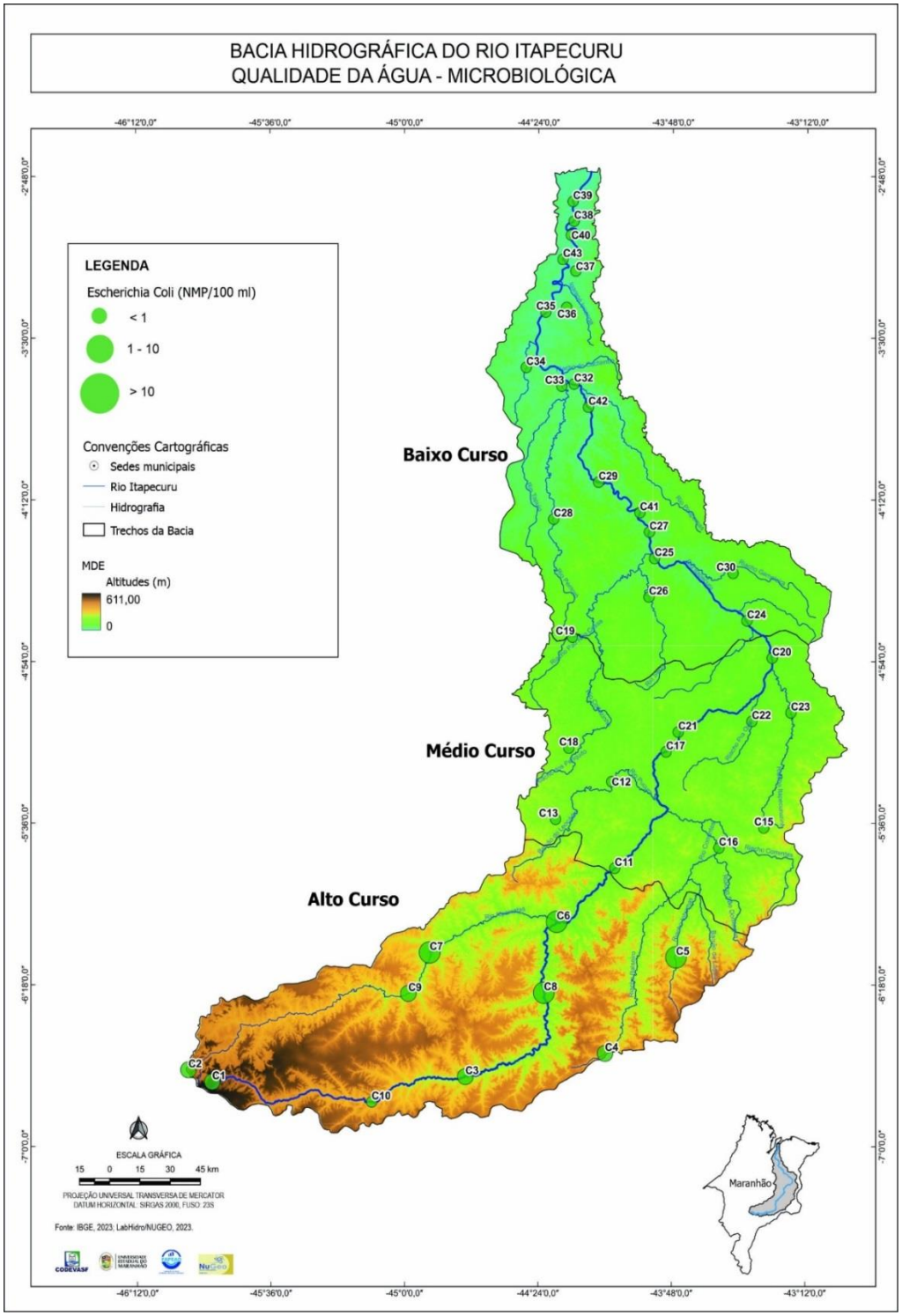
- valores acima de 10 NMP/100ml com relação à *Escherichia coli*, no Alto Curso. No Médio e Baixo Cursos os valores mantiveram-se < 1 NMP/100ml;
- valores variando de 0,4 a 37,9 µg.L^{-1} no Baixo Curso onde ocorrem maiores concentrações de clorofila-a, com valores variando de 0,4 a 37,9 µg.L^{-1}. No Alto Curso, os valores mantiveram-se < 5 µg.L^{-1} e no Baixo Curso, ocorreram de 0,5 a 24,4 µg.L^{-1}.

Figura 69: Coliforme Total das águas na bacia do Itapecuru.



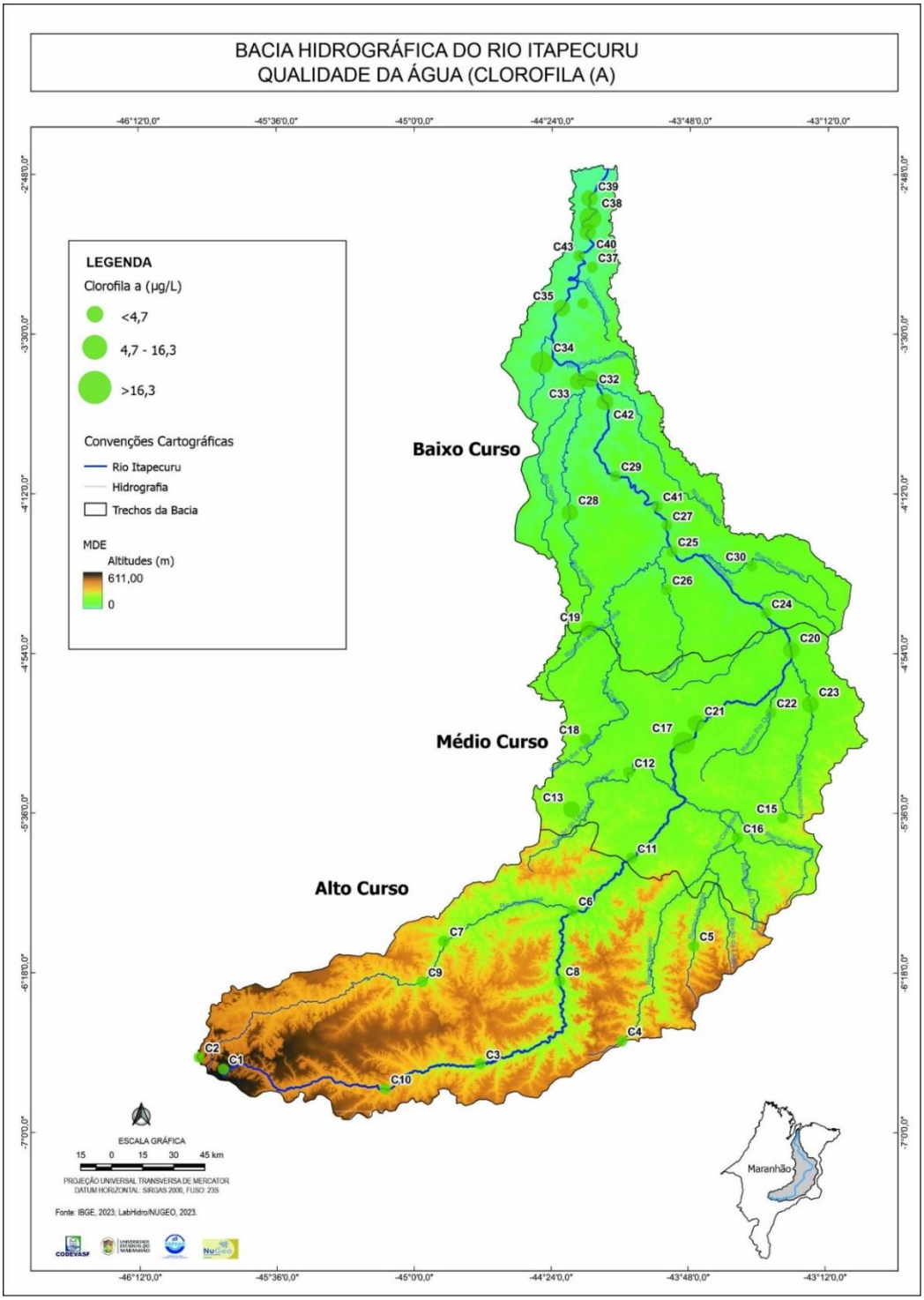
Fonte: Registros da Pesquisa (2023)

Figura 70: *Escherichia coli* das águas da bacia do Itapecuru.



Fonte: Registros da Pesquisa (2023)

Figura 71: Clorofila-a nas águas da bacia do rio Itapecuru.



Fonte: Registros da Pesquisa (2023)

5.3.2 Análise dos Metais

A contaminação da água por metais pesados é foco de grande preocupação por provocar sérios danos ao meio ambiente e à saúde de quem a consome. Mesmo em baixas concentrações, os efeitos toxicológicos e fisiológicos são severos (NASCIMENTO; BARBOSA, 2005). Segundo Porto *et al.* (1991), em alguns casos, os efeitos no sistema nervoso são difíceis de serem detectados no estágio inicial, além disso, alguns metais bioacumulam no organismo, podendo passar de estado crônico para agudo sem ser percebido.

Para Souza *et al.* (2015), a principal fonte natural dos metais pesados é o intemperismo, que os liberam nas formas dissolvida ou particulada, além da queima de florestas e a atividade biogênica. No entanto, as atividades antrópicas têm contribuído para aumentar significativamente a concentração desses elementos no meio, principalmente a mineração e o uso de agrotóxicos e pesticidas em culturas (MAHAR *et al.,* 2016). Os principais metais pesados envolvidos nesse sério problema de poluição ambiental são: Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Sb, Se, Ti e Zn. A contribuição de metais e seus íons para os problemas de poluição são de sério interesse, principalmente porque os efeitos fisiológicos de alguns deles podem ser substanciais, mesmo que as concentrações sejam extremamente baixas.

Os metais pesados não podem ser destruídos e são altamente reativos do ponto de vista químico, o que explica a dificuldade de encontrá-los em estado puro na natureza. Normalmente apresentam-se em concentrações muito baixas, associados a outros elementos químicos, formando minerais em rochas. Quando lançados na água como resíduos industriais, podem ser absorvidos pelos tecidos animais e vegetais (GREENPEACE, 2007). Alguns metais pesados são substâncias altamente tóxicas e não são compatíveis com a maioria dos tratamentos biológicos de efluentes existentes. Dessa forma, efluentes contendo metais pesados não devem ser descartados na rede pública para tratamento em conjunto com o esgoto doméstico. As principais fontes de poluição por metais pesados são provenientes desses efluentes industriais, de mineração e das lavouras (AGUIAR, NOVAES e GUARINO, 2002).

Diante disso, para análise dos metais, procedeu-se a coleta de amostra de água da bacia do Itapecuru, utilizando-se recipientes de polietileno com capacidade de um litro, conforme recomendações da Resolução CONAMA N.º 357/2005. Após análise das amostras, os valores encontrados foram organizados em tabelas para a realização dos cálculos estatísticos para determinação dos valores médios, em comparação com os valores máximos permitidos pela Portaria N.º 2914/2011, do Ministério da Saúde, Portaria do MS N.º 888/2021 e com a Resolução CONAMA N.º 357/05, que tratam sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água, conforme Tabela 32.

Tabela 32: Padrão de classificação de Metais.

Metais (mg.L^{-1})	Portaria MS 2914/2011 e 888/2021	CONAMA 357/2011 Classe II
	VMP	VMP
Cádmio Total	0,005	0,001
Chumbo Total	0,001	0,01
Cobre Total	2	-
Cromo Total	0,05	0,05
Ferro Total	2,4	-
Ferro Dissolvido	-	0,3
Mercúrio Total	-	0,0002
Níquel Total	-	0,025
Zinco Total	5	0,18

Fonte: Registros da Pesquisa (2023)

As análises para a bacia do Itapecuru são apresentadas na Tabela 33 (ALTO CURSO), Tabela 34 (MÉDIO CURSO) e Tabela 35 (BAIXO CURSO). São destacados os pontos com valores acima do permitido pela Resolução CONAMA e/ou Portarias do MS, sendo os resultados discutidos por cada parâmetro e espacializados na bacia como mostram os mapas das Figuras 46 a 54.

Tabela 33: Dados das análises dos metais do Alto Curso da bacia do rio Itapecuru.

Parâmetros (mg.L^{-1})	Pontos de Coleta									
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10
Cadmio (Cd) total	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Chumbo (Pb) total	0,02	0,05	0,6	0,4	0,7	1,3	2,2	ND	0,015	ND
Cobre (Cu) total	2,3	1,4	0,9	1,6	4,8	5,6	12,7	7,5	5,9	6,8
Cromo (Cr) total	1,8	0,8	0,5	1,6	0,6	ND	0,12	1,2	2,3	1,3
Ferro (Fe) total	0,25	1,39	0,44	0,32	0,76	0,43	0,94	0,28	0,55	0,23
Ferro (Fe) dissolvido	0,003	0,004	0,005	0,02	0,07	0,03	0,05	0,003	0,01	0,02
Mercúrio (Hg) total	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Níquel (Ni) total	ND	ND	ND	ND	0,09	ND	ND	0,05	ND	ND
Zinco (Zn) total	3,2	4,6	8,3	12,6	9,2	4,3	7,9	22	4,8	5,6

Fonte: Registros da Pesquisa (2023)

Tabela 34: Dados das análises dos metais do Médio Curso da bacia do rio Itapecuru.

Parâmetros (mg.L^{-1})	Pontos de Coleta												
	C11	C12	C13	C14	C15	C16	C17	C18	C19	C20	C21	C22	C23
Cadmio (Cd) total	< 0,0010	< 0,0010	< 0,0010	0,0010	< 0,0010	< 0,0010	< 0,0010	< 0,0010	< 0,0010	< 0,0010	< 0,0010	< 0,0010	< 0,0010

Chumbo (Pb) total	0,0052	< 0,0050	0,0060	0,0221	< 0,0050	< 0,0050	0,0070	< 0,0050	0,0069	0,0063	0,0062	< 0,0050	< 0,0050
Cobre (Cu) total	0,0040	0,0030	0,0010	0,0020	0,0030	0,0020	0,0030	0,0010	< 0,0010	0,0040	< 0,0010	0,0020	0,0010
Cromo (Cr) total	0,010	< 0,010	< 0,010	0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010
Ferro (Fe) total	1,480	1,520	1,260	2,000	1,320	1,290	2,020	0,850	1,730	1,900	2,470	0,960	1,160
Mercúrio (Hg) total	< 0,0002	< 0,0002	< 0,0002	< 0,0002	< 0,0002	< 0,0002	< 0,0002	< 0,0002	< 0,0002	< 0,0002	< 0,0002	< 0,0002	< 0,0002
Níquel (Ni) total	0,0050	0,0030	0,0030	0,0050	0,0040	0,0040	0,0050	0,0050	0,0040	0,0050	0,0040	0,0040	0,0040
Zinco (Zn) total	0,650	< 0,050	0,070	< 0,050	< 0,050	< 0,050	< 0,050	< 0,050	< 0,050	< 0,050	< 0,050	< 0,050	0,080

Fonte: Registros da Pesquisa (2023)

Tabela 35: Dados das análises dos metais do Baixo Curso da bacia do rio Itapecuru.

Parâmetros (mg.L^{-1})	Pontos de Coleta									
	C24	C25	C26	C27	C28	C29	C30	C32	C33	C34
Cadmio (Cd) total	< 0,0010	< 0,0010	< 0,0010	< 0,0010	< 0,0010	< 0,0010	0,0010	< 0,0010	< 0,0010	< 0,0010
Chumbo (Pb) total	0,0054	0,0056	0,0061	0,0075	0,0139	< 0,0050	0,0221	< 0,0050	0,0081	0,0070
Cobre (Cu) total	0,0010	0,0020	0,0020	0,0020	0,0040	0,0020	0,0020	0,0020	0,0030	0,0030
Cromo (Cr) total	0,010	0,010	< 0,010	0,010	0,010	< 0,010	0,010	< 0,010	0,010	< 0,010
Ferro (Fe) total	1,870	1,890	1,600	1,290	4,350	0,960	2,000	1,240	2,750	2,020
Mercúrio (Hg) total	< 0,0002	< 0,0002	< 0,0002	< 0,0002	< 0,0002	< 0,0002	< 0,0002	< 0,0002	< 0,0002	< 0,0002
Níquel (Ni) total	0,0050	0,0040	0,0050	0,0020	0,0070	0,0040	0,0050	0,0050	0,0060	0,0050
Zinco (Zn) total	< 0,050	< 0,050	< 0,050	< 0,050	< 0,050	< 0,050	< 0,050	< 0,050	< 0,050	< 0,050
Parâmetros (mg.L^{-1})	**Pontos de Coleta**									
	C35	**C36**	**C37**	**C38**	**C39**	**C40**	**C41**	**C42**	**C43**	**Classe II**
Cadmio (Cd) total	< 0,0010	< 0,0010	< 0,0010	< 0,0010	0,0010	< 0,0010	< 0,0010	< 0,0010	< 0,0010	0,001
Chumbo (Pb) total	0,0053	0,0106	0,0065	< 0,0050	0,0092	0,0074	< 0,0050	< 0,0050	< 0,0050	0,01
Cobre (Cu) total	0,0010	0,0010	0,0020	0,0030	0,0020	0,0020	0,0020	0,0010	0,0020	2*
Cromo (Cr) total	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	0,05
Ferro (Fe) total	0,740	4,500	1,290	1,520	1,170	2,610	1,510	1,180	0,820	2,4*
Mercúrio (Hg) total	< 0,0002	< 0,0002	< 0,0002	< 0,0002	< 0,0002	< 0,0002	< 0,0002	< 0,0002	< 0,0002	0,0002
Níquel (Ni) total	0,0010	0,0030	0,0040	0,0030	0,0030	0,0050	0,0050	0,0050	0,0040	0,025
Zinco (Zn) total	< 0,050	0,250	< 0,050	< 0,050	< 0,050	< 0,050	< 0,050	< 0,050	< 0,050	0,18

* Portaria MS Nº. 2914/2011

Fonte: Registros da Pesquisa (2023)

a) Cádmio

Não foram registradas concentrações de cádmio nas águas dos rios no Alto Curso da bacia do Itapecuru. No Médio e Baixo Cursos, os valores encontram-se em conformidade com os máximos

permitidos conforme legislações em vigor. Todavia, este metal ocorre amplamente na natureza como Sulfeto, ou cádmio combinado, geralmente com uma impureza em minério de zinco-chumbo. “Este é utilizado na natureza para ligar-se com cobre, chumbo, prata, alumínio e níquel. É igualmente usado em galvanização, cerâmica, pigmentação, baterias, reagentes fotográficos e reatores nucleares. Sais de cádmio são muitas vezes empregados como inseticidas e anti-helmínticos. (SAMPAIO, 2003)”.

Segundo EPA (1972), o cádmio age sinergicamente com outras substâncias aumentando sua toxicidade. Concentrações de 0,03 $mg.L^{-1}$ em combinação com 0,15 $mg.L^{-1}$ de zinco causa a morte de peixes, como salmão.

b) Chumbo

Dos 10 pontos analisados no Alto Curso, 7 encontram-se acima do valor máximo permitido de acordo com a Portaria MS N.º 2914/2011, que é de 0,001 $mg.L^{-1}$, assim como, da Resolução CONAMA N.º 357/2005, para as três classes de enquadramento das águas (Classe I – 0,01 $mg.L^{-1}$, Classe II – 00,01 $mg.L^{-1}$ e 0,033 $mg.L^{-1}$), a saber: C1 (nascente do rio Itapecuru em São Raimundo das Mangabeiras); C2 (nascente do rio Alpercatas em São Raimundo das Mangabeiras), C3 (rio Itapecuru em Mirador); C4 (rio Balseiros em Pastos Bons); C5 (Rio Inhuma em Passagem Franca); C6 (rio Itapecuru em Colinas); e C7 (rio Alpercatas em Fernando Falcão). No Médio Curso, todos os pontos encontram-se em conformidade com os padrões estabelecidos; no Baixo Curso, o ponto C30 (rio Gameleira em Aldeias altas), com valor de 0,0221 $mg.L^{-1}$, apresenta um discreto aumento em relação aos valores de referência.

