

UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SAÚDE E AMBIENTE
MESTRADO EM SAÚDE E AMBIENTE

RUBENILSON AMORIM MARTINS

**QUALIDADE DA ÁGUA DO BAIXO CURSO DO RIO ITAPECURU E AS
IMPLICAÇÕES NA SAÚDE HUMANA E USOS MÚLTIPLOS**

SÃO LUÍS

2019

RUBENILSON AMORIM MARTINS

**QUALIDADE DA ÁGUA DO BAIXO CURSO DO RIO ITAPECURU E AS
IMPLICAÇÕES NA SAÚDE HUMANA E USOS MÚLTIPLOS**

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Saúde e Ambiente da Universidade Federal do Maranhão, área Qualidade Ambiental e Saúde, na linha de pesquisa Gestão Socioambiental, como requisito para obtenção do título de Mestre em Saúde e Ambiente.

Orientador: Prof. Dr. Antonio Carlos Leal de Castro
Co-orientador: Prof. Dr. Caio Brito Lourenço

SÃO LUÍS

2019

Ficha gerada por meio do SIGAA/Biblioteca com dados fornecidos pelo(a) autor(a).
Núcleo Integrado de Bibliotecas/UFMA

Martins, Rubenilson Amorim.

QUALIDADE DA ÁGUA DO BAIXO CURSO DO RIO ITAPECURU E AS
IMPLICAÇÕES NA SAÚDE HUMANA E USOS MÚLTIPLOS / Rubenilson
Amorim Martins. - 2019.

98 f.

Coorientador(a): Caio Brito Lourenço.

Orientador(a): Antônio Carlos Leal de Castro.

Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em
Saúde e Ambiente/ccbs, Universidade Federal do Maranhão,
São Luís, 2019.

1. Qualidade da água. 2. Saúde pública. 3. Usos da
água. I. Castro, Antônio Carlos Leal de. II. Lourenço,
Caio Brito. III. Título.

RUBENILSON AMORIM MARTINS

**QUALIDADE DA ÁGUA DO BAIXO CURSO DO RIO ITAPECURU E AS
IMPLICAÇÕES NA SAÚDE HUMANA E USOS MÚLTIPLOS**

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Saúde e Ambiente da Universidade Federal do Maranhão, área Qualidade Ambiental e Saúde, na linha de pesquisa Gestão Socioambiental, como requisito para obtenção do título de Mestre em Saúde e Ambiente.

Orientador: Prof. Dr. Antonio Carlos Leal de Castro

Co-orientador: Prof. Dr. Caio Brito Lourenço

Aprovado em ____/____/____

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Antônio Carlos Leal de Castro (Orientador)

Universidade Federal do Maranhão

Prof. Dr. Leonardo Silva Soares

Universidade Federal do Maranhão

Prof. Dr. James Werlen de Jesus Azevedo

Universidade Federal do Maranhão

Prof. Dr^a. Zulimar Márita Ribeiro Rodrigues

Universidade Federal do Maranhão

A Deus, Pai misericordioso.

Aos meus pais, pelos valores ensinados.

Aminha esposa, pela compreensão e carinho.

Aos meus irmãos, pelo incentivo.

AGRADECIMENTOS

A Deus,

Aos meus queridos pais, Ramiro (em memória) e Josete, pelo incentivo, amizade e exemplos que deles recebi.

A todos os meus irmãos pelo apoio dado neste trabalho.

A minha esposa, Angélica Valony, pela compreensão, dedicação e ajuda dada nesta longa caminhada.

Ao professor Antônio Carlos, pelas orientações passadas ao longo da pesquisa e atenção despendida para a realização deste trabalho.

Ao professor, Caio Brito Lourenço, pelo auxílio constante nas atividades de campo e orientação prestada no desenvolvimento da pesquisa.

Aos professores da banca examinadora pela valiosa ajuda e avaliação deste trabalho.

Aos professores, Adenilde e Odilon, pela ajuda concedida nas análises laboratoriais.

Aos professores do mestrado em Saúde e Ambiente, pelo bom desempenho de suas funções.

A todos os alunos do mestrado em Saúde e Ambiente da turma de 2018.1.

A Daniele Viana, pela ajuda prestada na confecção dos elementos cartográficos.

Para alcançarmos nossos objetivos dependemos da ajuda dos que nos rodeiam, agradeço a ajuda de todos aqueles que direta ou indiretamente colaboraram para a realização deste trabalho.

“ Cada dia a natureza produz o suficiente para a nossa carência. Se cada um tomasse o que lhe fosse necessário, não havia pobreza no mundo e ninguém morreria de fome”.

Mahatma Gandhi

RESUMO

A bacia do rio Itapecuru é utilizada por milhões de pessoas, entretanto, esta região tem enfrentado graves problemas ambientais, sobretudo, no que concerne à poluição dos recursos hídricos. Esta condição coloca em risco a saúde, segurança e bem-estar da população, uma vez que o conhecimento sobre as condições de qualidade da água, na maioria das vezes, é ausente. Dessa forma, neste trabalho analisou-se a condição de qualidade da água do baixo curso do rio Itapecuru e as implicações na saúde humana e usos múltiplos, buscando produzir informações que venham a nortear a utilização desse recurso, melhorar a gestão ambiental dos recursos hídricos e fomentar a conscientização e educação ambiental da comunidade. O estudo foi efetuado a partir de pesquisas de campo realizadas no baixo curso do rio Itapecuru, concentradas no limite territorial do município de Itapecuru-Mirim. Consistiu na análise da cobertura e uso da terra, na coleta de amostras de água que foram realizadas em 5 pontos distribuídos por 17,6 km ao longo do rio Itapecuru, tendo a cidade de Itapecuru-Mirim como referência, com um ponto no centro da cidade, dois a montante e dois a jusante, além de 5 riachos, afluentes do Itapecuru pela margem direita, estando três desses na zona mais urbanizada da cidade e dois na zona semiurbana. As variáveis ambientais mensuradas foram, potencial hidrogeniônico (pH), oxigênio dissolvido (OD), temperatura, condutividade elétrica, sólidos totais, sólidos suspensos totais, sólidos dissolvidos totais, turbidez, fósforo total, fosfato, nitrogênio total, nitrogênio amoniacal total, nitrito, nitrato, demanda bioquímica de oxigênio (DBO), coliformes totais, coliformes termotolerantes e *Escherichia Coli*. Utilizou-se o índice de qualidade da água – IQA, para determinar a qualidade da água para abastecimento público e o Índice de Conformidade ao Enquadramento – ICE, para definir os usos que podem ser realizados com segurança adequada. Como teste estatístico, realizou-se a análise de variância – ANOVA e a análise de componentes principais- ACP. Os resultados obtidos mostraram que, o uso e cobertura da terra está distribuída em classes na seguinte proporção, áreas florestais 45,75%, áreas campestres 32,91%, áreas descobertas 9,58%, áreas agropastoris 7,24%, áreas urbanizadas 1,33%, áreas de mineração 0,33% e recursos hídricos 0,28%. A água do rio Itapecuru e da maioria dos riachos estudados, apresenta a classe de qualidade do IQA, regular. Tendo uma qualidade aceitável para fins de abastecimento público após tratamento convencional. Mostrou também que, a qualidade da água do rio Itapecuru no trecho analisado e de todos os riachos, está enquadrada na classe péssima do ICE, tendo como referência a classe 2 das águas doces da Resolução Conama nº 357/2005 e ruim na classe de qualidade do ICE, ao ser analisada com base nos critérios da classe 3 das águas doces da referida resolução. Definindo que a condição de qualidade atual da água dos corpos hídricos estudados, está em desconformidade com a classe de qualidade a qual se encontram enquadrados, classe 2 e também para a classe 3. Ficando demonstrado assim, que todos os usos, passíveis de realização somente com a condição de qualidade da água, em conformidade com a classe 2 e 3, estão vedados para os corpos hídricos analisados. Fato que reforça a importância do enquadramento dos corpos hídricos, do monitoramento, da elaboração e divulgação de relatórios de qualidade da água, para garantir aos usuários o desenvolvimento dos usos possíveis com segurança adequada.

Palavras-chave: Qualidade da água. Usos da água. Saúde pública.

ABSTRACT

The Itapecuru River basin is used by millions of people, however, this region has been facing serious environmental problems, especially regarding the pollution of water resources. This condition endangers the health, safety and well-being of the population, as knowledge of water quality conditions is often absent. Thus, this work analyzed the condition of water quality of the low course of the Itapecuru river and the implications for human health and multiple uses, seeking to produce information that will guide the use of this resource, improve the environmental management of water resources and foster community awareness and environmental education. The study was conducted from field research carried out in the lower course of the Itapecuru River, concentrated in the territorial boundary of Itapecuru-Mirim municipality. It consisted of the analysis of land cover and use, the collection of water samples that were performed at 5 points spread over 17.6 km along the Itapecuru River, with the city of Itapecuru-Mirim as a reference, with a point in the center from the city, two upstream and two downstream, plus 5 streams, tributaries of the Itapecuru on the right bank, three of which are in the most urbanized area of the city and two in the semiurban area. The environmental variables measured were: hydrogen potential (pH), dissolved oxygen (OD), temperature, electrical conductivity, total solids, total suspended solids, total dissolved solids, turbidity, total phosphorus, phosphate, total nitrogen, total ammonia nitrogen, nitrite, nitrate, biochemical oxygen demand (BOD), total coliforms, thermotolerant coliforms and *Escherichia Coli*. The water quality index - IQA was used to determine the quality of water for public supply and the ICC compliance framework to define the uses that can be performed with adequate safety. As a statistical test, we performed the analysis of variance - ANOVA and the principal component analysis - PCA. The results showed that land use and land cover is distributed in classes in the following proportion, forested areas 45.75%, rural areas 32.91%, uncovered areas 9.58%, agricultural areas 7.24%, urbanized areas 1.33%, mining areas 0.33% and water resources 0.28%. The water of the Itapecuru River and most of the studied streams presents the quality class of the IQA, regular. Having an acceptable quality for public supply after conventional treatment. It also showed that the water quality of the Itapecuru river in the analyzed section and of all streams is classified in the ICE poor class, having as reference the class 2 of the Conama Resolution 357/2005 freshwater and bad in the ICE class, quality of the ECI when analyzed on the basis of the freshwater class 3 criteria of that resolution. Defining that the current water quality condition of the studied water bodies is not in conformity with the quality class to which they are classified, class 2 and also to class 3. It is thus shown that all uses, which can only be carried out with the water quality condition in accordance with class 2 and 3, are sealed to the water bodies analyzed. This fact reinforces the importance of framing water bodies, monitoring, preparation and dissemination of water quality reports, to ensure users the development of possible uses with adequate safety.

Keywords: Water quality. Uses of water. Public health.

LISTA DE FIGURAS

Figura 01: Mapa das bacias e sistemas hidrográficos do Estado do Maranhão	23
Figura 02: Mapa de localização da bacia hidrográfica do rio Itapecuru	25
Figura 03: Margem do rio Itapecuru	29
Figura 04: Margem do rio Itapecuru	29
Figura 05: Mapa de uso e ocupação da bacia do rio Itapecuru 1990, 2000 e 2016	31
Figura 06: Mapa com o monitoramento do IQA de 2001 a 2015	35
Figura 07: Modelo conceitual do ICE	37
Figura 08: Mapa de localização da área de estudo	41
Figura 09: Mapa de localização das estações de amostragem	44
Figura 10 Mapa da cobertura e uso da terra da bacia hidrográfica do rio Itapecuru em Itapecuru-Mirim no ano de 2018	52
Figura 11: Gráfico da distribuição das classes de uso e cobertura da terra da bacia hidrográfica do rio Itapecuru em Itapecuru-Mirim	53
Figura 12: Diagrama da análise de componentes principais (ACP) das variáveis ambientais de qualidade de água do baixo curso do rio Itapecuru	57
Figura 13: Diagrama da análise de componentes principais (ACP) das variáveis ambientais de qualidade de água dos afluentes do baixo curso do rio Itapecuru	59
Figura 14: Gráfico do valor e enquadramento em classe do IQA dos afluentes	69
Figura 15: Gráfico do valor e enquadramento em classe do IQA do rio Itapecuru	71
Figura 16: Gráfico do valor e enquadramento em classe do ICE do rio Itapecuru e dos afluentes	75

LISTA DE QUADROS E TABELAS

Quadro 01. Classificação do IQA	34
Quadro 02: Classes do índice de conformidade ao enquadramento e seus significados	38
Quadro 03: Usos da água identificados na área de estudo	79
Quadro 04: Usos das águas doces conforme classes de enquadramento	80
Tabela 01: Doenças humanas transmitidas por veiculação hídrica	21
Tabela 02: Regiões hidrográficas do Estado do Maranhão	22
Tabela 03: Relação de municípios e percentual de abrangência na região do baixo curso da bacia hidrográfica do Itapecuru	27
Tabela 04: Comparativo percentual dos tipos de uso e cobertura da terra da bacia hidrográfica do rio Itapecuru, 1990 a 2016	31
Tabela 05: Comparativo percentual dos tipos de uso e cobertura da terra no baixo curso da bacia hidrográfica do rio Itapecuru, 1990 a 2016	32
Tabela 06: Identificação do corpo hídrico e coordenadas dos pontos de coleta	45
Tabela 07: Padrões de qualidade das águas estabelecidos pela Resolução Conama n° 357/2005 e utilizados no cálculo do ICE	50
Tabela 08: Teste estatístico paramétrico (ANOVA)	55
Tabela 09: Resultado da análise de componentes principais ACP utilizando as variáveis ambientais no baixo curso do rio Itapecuru	57
Tabela 10: Resultado da análise de componentes principais ACP utilizando as variáveis ambientais nos afluentes do baixo curso do rio Itapecuru	59
Tabela 11: Médias e desvio padrão das variáveis ambientais de qualidade da água do rio Itapecuru, distribuição temporal	61
Tabela 12: Médias e desvio padrão das variáveis ambientais de qualidade da água dos afluentes do rio Itapecuru, distribuição temporal e espacial	62
Tabela 13: Pontuação do índice de qualidade da água da bacia do rio Itapecuru em Itapecuru-Mirim	68
Tabela 14: Resultado do ICE e seus fatores, para classe 2 de enquadramento da água	74
Tabela 15: Total de vezes que uma variável violou o critério estabelecido pela norma (Res. Conama n° 357/2005), para classe 2 de enquadramento da água	76
Tabela 16: Total de vezes que uma variável violou o critério estabelecido pela norma (Res. Com. N° 357/2005), para classe 3 de enquadramento da água	77

LISTA DE SIGLAS

- 1 - ANA – Agência Nacional das Águas
- 2 - APHA - American Public Health Association
- 3 - CONAMA – Conselho Nacional de Meio Ambiente
- 4 - CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
- 5 - CCME - Canadian Council of Ministers of Environment
- 6 - DATASUS – Departamento de Informática do SUS
- 7 - IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
- 8 - IQA – Índice de Qualidade da Água
- 9 - ICE – Índice de Conformidade ao Enquadramento
- 10 - IMESC – Instituto Maranhense de Estudos Cartográficos
- 11 - NSF - National Sanitation Foundation
- 112 - ONU – Organização das Nações Unidas
- 13 - PLANSAB – Plano Nacional de Saneamento Básico
- 14 - SEMA – Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Naturais do Maranhão
- 15 - SABESP – Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo
- 16 - SNIS - Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento
- 17 - SINGREH - Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos
- 18 - UNESCO - Organização das Nações Unidas para a Educação, Ciência e Cultura