Valores de chumbo na água acima do permitido indicam, principalmente, a influência de processos industriais. Neste sentido, segundo Sampaio (2003), a dispersão de chumbo em ambientes aquáticos pode causar efeitos nocivos, como: anemia, disfunção neurológica, enfraquecimento renal, irritabilidade; paralisia dos nervos, pressão sanguínea elevada, edema de papila, convulsão e coma; nefrite saturnina, cancerígeno, mutagênico e teratogênico; intoxicações consideradas como não graves; problemas na descendência, desde a provocação de abortos, partos prematuros e crianças com problemas que incluem desde alterações no sistema nervoso até a morte prematura.

Segundo a Agência de Proteção Ambiental Norte-Americana (EPA, 1972), a concentração de 0,03 $mg.L^{-1}$ é o nível seguro para *Daphnia*[2], e é recomendado como critério para a proteção da vida aquática. É também um valor seguro para peixes, segundo estudos já desenvolvidos.

[2] A *Daphnia magna* é um microcrustáceo comum em águas doces interiores do planeta, conhecida com pulga-de-água, possuem papel importante na cadeia alimentar (como presa e predador). É um organismo filtrador que se alimenta de algas, rotíferos e infusorios. É usada como alimento na criação de alevinos (ANTUNES; CASTRO, 2017).

c) Cobre

No Alto Curso, os resultados de cobre apresentaram-se fora do padrão em relação ao valor máximo permitido da Portaria MS N.º 2914/2011, que é de 2 $mg.L^{-1}$, nos pontos: C1 (nascente do Itapecuru em São Raimundo das Mangabeiras), C5 (Rio Inhuma em Passagem Franca); C6 (rio Itapecuru em Colinas); C7 (rio Alpercatas em Fernando Falcão), C8 (rio Itapecuru em Mirador, C9 (rio Alpercatas em Fernando Falcão) e C10 (rio Itapecuru em Loreto). Entre estes, o rio Alpercatas com uma concentração igual a 12,7 $mg.L^{-1}$, sobressai-se. No Médio e Baixo Cursos, os valores apresentam-se em conformidade com os padrões estabelecidos pela legislação. Importante ressaltar que ocorre toxidade nas águas doce, nas concentrações de 0,015 a 3,0 $mg.L^{-1}$, e muitas espécies de peixes, crustáceos, moluscos e plânctons em geral são afetados (EPA, 1972).

d) Cromo

Em todos os pontos, as concentrações de cromo mantiveram-se em conformidade com os padrões estabelecidos pela legislação.

Segundo Sampaio (2003), os efeitos de uma intoxicação por cromo podem causar corrosão das mucosas, problemas respiratórios e modificações hematológicas. Quanto aos organismos aquáticos apresentam grande variação em relação à sensibilidade à concentração de cromo entre 0,03 e 118 $mg.L^{-1}$. Concentrações de 0,05 $mg.L^{-1}$ causam mortandade de *Daphinia magna* em 6 dias (EPA, 1972).

e) Ferro Dissolvido e Total

O ferro dissolvido ou total é considerado de baixa toxicidade para a saúde pública, porém em concentrações superiores aos valores determinados acarretam problemas para o abastecimento público, que podem ser considerados contaminantes já que em excesso afetam a qualidade da água. Além disso, a alta concentração dessas substâncias nas águas provoca incrustação no interior das canalizações, na rede distribuidora e no interior de reservatórios (DAVIS, MASTEN, 2016; MORUZZI, REALI, 2012).

Na bacia do Itapecuru em seu Alto Curso, as concentrações de Ferro Dissolvido e Total estão de acordo com os padrões estabelecidos na legislação. No Médio Curso, as concentrações estão fora do padrão, com valores > 2,4 $mg.L^{-1}$ (Ferro total) e > 0,3 $mg.L^{-1}$ (Ferro dissolvido) nos pontos: C17 (rio Itapecuru em Senador Alexandre Costa), C21 (rio Itapecuru em São João do Sóter), e no Baixo Curso, nos pontos: C28 (rio Peritoró em Peritoró), C36 (rio Gameleira no município de Aldeias Altas) e C40 (rio Itapecuru em Santa Rita).

f) Mercúrio

O problema do uso do mercúrio atinge, atualmente, quase todo o Brasil, seja em garimpos, indústrias, uso de agrotóxicos à base mercurial (que, mesmo proibidos por lei, ainda são utilizados), seja por fontes nem sempre visíveis e fáceis de se detectarcomo consultórios odontológicos, clínicas estéticas ou de tratamentos especiais, pequenas indústrias ou estabelecimentos similares. Estas fontes "invisíveis", com pouca possibilidade de controle, lançam o mercúrio, diretamente na rede de esgotos, através do qual ele entra no sistema aquático e o compromete seriamente (CHARBONNEAU *et al.* 1979).

Quanto à contaminação local, os problemas mais graves causados por mercúrio acontecem através dos lançamentos clandestinos de efluentes industriais, aplicações de agrotóxicos, utilização no tratamento de sementes, mineração etc. Saliente-se que, quando lançado no ambiente sob forma inorgânica, é transformado, através da ação das bactérias, em um elemento altamente perigoso, o metilmercúrio.

Quando presente nos ecossistemas aquáticos e na presença de oxigênio, quase todas as formas de mercúrio, inclusive o metálico, podem sofrer ionização, oxidação e transformação em Hg 2+. Uma vez ionizado, pode formar uma grande variedade de compostos. A redução do Hg 2+ é facilitada por bactérias do gênero *Pseudomonas* em ambientes carentes de oxigênio, ou seja, com condições anaeróbicas (NAVARRETE *apud* ALBERT, 1985). A exposição ao mercúrio pode ocorrer ao se respirar ar contaminado, por ingestão de água e comida contaminada e durante tratamentos dentários. Em altos teores, o mercúrio pode prejudicar o cérebro, o fígado, o desenvolvimento de fetos e causar vários distúrbios neuropsiquiátricos. A Resolução CONAMA 357/2005 estabelece como padrão: Classe I e II (0,0002 $mg.L^{-1}$), e Classe III (0,002 $mg.L^{-1}$).

g) Níquel

De acordo com Sampaio (2003), embora o níquel seja insolúvel na água, como metal puro, seus sais são altamente solúveis, podendo estar presentes na água devido a despejos industriais, sendo estes tóxicos para plantas em geral, e para a vida aquática, os níveis de toxicidade são variáveis e determinados pelo pH e efeitos sinérgico de outros metais.

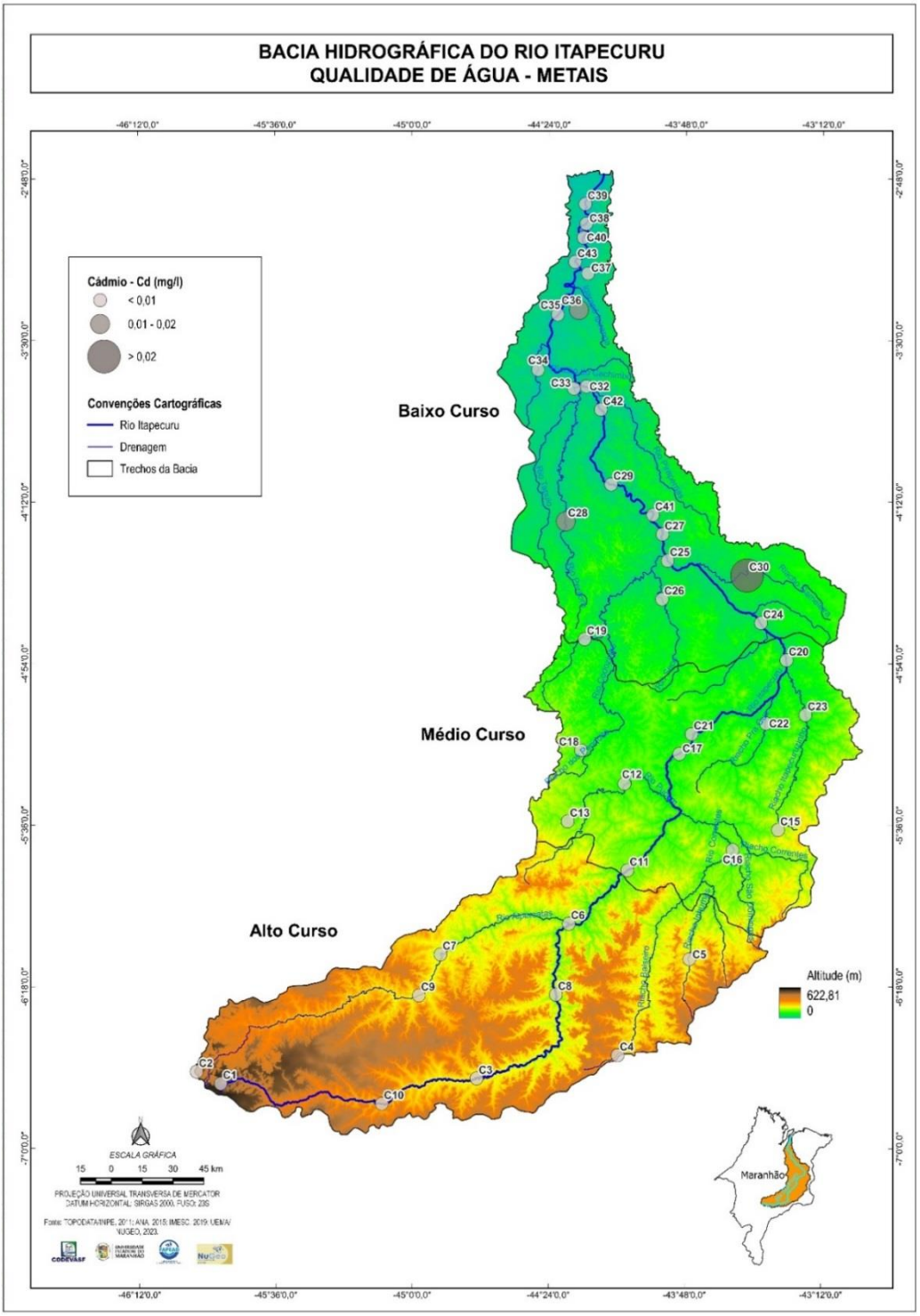
Na bacia do Itapecuru, em seu Alto Curso, não houve registro de níquel, com exceção do ponto C8 (rio Itapecuru em Mirador) com concentração > 0,05 $mg.L^{-1}$, e fora do padrão estabelecido pela Resolução CONAMA N.º 357/2005, que é de 0,025 $mg.L^{-1}$ para as Classes I, II e III. No Médio e Baixo Cursos, os valores registrados estão em conformidade com os padrões estabelecidos pela legislação.

h) Zinco

Segundo Azevedo (2012), a principal emissão natural de zinco é por erosão. As fontes antropogênicas são: mineração, produção de zinco, produção de ferro e aço, corrosão de estruturas galvanizadas, combustão de carvão e outros combustíveis, eliminação e incineração de resíduos e uso de fertilizantes e agrotóxicos contendo zinco. E no que tange a sua toxidade, em relação aos peixes e organismo aquáticos provoca mudanças adversas em sua morfologia e fisiologia, obstrução das guelras, crescimento e maturação retardados e morte (SAMPAIO, 2023).

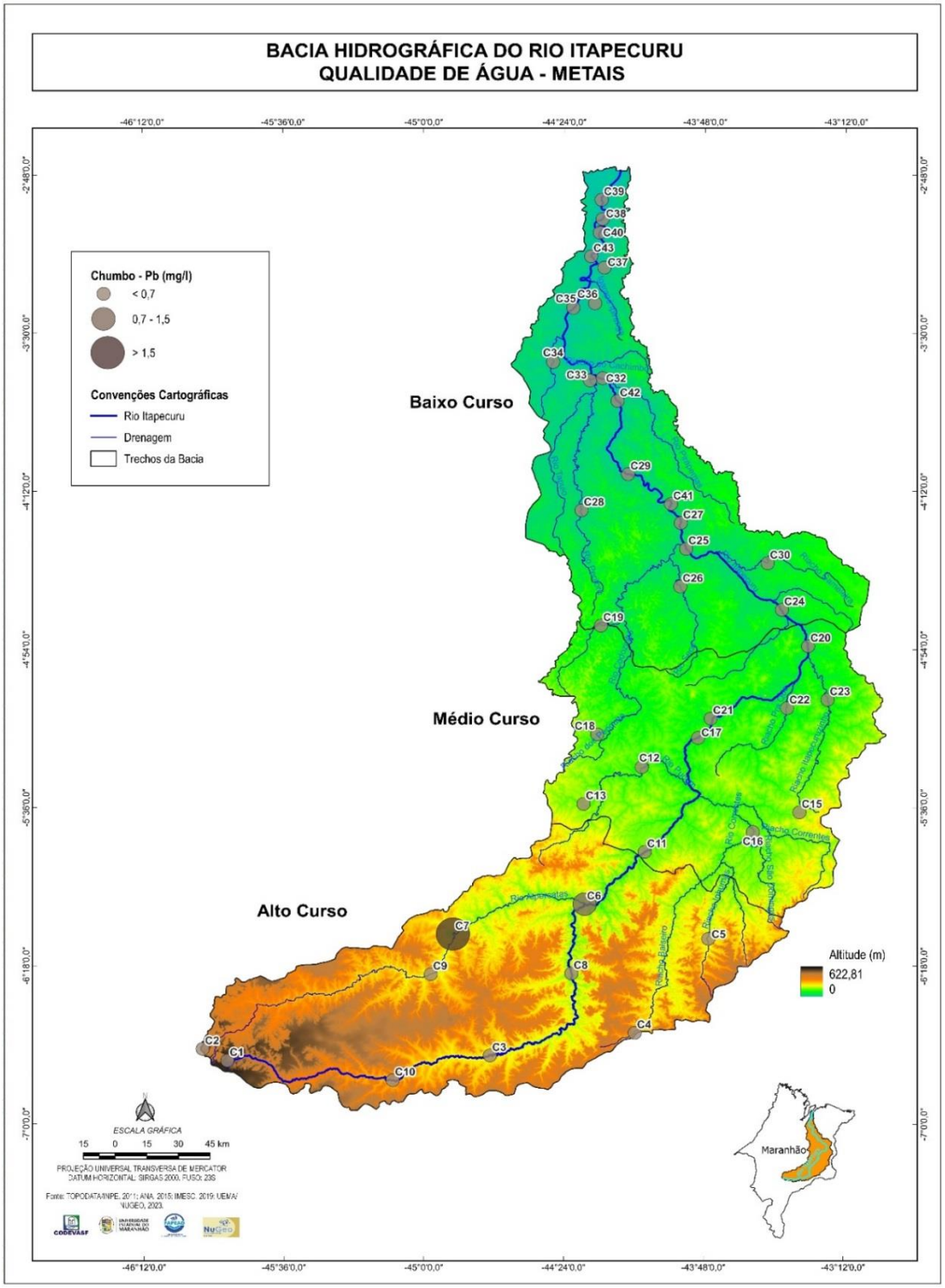
Na bacia do Itapecuru, em seu Alto Curso, os pontos: C3 (rio Itapecuru em Mirador), C4 (riacho Balseiros em Pastos Bons), C5 (riacho Inhumas em Passagem Franca), C7 (rio Alpercatas em Fernando Falcão), C8 (rio Itapecuru em Mirador) e C10 (rio Itapecuru em Loreto) apresentaram concentrações $\geq$ 5 mg.L-1, e, portanto, fora do padrão estabelecido pelas legislações em vigor. Igualmente em seu Médio Curso, o ponto C11 (rio Itapecuru em Fortuna) encontra-se fora dos padrões. Os pontos do Baixo Curso mantiveram-se em conformidade com os padrões estabelecidos.

Figura 72: Cádmio nas águas da bacia do rio Itapecuru.



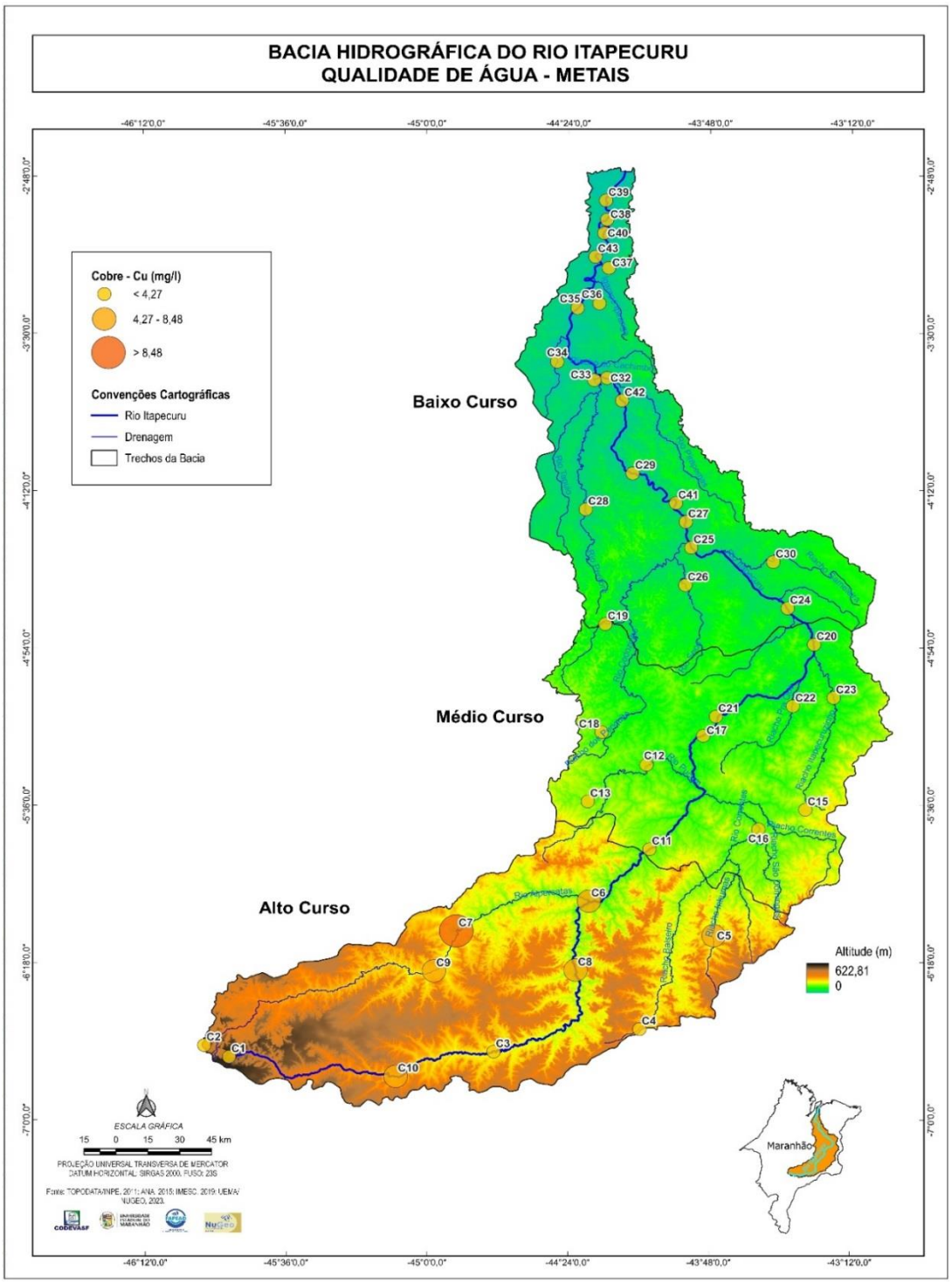
Fonte: Registros da Pesquisa (2023)

Figura 73: Chumbo nas águas da bacia do rio Itapecuru.