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
2 OBJETIVOS	17
2.1 Objetivo Geral	17
2.2 Objetivos Específicos	17
3 REFERENCIAL TEÓRICO	17
3.1 A água no Mundo e no Brasil	17
3.2 Qualidade da água, implicações nos usos e na saúde	18
3.2.1 Qualidade da água	18
3.2.2 Implicações da qualidade da água nos usos	18
3.2.3 Implicações da qualidade da água na saúde	19
3.3 Bacia hidrográfica do rio Itapecuru	21
3.3.1 Baixo curso do rio Itapecuru	27
3.4 Cobertura e uso da terra em bacias hidrográficas	29
3.4.1 Cobertura e uso da terra no baixo curso da bacia hidrográfica do rio Itapecuru	30
3.5 Índice de qualidade da água – IQA	32
3.6 Índice de conformidade ao enquadramento –ICE	35
4 METODOLOGIA	40
4.1 Área de estudo	40
4.2 Cobertura e uso da terra da bacia hidrográfica do rio Itapecuru no município de Itapecuru-Mirim	41
4.3 Rede de amostragem	44
4.4 Procedimentos de coleta e análise	45
4.5 Parâmetros ambientais	46
4.5.1 Pluviometria e fluviometria	46
4.5.2 Físicos e químicos	46
4.5.3 Biológicos	46
4.6 Análise da variância ANOVA	46
4.7 Análise de componentes principais ACP	47
4.8 Índice de qualidade da água-IQA	47
4.9 Índice de conformidade ao enquadramento	48
5 RESULTADOS e DISCUSSÃO	51

5.1 Cobertura e uso da terra na bacia hidrográfica do rio Itapecuru no município de Itapecuru-Mirim	51
5.2 Análise da variância ANOVA	55
5.3 Análise de componentes principais ACP	56
5.4 Descrição qualitativa das variáveis e comparação dos valores médios encontrados com os padrões da Resolução Conama nº 357/2005 nas classes de qualidade 2 e 3	60
5.5 Índice de qualidade da água-IQA	68
5.6 Índice de conformidade ao enquadramento	74
5.6.1 Compatibilidade da qualidade com os usos da água	78
5.6.2 Implicações na saúde humana e qualidade ambiental dos usos da água em condição de qualidade inapropriada	83
6 CONCLUSÃO	89
REFERÊNCIAS	92

1 INTRODUÇÃO

As sociedades humanas dependem da água para a sobrevivência e para o desenvolvimento econômico, apesar da extrema dependência e da não existência de elemento que a substitua, ainda poluem e degradam este recurso; tanto as águas superficiais, quanto as subterrâneas. Essa degradação entre outros fatores, é desencadeada pela diversificação dos usos múltiplos, que se dá em função do crescimento econômico e organização socioespacial, culminando com despejo de resíduos líquidos e sólidos em rios, lagos e represas e destruição das áreas alagadas (TUNDISI, 2005, 2006).

O problema da qualidade da água está presente em todo o mundo, principalmente nos países subdesenvolvidos e acomete sobretudo os mais pobres; pois o contato ou consumo da água com a qualidade degradada, é responsável pelo desencadeamento direto e indireto de uma grande quantidade de patologias, que comprometem a saúde humana e saúde pública (TUNDISI, 2008; AUGUSTO et al., 2012).

No Brasil, as péssimas condições sanitárias verificadas em muitas das bacias hidrográficas densamente e desordenadamente ocupadas, resultam na degradação generalizada dos elementos naturais e, obviamente, dos recursos hídricos, que culminam com a ocorrência de doenças de veiculação hídrica (LIBÂNEO et al., 2005; CIRILO, 2015).

É realidade comum o lançamento de esgotos sanitários não tratados e a disposição inadequada de resíduos sólidos nas mediações de cursos d'água ou em locais sem infraestrutura adequada, de acordo com Tucci (2008), a urbanização sempre esteve associada a geração de impactos ambientais, sobretudo quando ocorre sem o devido planejamento que leve em consideração as variáveis ambientais, fato comum em países subdesenvolvidos como o nosso.

No Estado do Maranhão a situação sanitária é muito ruim, segundo BRASIL (2017), com base em dados do SINIS, apenas 9,93% da população do estado é atendida com esgotamento sanitário, enquanto a média brasileira é de 52,36%. Essa situação tem reflexo direto nas bacias hidrográficas do estado, que se encontram bastante degradadas, de acordo com Soares (2016), a falta de saneamento, o crescimento das cidades e das atividades econômicas, potencializam a deterioração da qualidade das águas das bacias hidrográficas do Estado do Maranhão.

Essa é uma realidade que é comum na bacia hidrográfica do rio Itapecuru, que apresenta grandes problemas ambientais como, a destruição da mata ripária, o assoreamento e a poluição das águas ao longo de praticamente todo o seu curso, sendo esses problemas agravados nos trechos urbanizados. Tendo em vista que, o crescimento das cidades localizadas em sua rede de drenagem e o aumento do lançamento in natura de dejetos líquidos e de resíduos sólidos, são

os principais fatores que desencadeiam e agravam esses problemas (SILVA; CONCEIÇÃO, 2011; SOARES, 2016).

Por ser o principal rio dessa bacia, o Itapecuru acaba apresentando todos esses graves problemas ambientais já relatados, potencializados e concentrados em seu curso. Situação que interfere na condição de qualidade da água e compromete a sua utilização, mediante os diferentes usos da água realizados nesse corpo hídrico. Podendo ter reverberações na saúde da população e no desenvolvimento de atividades sociais e econômicas (VALE et al., 2014).

Diante do quadro de importância e de degradação da qualidade da água, frente a deficiente cobertura do saneamento básico no Brasil e sobretudo no Maranhão, que tem como resultado a ameaça ao uso da água, principalmente o consumo humano, e em função da contaminação da mesma por organismos patogênicos e/ou produtos químicos; a Lei 9433/1997 em seu Artigo 2º Inciso I, assevera acerca da necessidade de se assegurar à atual e às futuras gerações a necessária disponibilidade de água, em padrões de qualidade adequados aos usos múltiplos. Tornando urgente, a preservação dos recursos hídricos e o sistemático e contínuo monitoramento da qualidade da água de forma universal no território brasileiro.

Conforme Almeida (2014), para se garantir esse objetivo da Política Nacional de Recursos Hídricos, e segurança para os usuários da água, o diagnóstico e o posterior monitoramento da qualidade das águas dos canais fluviais, são necessários para implementação, efetivação e execução dos planos de recursos hídricos, do enquadramento, da outorga e da cobrança pelo uso da água.

Apesar da importância do monitoramento da qualidade da água para a gestão dos recursos hídricos e o desenvolvimento dos usos possíveis com segurança adequada, frente a classe de qualidade; no Maranhão esse instrumento de gestão das águas, ainda não é realizado a contento.

No Estado do Maranhão, as iniciativas de monitoramento da qualidade da água, oficialmente só teve início no ano de 2016, quando o Estado aderiu ao Programa de Estímulo à Divulgação de Dados de Qualidade da Água - Qualiágua, da Agência Nacional da Água – ANA, executado pela Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Recursos Naturais –SEMA-MA.

O Estado está enquadrado através das metas de qualidade do Qualiágua, no grupo III, que reúne as unidades da federação, em que o monitoramento da qualidade da água é inexistente ou não está consolidado. Tendo como meta de monitoramento atual, o mínimo de seis parâmetros, sendo mensuradas as variáveis, temperatura, pH, oxigênio dissolvido, turbidez, condutividade elétrica e sólidos totais dissolvidos (BRASIL, 2016).

Mediante a importância dos recursos hídricos para a manutenção do equilíbrio ecológico do meio ambiente, da qualidade de vida e para o desenvolvimento das atividades sociais e econômicas. E frente a realidade de degradação que os mesmos vem sofrendo, o que coloca em risco a qualidade ambiental e a segurança, saúde e bem-estar da população em geral. Somado a isso o fato de no Estado do Maranhão os corpos d'água não estarem enquadrados em classes e não haver um programa de monitoramento de qualidade da água que utilize variáveis físico-químicas e biológicas, entende-se que a pesquisa apresenta grande relevância.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Investigar a qualidade da água do Rio Itapecuru no baixo curso e as implicações na saúde humana e usos múltiplos.

2.2 Objetivos Específicos

- Caracterizar a cobertura e uso da terra na bacia hidrográfica do rio Itapecuru, no município de Itapecuru-Mirim.
- Mensurar o índice de qualidade da água no baixo curso do rio Itapecuru, no limite territorial do município de Itapecuru-Mirim.
- Determinar o índice de conformidade ao enquadramento e apontar os tipos de usos da água que podem ser desenvolvidos, em conformidade com a qualidade da água, mediante classe de enquadramento dos corpos hídricos.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 A Água no Mundo e no Brasil

O aumento no consumo da água em escala planetária tem levado a problemas de escassez e a conflitos de usos em vários países do mundo, segundo o Relatório Mundial das Nações Unidas sobre Desenvolvimento dos Recursos Hídricos, da Organização das Nações Unidas para a Educação, Ciência e Cultura (UNESCO), lançado em 2019, mais de 2 bilhões de pessoas vivem em países que experimentam problemas relacionados à disponibilidade de água.

Estimativas recentes mostram que 31 países experimentam estresse hídrico entre 25% (que é definido como o patamar mínimo) e 70%. Outros 22 países estão acima do nível de 70% e, por isso, encontram-se em uma situação grave de estresse hídrico. Atualmente, estima-se que 3,6 bilhões de pessoas (quase metade do população) vivem em áreas potencialmente escassas em água pelo menos um mês por ano, e essa população poderia aumentar para 4,8 a 5,7 bilhões em 2050 (Organização das Nações Unidas - ONU, 2018).

O Brasil é um país privilegiado quanto à disponibilidade hídrica, no entanto a ocorrência da água é desigual no território e ao longo dos meses do ano, bem como a demanda

por sua utilização e a infraestrutura hídrica adequada para o seu aproveitamento e conservação. Num dos países mais ricos em água doce do planeta, as cidades enfrentam crises de abastecimento, das quais não escapam nem mesmo as localizadas na Região Norte, onde estão perto de 80% das descargas de água dos rios do Brasil (REBOUÇAS, 2003; Agência Nacional das Águas - ANA, 2019).

A demanda por uso de água no Brasil é crescente, com aumento estimado de aproximadamente 80% no total retirado de água nas últimas duas décadas. A previsão é de que, até 2030, a retirada aumente 24% (ANA, 2019).

O histórico da evolução dos usos da água está diretamente relacionado ao desenvolvimento econômico e ao processo de urbanização do país. O total de consumo de água no Brasil é de 1.158 m³/s (média anual), desse total a irrigação responde por 68,4%, abastecimento animal 10,8%, indústria 8,8%, abastecimento urbano 8,6%, abastecimento rural 2,4%, mineração 0,8% e termelétricas 0,2% (ANA, 2018).

3.2 Qualidade da água, implicações nos usos e na saúde

3.2.1 Qualidade da água

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. Apesar dos melhoramentos na eficiência do uso da água em muitos países desenvolvidos, a demanda pela água doce tem continuado a crescer, na 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 (SOUZA et al., 2014).

Dessa forma, a água doce no Brasil encontra-se ameaçada pelo crescimento da população, ocupação desordenada do solo e desenvolvimento industrial e tecnológico, tendo na ausência de saneamento básico um dos principais mecanismos de comprometimento da qualidade dessa água, resultando em um quadro de poluição hídrica que limita os usos e aguça os conflitos pelo uso da água (MACHADO, 2003; ANA, 2017a).

3.2.2 Implicações da qualidade da água nos usos

A qualidade das águas superficial de rios, córregos e lagos é um fator que determina sua disponibilidade para diversos usos, tais como o abastecimento humano, recreação, produção de alimentos e industrial. Contudo, o agravamento de problemas como aumento e exacerbação das fontes de contaminação, alteração das fontes de recursos hídricos, ausência e/ou deficiência do

saneamento ambiental, ineficiência de governança dos recursos hídricos, estão relacionados à limitação de alguns usos da água que pode interferir na saúde humana, qualidade ambiental e do desenvolvimento econômico e social (TUNDISI, 2008; ANA, 2017a).

O conhecimento sobre a qualidade das águas é primordial para que seja feita sua correta gestão e para que os usos múltiplos das águas, preconizado pela Política Nacional de Recursos Hídricos, seja alcançado, de forma a garantir a saúde, a segurança e o bem-estar da população. Tendo em vista que a existência de água dentro dos padrões de qualidade, é requisito essencial para a manutenção da saúde pública, dos ecossistemas aquáticos e para a maioria dos usos consuntivos e não consuntivos (REBOUÇAS, 2002; ANA, 2012, 2019).

A degradação da qualidade das águas, causam impactos de dimensões ambientais, sociais e econômicas, que se traduzem, entre outros, na restrição e limitação dos usos múltiplos da água, na perda da biodiversidade, no aumento de doenças de veiculação hídrica, no aumento do custo de tratamento das águas destinadas ao abastecimento doméstico e ao uso industrial, na perda de produtividade na agricultura, pecuária e aquicultura, na redução da pesca e na perda de valores turísticos, culturais e paisagísticos (TUNDISI, 2006; TUCCI e MENDES, 2006; ANA, 2012).

3.2.3 Implicações da qualidade da água na saúde

A degradação da água dos corpos hídricos que passam por áreas urbanas, é desencadeada pela falta de saneamento básico, principalmente no tocante a coleta e tratamento de esgoto, haja vista, a população urbana do País: 43% possuem seu esgoto coletado e tratado e 12% utilizam-se de solução individual, ou seja, 55% da população urbana brasileira pode ser considerada provida com atendimento adequado à luz dos conceitos do PLANSAB; 18% têm seu esgoto coletado e não tratado, o que pode ser considerado como um atendimento precário; e 27% não possuem coleta nem tratamento, isto é, sem atendimento por serviço de esgotamento sanitário (ANA, 2019).

O investimento em tratamento de água é muito menor que o necessário para proteger aqueles que padecem de doenças de veiculação hídrica. No entanto, o tratamento dos resíduos líquidos e sólidos que poluem a água e degradam o meio ambiente, de maneira geral ainda não alcança a devida prioridade da maioria dos governos. Relatório do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento – SNIS - BRASIL (2014), atesta que pouco mais de 94 milhões de brasileiros têm acesso aos serviços de coleta de esgotos. O nível efetivo de tratamento desses esgotos, contudo, se situa em patamar muito inferior ao coletado, em virtude da baixa eficiência dos sistemas de tratamento (CIRILO, 2015).

Os recursos hídricos poluídos por descarga de resíduos humanos e de animais transportam grande variedade de patógenos, entre eles bactérias, vírus e fungos ou organismos multicelulares, que podem causar doenças gastrointestinais. A contaminação e o aumento de vetores de doenças de veiculação hídrica e das substâncias tóxicas na água estão diretamente relacionados com o saneamento básico e condições inadequadas de tratamento das águas contaminadas por vários processos, situação que causam inúmeros impactos diretos ou indiretos na saúde humana (TUNDISI, 2005, 2006).

As bactérias patogênicas que em geral são detectadas em água contaminada são *Shigella*, *Salmonella*, *Campylobacter*, *Escherichia Coli* Tóxica, *Vibrio* e *Yersinia*, *Mycobacterium*, *Pasteurella* e outras; dentre os agentes virais destacam-se vírus da hepatite, do rotavírus e antero vírus, do parvovírus e gastroenterite tipo A; dos protozoários patogênicos mais representativos, *Giardia* sp., *Entamoeba* sp., *Cryptosporidium*; dentre as verminoses, *Taenia saginata*, *Ascaris lumbricoides*, várias espécies de *Schistosoma* e *Ancylostoma* moderada (MEYBECK et al., 1989; HACHICH et al., 2001 apud TUNDISI, 2005).

Segundo BRASIL (2017), 83,5% dos brasileiros são atendidos com abastecimento de água tratada, e são quase 35 milhões sem o acesso a este serviço básico. 52,36% da população têm acesso à coleta de esgoto, e quase 100 milhões de brasileiros não têm acesso a este serviço. Em 2013, segundo o Ministério da Saúde (DATASUS), foram notificadas mais de 340 mil internações por infecções gastrointestinais no país; mais de 14 milhões de casos de afastamento por diarreia ou vômito e 391 mil internações por conta de doenças gastrointestinais infecciosas.

Com base em dados da OPAS – Organização Pan-Americana de Saúde (2018), as doenças diarreicas ocupam a nona posição entre as dez principais causas de morte no mundo. Apesar da taxa de mortalidade por doenças diarreicas ter diminuído para quase a metade entre 2000 e 2016, essas enfermidades causaram 1,4 milhão de mortes em 2016. O consumo ou contato com água poluída ou não tratada adequadamente, é responsável por quase 90% dos episódios anuais de diarreia em todo o mundo (CAMDESSUS et al., 2005).

No Brasil, os principais problemas de saúde pública associados à água são: doenças diarreicas, doenças transmitidas por vetores (como malária e dengue), esquistossomose e outras helmintoses, leptospirose e intoxicação por cianotoxinas, estas decorrentes da presença de algas tóxicas em reservatórios utilizados para abastecimento e que podem gerar sérias doenças neurológicas e surgimento de tumores (CIRILO, 2015). Na tabela 01, são mostradas as principais doenças humanas transmitidas por veiculação hídrica.

Tabela 01: Doenças humanas transmitidas por veiculação hídrica

Doença	Agente infeccioso	Tipo de organismo	Sintomas
Cólera	<i>Vibrio cholerae</i>	Bactéria	Diarreia severa e grande perda de líquido
Desintéria	<i>Shigella dysintariae</i>	Bactéria	Infecção do cólon e dores abdominais mais intensas
Enterite	<i>Clostridium perfringes</i> e outra bactéria	Bactéria	Inflamação do intestino delgado; diarreia; dores abdominais
Febre tifoide	<i>Salmonela typhi</i>	Bactéria	Dor de cabeça; perda de energia; hemorragia intestinal; dores abdominais
Hepatite infecciosa	Hepatite, Vírus A	Vírus	Inflamação do fígado; vômito e febre; perda de apetite
Poliomielite	Polivírus	Vírus	Febre, diarreia, dores musculares; paralisia e atrofia dos músculos
Criptosporidiose	<i>Cryptosp. oridium</i>	Protozoário	Diarreia e dores abdominais
Desintéria amebiana	<i>Etamoeba lytolitica</i>	Protozoário	Infecção do cólon; diarreia e dores abdominais
Esquistossomose	<i>Schistosoma sp.</i>	Verme	Doença tropical do fígado; diarreia; perda de energia; fraqueza; dores abdominais intensas
Ancilostomíase	<i>Ancylostoma sp.</i>	Verme	Anemia severa
Malária	<i>Anopheles sp.</i>	Protozoário	Febre alta
Febre amarela	<i>Aedes sp.</i>	Vírus	Febre alta; Anemia
Dengue	<i>Aedes sp.</i>	Vírus	Febre alta; Anemia

Fonte: RAVEN et al., 1998 apud TUNDISI, 2005.

3.3 Bacia hidrográfica do rio Itapecuru

As bacias hidrográficas podem ser consideradas como, toda área terrestre definida e fechada topograficamente, tendo como referência um curso d'água principal, de forma que toda a vazão afluyente, formada por uma sequência de ribeiros e rios, possa ser medida ou descarregada através desse curso d'água central e venha a desembocar numa única foz, estuário ou delta (GARCEZ, 1988; YOSHIDA, 2007).

Maranhão é um estado detentor de grande potencial hídrico no país e, especialmente na região Nordeste, possuindo dez bacias e mais dois sistemas hidrográficos. As bacias hidrográficas maranhenses drenam em torno de 202.203,50 km² (60,90%) da área do Estado, por meio dos rios Mearim, Itapecuru, Munim, Turiaçú, Maracaçumé, Preguiças e Peria cuja

denominação foi estendida às bacias, considerando ser esses rios os principais cursos d'água das respectivas redes de drenagem (NUGEO, 2016). Conforme demonstrado na tabela 02 e figura 01.

Tabela 02: Regiões Hidrográficas do Estado do Maranhão

Regiões Hidrográficas (PNRH, MMA- ANA, 2006)	Regiões Hidrográficas do Maranhão	Área (km ²)	% sobre o Estado
Domínio Estadual			
Subtotal-1		216.034,34	65,07
	Sistema hidrográfico do Litoral Occidental	10.226,22	3,08
	Sistema hidrográfico das Ilhas Maranhenses	3.604,62	1,09
	Bacia hidrográfica do Rio Mearim	99.058,68	29,84
	Bacia hidrográfica do Rio Itapecuru	53.216,84	16,03
Região hidrográfica do AtlânticoNordeste Occidental	Bacia hidrográfica do Rio Munim	15.918,04	4,79
	Bacia hidrográfica do Rio Turiaçu	14.149,87	4,26
	Bacia hidrográfica do Rio Maracaçumé	7.756,79	2,34
	Bacia hidrográfica Rio Preguiças	6.707,91	2,02
	Bacia hidrográfica do Rio Peria	5.395,37	1,62
Domínio Federal			
Subtotal-2		115.948,95	34,06
Região hidrográfica do Parnaíba	Bacia hidrográfica do Rio Parnaíba	66.449,09	20,02
Região hidrográfica do Araguaia-Tocantins	Bacia hidrográfica do Rio Tocantins	30.665,15	9,24
Região hidrográfica do AtlânticoNordeste Occidental	Bacia hidrográfica do Rio Gurupi	15.953,91	4,8
	Água Limítrofe do Litoral	2.880,80	0,87
TOTAL		331.983,29	100,00

Fonte: Núcleo Geoambiental (UEMA/NUGEO, 2011), Agência Nacional das águas (ANA, 2006).

Figura 01: Mapa das bacias e sistemas hidrográficos do Estado do Maranhão.



Fonte: Núcleo Geoambiental (UEMA/NUGEO, 2010) apud Núcleo Geoambiental (UEMA/NUGEO, 2016).

A bacia hidrográfica do rio Itapecuru, compreendida dentro do domínio territorial do Estado do Maranhão, integra a Região Hidrográfica Atlântico Nordeste Ocidental (RH Atlântico Nordeste Ocidental) que está representada pela porção mais densamente povoada do Estado. A RH é a terceira menor do país com 274.301 km², sendo que 86% dessa área estão inseridos no Maranhão. O restante da RH localiza-se na bacia do rio Gurupi e numa faixa litorânea de bacias difusas e de influência marinha no Estado do Pará; no Estado do Maranhão os principais rios que compõem essa região hidrográfica são o rio Itapecuru e o rio Mearim. (ANA, 2012).

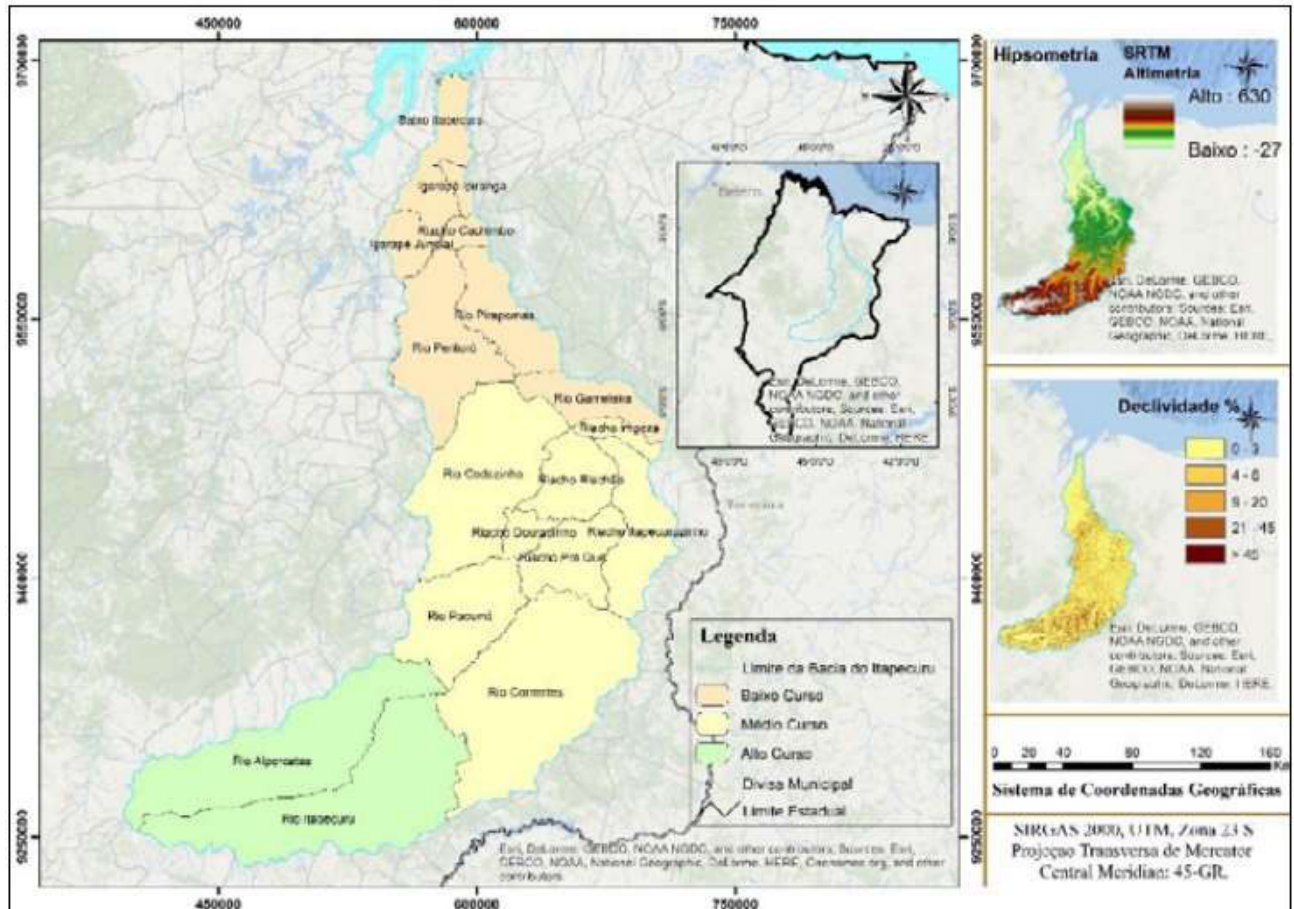
Com base no IBGE (1998), a bacia hidrográfica do rio Itapecuru situa-se na parte centro-leste do Estado do Maranhão, entre as coordenadas de 2°51'33'' a 6°52'22'' Latitude S e 43°02'49 a 45°58'57'' Longitude W, limita-se ao sul e leste com a bacia hidrográfica do rio Parnaíba através da Serra do Itapecuru, Chapada do Azeitão e outras pequenas elevações, a oeste e sudoeste com a bacia hidrográfica do rio Mearim e a noroeste com a bacia hidrográfica do rio Munim.

Essa bacia hidrográfica possui área de 53.216,84 km², o que equivale a 16,03% da área do Estado, representando a segunda maior BH do Maranhão atrás apenas da bacia hidrográfica do Rio Mearim com área de 99.058,68 km². O principal rio é o Itapecuru, que nasce no sul do Estado no sistema formado pelas Serras da Croeira, Itapecuru e Alpercatas, em altitude de aproximadamente 530 m, percorre cerca de 852,71 km, desaguando na baía do Arraial, a Sudeste da Ilha do Maranhão (NUGEO, 2016).

Os principais afluentes da margem direita são os rios Correntes, Pirapemas, Itapecuruzinho e os riachos Seco, do Ouro, Gameleira, Cachimbo e Guariba. Pela margem esquerda destacam-se os rios Alpercatas, Peritoró, Pucumã, Baixão do Vigia, Baixão da Bandeira, Douradinho, Olho D'água, Codozinho, dos Porcos, e Igarapé Grande, além dos riachos, São Felinha, da Prata e dos Cocos (NUGEO, 2011).

A bacia do rio Itapecuru comporta 57 municípios, dos quais 37 têm suas sedes dentro dos limites dessa rede de drenagem e 20 fora dela, a figura 02 mostra sua localização no estado e a distribuição dos municípios dentro da sua área (NUGEO, 2016). O número de habitantes é de 1.019.398 (15,5%) da população maranhense, destes, 640.909 (62,9%) estão na área urbana e 378.489 (37,1%) na zona rural. Os municípios de Caxias, Codó, Colinas, Coroatá, Dom Pedro, Itapecuru-Mirim e Timbiras concentram o maior número de habitantes (IBGE, 2010).

Figura 02: Mapa de localização da bacia hidrográfica do rio Itapecuru



Fonte: SNIS (2015) apud IMESC (2019)

Com base em Bezerra (1984) apud Alcântara (2004), o rio Itapecuru pode ser caracterizado fisicamente em 3 regiões distintas: Alto, Médio e Baixo curso.

Alto Itapecuru - vai da nascente até o município de Colinas. Geomorfologicamente há uma predominância de chapadões, chapadas e cuestas, apresentado um relevo forte ondulado compondo as partes mais elevadas (350 metros) da baía com as serras de Itapecuru, Alpercatas, Croeira e Boa Vista.

Médio Itapecuru - vai do município de Colinas até o município de Caxias. Esta área apresenta uma situação morfológica denominada testemunhos, onde predomina o relevo de chapadas baixas e uma superfície suave ondulado a forte ondulado, com uma diferença de altitude de 60 metros.

Baixo Itapecuru - vai do município de Caxias até a foz, na Baía do Arraial. Essa área possui uma geomorfologia caracterizada pela presença da superfície maranhense com testemunho e na sua foz pelo Golfão Maranhense, com um relevo de superfície suave ondulado.

Esta bacia situa-se numa zona de transição dos climas semiáridos do interior do Nordeste para os úmidos equatoriais da Amazônia; com base no índice de umidade de

Thornthwaite encontra-se: clima úmido no baixo curso do rio, clima úmido a sub-úmido no curso médio e clima sub-úmido a seco no alto curso; o que é refletido nas formações vegetais que transicionam da Savana (Cerrado) no sul, para Floresta Estacional Decidual e Semidecidual, na parte norte da bacia (IBGE, 1998).

A bacia hidrográfica em questão apresenta terrenos sedimentares, localizada no domínio da bacia sedimentar do Parnaíba, compostos principalmente pelas sequências de arenitos, siltitos e argilitos; nesses terrenos foram esculpidos os chapadões da alta bacia recobertos por latossolos, os planaltos dissecados na parte central apresentam solos latossólicos e podzólicos concrecionários e a superfície rebaixada na parte norte, ocorre os plintossolos concrecionários (IBGE, 1997).

A rede de drenagem do Itapecuru apresenta como principais sistemas aquíferos, os representados pelas formações Mutuca, Sambaíba, Corda e Itapecuru. Em conjunto essas formações podem ser consideradas como um único sistema aquífero livre (IBGE, 1998).

A bacia do Itapecuru possui uma importância muito grande em função dos serviços ambientais que propicia, sobretudo o fornecimento de água para uma região representativa do Estado do Maranhão, da qual se faz variados usos, um uso em especial merece destaque, o abastecimento humano, muitas são as cidades que utilizam a água desse rio para esse fim. Essa bacia é responsável diretamente pelo abastecimento urbano na Grande São Luís (Sistema produtor do Itapecuru-Italuís) e Bacabeira, através de sistema isolado, dos municípios de Cantanhede e Miranda do Norte mediante sistema integrado (IMESC, 2019).