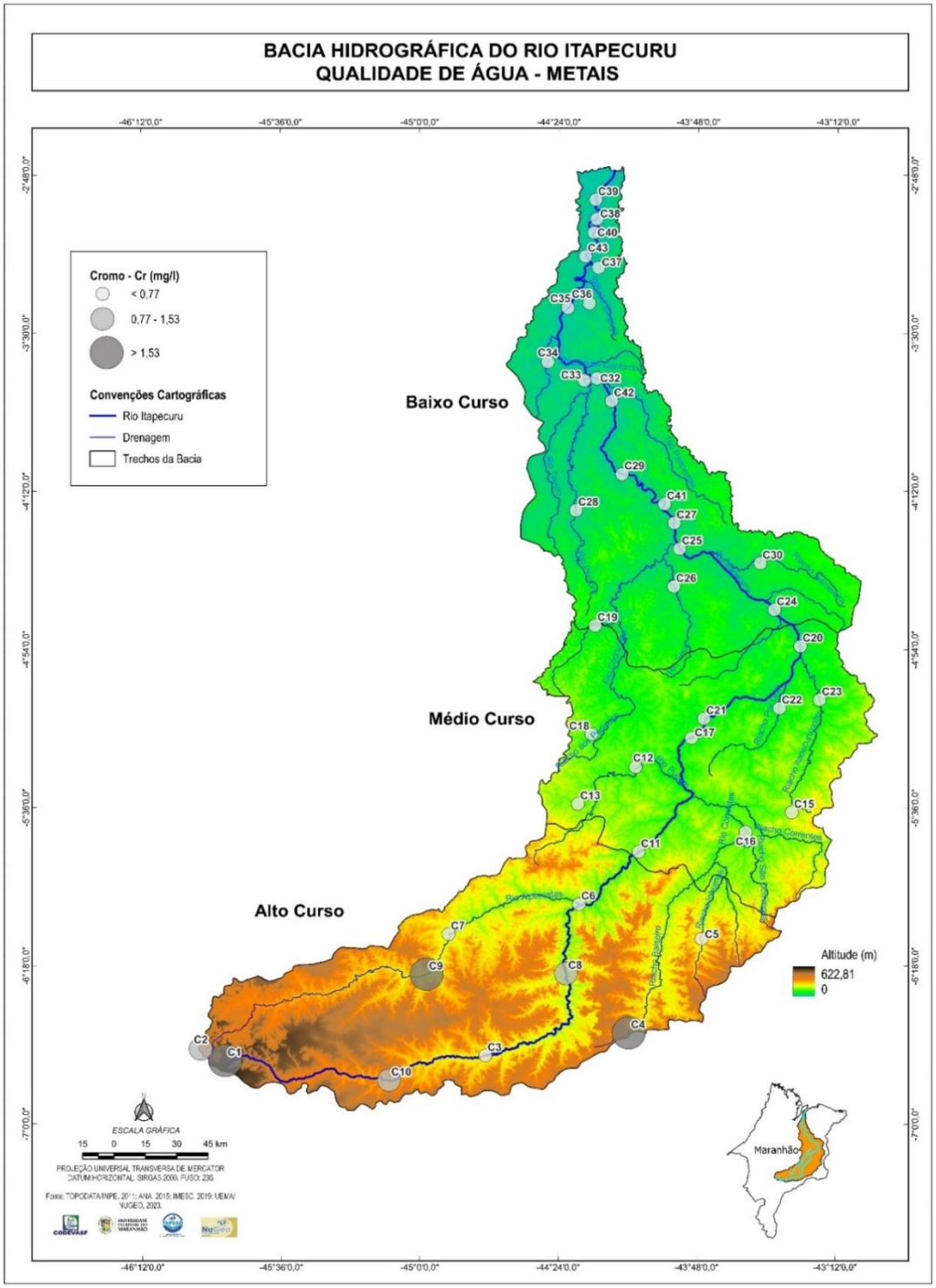
Fonte: Registros da Pesquisa (2023)

Figura 74: Cobre nas águas da bacia do rio Itapecuru.



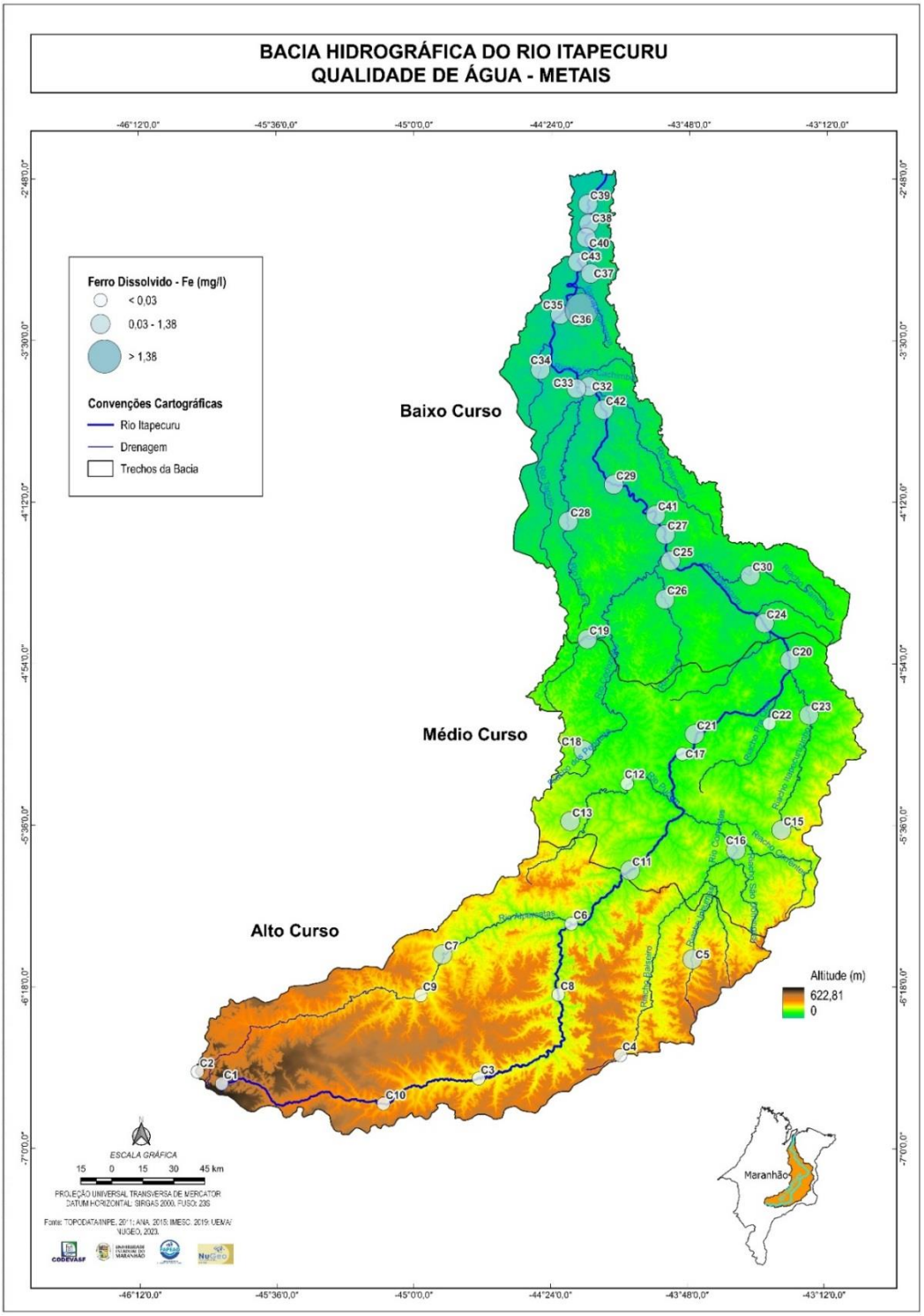
Fonte: Registros da Pesquisa (2023)

Figura 75: Cromo nas águas da bacia do rio Itapecuru.



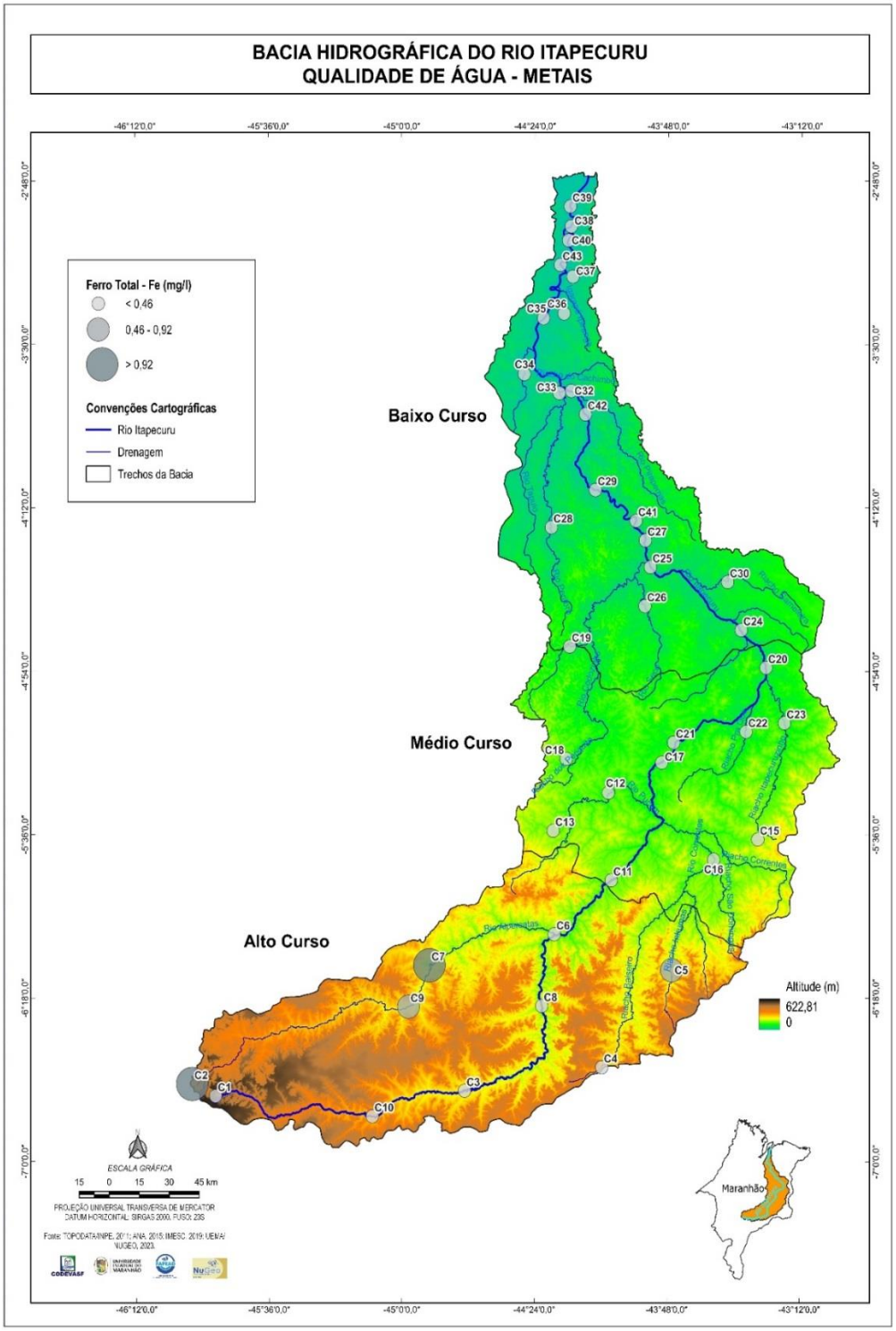
Fonte: Registros da Pesquisa (2023)

Figura 76: Ferro Dissolvido nas águas da bacia do rio Itapecuru.



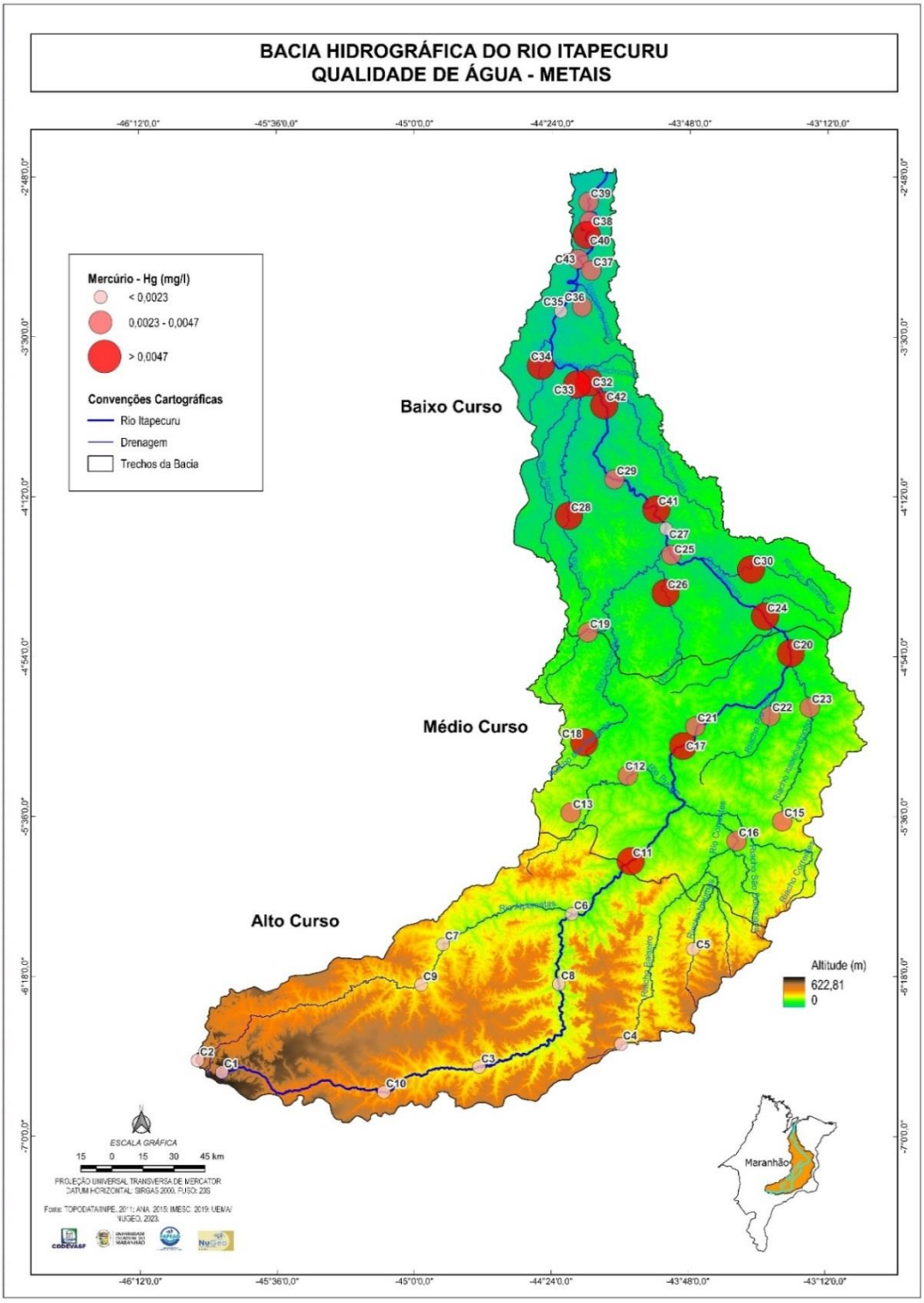
Fonte: Registros da Pesquisa (2023)

Figura 77: Ferro Total nas águas da bacia do rio Itapecuru.



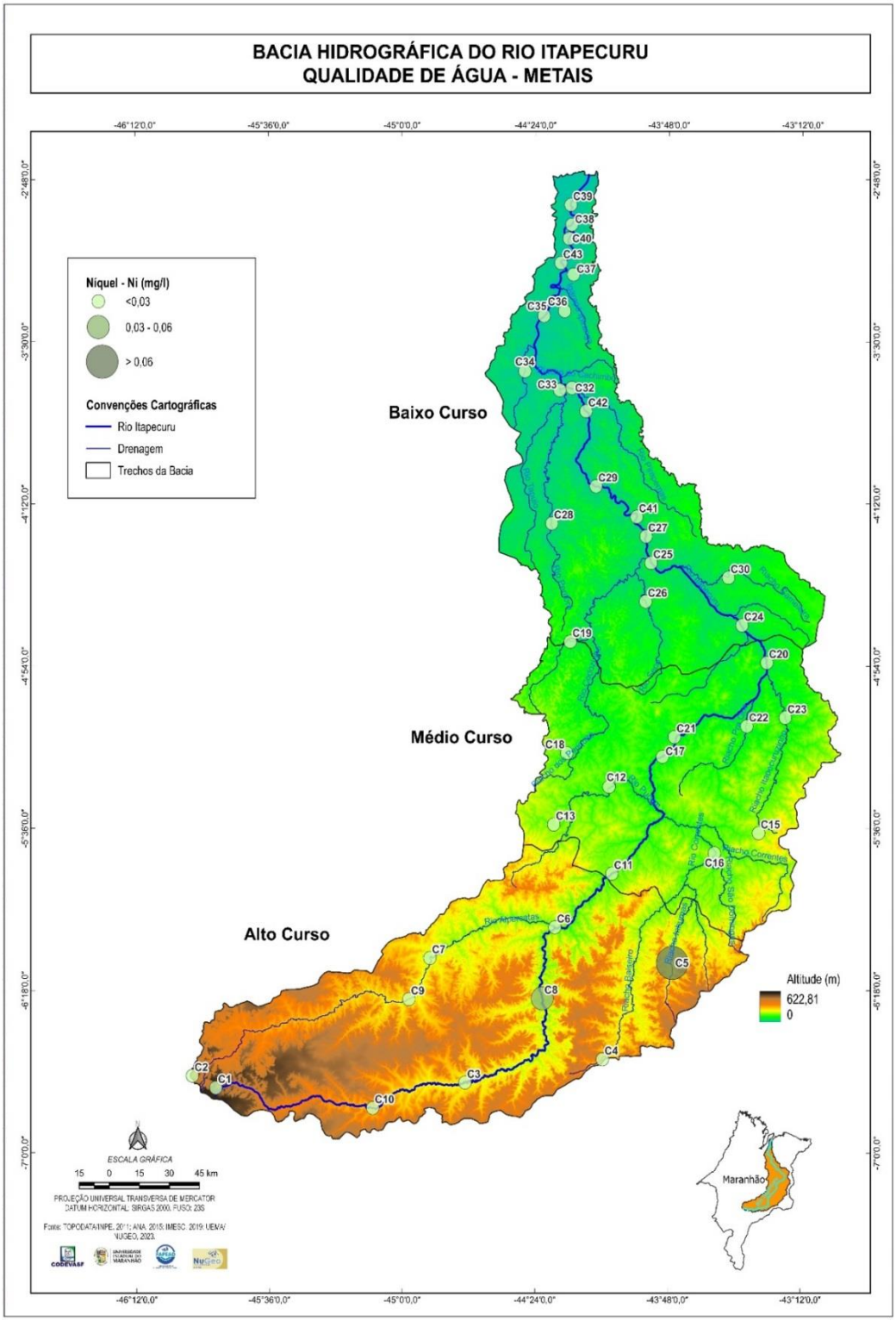
Fonte: Registros da Pesquisa (2023)

Figura 78: Mercúrio nas águas da bacia do rio Itapecuru.