Nas bacias hidrográficas do Estado do Maranhão, as atividades antrópicas são praticadas na grande maioria dos casos sem o devido planejamento, tendo como consequência a superexploração e a degradação dos recursos ambientais. O crescimento das cidades e das atividades econômicas, quando ocorrem de maneira desordenada, potencializam a supressão de áreas verdes, os processos erosivos e a deterioração da qualidade da água, no caso da bacia do rio Itapecuru cuja área abrange 57 municípios, com 37 deles tendo suas sedes dentro da área da referida bacia e 11 dos mesmo localizados a margem do rio Itapecuru, a situação se agrava ainda mais e requer mais atenção quanto ao planejamento ambiental e uso dessa bacia hidrográfica (MASULLO et al., 2019 ; SOARES, 2016).

Em virtude do crescimento das cidades e do lançamento *in natura* dos dejetos sólidos e líquidos, o rio Itapecuru vem sendo submetido nos últimos anos de forma bastante significativa a um processo de degradação ambiental, caracterizado pelo aumento das atividades dos aglomerados urbanos localizados em sua área de drenagem, processo de erosão, assoreamento, redução da cobertura vegetal (SILVA; CONCEIÇÃO, 2011).

No entorno das cidades, o rio Itapecuru sofre contínuos e graves danos, em função principalmente da poluição da sua água, causada especialmente por lançamento de efluentes domésticos e industriais, carregados por canais fluviais que cortam a zona urbana e lançam suas águas diretamente em seu leito. Esse problema é desencadeado dentre outras coisas pela falta de saneamento básico (VALE et al., 2014).

São diversos e de grande magnitude os problemas ambientais que o rio Itapecuru apresenta ao longo de praticamente todo o seu curso, sobretudo nas últimas três décadas em função do crescimento econômico que impulsiona o avanço da urbanização das cidades em suas margens, podendo destacar, destruição da mata ripária, redução da biodiversidade, assoreamento, processos erosivos, ocorrência de inundações, ampliação de áreas de risco, degradação da qualidade da água e alteração do sistema hidrográfico, sendo esses problemas agravados nos trechos que passa por áreas urbanizadas (VALE et al., 2014; SOARES, 2016; MASULO et al., 2019).

3.3.1 Baixo curso do rio Itapecuru

O baixo curso é a parcela do sistema fluvial onde há a coexistência de processos fluviais e marinhos, situação esta que pode gerar um ambiente estuarino. Observa-se grandes variações espaciais devido à oscilação das marés e da descarga de água doce (IMESC, 2019).

O baixo curso do rio Itapecuru compreende o trecho que se estende do Município de Caxias até a foz do Itapecuru, na Baía do Arraial, com uma extensão de aproximadamente 360 km. O desnível total ao longo desse trecho é de 50 m, atingindo declividade média de aproximadamente 14 cm/km e largura de até 130 metros (MEDEIROS, 2001 apud SOARES, 2016).

Abrange aproximadamente 12.090 km², representando cerca de 22,7% da bacia hidrográfica. Dividida em 7 sub-bacias (Baixo Itapecuru: rio Peritoró; Igarapé Ipiranga; Igarapé Jundiaí; rio Cachimbo; rio Gamaleira e rio Pirapemas), abrangendo área em 26 municípios, como mostra a tabela 03 e contabilizando aproximadamente 500 mil habitantes segundo dados do IBGE (IMESC, 2019).

Tabela 03: Relação de municípios e percentual de abrangência na região do baixo curso da bacia hidrográfica do Itapecuru

MUNICÍPIOS	%
Aldeias Altas	9,6
Alto Alegre do Maranhão	3,2
Bacabal	0,5
Bacabeira	0,8

Cantanhede	6,4
Capinzal do Norte	2,3
Caxias	1,3
Codó	6,3
Coroatá	18,2
Itapecuru-Mirim	9,2
Lima Campos	0,1
Matões do Norte	5,5
Miranda do Norte	2
Peritoró	6,3
Pirapemas	5,7
Rosário	5,2
Santa Rita	3,6
São Luís Gonzaga do Maranhão	2
São Mateus	2,3
Timbiras	8,1
Vargem Grande	1,4

Fonte: IMESC, 2019

Todos os problemas ambientais presentes na bacia hidrográfica do rio Itapecuru elencados, se apresentam de forma mais pronunciada no baixo curso dessa bacia, haja vista que, é uma região muito populosa contando com aproximadamente 500 mil habitantes e que concentra nas margens desse rio importantes cidades como, Caxias, Codó, Coroatá, Itapecuru-Mirim e Rosário, e como já fora comentado, as áreas urbanizadas ao longo da bacia são os locais onde a um aumento e agravamento dos problemas ambientais; as figuras 03 e 04 representam bem a degradação do rio Itapecuru na cidade de Itapecuru-Mirim, causada pelo disposição de resíduos sólidos em suas margens e lançamento de efluentes em suas águas.

Figura 03: Margem do rio Itapecuru



Fonte: Autor, 2018

Figura 04: Margem do rio Itapecuru



Fonte: Autor, 2018

Na cidade de Itapecuru-Mirim essa realidade se apresenta de forma representativa, entendendo que a bacia do rio Itapecuru atravessa todo o território do município e por conta disso, vem sofrendo com os problemas ambientais que ocorrem nessa bacia, uma situação bem característica que merece destaque é a ocupação das margens do rio Itapecuru, que leva a supressão da vegetação, perda de biodiversidade, ao assoreamento, processos erosivos e a degradação da qualidade da água, que é ocasionada pela disposição de efluentes domésticos e industriais *in natura* nesse rio. É como assevera Vale et al. (2014), no entorno das cidades, o rio Itapecuru sofre contínuos e graves danos, em função principalmente da poluição da sua água, causada especialmente por lançamento de efluentes domésticos e industriais, carregados por canais fluviais que cortam principalmente a zona urbana e lançam suas águas diretamente em seu leito. Esse problema é desencadeado dentre outras coisas pela falta de saneamento básico.

Essa realidade é confirmada tendo como base dados do Atlas Água e Esgoto da ANA de 2013, no qual a cidade de Itapecuru-Mirim apresenta 37 % da população urbana atendida com fossa séptica, 0% com coleta e tratamento, 4% com coleta sem tratamento e 59% sem coleta e sem tratamento. Dessa forma, tem-se 37% dos domicílios com esgotamento sanitário adequado e 63% com esgotamento sanitário inadequado. Considera-se tratamento adequado do esgoto, a solução coletiva, isto é, quando o esgoto é coletado e tratado e fossas sépticas (solução individual).

3.4 Cobertura e uso da terra em bacias hidrográficas

O levantamento da cobertura e do uso da terra indica a distribuição geográfica da tipologia de uso, identificada por meio de padrões homogêneos da cobertura terrestre. Envolve aquisição, análise e interpretação de imagens de satélites, pesquisas de escritório e de campo,

voltadas para a produção e registro de observações da paisagem, concernentes aos tipos de uso e cobertura da terra, visando sua classificação e espacialização por meio de cartas (IBGE, 2013).

As técnicas de sensoriamento remoto e de geoprocessamento, tornaram-se ferramentas úteis e indispensáveis no monitoramento da dinâmica de uso e ocupação das terras, pelo fato de propiciar maior frequência na atualização de dados, agilidade no processamento e viabilidade econômica (VAEZA et al., 2010).

As alterações sobre o uso e manejo do solo da bacia podem ser classificadas quanto ao tipo de mudança na cobertura e uso da terra e à forma que provoca a alteração da superfície, o desmatamento geralmente tende a ser o tipo de alteração pioneira e que causa grandes problemas no ambiente, como aumento do escoamento superficial, diminuição da infiltração da água, maior carreamento de sedimentos, assoreamento de corpos d'água, aumento da turbidez da água; a urbanização e impermeabilização do solo, produção agropecuária, são outros significativos problemas gerados para o equilíbrio ecológico em função da mudança na cobertura e uso da terra em bacias hidrográficas (TUCCI e MENDES, 2006).

A degradação da qualidade da água pode resultar de múltiplas atividades de uso e ocupação do solo, que podem ser desenvolvidas de forma pontual ou difusa. Os atributos, uso da cobertura do solo, potencial erosivo e qualidade dos recursos hídricos das bacias hidrográficas estão fortemente relacionados entre si e com os demais componentes desta unidade funcional. Assim alguns usos são potencialmente comprometedores da qualidade dos recursos hídricos, seja pela ampliação da carga de sedimentos em suspensão resultantes do processo de erosão ou pela emissão de resíduos líquidos e sólidos (SOARES, 2016).

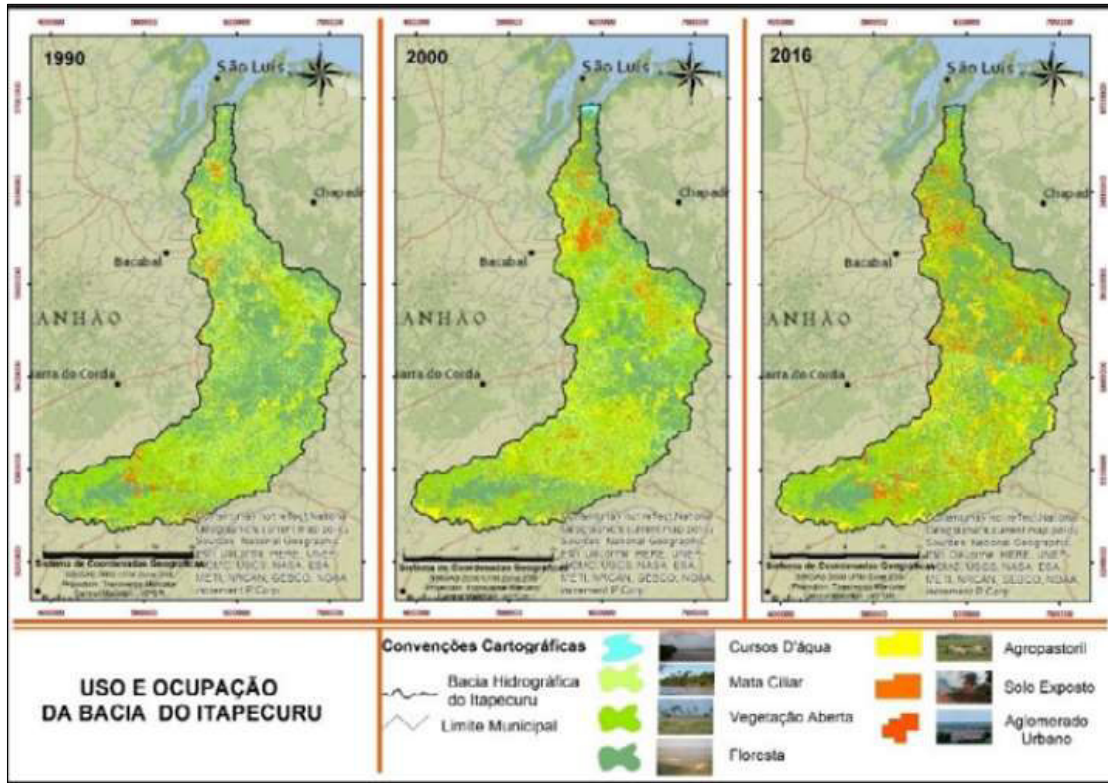
3.4.1 Cobertura e uso da terra no baixo curso da bacia hidrográfica do rio Itapecuru

O tipo de uso reflete diretamente na cobertura da terra das bacias hidrográficas, na bacia hidrográfica do rio Itapecuru, percebe-se uma grande mudança no padrão da cobertura da terra, determinada principalmente pelo processo de urbanização, atividade agrossilvipastoril, mineração e outros. O que leva a frequente deterioração do ambiente natural, gerando vários problemas ambientais, dentre os mais graves, têm-se a destruição da vegetação natural, alteração do sistema hidrográfico e degradação da qualidade da água. (VALE et al., 2014).

A partir do processamento das imagens de satélite, consegue-se identificar as alterações na dinâmica da paisagem na bacia hidrográfica do rio Itapecuru, decorrentes da ocupação desordenada do alto ao baixo curso, que se configuram em diferentes modelos. Ressalta-se que a fragmentação e destruição de áreas de florestas decorrentes do aumento de áreas de pastagens, de cultivos agrícolas (principalmente monoculturas) e da expansão urbana influenciaram

diretamente na perda de habitat e, conseqüentemente, o isolamento e diminuição da oferta de recursos, situação que pode ser observada na figura 05 (IMESC, 2019).

Figura 05: Mapa de uso e ocupação da bacia do rio Itapecuru 1990, 2000 e 2016



Fonte: IMESC, 2019.

Com a implantação de grandes empreendimentos a partir de 1990 e da expansão do agronegócio, houve grande dispersão da ocupação do baixo e médio curso da bacia hidrográfica do rio Itapecuru, com destaque para os municípios de Itapecuru-Mirim, Coroatá, Caxias e Codó. Desse modo, no período analisado entre 1990 e 2016, pode-se constatar um expressivo crescimento da urbanização, mas sobretudo, das áreas destinadas as atividades do agronegócio, realidade que fica evidenciada nos dados da tabela 04, consolidando a tendência para a transição gradual do estado arbóreo (floresta) para o arbustivo e herbáceo (vegetação aberta) (IMESC, 2019).

Tabela 04: Comparativo percentual dos tipos de uso e cobertura da terra da bacia hidrográfica do rio Itapecuru, 1990 a 2016

Feição	1990 (%)	2000(%)	2016(%)
Mata Ciliar	21,9	17,3	16,5
Agropastoril	10,7	12,9	14,2
Vegetação aberta	21,9	33,5	45
Floresta	41,1	27,9	17

Solo exposto	3	4,8	1,4
Área edificada	0,7	2,2	5,7

Fonte: IMSC, 2019.

Destaca-se o crescimento da área coberta por vegetação aberta e por atividades agrícolas e pecuária de aproximadamente 26,6 pontos percentuais. Isso significa que por ano cerca de 535 km² ou 53,5 mil hectares em média, são convertidas em pastagem ou áreas destinadas a agricultura na bacia hidrográfica do rio Itapecuru. No período analisado nota-se elevação de 5% de área edificada, enquanto identifica-se redução de 29,5 pontos percentuais na área coberta por vegetação arbórea e mata ciliar (IMESC, 2019).

O baixo curso do rio Itapecuru, abrange 12.090 km², representando cerca de 22,7% da bacia hidrográfica. Dividida em 7 sub- -bacias (Baixo Itapecuru; rio Peritoró; Igarapé Ipiranga; Igarapé Jundiá; rio Cachimbo; rio Gamaleira e rio Pirapemas), abrangendo área em 26 municípios e contabilizando aproximadamente 500 mil habitantes segundo dados do IBGE.

Com relação ao uso e cobertura da terra dessa região, nota-se uma redução muito significativa nas feições floresta e mata ciliar 24,9% e um aumento expressivo da vegetação aberta e da área edificada 28,3%, como mostrado na tabela 05; panorama que demonstra uma dispersão da ocupação dessa área e uma mudança no uso e cobertura da terra, que está associada a tensões e degradação ambiental, refletindo diretamente na qualidade da água desse corpo hídrico (IMESC, 2019).

Tabela 05: Comparativo percentual dos tipos de uso e cobertura da terra no baixo curso da bacia hidrográfica do rio Itapecuru, 1990 a 2016

Feição	1990 (%)	2000(%)	2016(%)
Mata Ciliar	26	16,2	15,3
Agropastoril	14,2	11,1	13
Vegetação aberta	12,2	29,7	31,7
Floresta	42,4	29,1	28,2
Solo exposto	3,2	6,4	1
Área edificada	1,5	5,4	10,3

Fonte: MASULLO et al., 2019.

3.5 Índice de qualidade da água – IQA

Os índices e indicadores ambientais surgiram como resultado da crescente preocupação social com os aspectos ambientais do desenvolvimento. Esse processo requer um número cada vez maior de informações com distintos graus de complexidade (MARQUES et al., 2007).

Uma importante ferramenta existente para abordagem da qualidade de água dos mais variados corpos hídricos é o índice de qualidade de água (IQA), o qual é usado nas suas várias formas como uma metodologia integradora, por converter várias informações num único resultado numérico (ALMEIDA; SCHWARZBOLD, 2003).

Trata-se de um instrumento matemático usado para transformar um conjunto de dados fornecidos por variáveis, físicas, químicas e biológicas, em uma representação numérica do nível de qualidade de água em um determinado trecho de rio (SIQUEIRA et al., 2012).

Transformando-se em um mecanismo de mensuração da qualidade da água superficial, com ampla utilização em todo o mundo, sendo desenvolvido para avaliar a qualidade da água bruta, visando seu uso para o abastecimento público após tratamento. Tendo os parâmetros utilizados no seu cálculo, em sua maioria, como indicadores de contaminação causada pelo lançamento de esgotos domésticos (ALMEIDA; SCHWARZBOLD, 2003; ANA, 2018).

O índice de qualidade das águas (IQA) foi desenvolvido pela National Sanitation Foundation em 1970 e adaptado pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (Cetesb) em 1975. Hoje existem outros IQA's NSF que também foram adaptados e estão sendo usado no monitoramento da qualidade da água de corpos hídricos no Brasil, com destaque a utilizados nos estados de Minas Gerais e do Paraná, que apresentam diferenças em relação ao IQA adaptado pela CETESB, no tocante a faixa dos valores que indicam o enquadramento da classe do IQA e ao tipo de variáveis utilizadas (ANA, 2012).

Após quase 50 anos do seu desenvolvimento e de intensa utilização no monitoramento de corpos hídricos continentais, o IQA encontra-se amplamente difundido na literatura. Terrado (2010) indicou um quantitativo de 55 IQA's. Esses são mensurados em função das características físico-químicas, biológicas e hidro morfológicas do ambiente monitorado (SOARES et al., 2016).

O IQA é calculado pelo produtório ponderado das qualidades de água correspondente às variáveis que integram o índice.

A seguinte fórmula é utilizada:

$$IQA = \prod_{i=1}^n q_i^{w_i}$$

Onde:

IQA: índice de qualidade das águas, um número entre 0 a 100;

qi: qualidade do i-ésimo parâmetro, um número entre 0 a 100, obtido da respectiva “ curva média de variação de qualidade”, em função de sua concentração ou medida e,

w_i : peso correspondente ao i -ésimo parâmetro, um número entre 0 e 1, atribuído em função da sua importância para a conformação global de qualidade, sendo que:

Em que:

n : número de variáveis que entram no cálculo do IQA.

A partir do cálculo efetuado, pode-se determinar a qualidade das águas brutas, que é indicada pelo IQA, variando numa escala de 0 a 100, como mostra o quadro 01.

Quadro 01: Classificação do IQA

Categoria	Ponderação
ÓTIMA	80 a 100
BOA	52 a 79
REGULAR	37 a 51
RUIM	20 a 36
PÉSSIMA	0 a 19

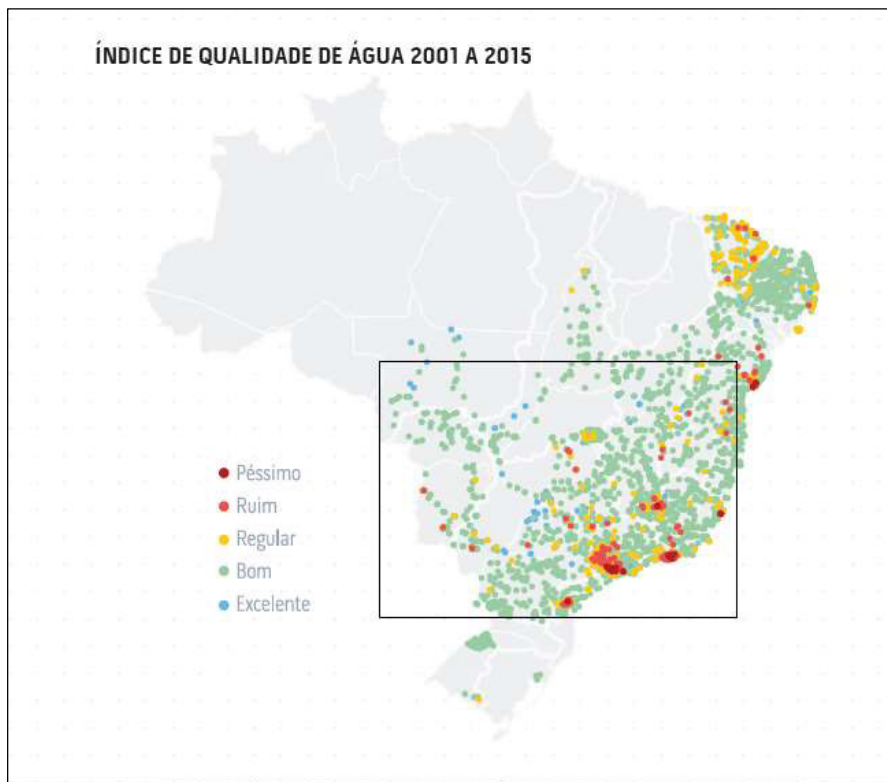
Fonte: CETESB, 2017.

Apesar do IQA ter grande aplicação a nível mundial, e no Brasil ser utilizado como índice de monitoramento da qualidade da água por 15 unidades da federação, e apresentar entre as vantagens a integração de diferentes variáveis, com distintas unidades de medida em um único número, fato que facilita sua interpretação; esse índice apresenta limitações por ter uma padronização das variáveis que podem ser mensuradas, deixando de incorporar vários parâmetros importantes para o abastecimento público tais como: substâncias tóxicas, a exemplo de metais pesados, pesticidas, compostos orgânicos com potencial mutagênico; substâncias que interferem nas propriedades organolépticas da água e potencial de formação de trihalometanos (SIMÕES et al., 2008 apud SOARES et al., 2016; LERMOTOV et al., 2009; ANA, 2012; SABESP, 2017).

Atualmente, o IQA é o índice de qualidade da água mais utilizado pelas Unidades da Federação do Brasil, no que se refere a monitoramento da qualidade da água. O IQA_CETESB incorpora nove variáveis consideradas relevantes para a avaliação da qualidade das águas, tendo como determinante principal a sua utilização para abastecimento público, considerando o tratamento convencional: oxigênio dissolvido, coliformes termotolerantes, pH, demanda bioquímica de oxigênio, temperatura, nitrogênio total, fósforo total, turbidez e sólidos totais. Portanto, outros usos da água não são diretamente contemplados no IQA. Sendo assim, qualquer análise dos dados do IQA deve sempre considerar essa limitação (ANA, 2012; CETESB, 2017).

A Agência Nacional das Águas – ANA, realizou uma série histórica do monitoramento da qualidade da água de corpos hídricos, de vários estados brasileiros utilizando o IQA, a maioria dos pontos apresentou IQA na categoria “Boa” no período de 2001 a 2015. O resultado foi “Ruim” ou “Péssimo” nos pontos de monitoramento situados nos corpos hídricos dos grandes centros urbanos, situação que pode ser observada pela distribuição dos pontos monitorados no mapa da figura 06 (ANA, 2017a).

Figura 06: Mapa com o monitoramento do IQA de 2001 a 2015



Fonte: ANA, 2017a.

Com base em levantamentos da Agência Nacional das Águas ANA (2017a), no Brasil até o ano de 2016, o monitoramento da qualidade da água, utilizando o IQA era realizado apenas nos estados de: Alagoas, Minas Gerais, Mato Grosso, Paraná, Rio de Janeiro, Rio Grande do Norte, Bahia, Ceará, Espírito Santo, Goiás, Mato Grosso do Sul, Paraíba, Pernambuco e São Paulo.

3.6 Índice de conformidade ao enquadramento -ICE

O enquadramento dos corpos d’água é o estabelecimento do nível de qualidade (classe), a ser alcançado ou mantido em um segmento de corpo d’água ao longo do tempo. O enquadramento busca assegurar às águas qualidade compatível com os usos mais exigentes a que forem destinadas e a diminuir os custos de combate à poluição das águas, mediante ações preventivas permanentes (BRASIL, 1997).

Mais que uma simples classificação, o enquadramento dos corpos d'água deve ser visto como um instrumento de planejamento, pois deve estar baseado não somente e necessariamente no seu estado atual, mas pode e deve levar em consideração os níveis de qualidade que deveriam possuir ou ser mantidos nos corpos hídricos, para atender às necessidades estabelecidas pela comunidade (ANA, 2007).

A classe do enquadramento de um corpo d'água, deve ser definida em um pacto acordado pela sociedade, levando em conta as suas prioridades de uso. A discussão e o estabelecimento desse pacto ocorrerão dentro do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos – SINGREH, estabelecido pela Lei das Águas (ANA, 2007).

De acordo com Silva (2017), o objetivo de qualidade da água deve ser estabelecido a partir da avaliação da condição atual corpo hídrico ("o rio que temos") e a verificação com as partes interessadas da qualidade desejada para aquele curso d'água ("o rio que queremos"). Além disso, é necessário definir as metas com todos os envolvidos, considerando os aspectos técnicos e econômicos para alcançá-las ("o rio que podemos ter").

Segundo Granziera (2001) apud ANA (2007), o enquadramento dos corpos d'água possui um sentido de proteção, não da água propriamente, mas da saúde pública, pois é evidente a preocupação em segregar a água que pode ser utilizada para, por exemplo, irrigar hortaliças que são consumidas cruas ou aquelas que servem para abastecimento público. Além disso, nota-se uma preocupação com o fator econômico, em relação aos custos de tratamento da água para abastecimento público, que são maiores nas classes de pior qualidade.

O enquadramento deve ser elaborado considerando as classes estabelecidas pela Resolução Conama nº 357 de 17 de março de 2005, que divide em 13 classes de qualidade das águas doces, salobras e salinas do território nacional. De acordo com o Art. 7º desta Resolução, os padrões de qualidade das águas estabelecem limites individuais para cada substância em cada classe de enquadramento. Apresenta tabelas específicas que indicam quais valores máximos ou mínimos que cada parâmetro deve respeitar, seja ele orgânico ou inorgânico, para cada classe de uso.

Uma forma de verificar se a qualidade da água de um corpo hídrico, está condizente com a classe de qualidade da água a qual foi enquadrado, é o índice de conformidade ao enquadramento (ICE), índice de qualidade da água, que foi adaptado pela ANA, a partir do IQA-CCME que foi desenvolvido em 1997 no Canadá pelos especialistas em recursos hídricos da Subcomissão Técnica de Qualidade da Água do Canadá, a Canadian Council of Ministers of the Environmental (CCME). O ICE é utilizado para indicar a condição de conformidade da qualidade da água do corpo hídrico ao enquadramento estabelecido pela legislação e a partir da

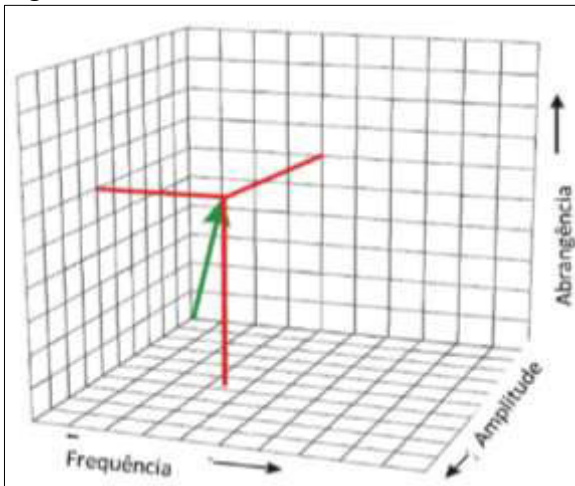
condição do enquadramento, tendo como referência a Resolução Conama nº 357 de 17 de março de 2005, determinar os usos da água que podem ser desenvolvidos nos corpos hídricos (SILVA, 2017).

O índice é composto pela combinação de três medidas de variância. Cada medida corresponde a uma das componentes de um vetor no espaço tridimensional. As medidas são escalonadas de forma que o comprimento do vetor varie entre 0 e 100. A formulação do ICE é fundamentada na comparação entre valores observados e os critérios estabelecidos por legislação, servindo de base para verificação da conformidade do enquadramento de corpos hídricos, ou sobre bases científicas a serem satisfeitos para cumprir o objetivo do monitoramento. O ato de comparar um valor observado com um critério estabelecido é chamado de teste (FINAZZI, 2012).

O teste calcula a variância de três fatores, conforme descrição abaixo e o modelo retratado na figura 07.

1. abrangência: número de parâmetros de qualidade da água que apresentam desconformidade com o enquadramento.
2. frequência: porcentagem de vezes em que a variável esteve em desconformidade com o padrão do enquadramento.
3. amplitude: diferença entre o valor observado e o valor desejado, no caso, limite do enquadramento.

Figura 07: Modelo conceitual do ICE



Fonte: Adaptado do CCME, 2001.

Uma vez determinado o valor do índice, estes são dispostos em um sistema de faixas de classificação para estabelecer a qualidade da água. O quadro 02 mostra as faixas de classificação estabelecidas na formulação original do índice.

Quadro 02: Classes do índice de conformidade ao enquadramento e seus significados

Valor do ICE	Classe	Significado
95-100	ÓTIMA	A qualidade da água está protegida com virtual ausência de impactos. A qualidade da água está muito próxima da condição natural. Estes valores de ICE somente podem ser obtidos se todas as medidas estiverem durante todo o tempo dentro dos padrões estabelecidos pelo enquadramento.
80-94	BOA	A qualidade de água está protegida, apresentando somente um pequeno grau de impacto. A qualidade da água raramente se desvia dos padrões estabelecidos pelo enquadramento.
65-79	REGULAR	A qualidade de água está protegida, mas ocasionalmente ocorrem impactos. A qualidade da água algumas vezes se desvia dos padrões estabelecidos pelo enquadramento.
45-64	RUIM	A qualidade de água está frequentemente afetada. Com frequência os parâmetros de qualidade da água não atendem os padrões estabelecidos pelo enquadramento.
0-44	PÉSSIMA	A qualidade de água quase sempre está alterada. Os parâmetros de qualidade frequentemente não atendem os padrões estabelecidos pelo enquadramento.

Fonte: Adaptado de CCME (2001) apud ANA (2012).

Para Finazzi (2012), devido a sua versatilidade o ICE tem atraído a atenção de alguns pesquisadores. Boyacioglu (2010) realizou um estudo modificando ICE para obter uma ferramenta de classificação de águas superficiais em função dos padrões definidos pela Legislação Europeia; Espejo et al. (2011) aplicou o ICE para mensurar a qualidade da água de irrigação no Chile; Lumb et al. (2011) publicou um trabalho no qual aborda as perspectivas futuras dos índices de qualidade de água e destaca o índice canadense, a sua crescente popularidade global e o considera como promessa em termos de melhorias para o futuro.

Silva (2017), destaca a utilização do ICE por alguns pesquisadores. Mercier et al. (2004) aplicou o ICE na Província Atlântica no Canadá; Mostafaei (2014) aplicou o ICE no rio Kashkan, localizado no oeste do Irã; Lumb et al. (2006) utilizaram o Índice de Qualidade da Água do CCME para monitorar as mudanças na qualidade da água da sub-bacia Great Bear do rio Mackenzie, no Canadá.