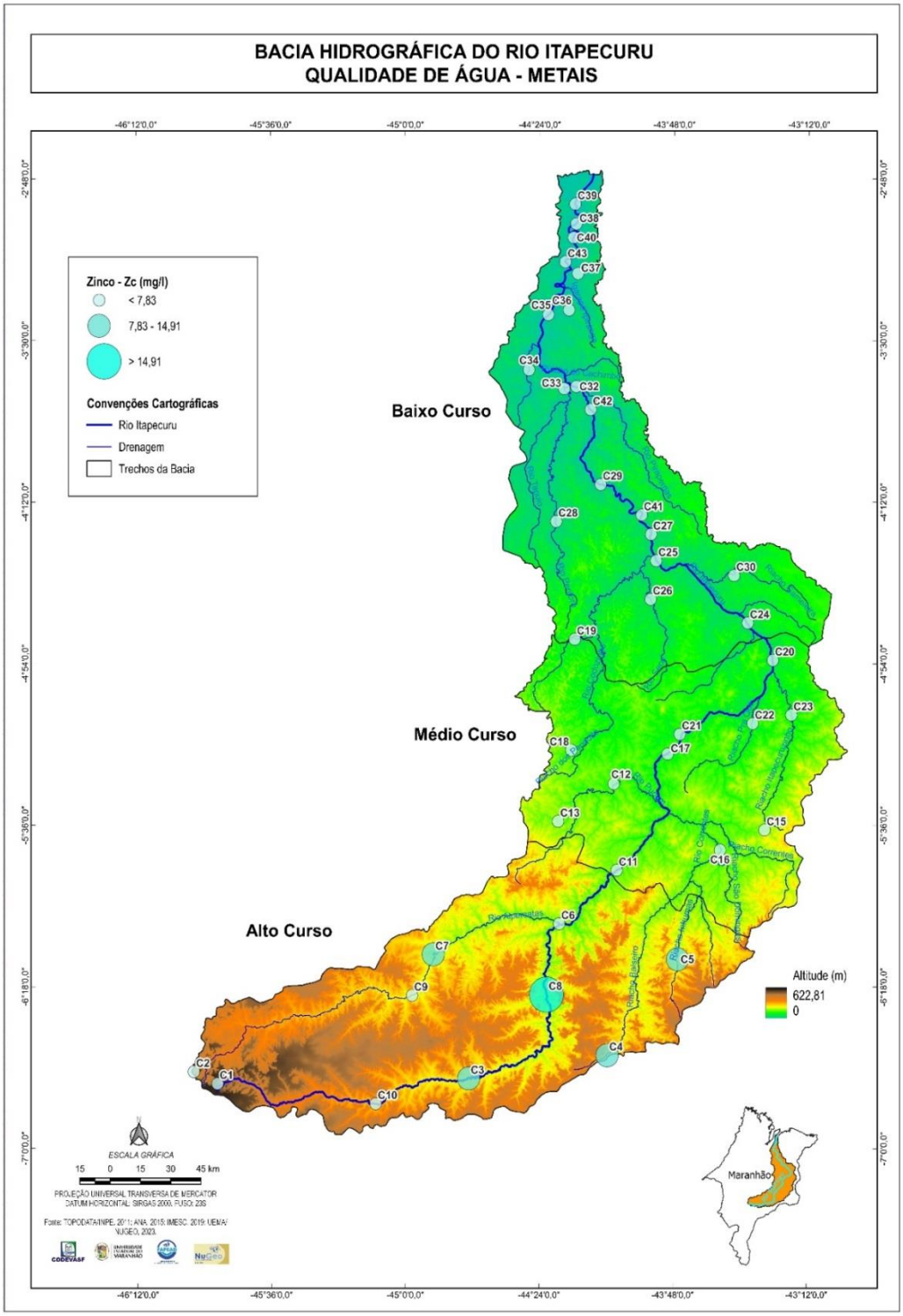
Fonte: Registros da Pesquisa (2023)

Figura 79: Níquel nas águas da bacia do rio Itapecuru.



Fonte: Registros da Pesquisa (2023)

Figura 80: Zinco nas águas da bacia do rio Itapecuru.



Fonte: Registros da Pesquisa (2023)

5.3.3 Agrotóxicos

Com relação aos agrotóxicos, esses foram analisados para o Alto Curso da bacia do Itapecuru, considerando que nestes localizam-se suas nascentes. Neste trecho foi registrado traços do inseticida organoclorado mirex. Este é usado principalmente para controle de formigas-de-fogo, cupins e outros insetos.

O mirex é muito persistente no ambiente e altamente resistente à degradação química e biológica. O principal processo de degradação é a fotólise na água ou na superfície do solo, sendo o fotomirex o principal produto de degradação. O composto apresenta pouca mobilidade quando aderido à solos ricos em matéria orgânica, mas, pode ser transportado a longas distâncias quando adsorvido ao material particulado presente na água.

O transporte do mirex pelo ar é improvável devido a sua baixa solubilidade em água e pressão de vapor, entretanto, existe relato de seu transporte atmosférico, com base na detecção do composto em áreas distantes. O composto é bioacumulado e biomagnificado na cadeia alimentar aquática e terrestre.

No ponto C10 (rio Itapecuru), localizado no município de Loreto, foram registrados níveis traço de 0,004 µg.L^{-1}, que provavelmente é em decorrência de lavouras de subsistência, pastagens nativas, plantios de soja e eucaliptos existente na região, e, desta forma, encontra-se fora do padrão estabelecido pela Resolução CONAMA N.º 357/2005, que é de concentração igual a 0,001 µg.L^{-1} (Classe I, II e III).

5.3.4 Índice de Qualidade das Águas - IQA

O Índice de Qualidade das Águas - IQA é uma metodologia utilizada para avaliar a qualidade da água, a partir da medição de suas características físicas, químicas e biológicas, classificando-as a partir de parâmetros de qualidade estabelecidos. O IQA foi criado na década de 70, nos Estados Unidos, pela *National Sanitation Foundation*, para avaliar a água bruta, visando seu uso para o abastecimento público, após tratamento; e a partir de 1975 começou a ser utilizado pela CETESB (Companhia Ambiental do Estado de São Paulo). A partir de então, outros Estados brasileiros passaram a adotar o índice, sendo este, atualmente, o principal índice de qualidade da água utilizado no Brasil (ANA, 2003)[3].

[3] ANA (Agência Nacional de Águas e Saneamento). INDICADORES DE QUALIDADE - ÍNDICE DE QUALIDADE DAS ÁGUAS (IQA). Disponível em:<http://pnqa.ana.gov.br/indicadores-indice-aguas.aspx>.. Acesso em: jan/2023.

Este índice é composto de nove parâmetros com objetivo de avaliar a qualidade das águas, tendo como determinante principal a sua utilização para o abastecimento público, considerando aspectos relativos ao tratamento dessas águas (CETESB, 2012). Nesta pesquisa foi realizada a caracterização de parâmetros físicos, químicos e microbiológicos das águas da bacia do Itapecuru, com a finalidade de calcular o índice de qualidade das águas (IQA-CETESB)

Os parâmetros utilizados no cálculo do IQA foram segundo CETESB (2002), sendo estes em sua maioria indicadores de contaminação causada pelo lançamento de esgotos domésticos: **potencial Hidrogeniônico (pH), Temperatura da Água, Coliformes Termotolerantes, Oxigênio Dissolvido (OD), Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO5,20), Nitrogênio Total, Fósforo Total, Turbidez e Sólidos Dissolvidos Totais (SDT).** Neste estudo substituiu-se os Coliformes Termotolerantes pelos Totais. A determinação do IQA segundo metodologia se faz através da Equação 1:

$$IQA = \pi.qi.wi$$

onde: IQA = índice de qualidade da água (varia de 0 a 100); π = número "pi" (3,14...); qi = nota atribuída ao i-ésimo parâmetro (entre 0 e100) obtido da respectiva "curva de qualidade", em função de sua concentração ou medida; wi = peso correspondente ao i-ésimo parâmetro, atribuído por sua importância para a conformação global da qualidade um número entre 0 e 1.

Os dados obtidos a partir do monitoramento são utilizados para o cálculo do IQA a partir de uma planilha no aplicativo *Excel (Microsoft Office*), sendo as águas classificadas conforme **Tabela 36.**

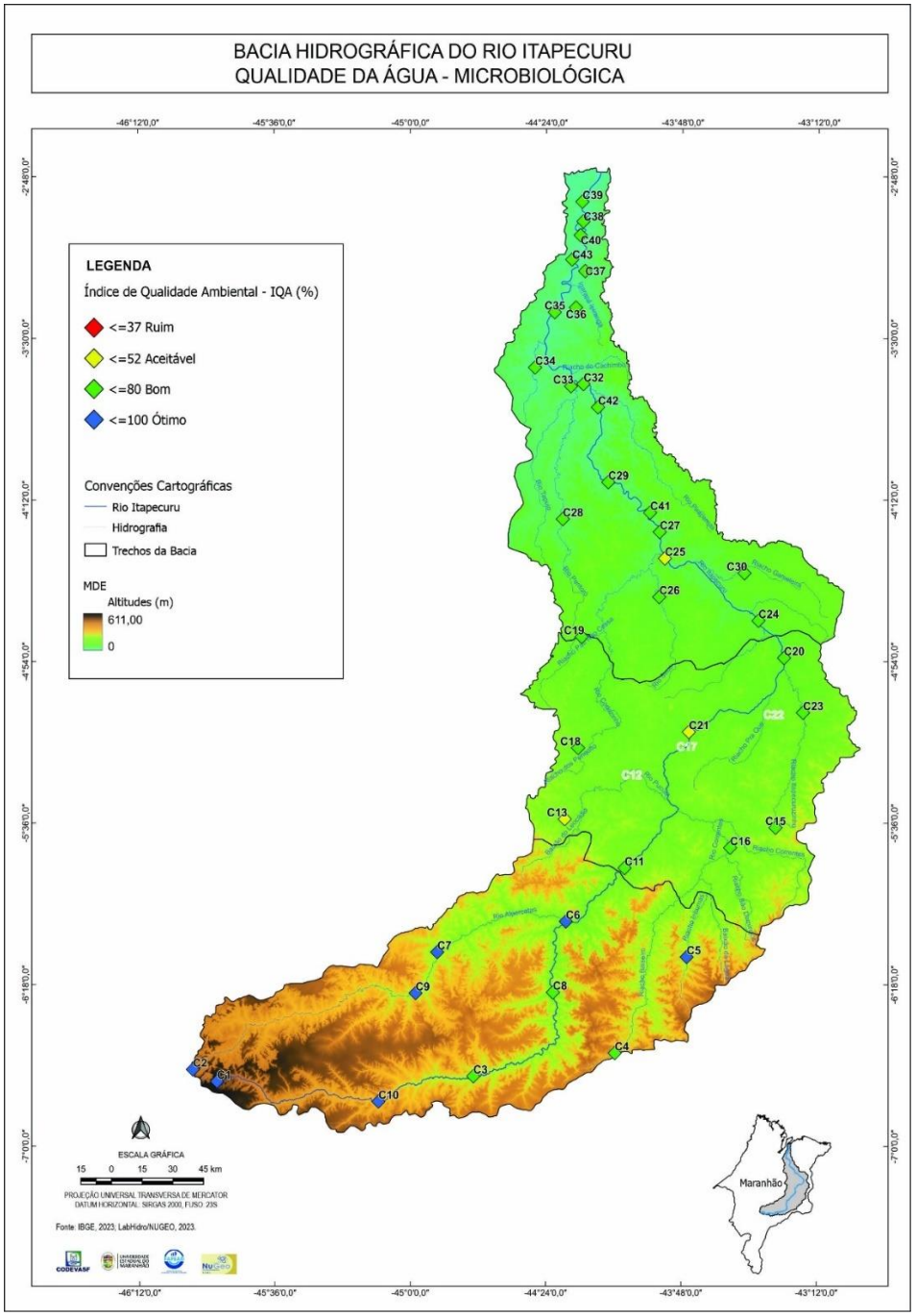
Tabela 36: Classificação do IQA.

Valor IQA	Classificação CETESB (2002)
80 – 100	Ótimo
52 – 79	Bom
37 – 51	Aceitável
20 – 36	Ruim
0 – 19	Péssimo

Fonte: CETESB (2002).

Na bacia do Itapecuru em seu Alto Curso, em 3 dos 10 pontos de monitoramento, as águas classificam-se como BOAS, as demais como águas ÓTIMAS. No Médio Curso, os pontos C13 e C21 classificam-se como águas ACEITÁVEIS, os demais pontos como águas BOAS. No Baixo Curso as águas foram consideradas BOAS, e apenas um ponto C25, como ACEITÁVEL mostra a Figura 80.

Figura 81: Índice de Qualidade das Águas da Bacia do Rio Itapecuru.



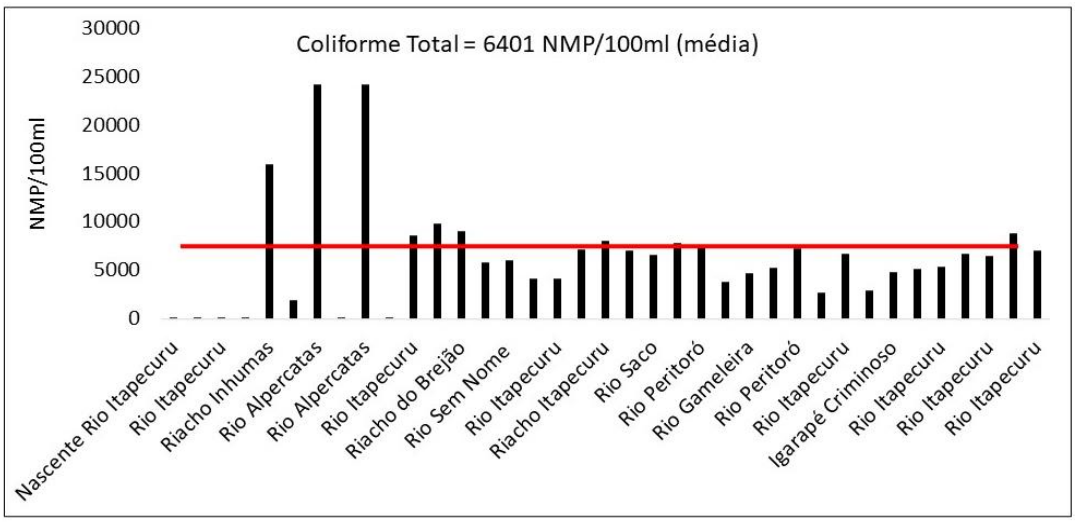
Fonte: Registros da Pesquisa (2023)

Considerando que as análises foram para águas brutas e não tratadas, percebe-se, uma predominância na bacia, no período do estudo, que as águas se classificam como BOAS. Todavia, chama a atenção os valores médios encontrados por cada parâmetro e de suas implicações para a saúde humana, no caso do uso sem um tratamento prévio, com destaque para os parâmetros:

- **Coliformes Totais**

Moragas (2005) considera os coliformes o parâmetro como o maior vilão para que o IQA dos corpos d'água brasileiros seja diminuído. As suas maiores fontes são os lançamentos realizados pelos esgotos sanitários, os matadouros e a agropecuária. A média do parâmetro Coliforme Total na bacia foi de 6401 NMP/100ml (**Figura 56**). Citando Von Sperling "a melhor forma de se controlar a contaminação em um corpo d'água por organismos patogênicos é através da sua remoção na etapa de tratamento de esgoto" (2005, p. 208). A Portaria N.º 2914/2011 estabelece ausência em 100 ml da amostra.

Figura 82: Coliforme Total nas águas da bacia do rio Itapecuru.



Fonte: Registros da Pesquisa (2023)

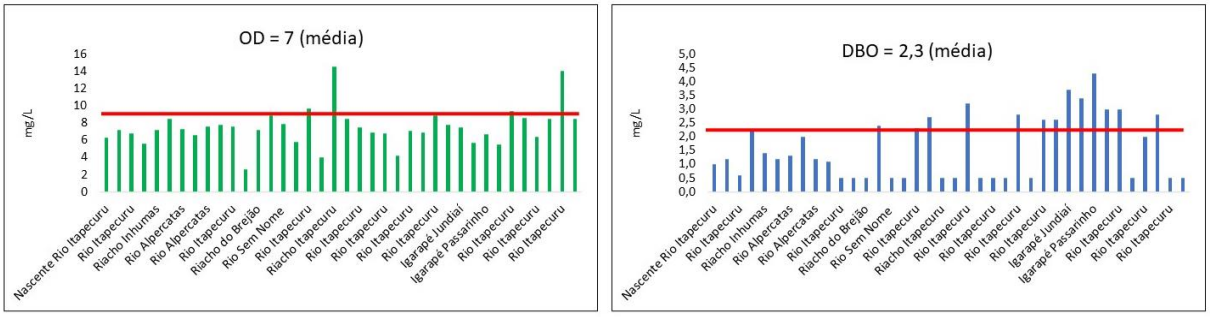
Em relação à saúde pública, Moragas afirma que quando se faz a análise da água e se encontra contaminação por coliformes fecais significa que naquele local houve descarga de esgoto em período recente, o que aumenta a probabilidade de haver ali ovos e larvas de parasitas intestinais, visto que estas também podem ser eliminadas com as fezes (2009, p. 26). Ou seja, alguns pontos de monitoramento podem estar próximos de despejos domésticos e/ou industriais, registrando assim valores altos.

Conforme Von Sperling (2007), [...] para coliformes a concentração crítica do ponto de vista de atendimento à legislação situa-se no ponto de mistura esgoto-rio. A partir deste ponto, a concentração tende a decrescer [...]. Desta forma, o atendimento à legislação tem de ser alcançado já no ponto de mistura (2007, p. 509).

- **Oxigênio Dissolvido (OD) e Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO5,20) e Fósforo**

A média do parâmetro OD no período do estudo, anos 2020, 2021 e 2022, foi de 7 mg.L^{-1}, e do parâmetro DBO foi de 2,3 mg.L^{-1}. Segundo Libânio (2010), DBO é um parâmetro que indica a intensidade do consumo de oxigênio para que ocorra a estabilização da matéria orgânica através das bactérias, e seu valor é determinado com base na diferença de concentração de Oxigênio Dissolvido em amostra de água no período de cinco dias e temperatura de 20°C. Estes parâmetros enquadram-se como Classe I segundo Resolução N.º 357 (CONAMA/357), com valor máximo permitido: OD ($\leq$ 6 mg.L^{-1} O2) e DBO (até 3 mg.L^{-1} O2). O parâmetro Fósforo registro valores < 0,01 mg.L^{-1}.

Figura 83: OD e DBO nas águas dos rios da bacia do rio Itapecuru.