Segundo Finazzi (2012), no Brasil estudos utilizando o ICE são escassos. O primeiro estudo foi realizado por Almeida (2007) que realizou uma análise comparativa entre os índices IQA e ICE utilizando dados de 12 estações de monitoramento da qualidade da água do rio Cuiabá. O resultado mostrou que sob os mesmos critérios de qualidade os dois índices, ICE e IQA classificam a qualidade do ambiente aquático de forma semelhante se os números e as

variáveis são as mesmas. Entretanto, quando o número de variáveis utilizadas aumenta, ou os critérios ficam mais restritivos o índice CCME classifica a qualidade da água de forma mais realista.

No Brasil, esse índice já foi aplicado por AMARO et al. (2008) na bacia dos rios Capivari e Jundiáí, e por CETESB (2012b) em águas costeiras do Estado de São Paulo (ANA, 2012). De acordo com Pessoa et al. (2018) o ICE vem sendo utilizado por diversos autores para fins de comparação da condição de um corpo d'água com algum objetivo de qualidade estabelecido (AMARO, 2009; ROSEMOND, 2009; SHARMA, 2011; FERNANDES, 2013; FERREIRA, 2009). Entre as vantagens da utilização deste índice, destaca-se a facilidade de aplicação, flexibilidade em relação aos parâmetros utilizados e aos diferentes limites de qualidade, e por se tratar de uma ferramenta que permite agrupar um grande número de dados de qualidade de água em um único valor, facilitando a interpretação de dados.

Silva (2017), comenta que o ICE foi utilizado no Brasil em alguns trabalhos acadêmicos e por órgãos gestores dos recursos hídricos com o intuito, em geral, de verificar a sua aplicabilidade e comparar os resultados com outros índices já utilizados. Silva também destaca um série de autores que utilizaram o ICE e comprovaram sua eficácia como Índice de mensuração e definição de padrão de qualidade da água, a saber Marques et al. (2007) utilizaram o ICE com o objetivo de avaliar e identificar um índice que pudesse atender às necessidades tanto de avaliação da qualidade da água superficial quanto para o controle da água de abastecimento; Almeida (2007) utilizou diferentes estratégias na análise da qualidade da água do Rio Cuiabá; Amaro (2009) aplicou o ICE às bacias dos rios Piracicaba/Capivari e Jundiáí (PCJ), em 44 estações de monitoramento ao longo dos cursos d'água referidos; IGAM (2010) utilizou o ICE com o objetivo de representar os fatores de pressão identificados nas bacias hidrográficas monitoradas no âmbito do Projeto Águas de Minas; ANA (2013) aplicou o ICE em estações de monitoramento em todo o Brasil, com os dados de monitoramento do ano de 2011.

O ICE apresenta uma significativa utilização no mundo e no Brasil, possui como grande vantagem em relação a outros índices, o fato de ser flexível no que diz respeito ao tipo e número máximo de parâmetros de qualidade da água a ser analisado (CCME, 2001). Permite um monitoramento mais fidedigno da qualidade da água, podendo mensurar parâmetros como, metais pesados, pesticidas, variáveis que caracterizem a presença de compostos orgânicos com potencial mutagênico, substâncias que afetam as propriedades organolépticas da água, potencial de formação de trihalometanos, presença de parasitas patogênicos, hidrocarbonetos policíclicos aromáticos, óleos e graxas e surfactantes (FINAZZI, 2012). Também é flexível quanto ao

período de aplicação e o tipo do corpo de água, sendo recomendado o mínimo de quatro parâmetros, monitorados pelo menos em quatro campanhas de amostragem, podendo ser aplicado para rios, lagos ou fluxos (CCME, 2001).

4 METODOLOGIA

A metodologia aplicada neste trabalho foi a pesquisa de campo, classificando-se como descritiva com abordagem quanti-qualitativa.

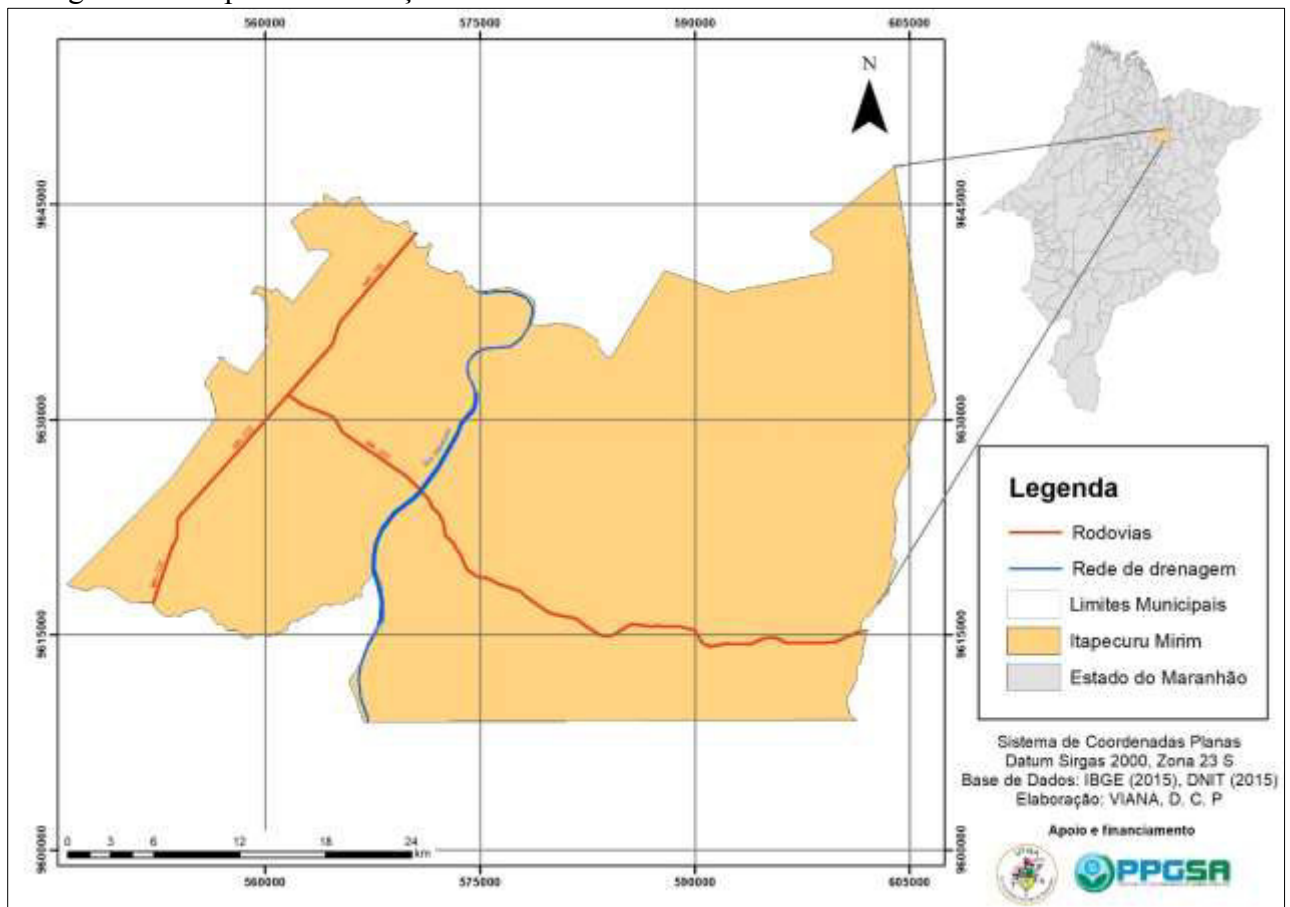
Segundo Severino (2016), na pesquisa de campo, o objeto ou fonte é abordado em seu meio ambiente próprio. A coleta dos dados é feita nas condições naturais em que os fenômenos ocorrem, sendo assim diretamente observados, sem intervenção e manuseio por parte do pesquisador. Abrange desde os levantamentos, que são mais descritivos, até estudos mais analíticos.

Os procedimentos técnicos utilizados foram: (1) pesquisa bibliográfica, baseada na literatura já publicada em forma de livros, artigos de periódicos, impressos e digitais, dissertações e teses; (2) Definição a partir de imagens de satélites e levantamento de campo da cobertura e uso da terra do baixo curso da bacia hidrográfica do rio Itapecuru (3) Levantamento de dados de monitoramento da qualidade da água, através da coleta e análise de amostras de água e de pluviosidade e vazão disponibilizados pela Agência Nacional das Águas (ANA); (3) Análise da variância (ANOVA) dos dados obtidos; (4) Análise dos componentes principais (ACP) dos dados levantados; (5) cálculo do Índice de qualidade da água (IQA_{NSF}); e (6) cálculo do índice de conformidade ao enquadramento (ICE) utilizando o programa MS Excel®.

4.1 Área de Estudo

O estudo foi realizado no baixo curso da bacia hidrográfica do Rio Itapecuru, no município de Itapecuru-Mirim, que possui uma área de 1.478,562 km², uma população de 62.110 habitantes e uma densidade demográfica de 42,21 hab/km² com base no censo demográfico do IBGE de 2010; situado na Mesorregião Norte do Estado do Maranhão; na parte do rio Itapecuru que se estende pelo município de Itapecuru-Mirim, como mostrado na figura 08, estando localizada entre as coordenadas UTM 566886.64 e 9608928.91, que fica no limite desse município com a cidade de Cantanhede e as coordenadas UTM 574324.55 e 9639296.28, que se situa no limite do município de Itapecuru-Mirim com Santa Rita, com o rio Itapecuru perfazendo uma extensão de 41 km. Os pontos de coleta de amostras de água foram distribuídos por 17,6 km, tendo a cidade de Itapecuru-Mirim como referência, com um ponto no centro da cidade, dois a montante e dois a jusante, além de cinco riachos, afluentes do Itapecuru pela margem direita, estando três desses na zona mais urbanizada da cidade e dois na zona semiurbana.

Figura 08: Mapa de localização da área de estudo



Fonte: Autor.

4.2 Cobertura e uso da terra da bacia hidrográfica do rio Itapecuru no município de Itapecuru-Mirim

Aquisição de dados

Os dados vetoriais foram obtidos nos sites de órgãos oficiais. Os arquivos de sedes municipais, limites estaduais e municipais, rede de drenagem estão disponíveis na pasta Geociência do site do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. Os dados de rodovia estão disponibilizados no site do Departamento Nacional de Infraestrutura e Transportes – Dnit.

O banco de dados elaborado foi estruturado no sistema de informação geográfica, desenvolvido pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, denominado Sistema para Processamento de Informações Georreferenciadas – SPRING/ INPE, versão 5. 2. As etapas de pré-processamento foram realizadas no Qgis, versão Las Palmas. As imagens utilizadas foram do satélite Landsat 8, sensor OLI para o ano de 2018. Todas as imagens foram adquiridas gratuitamente através do Catálogo de Imagens disponível no www.inpe.com.br. (Acessos em outubro de 2019).

O mapa de localização foi elaborado utilizando dados de sedes municipais, limites municipais e estaduais e os dados de rodovias.

O mapa de rede de amostragem foi elaborado com dados de rede hidrográfica e os pontos de amostragem de onde foram realizadas as coletas.

Mapa de uso e cobertura

Para elaboração do mapa de uso e cobertura da terra foram necessárias 2 cenas para cobrir a área de abrangência do presente projeto, cujas orbitas foram 220 e 221, ambas no ponto 62. As bandas utilizadas para a classificação de uso e cobertura foram as bandas 4, 5, 6, com resolução espacial de 30m e a pancromática (banda 8) com resolução espacial de 15 m.

Para o desenvolvimento deste trabalho foram executados três processos: pré-processamento, realce e classificação.

Foi realizada a calibração radiométrica da imagem, correção de distorções geométricas e correção atmosférica de cada uma das bandas acima citadas, com o auxílio do software Qgis, versão Las Palmas.

As imagens do Landsat 8 possuem resolução radiométrica de 16 bits por pixel. Foi necessário a correção radiométrica, transformando a escala de cores de 16 bits para escala de 8bits.

Em seguida foi realizada a correção geométrica das imagens, cujo o objetivo foi inserir na imagem um sistema de projeção para se estabelecer um referencial de coordenadas que possibilitasse localizar na imagem a posição geográfica dos alvos. O sistema de referência de coordenadas adotado foi o Sirgas 2000 e a projeção utilizada, Universal Transversa de Mercator – UTM.

Para correção atmosférica utilizou-se a técnica de subtração do escuro (Dark Object Subtraction- DOS) e teve por finalidade a conversão do número digital para valores físicos (radiância) foi executada com auxílio do algoritmo SPC plugin. A partir desse procedimento foi possível importar as imagens para o Spring para fazer a composição de bandas RGB.

Após a etapa de pré-processamento, deu-se início ao processamento das imagens através do software Spring. Foi realizada a composição de bandas com RGB 654 e em seguida fusão com a banda pancromática, a fim de aumentar a resolução espacial para 15 m.

O realce de contraste permite a manipulação dos níveis de cinza da imagem, com o objetivo melhorar visualização da cena e aumentar a quantidade de informação que pode ser extraída visualmente. O tipo de realce adotado foi MinMax, permitindo que todos os níveis de cinza tenham o mesmo número de cinza e evitando perda de informação.

A segmentação de imagens consiste num processo de agrupamento de pixels, que possuem características semelhantes. Nesse processo são requeridos dois parâmetros iniciais: a similaridade e a área. Tais valores foram definidos com base nos melhores resultados obtidos a partir de uma série de testes, de modo que se adotou valor 05 para o limiar de similaridade e 50 como o número mínimo de pixels para que se estabelecesse um segmento.

Para realização da classificação é necessário conhecimento da área, pois é através deste conhecimento de área que serão definidas as classes de uso e ocupação do solo que se pretende trabalhar.

A classificação foi do tipo supervisionada, com uma etapa de treinamento onde as amostras adquiridas foram as regiões formadas pela segmentação. Estas amostras foram associadas a uma classe de uso. O algoritmo mais adequado para realização do deste trabalho foi o Bhattacharya, devido a sua capacidade de medir a separabilidade estatística das classes espectrais a partir da distância média entre as distribuições de probabilidade de classe.

Definição de classes

As classes definidas neste trabalho foram:

- Áreas urbanizadas - áreas com diferentes níveis de adensamento urbano, como áreas residenciais, urbanas ou rurais;
- Áreas florestais;
- Áreas descobertas - áreas desprovidas de qualquer tipo de construção ou cobertura vegetal (solo exposto);
- Áreas de mineração;
- Áreas campestres- correspondem as áreas com vegetação aberta;
- Áreas agropastoris- pastagens e áreas agrícolas;
- Sombras – áreas influenciadas pela cobertura de nuvens;
- Nuvens – áreas com cobertura de nuvens;
- Corpos hídricos – rios, lagos e açudes.