Fonte: Registros da Pesquisa (2023)

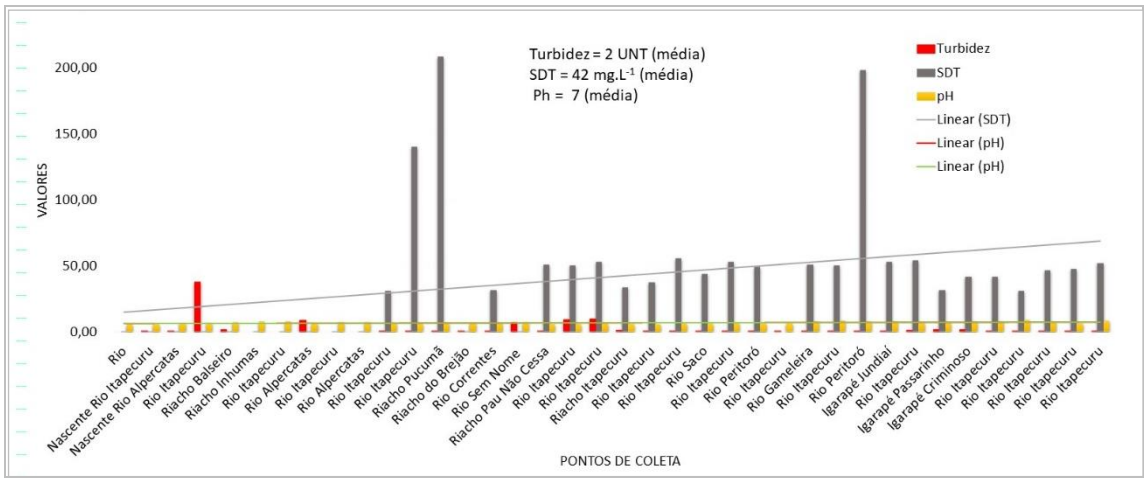
- **Turbidez, Sólidos Dissolvidos Totais (SDT) e pH**

Segundo Costa e Ferreira (2015), a Turbidez refere-se ao grau de interferência que a luz sofre quando passa através da água. A turbidez nos corpos d'água brasileiros "é particularmente elevada em regiões com solos mais susceptíveis à erosão, onde as precipitações podem carrear partículas de argila, silte, areia, fragmentos de rocha e óxidos metálicos do solo" (LIBÂNIO, 2010, p. 30). Há, também, influência das características geológicas da bacia de drenagem, comportamento dos índices pluviométricos e uso de práticas agrícolas inadequadas (LIBÂNIO, 2010).

Ainda, segundo os autores supracitados, a quantificação dos sólidos totais é importante para verificar se as condições ambientais podem causar danos aos peixes e à vida aquática em geral. Altos valores podem provocar corrosão em sistemas de distribuição, além de conferir sabor às águas, prejudicando o abastecimento público. Segundo Von Sperling (2005) a variação do pH dos corpos hídricos pode ser de origem natural (dissolução de rochas, absorção de gases da atmosfera e fotossíntese) ou antropogênica (despejos domésticos e industriais).

De forma geral estes parâmetros estão em conformidade com a Classe II, conforme Resolução N.º 357 (CONAMA/357), sendo os valores médios apresentados na Figura 84.

Figura 84: Turbidez, SDT e pH nas águas dos rios da bacia do rio Itapecuru.



Fonte: Registros da Pesquisa (2023)

5.3.5 Cenário do Enquadramento das Águas da bacia do rio Itapecuru

A Lei N.º 9.433/1997 estabelece o enquadramento como um dos instrumentos da Política Nacional de Recursos Hídricos, sendo este pertencente tanto ao Sistema Nacional de Meio Ambiente - SISNAMA, quanto ao Sistema Nacional de Recursos Hídricos – SINGREH. O artigo 10 da Lei N.º 9.433 determina que “as classes de corpos de água serão estabelecidas pela legislação ambiental”. Portanto, sua implementação exige a articulação entre o SINGREH e o SISNAMA.

As principais regulamentações para o enquadramento dos corpos d’águas superficiais são as resoluções do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) e do Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH), a saber:

- **Resolução CONAMA N.º 357/2005** dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências;
- **Resolução CONAMA N.º 397/2008** altera o art. 34 da Resolução CONAMA 357/2005;
- **Resolução CNRH N.º 91/2008** estabelece os procedimentos gerais para o enquadramento dos corpos d’água superficiais e subterrâneos.

Segundo a Resolução CNRH N.º 91/2008 em seu a Art. 2º “o enquadramento dos corpos de água se dá por meio do estabelecimento de classes de qualidade conforme disposto nas Resoluções CONAMA N.º 357, de 2005” para mananciais superficiais, tendo como referências básicas, a bacia hidrográfica como unidade de gestão e os usos preponderantes mais restritivos. Em seu Art. 3º, é

estabelecido que a proposta de enquadramento deverá ser desenvolvida em conformidade com o Plano de Recursos Hídricos da bacia hidrográfica, preferencialmente durante a sua elaboração, devendo conter: I - diagnóstico; II - prognóstico; III - propostas de metas relativas às alternativas de enquadramento; e IV - programa para efetivação.

Diante do exposto, este estudo, apresenta um cenário para o enquadramento das águas superficiais da bacia do rio Itapecuru, com base nos seguintes pressupostos:

- na caracterização geral da bacia hidrográfica e do uso e cobertura da terra, incluindo a identificação dos corpos de água superficiais;
- na identificação e localização dos usos preponderantes das águas;
- na disponibilidade, demanda e condições de qualidade das águas superficiais, em seus parâmetros físico-químicos, microbiológicos e metais, bem como, no Índice de Qualidade das Águas – IQA (CETESB, 2002).

Além destes, aplicou-se como arcabouço legal, as resoluções do CONAMA e Portarias do Ministério da Saúde (MS), a saber:

- **Resolução N.º 357 (2005),** do CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE-**CONAMA**, que trata da classificação e dos critérios ambientais para o enquadramento dos corpos d'água superficiais, além de estabelecer condições e padrões de lançamento de efluentes;
- **Resolução N.º 430 (2011),** do CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE-**CONAMA**, que altera parcialmente e complementa a Resolução CONAMA N.º 357 (2005);
- **Portaria N.º 2914 (2011),** do Ministério da Saúde, que dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade;
- **Portaria N.º 888 (2021),** do Ministério da Saúde, que altera o Anexo XX da Portaria de Consolidação GM/MS N.º 5, de 28 de setembro de 2017, para dispor sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade.

Demonstra-se com isso o enquadramento por tipologia dos parâmetros de estudos físico-químico, microbiológico e metais, com base na Resolução CONAMA N.º 357/2005. Neste aspecto, as características de cada classe são:

As **Águas de Classe I** são destinadas ao abastecimento para consumo humano, após tratamento simplificado; à proteção das comunidades aquáticas; à recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho, conforme Resolução CONAMA N.º 274, de 2000; à irrigação

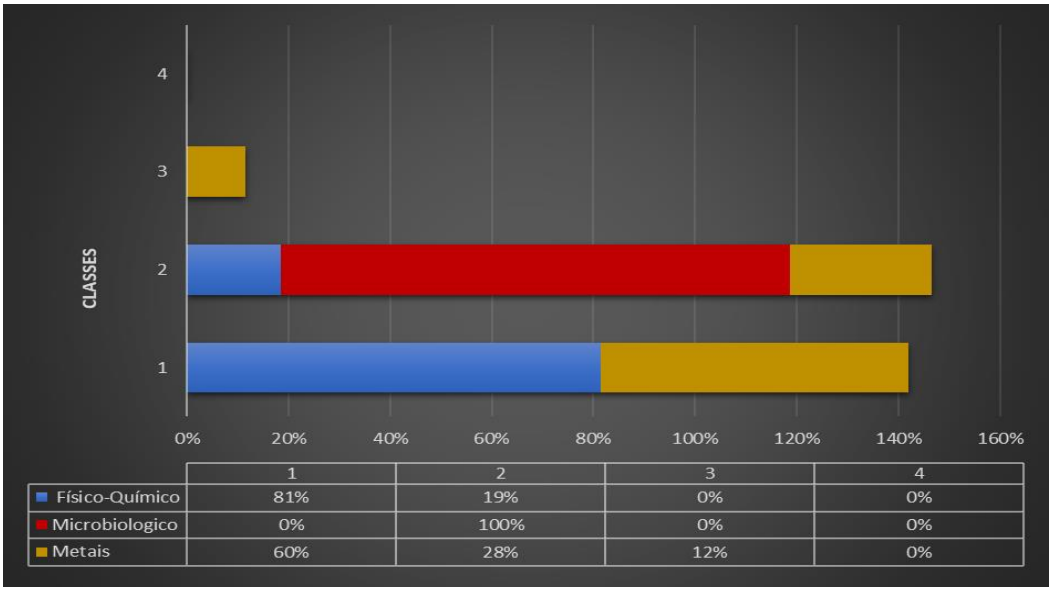
de hortaliças que são consumidas cruas e de frutas que se desenvolvam rentes ao solo e que sejam ingeridas cruas sem remoção de película; e à proteção das comunidades aquáticas em Terras Indígenas.

As **Águas de Classe II** são destinadas ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional; à proteção das comunidades aquáticas; à recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho, conforme Resolução CONAMA N.º 274, de 2000; à irrigação de hortaliças, plantas frutíferas e de parques, jardins, campos de esporte e lazer, com os quais o público possa vir a ter contato direto; e à aquicultura e à atividade de pesca.

As **Águas de Classe III** são destinadas ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional ou avançado; à irrigação de culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras; à pesca amadora; à recreação de contato secundário e à dessedentação de animais

Por conseguinte, no gráfico da Figura 85**,** verifica-se que entre os parâmetros físico-químicos: 81% enquadram-se como **Classe I**, e 19% como **Classe II**. Para os parâmetros microbiológicos, 100% enquadraram-se como **Classe II**; e para os Metais: 60% enquadraram-se como **Classe I,** 28% com **Classe II,** e 12% como **Classe IV.**

Figura 85: Enquadramento dos parâmetros estudados (%).



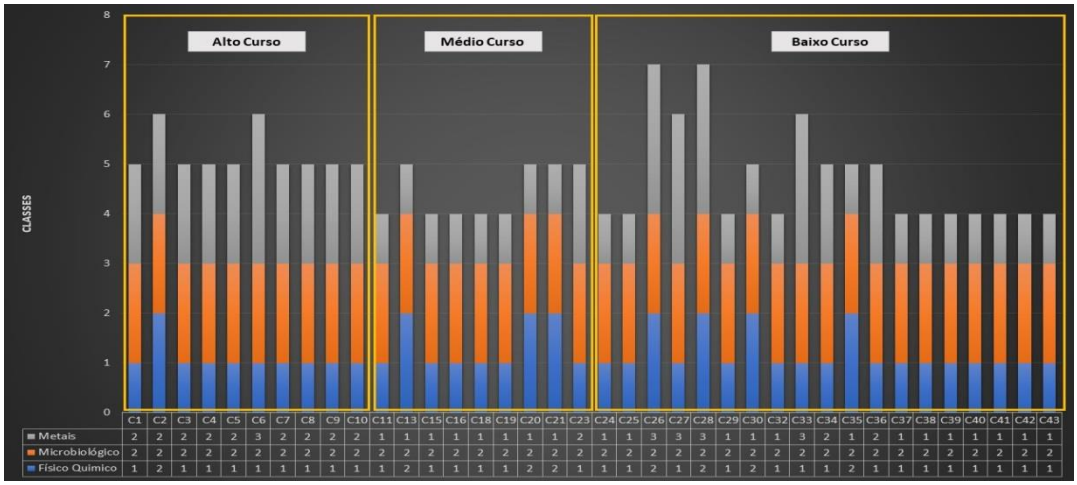
	1	2	3	4
Físico-Químico	81%	19%	0%	0%
Microbiologico	0%	100%	0%	0%
Metais	60%	28%	12%	0%

Fonte: Registros da Pesquisa (2023)

Avaliando o gráfico da Figura 86, verifica-se que os pontos do Alto Curso quanto aos metais, se enquadram na **Classe II,** com exceção do ponto C6 (rio Itapecuru) em Colinas, que se enquadra na **Classe III.** Quanto aos parâmetros microbiológicos, foi unânime, o enquadramento na **Classe II**, estando os valores de *Escherichia cole* < 1000 coliformes termotolerantes por 100 mililitros em 80% ou mais de pelo menos 6 (seis) amostras coletadas durante o período de um ano, com frequência bimestral. Com relação aos parâmetros físico-químicos, estes, estão em conformidade com a **Classe I**, com exceção, do ponto C2 (nascente do rio Alpercatas) em São Raimundo das Mangabeiras, que se enquadra no padrão para **Classe II**.

No Médio Curso, os metais estão em conformidade com a **Classe I,** com exceção do ponto C23 (rio Itapecuru) em Caxias, que se enquadra como **Classe II;** os microbiológicos, igualmente ao Alto Curso, enquadram-se na **Classe II**; os parâmetros físico-químicos enquadram-se na **Classe I,** com exceção dos pontos C13 (riacho Pucumã) em São Domingos do Maranhão), C20 (rio Itapecuru) em Caxias e C21 (rio Itapecuru) em São João do Sóter que estão em conformidade para a **Classe II.**

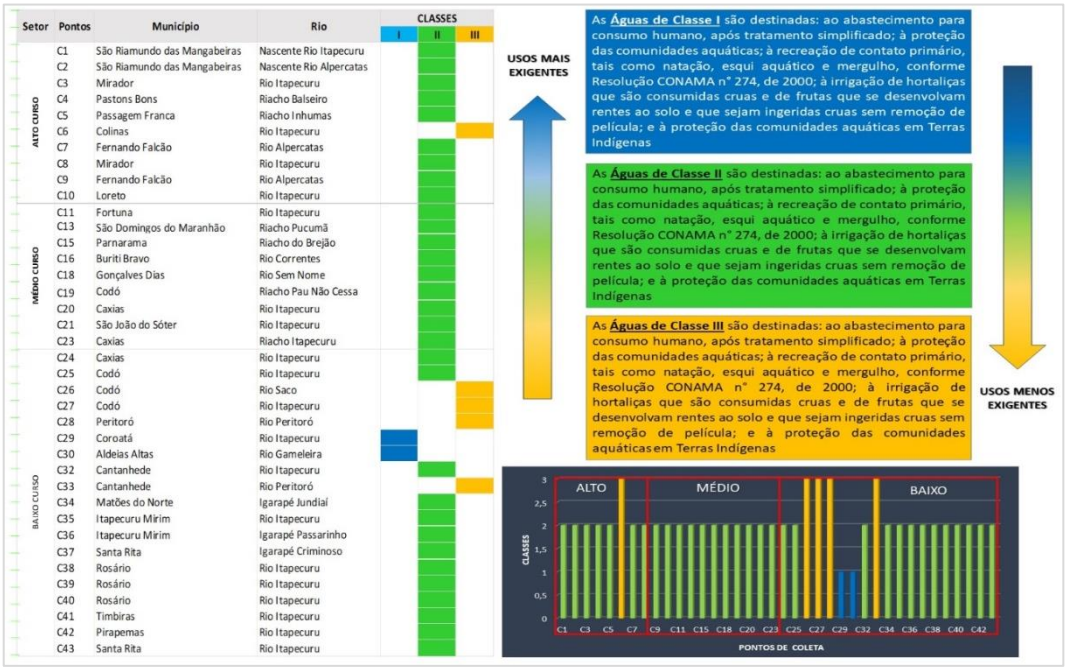
Figura 86: Enquadramento dos pontos monitorados das águas da bacia do Itapecuru.



Fonte: Registros da Pesquisa (2023)

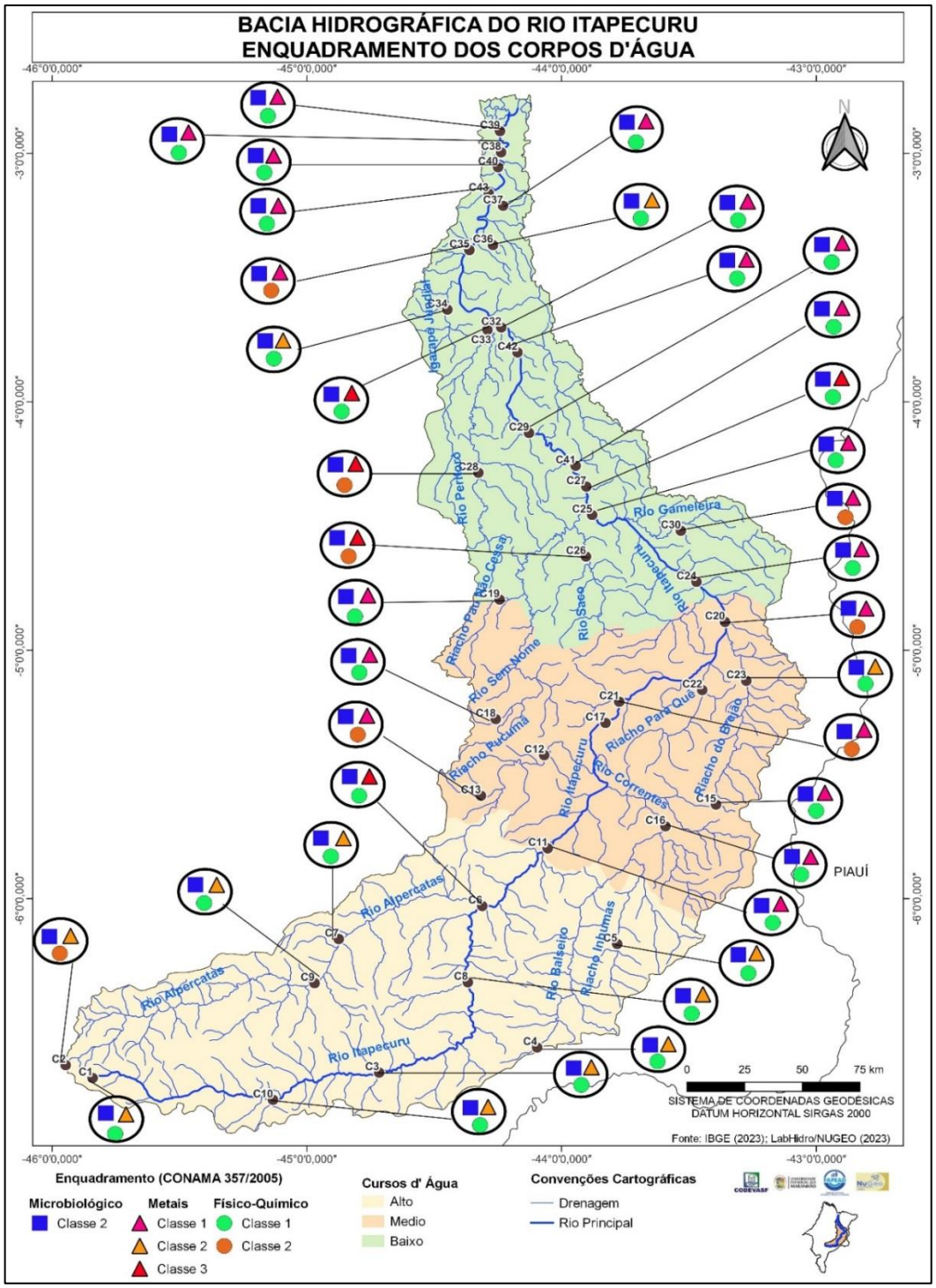
Diante o exposto, elaborou-se enquadramento das águas da bacia do rio Itapecuru. Através da Figura 87 verifica-se o cenário do enquadramento com apenas 2 pontos, enquadrando-se na **Classe I,** 31 pontos na **Classe II** e 5 pontos na **Classe III.** Os mapas da Figura 88 e Figura 89 demonstram os resultados de forma espacializados na bacia.

Figura 87: Cenário do enquadramento das águas da bacia hidrográfica do rio Itapecuru.