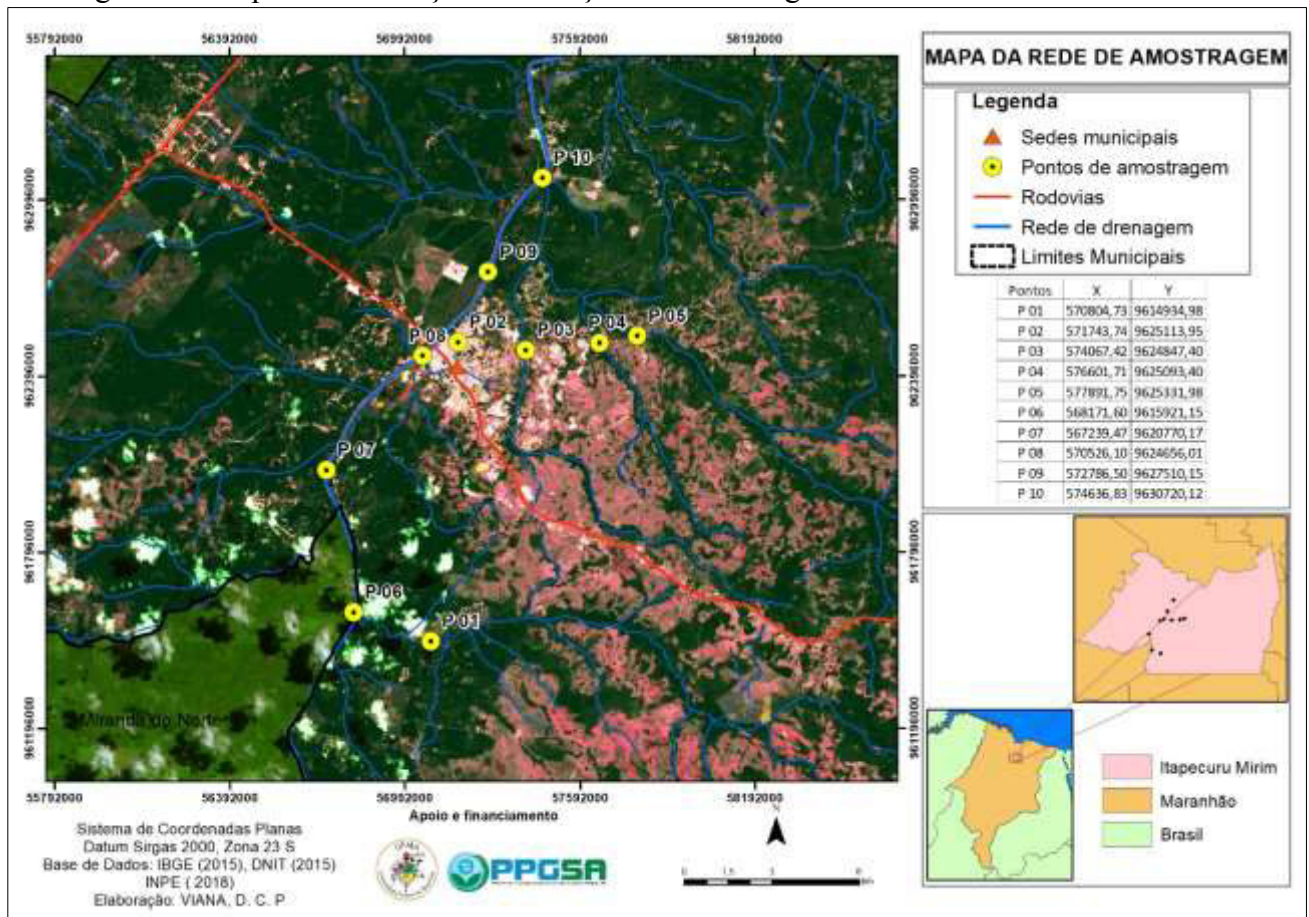
O processo de treinamento foi necessário para a associação das classes de uso e cobertura às regiões homogêneas resultantes da segmentação, utilizando amostras com maior variabilidade espectral possível a fim de diminuir o grau de confusão entre as classes.

Após a classificação as classes mapeadas são geradas no formato matricial, desse modo foi necessário converter para tipo vetorial, de forma que, foi possível os cálculos de áreas.

4.3 Rede de Amostragem

Os dados que fundamentam este estudo foram obtidos de 6 campanhas amostrais, realizadas entre os anos de 2018 e 2019, em 10 estações de monitoramento (P1 a P10), distribuídas em 5 riachos (P1 a P5) pela margem direita do rio Itapecuru e ao longo de 17,6 km do baixo curso do referido rio (P6 a P10), podendo ser visualizado pela figura 09.

Figura 09: Mapa de localização das estações de amostragem



Fonte: Autor

As estações de amostragem correspondentes aos riachos foram alocadas no baixo curso dos mesmos, na área urbana e semiurbana do município de Itapecuru-Mirim, no rio Itapecuru as estações de amostragem foram distribuídas no sentido montante-jusante; tendo o intuito de mensurar qualidade da água para diferentes usos e se todos os pontos apresentam conformidade com classe de enquadramento do corpo hídrico e os respectivos usos que cada classe de água permite, levando-se em consideração a dinâmica da cobertura e uso da terra, haja vista, que o núcleo urbano central da cidade de Itapecuru-Mirim localiza-se no ponto 8, portanto a jusante dos pontos 6 e 7 e a montante dos pontos 9 e 10 e que todos os riachos analisados desaguam direta ou indiretamente no rio Itapecuru entre os pontos 6 e 10, as coordenadas dos referidos pontos são apresentadas na tabela 06.

Tabela 06: Identificação do corpo hídrico e coordenadas dos pontos de coleta.

Ponto	Corpo hídrico	Coordenadas
1	Riachão	03° 29' 0.76" S e 44° 21' 45.14" O
2	Riacho Pau de Arara	03° 23' 29.24" e 44° 21' 14.93" O
3	Riacho Cova	03° 23' 40.29" S e 44° 20' 0.84" O
4	Riacho Vaca Branca	03° 23' 29.8" S e 44° 18' 37.5" O
5	Riacho Itapecuruzinho	03° 23' 22.0" S e 44° 17' 55.7" O
6	Rio Itapecuru	3° 28' 28.7" S e 44° 23' 10.5" O
7	Rio Itapecuru	3° 25' 50.8" S e 44° 23' 40.81" O
8	Rio Itapecuru	3° 23' 44.18" S e 44° 21' 54.38" O
9	Rio Itapecuru	3° 22' 11.18" S e 44° 20' 41.19" O
10	Rio Itapecuru	3° 20' 26.6" S e 44° 19' 41.3" O

As coletas obedeceram uma periodicidade bimestral de abril de 2018 a fevereiro de 2019, sendo distribuídas em função da sazonalidade da área de estudo. Foram realizadas 3 amostragens para cada período sazonal, compreendendo os meses de: fevereiro, abril, junho (período chuvoso) e agosto, outubro, dezembro (período de estiagem).

4.4 Procedimentos de Coleta e de Análise

A metodologia de coleta e preservação das amostras seguiu as diretrizes das normas da ABNT NBR 9897 e 9898, que fixam as condições exigíveis para a elaboração e planejamento de amostragem de efluente líquidos domésticos e industriais, sedimentos e amostras de água de corpos d' água receptores interiores e superficiais. Todas as amostragens realizadas *in situ* ocorreram no período compreendido entre (07h 00 min e 16h 00min).

Para este trabalho foram utilizados dezoito parâmetros para mensurar a qualidade da água, pH, oxigênio dissolvido, temperatura, condutividade elétrica, sólidos totais, sólidos suspensos totais, sólidos dissolvidos totais, turbidez, fósforo total, fosfato, nitrogênio amoniacal total, nitrito, nitrato, nitrogênio total, coliformes totais e coliformes termotolerantes, *E. Coli*.

As amostras de água foram coletadas com o auxílio de balde e garrafas Van Dorn e depois distribuí-se seu volume proporcionalmente nos diversos frascos destinados aos ensaios físico-químicos e bacteriológicos, como forma de garantir a homogeneidade da amostra, tomando o cuidado de manter um espaço vazio no frasco para sua posterior homogeneização.

Na coleta de amostras para análise química e física, foram utilizados frascos plásticos com capacidade para 1 L, lavado abundantemente com a mesma água a ser coletada, acondicionadas em caixa de isopor e mantidas sob refrigeração até o transporte ao laboratório e início das análises.

As amostras para análise bacteriológica foram coletadas utilizando-se frasco plástico de 250 ml descartável estéril e acondicionadas em caixa de isopor e mantidas sob refrigeração até o transporte ao laboratório e início das análises.

4.5 Parâmetros ambientais

4.5.1 Pluviometria e fluviometria

Dados de precipitação pluviométrica (mm) foram obtidos na Estação Meteorológica de Itapecuru-Mirim (Código 00344017) de responsabilidade da Agência Nacional de Águas (ANA) (www.ana.gov.br, através do HidroWeb); enquanto os dados fluviométricos da bacia hidrográfica do rio Itapecuru foram obtidos do levantamento da Geodiversidade do Estado do Maranhão, realizado pelo Programa Geologia do Brasil, do Serviço Geológico do Brasil.

4.5.2 Físicos e químicos

Os parâmetros físicos e químicos, temperatura da água, pH, oxigênio dissolvido, condutividade elétrica e sólidos totais dissolvidos, foram mensurados *in situ* por meio da utilização de sonda multiparâmetro HANNA HI 9828. A variável turbidez (UNT) foi mensurada com a utilização de turbidímetro HANNA HI 93703. As demais variáveis físico-químicas de qualidade da água, foram analisadas em laboratório e determinadas de acordo com as técnicas do Standard Methods Water and Wasterwater (APHA, 2005).

4.5.3 Biológicos

As variáveis biológicas foram analisadas mediante técnicas do Standard Methods Water and Wasterwater (APHA, 2005).

As análises das variáveis físico-químicas e biológicas foram realizadas respectivamente no Laboratório de Limnologia e Microbiologia da Universidade Federal do Maranhão – UFMA e no laboratório de controle de qualidade dos alimentos e da água-UFMA.

4.6 Análise da variância (ANOVA)

Para a sistematização dos resultados foi utilizada a estatística descritiva, tabulando a média e o desvio padrão. O tratamento estatístico para a comparação dos dados foi realizado pelo teste paramétrico de análise de variância (ANOVA), que passou pela homogeneização e verificação da normalidade dos dados. Usou-se o valor do **p**, para verificação da existência de diferença significativa entre as variáveis, tendo em vista que o valor do ($p < 0,05$) indica que, há diferença significativa temporal ou espacial entre as variáveis.

Para determinar a existência de diferença significativa entre os períodos sazonais que fazem referência às seis campanhas de coleta realizadas e os padrões espaciais que são os dez pontos de amostragem, distribuídos espacialmente na área de no rio Itapecuru e nos afluentes, analisou-se o resultado da Anova para todas as dezoito variáveis mensuradas no estudo. Na aplicação do teste paramétrico de análise de variância, utilizou-se o programa estatístico PALaeontological STatistics (PAST), versão 2.17 c.

4.7 Análise de Componentes Principais (ACP)

A análise das variáveis ambientais, foi feita por meio da análise de componentes principais (ACP), com o objetivo de identificar padrões sazonais e espaciais relacionados aos dados. As unidades amostrais foram ordenadas em relação às suas respectivas variáveis, a partir de matrizes de correlação, com os dados transformados pela sua amplitude de variação (*ranging*). Esta transformação evita distorções referentes às ordens de magnitude dos valores numéricos e das variâncias dos parâmetros analisados. O programa utilizado foi o pacote CANOCO 4.5.

4.8 Índice de Qualidade da Água – IQA

A partir de um estudo realizado em 1970 pela “National Sanitation Foundation” dos Estados Unidos, a CETESB adaptou e desenvolveu o IQA – Índice de Qualidade das Águas que incorpora nove variáveis consideradas relevantes para a avaliação da qualidade das águas. Variáveis: coliformes totais, pH, DBO, oxigênio dissolvido, nitrogênio total, fósforo total, temperatura, turbidez e resíduo total.

O IQA foi calculado pelo produtório ponderado das qualidades de água correspondente às variáveis que integram o índice.

A seguinte fórmula é utilizada:

$$IQA = \prod_{i=1}^n q_i^{w_i}$$

Onde:

IQA: índice de qualidade das águas, um número entre 0 a 100;

qi: qualidade do i-ésimo parâmetro, um número entre 0 a 100, obtido da respectiva “curva média de variação de qualidade”, em função de sua concentração ou medida e, wi: peso correspondente ao i-ésimo parâmetro, um número entre 0 e 1, atribuído em função da sua importância para a conformação global de qualidade, sendo que:

Em que:

n: número de variáveis que entram no cálculo do IQA.

A partir do cálculo efetuado, pode-se determinar a qualidade das águas brutas que, é indicada pelo IQA_{CETESB}, variando numa escala de 0 a 100.

No presente trabalho foi utilizado o IQA_{CETESB}, para a determinação do índice de qualidade da água do baixo curso do rio Itapecuru e de afluentes da área estudada.

4.9 Índice de conformidade ao enquadramento – ICE

Para o acompanhamento da qualidade de água em relação às metas de enquadramento foi desenvolvido pelo Canadian Council of Ministers of Environment, o índice de qualidade da água – IQA_{CCME}. Esse índice é denominado no Brasil como índice de conformidade ao enquadramento – ICE, que é utilizado para analisar a qualidade da água e indicar a condição de conformidade da qualidade da água do corpo hídrico ao enquadramento estabelecido pela legislação.

O objetivo do ICE é ser uma ferramenta para simplificar a comunicação dos dados de qualidade da água tanto para especialistas quanto para leigos. O ICE foi formulado a partir de experiências e metodologias de outros índices de qualidade utilizados no Canadá. Não se destina a substituir uma análise detalhada dos dados e condições de qualidade da água através dos métodos de avaliação convencionais, nem deve ser usado como a única ferramenta para a gestão dos recursos hídricos (CCME, 2001).

A definição do índice se baseia na comparação dos valores dos dados de monitoramento da qualidade da água com os padrões de qualidade da água instituídos pela legislação. É a combinação de três fatores que representam o não atendimento aos critérios de qualidade propostos, ou seja, representam a desconformidade ao enquadramento. Assim, o ICE analisa três fatores.

O teste calcula a variância dos três fatores, mediante as seguintes equações:

Fator 1 - Abrangência: representa o número de variáveis de qualidade da água que, pelo menos uma vez no período de observação, não atenderam os limites estabelecidos. É calculado pela Equação 1.

$$F_1 = \frac{\text{Número de variáveis que violaram}}{\text{Número total de variáveis analisadas}} \times 100 \quad (1)$$

Fator 2 - Frequência: representa a porcentagem de vezes que as variáveis de qualidade da água estiverem em desconformidade, em relação ao número de observações. Dado pela Equação 2.

$$F_2 = \frac{\text{Número de testes que violaram}}{\text{Número total de testes}} \times 100 \quad (2)$$

Fator 3 - Amplitude: representa a quantidade pela qual o valor testado falhou, isto é, a diferença entre o valor mensurado e o valor a ser alcançado de acordo com o objetivo de qualidade da água.

O fator F_3 é calculado em três etapas:

- 1) O número de vezes em que a concentração individual é maior que (ou menor que, quando o objetivo é um mínimo), ou seja, quando o valor do teste não deve exceder o objetivo (valor do padrão), o cálculo é dado pela Equação 3:

$$\Delta v = \frac{(\text{valor do teste que falhou})}{(\text{valor do padrão})} - 1 \quad (3)$$

Para os casos em que o valor do teste não deve ser abaixo do objetivo (valor do padrão), o cálculo é dado pela Equação 4:

$$\Delta v = \frac{(\text{Valor do padrão})}{(\text{Valor do teste que falhou})} - 1 \quad (4)$$

- 2) A junção dos testes individuais, que não apresentaram inconformidade, é calculada somando todas as variações individuais que não atenderam aos objetivos e dividindo pelo número total de testes. Esta variável é denominada 'soma normalizada das variações', ou snv e é calculada pela Equação 5:

$$snv = \frac{\sum_{i=1}^n \Delta v_i}{\text{Número total de coletas}} \quad (5)$$

- 3) O valor de F_3 é calculado pela soma normalizada das variações dos objetivos (snv), sendo que estas foram reduzidas a uma variável entre 0 e 100 (Equação 6).

$$F_3 = \frac{snv}{(0,01 \times snv) + 0,01} \quad (6)$$

Portanto, o índice pode ser obtido através da Equação 7.

$$ICE = 100 - \left(\frac{\sqrt{F_1^2 + F_2^2 + F_3^2}}{1,732} \right) \quad (7)$$

Sendo o fator 1,732 empregado de forma a normalizar o resultado, pois cada um dos três fatores individuais pode chegar a 100.

$$\sqrt{F_1^2 + F_2^2 + F_3^2} = \sqrt{100^2 + 100^2 + 100^2} = 173,2$$

O índice varia de 0 a 100, sendo que o valor perto de zero significa uma situação em que a condição do corpo hídrico está muito distante do enquadramento desejado e próximo de cem indicará situação de conformidade com o enquadramento (ANA, 2012).