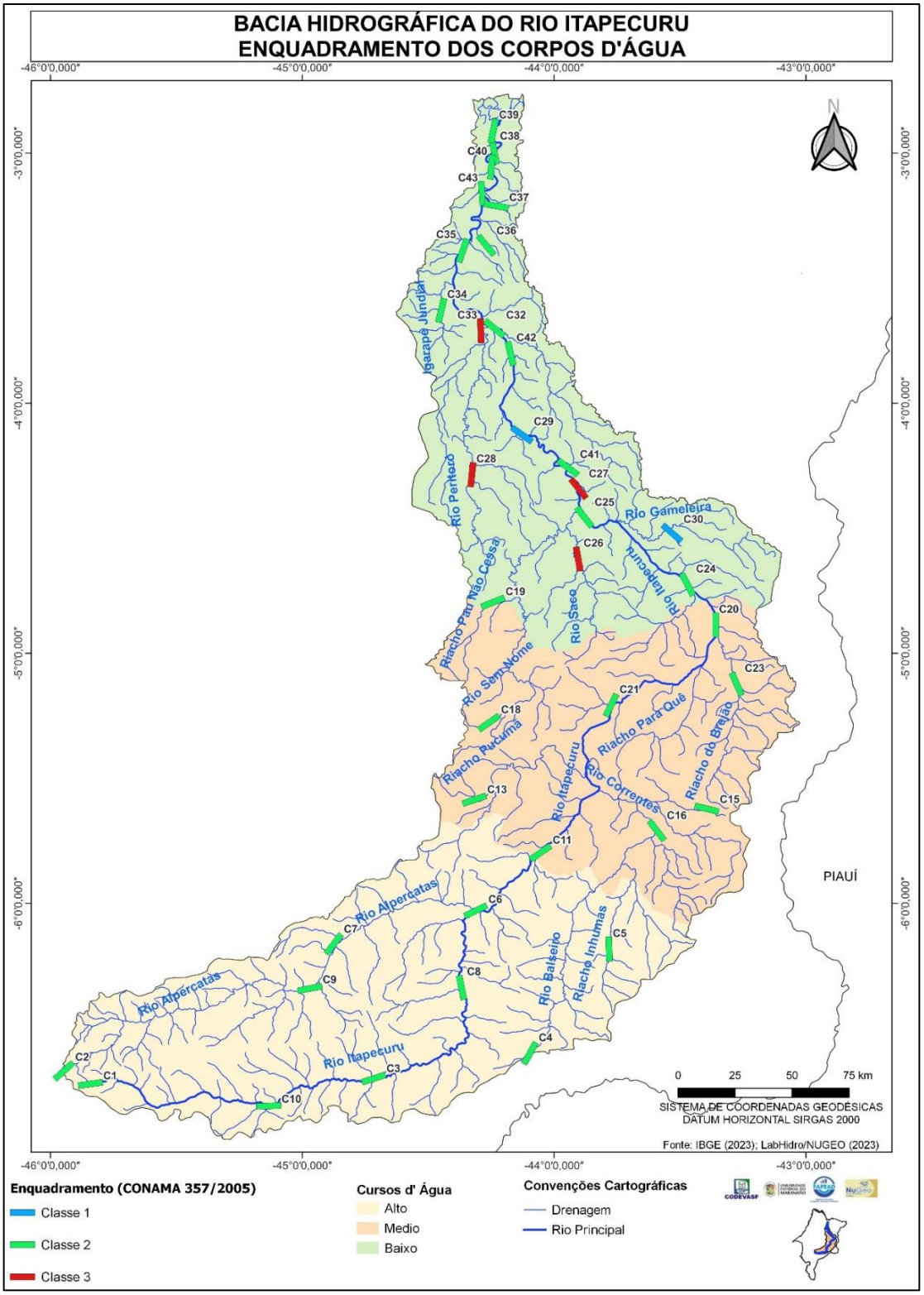
Fonte: Registros da Pesquisa (2023)

Figura 88: Cenário do Enquadramento por parâmetro: físico-químico, microbiológicos e metais das águas do rio Itapecuru.



Fonte: Registros da Pesquisa (2023)

Figura 89: Cenário de Enquadramento das Águas da bacia do rio Itapecuru.



Fonte: Registros da Pesquisa (2023)

6. CONCLUSÃO

Conclui-se que a qualidade das águas superficiais do rio Itapecuru, a partir do conjunto de dados analisados oriundos da ANA (2017, 2019), Conexão Água (2018, 2019, 2020), apresentam restrições para usos mais nobres previstos na Resolução CONAMA N.º. 357/2005, para Classes Especiais e, de maneira geral, os trechos em seu Alto, Médio e Baixo Cursos, enquadram-se nas Classes 1, 2 e 3, necessitando de tratamento prévio para uso para abastecimento humano.

Os dados físico-químicos permitem que as condições de qualidade das águas da bacia do rio Itapecuru estejam condicionadas ao aporte de cargas orgânicas provenientes de lançamento de esgotos domésticos, havendo alteração da qualidade em um ou mais parâmetros, principalmente em pontos onde as estações encontram-se próximas aos centros urbanos. Reflexo disso, são valores de OD abaixo de 6 mg/L.

Apesar dos parâmetros organolépticos e substâncias inorgânicas, segundo dados apresentas no portal Conexão da Água, apresentarem conformidade com a Resolução CONAMA N.° 357/2005 para os valores máximos permitidos, verifica-se, que de um período para outro, a situação pode mudar. Desta forma, o monitoramento, configura-se como uma ferramenta importantíssima de controle da qualidade das águas.

Com relação à capacidade de diluição de esgotos, verifica-se que trechos com maior concentração populacional associado à baixa disponibilidade hídrica, de acordo com os dados da ANA (2017) exibem uma situação de *"ruim capacidade de diluição de esgoto",* notadamente, o Médio Curso da bacia apresenta essa condição, sendo esta, uma situação que requer atenção. Em melhor condição, o Alto Curso encontra-se em "*ótima situação de diluição dos esgotos".* Este resultado é reflexo de maior disponibilidade hídrica, com contribuições de vazão de efluentes, como do rio Alpercatas, um dos principais contribuintes do rio Itapecuru pela margem esquerda.

No que tange ao enquadramento das águas, o cenário criado para a bacia hidrográfica do rio Itapecuru, configura-se como uma ferramenta essencial ao planejamento dos recursos hídricos, objetivando promover ações de gestão pautada em valores técnicos, políticos e legais.

Neste âmbito, o cenário proposto, demonstra entre outras questões, a necessidade premente de investimentos quanto ao monitoramento das águas, ao planejamento de uso e ocupação da terra, a construção e implementação de planos diretores, a ampliação e modernização do sistema de saneamento básico, a sanções sobre o lançamento de efluentes não tratado no corpo hídrico.

Segundo ANA (2011), a implementação do enquadramento passa pelas mesmas dificuldades dos planos quanto aos recursos destinados ao programa para sua efetivação, ou seja,

dificuldades quanto à obtenção de recursos para promover as inúmeras ações previstas nos planos e nos programas para efetivação do enquadramento.

Além disso, é preciso enfrentar desafios como: altos custos dos investimentos, pouca governabilidade e bases de dados insuficientes. Se por um lado a rede de monitoramento da qualidade da água precisa ser ampliada e modernizada, por outro lado há uma falsa ideia sobre a questão dos custos envolvidos. Muitas vezes os benefícios gerados por ter uma boa qualidade de água superam em muito, os custos de investimento em estações de tratamento de esgoto. Para que o instrumento do enquadramento seja implementado é fundamental que as metas estabelecidas sejam realistas, considerando a relação custo-benefício, (...) e as realidades regionais e a progressividade das ações (ANA, 2011).

REFERÊNCIAS

Agência Nacional de Águas (Brasil). Plano de recursos hídricos e enquadramento dos corpos de água / Agência Nacional de Águas. -- Brasília: SAG, 2011. 100 p. : il. -- (Cadernos de Capacitação em Recursos Hídricos ; v.5).

Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (Brasil). Panorama da qualidade das águas superficiais no Brasil. Estudo técnico. Cadernos de Recursos Hídricos. Brasília, 2005a. 172 p.

_____. Panorama da qualidade das águas subterrâneas no Brasil. Estudo técnico. Cadernos de Recursos Hídricos. Brasília, 2005b, 74p.

_____. **Relatório de Conjuntura de Recursos Hídricos**: informe 2015. Superintendência de Planejamento de Recursos Hídricos. Brasília. DF. 2015.

_____. **Enquadramento dos corpos d'água em classes** / Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. -- Brasília: ANA, 2020

_____. **Enquadramento dos Corpos Hídricos.** Disponível:< Microsoft PowerPoint - CursoENQUADRAMENTO_Portal.pptx (ana.gov.br)>. Acesso em: 20 de julho de 2021.

AGÊNCIA ESTADUAL DE MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS - CPRH . Disponível em: Acesso em 18 de março de 2008.

AGÊNCIA ESTADUAL DE DEFESA AGROPECUÁRIA DO ESTADO DO MARANHÃOAGED. Posto Avançado de Sanidade Agropecuário (PASA) de Itapecuru-Mirim- MA, 2008.

A ÁGUA DO PLANETA E SEU USO NA AGROECOLOGIA. Disponível em< http:// www. planetaorgânico com.br/meioagua 1.htm > Acesso em 19/02/07.

AZEVEDO, F.A.; CHASIN, A.A.M. (eds). **Metais:** Gerenciamento da toxicidade. São Paulo: Editora Atheneu, 2003. 554p

ANTUNES, S.C., Castro, B.B., (2017) **Pulgas-de-água** *(Daphnia spp.)*, Rev. Ciência Elem., V5(4):050
BEAR, J. (1972) - Dynamics of Fluids in Porous Media, American Elsevier Publishing Company (**EPA**), Inc., U.S. 764 pp.

ARANA, L. A. V. **Aquicultura e desenvolvimento sustentável**: subsídios para a formulação de políticas de desenvolvimento da aquicultura brasileira, Florianópolis: Ed. da UFSC, 1999. 310p.

ANTAQ – AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES AQUAVIÁRIOS. Anuário estatístico aquaviário. Brasília: ANTAQ, [s.d.]. Disponível em: . Acesso em: 28 maio 2013.

_____. Hidrovias brasileiras – indicadores do transporte de cargas: tonelada útil transportada (t) e tonelada quilômetro útil (tku). Brasília: ANTAQ, 2012.

BACCAN N.; ANDRADE J. C. de; GODINHO O. E. S.; BARONE J. S. **Química analítica quantitativa elementar**. São Paulo: Edgard Blucher, 2004.

BAUMGARTEN, M. G. Z.; RODRIGUEZ, R. M. Identificação das possíveis fontes de contaminação das águas que margeiam a cidade do Rio Grande (RS). **Relatório Técnico - Oceanografia 06.** v.1-33, 1993.

BARROSO. Haroldo Gomes. **Áreas Potenciais para a Aquicultura Sustentável na Bacia do Rio Itapecuru**: bases para o planejamento com uso do sistema de informação geográfica.Rev. Bras. Enga. Pesca 2(1), 2007.

BENETTI, A.; BIDONE, F. O meio ambiente e os recursos hidricos. IN: TUCCI, C. E. M. Hidrologia: ciência e aplicação. Porto Alegre: Ed. da Universidade/UFRGS/ABRH, 1995. p. 669.

BRASIL. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. **Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento:** diagnóstico dos serviços de água e esgotos – 2012. Brasília: SNSA : MCid, 2014. 164 p.

Brasil em desenvolvimento 2014 : estado, planejamento e políticas públicas / [editores: Leonardo Monteiro Monasterio, Marcelo Côrtes Neri, Sergei Suarez Dillon Soares]. – Brasília : **Ipea,** 2014. 2 v. : gráfs., mapas color. – (Brasil: o Estado de uma Nação)

BRASIL. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA. Resolução nº 357, Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências de 17 de março de 2005. Brasília, 2005. Disponível em: < http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>. Acesso em: 5 mar. 2018

BRAILE, P. M.; CAVALCANTI, J. E. W. A. **Manual de tratamento de água residuárias industriais**. São Paulo: CETESB, 1979. 764 p.

BRYANT E. 1977. Climate process & change. United Kingdom, Cambridge, University Press.

CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Qualidade das águas superficiais no estado de São Paulo 2011. Série Relatórios. Apêndice D: **Variáveis de Qualidade das Águas**. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/userfiles/file/agua/aguas-superficiais/aguas interiores/documentos/índices/02.pdf > Acesso em: 05 mai. 2019.

COMPANHIA DE DESENVOLVIMENTO DOS VALES DO SÃO FRANCISCO E DO PARNAIBA. Área de Gestão Estratégica. Unidade de Suporte Geotecnologico. **Divisão fisiográfica da bacia hidrográfica do Rio Itapecuru**. 2017.

Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil : informe 2010 / Agência Nacional de Águas (ANA). -- Brasília : **ANA,** 2010.

Charbonneau, R., Scoates, R.F.J. and Macek, J.J. 1979: Thompson Nickel Belt project (parts of 63O8, 9 and 63P5, 12); in Report of Field Activities 1979, Manitoba Department of Mines, **Natural Resources and Environment**, Mineral Resources Division, p. 20–23.

CHRISTOFIDIS, D. A água e a crise alimentar. www.iica.org.br/Aguatrab/ Demetrios%20Christofidis/P2TB01.htm 1997. 14p.

COSTA, M; CONEJO, J. A Implementação do Enquadramento dos Corpos d'água em Bacias Hidrográficas: Conceitos e Procedimentos. In: XVIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, Campo Grande, Anais/CD-ROOM, Campo Grande, 2009.

COSTA, Fernando Barbosa; FERREIRA, Vanderlei de Oliveira. **Análise de parâmetros que compõem o índice de qualidade das águas (IQA) na porção mineira da bacia do rio Paranaíba.** OBSERVATORIUM: Revista Eletrônica de Geografia, v.7, n.18, p. 22-47, set. 2015.

DAVIS, Mackenzie L.; MASTEN, Susan J. **Princípios de Engenharia Ambiental.** 3. ed. Porto Alegre: Amgh Editora Ltda, 2016. DERISIO, J.C. *Introdução ao controle de poluição ambiental* São Paulo: Cetesb, 1992, 210 p.

Ecossistemas aquáticos: tópicos especiais / Raimundo Aderson Lobão de Souza, Organizador, Willian Leslie Overal, Revisor Técnico. - Belém: Universidade Federal Rural da Amazônia, 2018. 314 p.: il.

Dourado, José Ribamar **A indústria do Maranhão: um novo ciclo** / José Ribamar Dourado, Roberto Guimarães Boclin. – Brasília : IEL, 2008

ESTEVES, F. Fundamentos de limnologia, Rio de Janeiro: Interciência, 1998. 601 p.

ESTEVES, F. Fundamentos de limnologia. 3. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2011. 826 p

INSTITUTO DO HOMEM, **S.O.S. Itapecuru**, São Luís: Instituto do Homem, 1992, 92p.

MORUZZI, Rodrigo Braga; REALI, Marco Antonio Penalva. Oxidação e remoção de ferro e manganês em águas para fins de abastecimento público ou industrial: uma abordagem geral. **Revista de Engenharia e Tecnologia**, v. 4, n. 1, p. 29-43, 2012.

Manual de Avaliação de Impactos Ambientais (**MAIA)**. 3a edição. Juchem Peno Ari (Coord.).

MORITA, D.M. e PIVELI, R. P., "Ânions de Interesse nos Estudos de Controle da Qualidade das Águas". Em: Caracterização de Águas Residuárias. Curso elaborado para a Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo – SABESP. São Paulo. Janeiro, 1996

MORAGAS, W. M. Análise dos sistemas ambientais do alto rio Claro – Sudoeste de Goiás: contribuição ao planejamento e gestão. Tese de Doutorado – Universidade Estadual Paulista, São Paulo, 2005. 217 p.

PENA, Rodolfo F. Alves. **Poluição Ambiental**. Disponível em: <https://mundoeducacao.uol.com.br/geografia/poluicao-das-aguas.htm>Acesso em: 20 de jun. de 2021.

PEREIRA, J.A.; SILVA, A.L.; CORREIA, E.S. **Situação atual da aquicultura na região Nordeste**. In: VALENTI, W.C. et al. (Eds.) Aqüicultura no Brasil: Bases para um desenvolvimento sustentável. Brasília: CNPq/MCT, 2000. p. 267-288.

PINTO, Magda Cristina Ferreira. **Manual Medição in loco:** Temperatura, pH, Condutividade Elétrica e Oxigênio Dissolvido,2007. Belo Horizonte.

O´CONNOR, D. J. The temporal and spatial distribution of dissolved oxygen in streams. **Water Resources.** v.3, n.65-79, 1967.

PERCEBON, C.M.; BITTENCOURT, A.V.L.; FILHO, E.F.R. **Diagnóstico da temperatura das águas dos principais rios de Blumenau**, SC. Boletim Paranaense de Geociências, v. 56, p. 7- 19, 2005.

Plano Nascente Itapecuru : plano de preservação e recuperação de nascentes da bacia hidrográfica do rio Itapecuru / Organizadores, Leila Lopes da Mota Alves Porto, Eduardo Jorge de Oliveira Motta, Camilo Cavalcante de Souza. – Brasília : **CODEVASF,** 2019.

SAMPAIO, Antônio C. S. **Metais pesados na água e sedimentos dos rios da bacia do alto Paraguai.** Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Ambientais da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (Dissertação de Mestrado). UFMT. Dez. 2003.

SANTOS, L.C.A. Reflexões sobre água Subterrânea do Estado do Maranhão. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 16.; ENCONTRO NACIONAL DE PERFURAÇÃO DE POÇOS, 17., 2010, São Paulo. Anais [...]. São Paulo: ABAS: IAH–BR, 2010.

SILVA, Raimundo Nonato Medeiros da. **Percepção ambiental do rio Itapecuru, nas cidades de Pirapemas, Cantanhede, Itapecuru Mirim, Bacabeira, Santa Rita e Rosário**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 23. 2005, Campo Grande, MS. Anais [...]. Rio de Janeiro, RJ: ABES, 2005. p. 1-9

SOUZA, Juliana Rosa de Souza; MORAES; Maria Eugênia Bruck de Moraes; SONODA, Sérgio Luiz; SANTOS, Haialla Carolina Rialli Galvão. **A Importância da Qualidade da Água e os seus Múltiplos** Usos: Caso Rio Almada, Sul da Bahia, Brasil. REDE - Revista Eletrônica do Prodema. REDE - Revista Eletrônica do Prodema, v.8, n.1, p. 26-45, abr. 2014, Fortaleza, Brasil, ISSN: 1982-5528

VON SPERLING, Marcos Von. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos** – 2ªed. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental**,** Universidade Federal de Minas Gerais; 1996.

VON SPERLING, Marcos Von. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 3ª Edição. Princípios do tratamento biológico de águas residuárias. Editora da Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG – Belo Horizonte, 2005.

VON SPERLING , M. **Estudos e modelagem da qualidade da água de rios**. 588 p. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte , 2007. (Princípios do tratamento biológico de águas residuárias, v. 7).

TELLES, D. D.; DOMINGUES, A. F. **Água na agricultura e pecuária**. In: REBOUÇAS, A. da C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J. G. (Org.) Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação. 3. ed. São Paulo: Escrituras Editora, 2006.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: Ciência e aplicação**. Porto Alegre: ABRH; UFRGS, 2005

TUNDISI, J. G.; MATSUMURA TUNDISI, T. **Limnologia.** São Paulo: Oficina de Textos, 2008. 632 p.

WARD, J.V. Thermal characteristics of running waters. Hydrobiologia, v. 125, p. 31-46, 1985.

APÊNDICES

Apêndice 1A: Parâmetros monitorados no município de Itapecuru Mirim, Ano 2019 (CONEXÃO ÁGUA, 2019).

Data	Parâmetro	Responsável	Instituição	Procedência	P. Coleta	VMP	Resultado
19/03/2019	CLORETO - VMP: 250,0 MG/L	SETOR DE SAÚDE	CAEMA	SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO	CAVALETE/HIDRÔMETRO	250	97.4
19/03/2019	DUREZA TOTAL - VMP: 500,0 MG/L	SETOR DE SAÚDE	CAEMA	SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO	CAVALETE/HIDRÔMETRO	500	73.8
19/03/2019	DUREZA TOTAL - VMP: 500,0 MG/L	SETOR DE SAÚDE	CAEMA	SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO	CAVALETE/HIDRÔMETRO	500	65.6
24/03/2019	CLORETO - VMP: 250,0 MG/L	SETOR DE SAÚDE	CAEMA	INTRA-DOMICILIAR / INTRA-PREDIAL	RESERVATÓRIO DE ÁGUA	250	42.4
24/03/2019	CLORETO - VMP: 250,0 MG/L	SETOR DE SAÚDE	CAEMA	SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO	CAVALETE/HIDRÔMETRO	250	42.4
24/03/2019	CLORETO - VMP: 250,0 MG/L	SETOR DE SAÚDE	CAEMA	SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO	CAVALETE/HIDRÔMETRO	250	39.9
24/03/2019	DUREZA TOTAL - VMP: 500,0 MG/L	SETOR DE SAÚDE	CAEMA	SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO	CAVALETE/HIDRÔMETRO	500	32.8
24/03/2019	DUREZA TOTAL - VMP: 500,0 MG/L	SETOR DE SAÚDE	CAEMA	SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO	CAVALETE/HIDRÔMETRO	500	28.7
24/03/2019	DUREZA TOTAL - VMP: 500,0 MG/L	SETOR DE SAÚDE	CAEMA	INTRA-DOMICILIAR / INTRA-PREDIAL	RESERVATÓRIO DE ÁGUA	500	24.6
19/03/2019	DUREZA TOTAL - VMP: 500,0 MG/L	SETOR DE SAÚDE	CAEMA	PONTO DE CAPTAÇÃO (ÁGUA SUPERFICIAL OU SUBTERRÂNEA)	NÃO INFORMADO	500	24.6
19/03/2019	CLORETO - VMP: 250,0 MG/L	SETOR DE SAÚDE	CAEMA	SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO	CAVALETE/HIDRÔMETRO	250	21.1
19/03/2019	CLORETO - VMP: 250,0 MG/L	SETOR DE SAÚDE	CAEMA	PONTO DE CAPTAÇÃO (ÁGUA SUPERFICIAL OU SUBTERRÂNEA)	NÃO INFORMADO	250	21.1
14/04/2019	DUREZA TOTAL - VMP: 500,0 MG/L	SETOR DE SAÚDE	CAEMA	INTRA-DOMICILIAR / INTRA-PREDIAL	RESERVATÓRIO DE ÁGUA	500	20
24/03/2019	SULFATO - VMP: 250,0 MG/L	SETOR DE SAÚDE	CAEMA	SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO	CAVALETE/HIDRÔMETRO	250	13
24/03/2019	SULFATO - VMP: 250,0 MG/L	SETOR DE SAÚDE	CAEMA	SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO	CAVALETE/HIDRÔMETRO	250	11

Data	Parâmetro	Responsável	Instituição	Procedência	P. Coleta	VMP	Resultado
14/04/2019	CLORETO - VMP: 250,0 MG/L	SETOR DE SAÚDE	CAEMA	INTRA-DOMICILIAR / INTRA-PREDIAL	RESERVATÓRIO DE ÁGUA	250	10.5
24/03/2019	COR APARENTE - VMP: 15,0 uH	SETOR DE SAÚDE	CAEMA	SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO	CAVALETE/HIDRÔMETRO	15	8
19/03/2019	COR APARENTE - VMP: 15,0 uH	SETOR DE SAÚDE	CAEMA	SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO	CAVALETE/HIDRÔMETRO	15	8
19/03/2019	SULFATO - VMP: 250,0 MG/L	SETOR DE SAÚDE	CAEMA	PONTO DE CAPTAÇÃO (ÁGUA SUPERFICIAL OU SUBTERRÂNEA)	NÃO INFORMADO	250	8
19/03/2019	SULFATO - VMP: 250,0 MG/L	SETOR DE SAÚDE	CAEMA	SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO	CAVALETE/HIDRÔMETRO	250	6
24/03/2019	COR APARENTE - VMP: 15,0 uH	SETOR DE SAÚDE	CAEMA	INTRA-DOMICILIAR / INTRA-PREDIAL	RESERVATÓRIO DE ÁGUA	15	4
19/03/2019	COR APARENTE - VMP: 15,0 uH	SETOR DE SAÚDE	CAEMA	SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO	CAVALETE/HIDRÔMETRO	15	3
19/03/2019	SULFATO - VMP: 250,0 MG/L	SETOR DE SAÚDE	CAEMA	SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO	CAVALETE/HIDRÔMETRO	250	3
24/03/2019	COR APARENTE - VMP: 15,0 uH	SETOR DE SAÚDE	CAEMA	SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO	CAVALETE/HIDRÔMETRO	15	3
19/03/2019	COR APARENTE - VMP: 15,0 uH	SETOR DE SAÚDE	CAEMA	PONTO DE CAPTAÇÃO (ÁGUA SUPERFICIAL OU SUBTERRÂNEA)	NÃO INFORMADO	15	2
19/03/2019	FERRO - VMP: 0,3 MG/L	SETOR DE SAÚDE	CAEMA	PONTO DE CAPTAÇÃO (ÁGUA SUPERFICIAL OU SUBTERRÂNEA)	NÃO INFORMADO	0.3	0.06
19/03/2019	ZINCO - VMP: 5,0 MG/L	SETOR DE SAÚDE	CAEMA	SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO	CAVALETE/HIDRÔMETRO	5	0.06
19/03/2019	ZINCO - VMP: 5,0 MG/L	SETOR DE SAÚDE	CAEMA	PONTO DE CAPTAÇÃO (ÁGUA SUPERFICIAL OU SUBTERRÂNEA)	NÃO INFORMADO	5	0.06
19/03/2019	ZINCO - VMP: 5,0 MG/L	SETOR DE SAÚDE	CAEMA	SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO	CAVALETE/HIDRÔMETRO	5	0.05
24/03/2019	FERRO - VMP: 0,3 MG/L	SETOR DE SAÚDE	CAEMA	SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO	CAVALETE/HIDRÔMETRO	0.3	0.05
19/03/2019	FERRO - VMP: 0,3 MG/L	SETOR DE SAÚDE	CAEMA	SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO	CAVALETE/HIDRÔMETRO	0.3	0.03

Data	Parâmetro	Responsável	Instituição	Procedência	P. Coleta	VMP	Resultado
24/03/2019	FERRO - VMP: 0,3 MG/L	SETOR DE SAÚDE	CAEMA	SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO	CAVALETE/HIDRÔMETRO	0.3	0.02
19/03/2019	NITRITO (COMO N) - VMP: 1,0 MG/L	SETOR DE SAÚDE	CAEMA	SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO	CAVALETE/HIDRÔMETRO	1	0.014
19/03/2019	NITRITO (COMO N) - VMP: 1,0 MG/L	SETOR DE SAÚDE	CAEMA	PONTO DE CAPTAÇÃO (ÁGUA SUPERFICIAL OU SUBTERRÂNEA)	NÃO INFORMADO	1	0.011
19/03/2019	NITRITO (COMO N) - VMP: 1,0 MG/L	SETOR DE SAÚDE	CAEMA	SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO	CAVALETE/HIDRÔMETRO	1	0.009
24/03/2019	NITRITO (COMO N) - VMP: 1,0 MG/L	SETOR DE SAÚDE	CAEMA	SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO	CAVALETE/HIDRÔMETRO	1	0.002
24/03/2019	NITRITO (COMO N) - VMP: 1,0 MG/L	SETOR DE SAÚDE	CAEMA	SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO	CAVALETE/HIDRÔMETRO	1	0.002
24/03/2019	ZINCO - VMP: 5,0 MG/L	SETOR DE SAÚDE	CAEMA	SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO	CAVALETE/HIDRÔMETRO	5	0
24/03/2019	ZINCO - VMP: 5,0 MG/L	SETOR DE SAÚDE	CAEMA	SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO	CAVALETE/HIDRÔMETRO	5	0

Apêndice 1B: Parâmetros monitorados no município de Itapecuru Mirim, Ano 2020 (CONEXÃO ÁGUA, 2019).

Data	Grupo	Parâmetro	Responsável	Instituição	Procedência	P. Coleta	VMP	Resultado
17/02/2020	PARÂMETROS ORGANOLÉPTICOS	COR APARENTE - VMP: 15,0 uH	SETOR DE SAÚDE	CAEMA	SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO	CAVALETE/HIDRÔMETRO	15	99
17/02/2020	PARÂMETROS ORGANOLÉPTICOS	COR APARENTE - VMP: 15,0 uH	SETOR DE SAÚDE	CAEMA	SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO	CAVALETE/HIDRÔMETRO	15	93
17/02/2020	PARÂMETROS ORGANOLÉPTICOS	COR APARENTE - VMP: 15,0 uH	SETOR DE SAÚDE	CAEMA	SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO	CAVALETE/HIDRÔMETRO	15	87
17/02/2020	PARÂMETROS ORGANOLÉPTICOS	DUREZA TOTAL - VMP: 500,0 MG/L	SETOR DE SAÚDE	CAEMA	SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO	CAVALETE/HIDRÔMETRO	500	80.3
17/02/2020	PARÂMETROS ORGANOLÉPTICOS	DUREZA TOTAL - VMP: 500,0 MG/L	SETOR DE SAÚDE	CAEMA	SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO	CAVALETE/HIDRÔMETRO	500	78.3
17/02/2020	PARÂMETROS ORGANOLÉPTICOS	DUREZA TOTAL - VMP: 500,0 MG/L	SETOR DE SAÚDE	CAEMA	ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA	SAÍDA DE TRATAMENTO/PÓS-DESINFECÇÃO	500	72.1
17/02/2020	PARÂMETROS ORGANOLÉPTICOS	DUREZA TOTAL - VMP: 500,0 MG/L	SETOR DE SAÚDE	CAEMA	SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO	CAVALETE/HIDRÔMETRO	500	68
17/02/2020	PARÂMETROS ORGANOLÉPTICOS	DUREZA TOTAL - VMP: 500,0 MG/L	SETOR DE SAÚDE	CAEMA	SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO	CAVALETE/HIDRÔMETRO	500	55.6
17/02/2020	PARÂMETROS ORGANOLÉPTICOS	DUREZA TOTAL - VMP: 500,0 MG/L	SETOR DE SAÚDE	CAEMA	INTRA-DOMICILIAR / INTRA-PREDIAL	TORNEIRA APÓS A RESERVAÇÃO	500	45.3
17/02/2020	PARÂMETROS ORGANOLÉPTICOS	DUREZA TOTAL - VMP: 500,0 MG/L	SETOR DE SAÚDE	CAEMA	ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA	SAÍDA DE TRATAMENTO/PÓS-DESINFECÇÃO	500	43.3
17/02/2020	PARÂMETROS ORGANOLÉPTICOS	DUREZA TOTAL - VMP: 500,0 MG/L	SETOR DE SAÚDE	CAEMA	SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO	CAVALETE/HIDRÔMETRO	500	43.3

Data	Grupo	Parâmetro	Responsável	Instituição	Procedência	P. Coleta	VMP	Resultado
17/02/2020	PARÂMETROS ORGANOLÉPTICOS	DUREZA TOTAL - VMP: 500,0 MG/L	SETOR DE SAÚDE	CAEMA	SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO	CAVALETE/HIDRÔMETRO	500	43.3
17/02/2020	PARÂMETROS ORGANOLÉPTICOS	DUREZA TOTAL - VMP: 500,0 MG/L	SETOR DE SAÚDE	CAEMA	SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO	TORNEIRA ANTES DA RESERVAÇÃO	500	35.02
17/02/2020	PARÂMETROS ORGANOLÉPTICOS	CLORETO - VMP: 250,0 MG/L	SETOR DE SAÚDE	CAEMA	ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA	SAÍDA DE TRATAMENTO/PÓS-DESINFECÇÃO	250	31.03
17/02/2020	PARÂMETROS ORGANOLÉPTICOS	CLORETO - VMP: 250,0 MG/L	SETOR DE SAÚDE	CAEMA	SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO	CAVALETE/HIDRÔMETRO	250	29
17/02/2020	PARÂMETROS ORGANOLÉPTICOS	CLORETO - VMP: 250,0 MG/L	SETOR DE SAÚDE	CAEMA	SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO	CAVALETE/HIDRÔMETRO	250	26.9
17/02/2020	PARÂMETROS ORGANOLÉPTICOS	CLORETO - VMP: 250,0 MG/L	SETOR DE SAÚDE	CAEMA	ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA	SAÍDA DE TRATAMENTO/PÓS-DESINFECÇÃO	250	26.9
17/02/2020	PARÂMETROS ORGANOLÉPTICOS	CLORETO - VMP: 250,0 MG/L	SETOR DE SAÚDE	CAEMA	SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO	CAVALETE/HIDRÔMETRO	250	24.8
17/02/2020	PARÂMETROS ORGANOLÉPTICOS	CLORETO - VMP: 250,0 MG/L	SETOR DE SAÚDE	CAEMA	SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO	CAVALETE/HIDRÔMETRO	250	24.8
17/02/2020	PARÂMETROS ORGANOLÉPTICOS	CLORETO - VMP: 250,0 MG/L	SETOR DE SAÚDE	CAEMA	SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO	CAVALETE/HIDRÔMETRO	250	24.8
17/02/2020	PARÂMETROS ORGANOLÉPTICOS	CLORETO - VMP: 250,0 MG/L	SETOR DE SAÚDE	CAEMA	SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO	TORNEIRA ANTES DA RESERVAÇÃO	250	24.8
06/04/2020	PARÂMETROS ORGANOLÉPTICOS	DUREZA TOTAL - VMP: 500,0 MG/L	SETOR DE SAÚDE	CAEMA	INTRA-DOMICILIAR / INTRA-PREDIAL	TORNEIRA APÓS A RESERVAÇÃO	500	24.7
17/02/2020	PARÂMETROS ORGANOLÉPTICOS	COR APARENTE - VMP: 15,0 uH	SETOR DE SAÚDE	CAEMA	ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA	SAÍDA DE TRATAMENTO/PÓS-DESINFECÇÃO	15	23
17/02/2020	PARÂMETROS ORGANOLÉPTICOS	CLORETO - VMP: 250,0 MG/L	SETOR DE SAÚDE	CAEMA	INTRA-DOMICILIAR / INTRA-PREDIAL	TORNEIRA APÓS A RESERVAÇÃO	250	22.7

Data	Grupo	Parâmetro	Responsável	Instituição	Procedência	P. Coleta	VMP	Resultado
16/03/2020	PARÂMETROS ORGANOLÉPTICOS	DUREZA TOTAL - VMP: 500,0 MG/L	SETOR DE SAÚDE	CAEMA	INTRA-DOMICILIAR / INTRA-PREDIAL	BEBEDOURO	500	22.7
17/02/2020	PARÂMETROS ORGANOLÉPTICOS	CLORETO - VMP: 250,0 MG/L	SETOR DE SAÚDE	CAEMA	SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO	CAVALETE/HIDRÔMETRO	250	20.7
16/03/2020	PARÂMETROS ORGANOLÉPTICOS	DUREZA TOTAL - VMP: 500,0 MG/L	SETOR DE SAÚDE	CAEMA	INTRA-DOMICILIAR / INTRA-PREDIAL	TORNEIRA APÓS A RESERVAÇÃO	500	20.6
16/03/2020	PARÂMETROS ORGANOLÉPTICOS	DUREZA TOTAL - VMP: 500,0 MG/L	SETOR DE SAÚDE	CAEMA	SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO	CAVALETE/HIDRÔMETRO	500	20.6
16/03/2020	PARÂMETROS ORGANOLÉPTICOS	DUREZA TOTAL - VMP: 500,0 MG/L	SETOR DE SAÚDE	CAEMA	SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO	CAVALETE/HIDRÔMETRO	500	18.05
16/03/2020	PARÂMETROS ORGANOLÉPTICOS	DUREZA TOTAL - VMP: 500,0 MG/L	SETOR DE SAÚDE	CAEMA	ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA	SAÍDA DE TRATAMENTO/PÓS-DESINFECÇÃO	500	16.5
16/03/2020	PARÂMETROS ORGANOLÉPTICOS	DUREZA TOTAL - VMP: 500,0 MG/L	SETOR DE SAÚDE	CAEMA	SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO	CAVALETE/HIDRÔMETRO	500	16.5
16/03/2020	PARÂMETROS ORGANOLÉPTICOS	DUREZA TOTAL - VMP: 500,0 MG/L	SETOR DE SAÚDE	CAEMA	SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO	CAVALETE/HIDRÔMETRO	500	14.5
16/03/2020	PARÂMETROS ORGANOLÉPTICOS	DUREZA TOTAL - VMP: 500,0 MG/L	SETOR DE SAÚDE	CAEMA	SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO	CAVALETE/HIDRÔMETRO	500	14.4
06/04/2020	PARÂMETROS ORGANOLÉPTICOS	CLORETO - VMP: 250,0 MG/L	SETOR DE SAÚDE	CAEMA	INTRA-DOMICILIAR / INTRA-PREDIAL	TORNEIRA APÓS A RESERVAÇÃO	250	13.2
16/03/2020	PARÂMETROS ORGANOLÉPTICOS	CLORETO - VMP: 250,0 MG/L	SETOR DE SAÚDE	CAEMA	SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO	CAVALETE/HIDRÔMETRO	250	13.1
16/03/2020	PARÂMETROS ORGANOLÉPTICOS	CLORETO - VMP: 250,0 MG/L	SETOR DE SAÚDE	CAEMA	SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO	CAVALETE/HIDRÔMETRO	250	12.1

Data	Grupo	Parâmetro	Responsável	Instituição	Procedência	P. Coleta	VMP	Resultado
16/03/2020	PARÂMETROS ORGANOLÉPTICOS	CLORETO - VMP: 250,0 MG/L	SETOR DE SAÚDE	CAEMA	SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO	CAVALETE/HIDRÔMETRO	250	12.1
16/03/2020	PARÂMETROS ORGANOLÉPTICOS	CLORETO - VMP: 250,0 MG/L	SETOR DE SAÚDE	CAEMA	ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA	SAÍDA DE TRATAMENTO/PÓS-DESINFECÇÃO	250	11
16/03/2020	PARÂMETROS ORGANOLÉPTICOS	CLORETO - VMP: 250,0 MG/L	SETOR DE SAÚDE	CAEMA	SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO	CAVALETE/HIDRÔMETRO	250	11
16/03/2020	PARÂMETROS ORGANOLÉPTICOS	CLORETO - VMP: 250,0 MG/L	SETOR DE SAÚDE	CAEMA	SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO	CAVALETE/HIDRÔMETRO	250	11
16/03/2020	PARÂMETROS ORGANOLÉPTICOS	DUREZA TOTAL - VMP: 500,0 MG/L	SETOR DE SAÚDE	CAEMA	SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO	CAVALETE/HIDRÔMETRO	500	10.3
16/03/2020	PARÂMETROS ORGANOLÉPTICOS	DUREZA TOTAL - VMP: 500,0 MG/L	SETOR DE SAÚDE	CAEMA	SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO	CAVALETE/HIDRÔMETRO	500	10.3
17/02/2020	PARÂMETROS ORGANOLÉPTICOS	COR APARENTE - VMP: 15,0 uH	SETOR DE SAÚDE	CAEMA	INTRA-DOMICILIAR / INTRA-PREDIAL	TORNEIRA APÓS A RESERVAÇÃO	15	10
16/03/2020	PARÂMETROS ORGANOLÉPTICOS	CLORETO - VMP: 250,0 MG/L	SETOR DE SAÚDE	CAEMA	INTRA-DOMICILIAR / INTRA-PREDIAL	BEBEDOURO	250	10
16/03/2020	PARÂMETROS ORGANOLÉPTICOS	CLORETO - VMP: 250,0 MG/L	SETOR DE SAÚDE	CAEMA	SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO	CAVALETE/HIDRÔMETRO	250	10
16/03/2020	PARÂMETROS ORGANOLÉPTICOS	CLORETO - VMP: 250,0 MG/L	SETOR DE SAÚDE	CAEMA	SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO	CAVALETE/HIDRÔMETRO	250	9.04
16/03/2020	PARÂMETROS ORGANOLÉPTICOS	CLORETO - VMP: 250,0 MG/L	SETOR DE SAÚDE	CAEMA	INTRA-DOMICILIAR / INTRA-PREDIAL	TORNEIRA APÓS A RESERVAÇÃO	250	9.04
17/02/2020	PARÂMETROS ORGANOLÉPTICOS	COR APARENTE - VMP: 15,0 uH	SETOR DE SAÚDE	CAEMA	ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA	SAÍDA DE TRATAMENTO/PÓS-DESINFECÇÃO	15	7
16/03/2020	PARÂMETROS ORGANOLÉPTICOS	COR APARENTE	SETOR DE SAÚDE	CAEMA	SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO	CAVALETE/HIDRÔMETRO	15	6

Data	Grupo	Parâmetro	Responsável	Instituição	Procedência	P. Coleta	VMP	Resultado
		- VMP: 15,0 uH						
16/03/2020	PARÂMETROS ORGANOLÉPTICOS	COR APARENTE - VMP: 15,0 uH	SETOR DE SAÚDE	CAEMA	ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA	SAÍDA DE TRATAMENTO/PÓS-DESINFECÇÃO	15	6
17/02/2020	PARÂMETROS ORGANOLÉPTICOS	COR APARENTE - VMP: 15,0 uH	SETOR DE SAÚDE	CAEMA	SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO	TORNEIRA ANTES DA RESERVAÇÃO	15	6
16/03/2020	PARÂMETROS ORGANOLÉPTICOS	COR APARENTE - VMP: 15,0 uH	SETOR DE SAÚDE	CAEMA	SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO	CAVALETE/HIDRÔMETRO	15	5
17/02/2020	PARÂMETROS ORGANOLÉPTICOS	COR APARENTE - VMP: 15,0 uH	SETOR DE SAÚDE	CAEMA	SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO	CAVALETE/HIDRÔMETRO	15	5
16/03/2020	PARÂMETROS ORGANOLÉPTICOS	COR APARENTE - VMP: 15,0 uH	SETOR DE SAÚDE	CAEMA	INTRA-DOMICILIAR / INTRA-PREDIAL	BEBEDOURO	15	4
16/03/2020	PARÂMETROS ORGANOLÉPTICOS	COR APARENTE - VMP: 15,0 uH	SETOR DE SAÚDE	CAEMA	SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO	CAVALETE/HIDRÔMETRO	15	4
16/03/2020	PARÂMETROS ORGANOLÉPTICOS	COR APARENTE - VMP: 15,0 uH	SETOR DE SAÚDE	CAEMA	INTRA-DOMICILIAR / INTRA-PREDIAL	TORNEIRA APÓS A RESERVAÇÃO	15	4
16/03/2020	PARÂMETROS ORGANOLÉPTICOS	COR APARENTE - VMP: 15,0 uH	SETOR DE SAÚDE	CAEMA	SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO	CAVALETE/HIDRÔMETRO	15	3
16/03/2020	PARÂMETROS ORGANOLÉPTICOS	COR APARENTE - VMP: 15,0 uH	SETOR DE SAÚDE	CAEMA	SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO	CAVALETE/HIDRÔMETRO	15	2
17/02/2020	PARÂMETROS ORGANOLÉPTICOS	COR APARENTE - VMP: 15,0 uH	SETOR DE SAÚDE	CAEMA	SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO	CAVALETE/HIDRÔMETRO	15	2
17/02/2020	PARÂMETROS ORGANOLÉPTICOS	COR APARENTE	SETOR DE SAÚDE	CAEMA	SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO	CAVALETE/HIDRÔMETRO	15	2

Data	Grupo	Parâmetro	Responsável	Instituição	Procedência	P. Coleta	VMP	Resultado
		- VMP: 15,0 uH						
16/03/2020	PARÂMETROS ORGANOLÉPTICOS	COR APARENTE - VMP: 15,0 uH	SETOR DE SAÚDE	CAEMA	SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO	CAVALETE/HIDRÔMETRO	15	2
16/03/2020	PARÂMETROS ORGANOLÉPTICOS	COR APARENTE - VMP: 15,0 uH	SETOR DE SAÚDE	CAEMA	SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO	CAVALETE/HIDRÔMETRO	15	1
17/02/2020	PARÂMETROS ORGANOLÉPTICOS	COR APARENTE - VMP: 15,0 uH	SETOR DE SAÚDE	CAEMA	SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO	TORNEIRA ANTES DA RESERVAÇÃO	15	6
16/03/2020	PARÂMETROS ORGANOLÉPTICOS	COR APARENTE - VMP: 15,0 uH	SETOR DE SAÚDE	CAEMA	SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO	CAVALETE/HIDRÔMETRO	15	5
17/02/2020	PARÂMETROS ORGANOLÉPTICOS	COR APARENTE - VMP: 15,0 uH	SETOR DE SAÚDE	CAEMA	SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO	CAVALETE/HIDRÔMETRO	15	5
16/03/2020	PARÂMETROS ORGANOLÉPTICOS	COR APARENTE - VMP: 15,0 uH	SETOR DE SAÚDE	CAEMA	INTRA-DOMICILIAR / INTRA-PREDIAL	BEBEDOURO	15	4
16/03/2020	PARÂMETROS ORGANOLÉPTICOS	COR APARENTE - VMP: 15,0 uH	SETOR DE SAÚDE	CAEMA	SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO	CAVALETE/HIDRÔMETRO	15	4
16/03/2020	PARÂMETROS ORGANOLÉPTICOS	COR APARENTE - VMP: 15,0 uH	SETOR DE SAÚDE	CAEMA	INTRA-DOMICILIAR / INTRA-PREDIAL	TORNEIRA APÓS A RESERVAÇÃO	15	4
16/03/2020	PARÂMETROS ORGANOLÉPTICOS	COR APARENTE - VMP: 15,0 uH	SETOR DE SAÚDE	CAEMA	SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO	CAVALETE/HIDRÔMETRO	15	3
16/03/2020	PARÂMETROS ORGANOLÉPTICOS	COR APARENTE - VMP: 15,0 uH	SETOR DE SAÚDE	CAEMA	SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO	CAVALETE/HIDRÔMETRO	15	2
17/02/2020	PARÂMETROS ORGANOLÉPTICOS	COR APARENTE	SETOR DE SAÚDE	CAEMA	SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO	CAVALETE/HIDRÔMETRO	15	2

Data	Grupo	Parâmetro	Responsável	Instituição	Procedência	P. Coleta	VMP	Resultado
		- VMP: 15,0 uH						
17/02/2020	PARÂMETROS ORGANOLÉPTICOS	COR APARENTE - VMP: 15,0 uH	SETOR DE SAÚDE	CAEMA	SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO	CAVALETE/HIDRÔMETRO	15	2
16/03/2020	PARÂMETROS ORGANOLÉPTICOS	COR APARENTE - VMP: 15,0 uH	SETOR DE SAÚDE	CAEMA	SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO	CAVALETE/HIDRÔMETRO	15	2
16/03/2020	PARÂMETROS ORGANOLÉPTICOS	COR APARENTE - VMP: 15,0 uH	SETOR DE SAÚDE	CAEMA	SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO	CAVALETE/HIDRÔMETRO	15	1

Apêndice 2A: Parâmetros monitorados no município de Caxias (CONEXÃO ÁGUA, 2018).

Data	Grupo	Parâmetro	Responsável	Instituição	Procedência	P. Coleta	P. Monitoramento	VMP	Resultado
17/12/2018	PARÂMETROS ORGANOLÉPTICOS	DUREZA TOTAL - VMP: 500,0 MG/L	SETOR DE SAÚDE	NI	ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA	SAÍDA DE TRATAMENTO/PÓS-DESINFECÇÃO	NÃO INFORMADO	500	48.4
17/12/2018	PARÂMETROS ORGANOLÉPTICOS	DUREZA TOTAL - VMP: 500,0 MG/L	SETOR DE SAÚDE	NI	SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO	TORNEIRA ANTES DA RESERVAÇÃO	NÃO INFORMADO	500	39.6
17/12/2018	PARÂMETROS ORGANOLÉPTICOS	DUREZA TOTAL - VMP: 500,0 MG/L	SETOR DE SAÚDE	NI	ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA	SAÍDA DE TRATAMENTO/PÓS-DESINFECÇÃO	NÃO INFORMADO	500	35.2
17/12/2018	PARÂMETROS ORGANOLÉPTICOS	CLORETO - VMP: 250,0 MG/L	SETOR DE SAÚDE	NI	ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA	SAÍDA DE TRATAMENTO/PÓS-DESINFECÇÃO	NÃO INFORMADO	250	31.9
17/12/2018	PARÂMETROS ORGANOLÉPTICOS	CLORETO - VMP: 250,0 MG/L	SETOR DE SAÚDE	NI	ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA	SAÍDA DE TRATAMENTO/PÓS-DESINFECÇÃO	NÃO INFORMADO	250	24.9
17/12/2018	PARÂMETROS ORGANOLÉPTICOS	CLORETO - VMP: 250,0 MG/L	SETOR DE SAÚDE	NI	SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO	TORNEIRA ANTES DA RESERVAÇÃO	NÃO INFORMADO	250	21.9
17/12/2018	PARÂMETROS ORGANOLÉPTICOS	SULFATO - VMP: 250,0 MG/L	SETOR DE SAÚDE	NI	ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA	SAÍDA DE TRATAMENTO/PÓS-DESINFECÇÃO	NÃO INFORMADO	250	15
17/12/2018	PARÂMETROS ORGANOLÉPTICOS	SULFATO - VMP: 250,0 MG/L	SETOR DE SAÚDE	NI	ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA	SAÍDA DE TRATAMENTO/PÓS-DESINFECÇÃO	NÃO INFORMADO	250	11
17/12/2018	PARÂMETROS ORGANOLÉPTICOS	SULFATO - VMP: 250,0 MG/L	SETOR DE SAÚDE	NI	SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO	TORNEIRA ANTES DA RESERVAÇÃO	NÃO INFORMADO	250	10
17/12/2018	PARÂMETROS ORGANOLÉPTICOS	COR APARENTE - VMP: 15,0 uH	SETOR DE SAÚDE	NI	ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA	SAÍDA DE TRATAMENTO/PÓS-DESINFECÇÃO	NÃO INFORMADO	15	6
17/12/2018	PARÂMETROS ORGANOLÉPTICOS	COR APARENTE - VMP: 15,0 uH	SETOR DE SAÚDE	NI	ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA	SAÍDA DE TRATAMENTO/PÓS-DESINFECÇÃO	NÃO INFORMADO	15	6
17/12/2018	PARÂMETROS ORGANOLÉPTICOS	COR APARENTE - VMP: 15,0 uH	SETOR DE SAÚDE	NI	SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO	TORNEIRA ANTES DA RESERVAÇÃO	NÃO INFORMADO	15	5
17/12/2018	PARÂMETROS ORGANOLÉPTICOS	FERRO - VMP: 0,3 MG/L	SETOR DE SAÚDE	NI	ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA	SAÍDA DE TRATAMENTO/PÓS-DESINFECÇÃO	NÃO INFORMADO	0.3	0.06

Data	Grupo	Parâmetro	Responsável	Instituição	Procedência	P. Coleta	P. Monitoramento	VMP	Resultado
17/12/2018	PARÂMETROS ORGANOLÉPTICOS	FERRO - VMP: 0,3 MG/L	SETOR DE SAÚDE	NI	ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA	SAÍDA DE TRATAMENTO/PÓS-DESINFECÇÃO	NÃO INFORMADO	0.3	0.04
17/12/2018	PARÂMETROS ORGANOLÉPTICOS	FERRO - VMP: 0,3 MG/L	SETOR DE SAÚDE	NI	SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO	TORNEIRA ANTES DA RESERVAÇÃO	NÃO INFORMADO	0.3	0.03
17/12/2018	SUBSTÂNCIAS INORGÂNICAS	COBRE - VMP: 2,0 MG/L	SETOR DE SAÚDE	NI	ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA	SAÍDA DE TRATAMENTO/PÓS-DESINFECÇÃO	NÃO INFORMADO	2	0.03
17/12/2018	SUBSTÂNCIAS INORGÂNICAS	COBRE - VMP: 2,0 MG/L	SETOR DE SAÚDE	NI	ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA	SAÍDA DE TRATAMENTO/PÓS-DESINFECÇÃO	NÃO INFORMADO	2	0.03
17/12/2018	SUBSTÂNCIAS INORGÂNICAS	COBRE - VMP: 2,0 MG/L	SETOR DE SAÚDE	NI	SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO	TORNEIRA ANTES DA RESERVAÇÃO	NÃO INFORMADO	2	0.02
17/12/2018	SUBSTÂNCIAS INORGÂNICAS	NITRITO (COMO N) - VMP: 1,0 MG/L	SETOR DE SAÚDE	NI	SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO	TORNEIRA ANTES DA RESERVAÇÃO	NÃO INFORMADO	1	0.002
17/12/2018	SUBSTÂNCIAS INORGÂNICAS	NITRITO (COMO N) - VMP: 1,0 MG/L	SETOR DE SAÚDE	NI	ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA	SAÍDA DE TRATAMENTO/PÓS-DESINFECÇÃO	NÃO INFORMADO	1	0.001
17/12/2018	SUBSTÂNCIAS INORGÂNICAS	NITRITO (COMO N) - VMP: 1,0 MG/L	SETOR DE SAÚDE	NI	ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA	SAÍDA DE TRATAMENTO/PÓS-DESINFECÇÃO	NÃO INFORMADO	1	0.001
17/12/2018	PARÂMETROS ORGANOLÉPTICOS	ZINCO - VMP: 5,0 MG/L	SETOR DE SAÚDE	NI	SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO	TORNEIRA ANTES DA RESERVAÇÃO	NÃO INFORMADO	5	0
17/12/2018	PARÂMETROS ORGANOLÉPTICOS	ZINCO - VMP: 5,0 MG/L	SETOR DE SAÚDE	NI	ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA	SAÍDA DE TRATAMENTO/PÓS-DESINFECÇÃO	NÃO INFORMADO	5	0
17/12/2018	PARÂMETROS ORGANOLÉPTICOS	ZINCO - VMP: 5,0 MG/L	SETOR DE SAÚDE	NI	ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA	SAÍDA DE TRATAMENTO/PÓS-DESINFECÇÃO	NÃO INFORMADO	5	0

Apêndice 2B: Parâmetros monitorados no município de Colinas (CONEXÃO ÁGUA, 2018).

Data	Grupo	Parâmetro	Responsável	Instituição	Procedência	P. Coleta	P. Monitoramento	VMP	Resultado
09/01/2018	PARÂMETROS ORGANOLÉPTICOS	DUREZA TOTAL - VMP: 500,0 MG/L	SETOR DE SAÚDE	CAEMA	SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO	CAVALETE/HIDRÔMETRO	NÃO INFORMADO	500	216.7
09/01/2018	PARÂMETROS ORGANOLÉPTICOS	DUREZA TOTAL - VMP: 500,0 MG/L	SETOR DE SAÚDE	CAEMA	SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO	CAVALETE/HIDRÔMETRO	NÃO INFORMADO	500	206.85
09/01/2018	PARÂMETROS ORGANOLÉPTICOS	DUREZA TOTAL - VMP: 500,0 MG/L	SETOR DE SAÚDE	CAEMA	SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO	CAVALETE/HIDRÔMETRO	NÃO INFORMADO	500	204.88
09/01/2018	PARÂMETROS ORGANOLÉPTICOS	DUREZA TOTAL - VMP: 500,0 MG/L	SETOR DE SAÚDE	CAEMA	SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO	CAVALETE/HIDRÔMETRO	NÃO INFORMADO	500	200.94
09/01/2018	PARÂMETROS ORGANOLÉPTICOS	DUREZA TOTAL - VMP: 500,0 MG/L	SETOR DE SAÚDE	CAEMA	SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO	CAVALETE/HIDRÔMETRO	NÃO INFORMADO	500	198.97
09/01/2018	PARÂMETROS ORGANOLÉPTICOS	CLORETO - VMP: 250,0 MG/L	SETOR DE SAÚDE	CAEMA	SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO	CAVALETE/HIDRÔMETRO	NÃO INFORMADO	250	49.11
09/01/2018	PARÂMETROS ORGANOLÉPTICOS	CLORETO - VMP: 250,0 MG/L	SETOR DE SAÚDE	CAEMA	SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO	CAVALETE/HIDRÔMETRO	NÃO INFORMADO	250	49.11
09/01/2018	PARÂMETROS ORGANOLÉPTICOS	CLORETO - VMP: 250,0 MG/L	SETOR DE SAÚDE	CAEMA	SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO	CAVALETE/HIDRÔMETRO	NÃO INFORMADO	250	46.22
09/01/2018	PARÂMETROS ORGANOLÉPTICOS	CLORETO - VMP: 250,0 MG/L	SETOR DE SAÚDE	CAEMA	SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO	CAVALETE/HIDRÔMETRO	NÃO INFORMADO	250	46.22
09/01/2018	PARÂMETROS ORGANOLÉPTICOS	CLORETO - VMP: 250,0 MG/L	SETOR DE SAÚDE	CAEMA	SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO	CAVALETE/HIDRÔMETRO	NÃO INFORMADO	250	43.33
09/01/2018	PARÂMETROS ORGANOLÉPTICOS	DUREZA TOTAL - VMP: 500,0 MG/L	SETOR DE SAÚDE	CAEMA	SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO	CAVALETE/HIDRÔMETRO	NÃO INFORMADO	500	23.64

Data	Grupo	Parâmetro	Responsável	Instituição	Procedência	P. Coleta	P. Monitoramento	VMP	Resultado
09/01/2018	PARÂMETROS ORGANOLÉPTICOS	CLORETO - VMP: 250,0 MG/L	SETOR DE SAÚDE	CAEMA	SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO	CAVALETE/HIDRÔMETRO	NÃO INFORMADO	250	16.37
09/01/2018	PARÂMETROS ORGANOLÉPTICOS	DUREZA TOTAL - VMP: 500,0 MG/L	SETOR DE SAÚDE	CAEMA	SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO	CAVALETE/HIDRÔMETRO	NÃO INFORMADO	500	15.76
09/01/2018	PARÂMETROS ORGANOLÉPTICOS	DUREZA TOTAL - VMP: 500,0 MG/L	SETOR DE SAÚDE	CAEMA	SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO	CAVALETE/HIDRÔMETRO	NÃO INFORMADO	500	13.79
09/01/2018	PARÂMETROS ORGANOLÉPTICOS	CLORETO - VMP: 250,0 MG/L	SETOR DE SAÚDE	CAEMA	SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO	CAVALETE/HIDRÔMETRO	NÃO INFORMADO	250	13.48
09/01/2018	PARÂMETROS ORGANOLÉPTICOS	CLORETO - VMP: 250,0 MG/L	SETOR DE SAÚDE	CAEMA	SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO	CAVALETE/HIDRÔMETRO	NÃO INFORMADO	250	13.48
09/01/2018	PARÂMETROS ORGANOLÉPTICOS	CLORETO - VMP: 250,0 MG/L	SETOR DE SAÚDE	CAEMA	SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO	CAVALETE/HIDRÔMETRO	NÃO INFORMADO	250	12.52
09/01/2018	PARÂMETROS ORGANOLÉPTICOS	DUREZA TOTAL - VMP: 500,0 MG/L	SETOR DE SAÚDE	CAEMA	SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO	CAVALETE/HIDRÔMETRO	NÃO INFORMADO	500	11.62
09/01/2018	PARÂMETROS ORGANOLÉPTICOS	CLORETO - VMP: 250,0 MG/L	SETOR DE SAÚDE	CAEMA	SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO	CAVALETE/HIDRÔMETRO	NÃO INFORMADO	250	11.56
09/01/2018	PARÂMETROS ORGANOLÉPTICOS	DUREZA TOTAL - VMP: 500,0 MG/L	SETOR DE SAÚDE	CAEMA	SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO	CAVALETE/HIDRÔMETRO	NÃO INFORMADO	500	5.91