Neste trabalho usou-se as mesmas variáveis que, a Agência Nacional das Águas (ANA) adota na definição do índice de conformidade ao enquadramento, o ICE foi determinado a partir do cálculo dos valores dos parâmetros pH, oxigênio dissolvido, demanda bioquímica de oxigênio (DBO), fósforo total, turbidez e coliformes termotolerantes, determinados pelas análises laboratoriais, fazendo-se uso do software MS Excel®. A definição dos parâmetros foi feita com base os padrões de qualidade da água estabelecidos pela Resolução Conama n° 357/2005 e utilizados nos cálculos do ICE, conforme estabelecido pela Agência Nacional das Águas (ANA), que também determina os limites máximos dos parâmetros para o cálculo de ICE de acordo com a classe de enquadramento que o corpo d'água apresenta, conforme tabela 07.

Tabela 07: Padrões de qualidade das águas estabelecidos pela Resolução Conama n° 357/2005 e utilizados no cálculo do ICE.

Parâmetro	Unidade	Classes de Enquadramento			
		1	2	3	4
PH	-	6,0 a 9,0	6,0 a 9,0	6,0 a 9,0	6,0 a 9,0
Oxigênio Dissolvido	mg/L	≥ 6	≥ 5	≥ 4	-
Demanda Bioquímica de Oxigênio	mg/L	≤ 3	≤ 5	≤ 10	-
Fósforo total-ambiente lótico	mg/L	≤ 0,1	≤ 0,1	≤ 0,15	-
Turbidez	UNT	≤ 40	≤ 100	≤ 100	-
Coliformes Termotolerantes	NMP/100MI	≤ 200	≤ 1.000	≤ 2.500	-

Fonte: Adaptado da ANA (2012)

Como no estado do Maranhão ainda não foi realizado o enquadramento total ou parcial dos corpos d'água, segue-se o que determina o Art. 42 da Resolução Conama n° 357/2005, enquanto não aprovados os respectivos enquadramentos, as águas doces serão consideradas classe 2.

Tendo como base essa realidade do enquadramento dos corpos hídricos do Estado do Maranhão e a determinação da Resolução Conama n° 357/2005, o rio Itapecuru está enquadrado na classe 2.

Neste trabalho, o ICE do rio Itapecuru foi calculado tendo como referência os padrões de qualidade da água estabelecidos pela Resolução Conama nº 357/2005, para os parâmetros pH, oxigênio dissolvido, demanda bioquímica de oxigênio (DBO), fósforo total, turbidez e coliformes termotolerantes, nas classes de enquadramento 2 e 3.

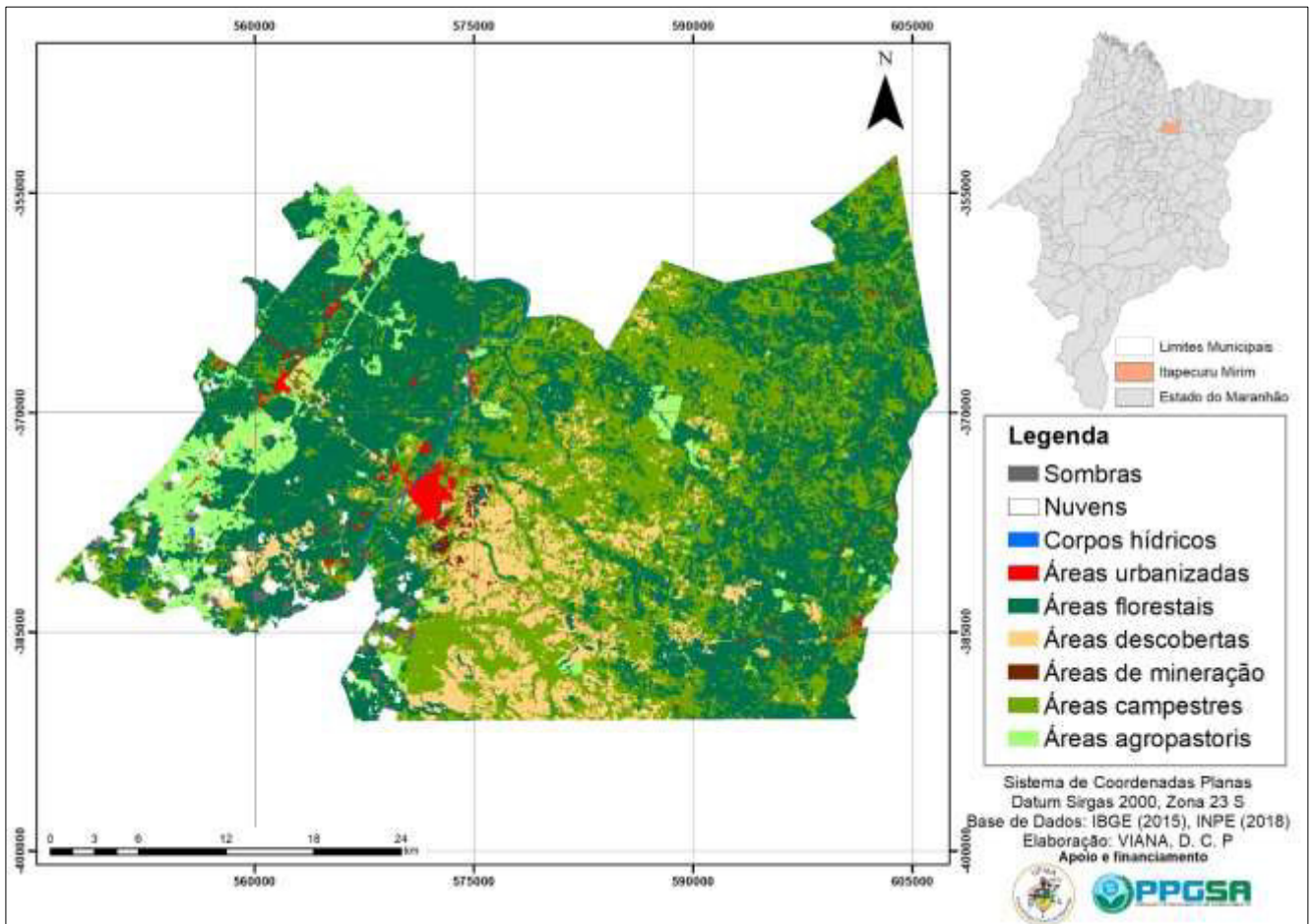
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo são apresentados os resultados e realizada a discussão acerca, do uso e cobertura da terra da bacia hidrográfica do rio Itapecuru no município de Itapecuru-Mirim e da análise da qualidade da água do baixo curso da bacia hidrográfica do rio Itapecuru, através da análise da qualidade dos parâmetros potencial hidrogeniônico (pH), oxigênio dissolvido (OD), temperatura, condutividade elétrica, sólidos totais, sólidos suspensos totais, sólidos dissolvidos totais, turbidez, fósforo total, fosfato, nitrogênio total, nitrogênio amoniacal total, nitrito, nitrato, demanda bioquímica de oxigênio (DBO), coliformes totais, coliformes termotolerantes e *Escherichia Coli*; que passaram por tratamento estatísticos, através da análise de variância (ANOVA) e da análise dos componentes principais (ACP), e tiveram os resultados obtidos comparados com o valores de referência de qualidade da água, definidos pela Resolução Conama nº 357/2005, para as classes 2 e 3. Apresenta-se também o resultado e discussão do IQA-NSF e a conformidade do enquadramento pelo ICE da ANA adaptado do IQA-CCME e a respectiva compatibilidade dos usos com a classe de qualidade de água e as implicações na saúde humana.

5.1 Cobertura e uso da terra na bacia hidrográfica do rio Itapecuru no município de Itapecuru-Mirim

As imagens do satélite LANDSAT e os levantamentos de campo permitiram mapear e quantificar sete classes de cobertura e uso da terra, para área da bacia hidrográfica do rio Itapecuru, no município de Itapecuru-Mirim no ano de 2018. A partir da visualização do mapa temáticos de uso e cobertura terra da área estudada (figura 10), detectou-se as seguintes classes: áreas florestais, áreas campestres, áreas descobertas, áreas urbanizadas, áreas de mineração e corpos hídricos.

Figura 10: Mapa da cobertura e uso da terra da bacia hidrográfica do rio Itapecuru em Itapecuru-Mirim no ano de 2018.



Fonte: autor

Observou-se uma concentração significativa das áreas florestais, representando 45,68% da área total do município, concentrando-se principalmente no alto curso dos canais fluviais que compõem a rede de drenagem do rio Itapecuru na região, sobretudo pela margem esquerda do referido rio. Verificou-se grande presença da classe de uso áreas campestres, que se refere às áreas com vegetação aberta, com 32,62%, distribuídas pelos médio e baixo curso dos corpos hídricos da bacia hidrográfica, as áreas descobertas que equivalem as áreas com solo exposto, representaram 9,75% e sua distribuição acompanha a das áreas campestres, áreas agropastoris, que aglutina as áreas de produção agrícola e pastagens, e aparece recobrimdo 7,39% da área da bacia, áreas urbanizadas representam 1,36% da cobertura da terra, áreas de mineração 0,33%, os corpos hídricos foram responsáveis por 0,28% da cobertura e uso da terra e foi detectado um percentual de 1,76 de nuvens e 0,82 de sombras. A figura 11 agrupa os valores percentuais, para cada classe de cobertura e uso da terra utilizada no estudo.

Figura 11: Gráfico da distribuição das classes de uso e cobertura da terra da bacia hidrográfica do rio Itapecuru em Itapecuru-Mirim.



Ao analisar o gráfico com a distribuição das classes de uso e cobertura da terra, percebe-se a representatividade das áreas florestais, com 45,68% da área total da bacia, fato que é muito importante para a manutenção dos serviços ambientais prestados pela cobertura vegetal, dentre os quais, alguns tem relação direta com a manutenção da quantidade e qualidade da água, especialmente estabilidade da camada de solo, controle da erosão, redução do escoamento superficial e aumento da infiltração da água. Cabe ressaltar que as áreas florestais se apresentam na área estudada, mais próximas dos divisores de água da bacia, na região do alto curso dos canais fluviais que compõem a bacia hidrográfica na região. Local onde a manutenção dos serviços ambientais relatados é essencial para a perenidade das nascentes.

Fielder et al. (2008), consideram serviços ambientais proporcionados pelas florestas, a proteção contra erosão dos solos provocada pela água, pelo vento ou outros fenômenos, a redução do escoamento superficial e o aumento da infiltração da água. Apontando a manutenção da vegetação nativa, como elemento é essencial para o equilíbrio ecológico de diferentes ecossistemas.

Por outro lado, ao verificar-se que as áreas campestres (vegetação aberta) com 32,62%, áreas descobertas (solo exposto) com 9,75% e áreas agropastoris (agricultura e pecuária) com 7,39% totalizam 49,76% da cobertura e uso da terra e levando-se em consideração que essas áreas foram originadas por processos de supressão da vegetação nativa, tendo em vista que a formação vegetal original da área estudada, é caracteriza segundo IBGE (1998), como floresta

estacional semi-decidual com palmeiras de babaçu, e apresenta –se com espécies de porte arbóreo. Pode-se inferir que, essas áreas deixaram de proporcionar os serviços ambientais que comumente são prestados pelas áreas florestais e contribuem para aumento, da perda de solo, da erosão, do escoamento superficial, redução da infiltração da água, elevação do aporte de sedimentos, nutrientes e poluentes na rede drenagem, contribuindo assim para redução da quantidade e qualidade da água.

A intensificação do processo de supressão da vegetação natural, leva a um rápido empobrecimento dos solos, devido ao carreamento pela ação das chuvas dos minerais presentes no solo, fenômeno que ocorre com muito mais facilidade nas superfícies desmatadas, possibilitando o transporte desse elementos para os canais fluviais e a percolação para o lençol freático por meio da lixiviação, além disso, há o desencadeamento de processos erosivos, endurecimento devido à maior incidência da luz solar antes inatingível e a perda de nutrientes (MARTINS et al., 2011).

As áreas urbanizadas com 1,36% e áreas de mineração com 0,33%, apesar de representarem menos de 2% do uso e cobertura da terra, respondem por grande parte dos impactos causados nos corpos hídricos da região. No caso da mineração, a cidade de Itapecuru-Mirim apresenta uma situação peculiar, pois a mesma representa um dos maiores polos de produção de cerâmica vermelha do Estado do Maranhão e são inúmeras as cerâmicas instaladas na região, comumente o processo produtivo da cerâmica se dar pela extração da argila e do silte.

É como relata Kobiyama et al. (2001), a atividade de mineração não ocupa grandes áreas como outras atividades, apresenta uma ocorrência pontual, não que isso represente algum ganho ambiental, tendo em vista que, os impactos que causa ao meio ambiente são de grande magnitude, pois inexoravelmente causa supressão da vegetação, movimentação profunda das camadas de solo e alteração no regime de escoamento superficial da água. Essa atividade tem reflexos diretos e rápidos na qualidade da água, pois deixa suscetível a erosão e a lixiviação grande quantidade de material sedimentar, que pode levar ao aumento da turbidez e do aporte de nutrientes e poluentes na água.

Com relação as áreas urbanizadas, dentre todos os tipos de uso da terra é um dos que representa maior risco para a qualidade da água, haja vista, que nesses locais a grande antropização do espaço natural, como a supressão da vegetação, impermeabilização do solo, ocupação das margens de corpos fluviais, mudança brusca no regime de escoamento superficial da água, carreamento de poluentes e resíduos, geração e disposição de esgotos. No caso de Itapecuru-Mirim, como é mostrado no mapa de uso e cobertura da terra, (figura 10), o principal

núcleo urbanizado está localizado às margens do rio Itapecuru e a expansão da cidade se dar em direção aos canais de drenagem que compõem a bacia hidrográfica.

Segundo Tucci e Mendes (2006), com o aumento da urbanização muitos impactos são desencadeados, dentre os quais destacam-se, aumento médio das vazões de cheia, devido ao aumento da capacidade de escoamento, por meio dos condutos e canais de impermeabilização das superfícies; aumento da erosão do solo e produção de sedimentos, devido à falta de proteção das superfícies; deterioração da qualidade da água superficial, devido à lavagem das ruas, ao transporte de material sólido, disposição de esgotos e redução da infiltração do solo.

5.2 Análise de variância - ANOVA

Na tabela 08, são apresentados os resultados do teste paramétrico ANOVA, aplicado para as variáveis ambientais de qualidade da água mensuradas no estudo.

Tabela 08: Teste estatístico paramétrico (ANOVA).

Variáveis	Rio Itapecuru				Afluentes			
	Temporal		Espacial		Temporal		Espacial	
	F	P	F	p	F	p	F	P
pH	68,24	0,0000	0,11	0,9772	21,97	0,0005	0,99	0,91
OD	25,9	0,0000	0,13	0,9661	10,76	0,0564	13,58	0,0087
Temperatura	148,9	0,0000	0	0,9999	20,33	0,001	3,85	0,426
Cond.	63,68	0,0000	0,08	0,9865	0,73	0,6029	17,6	0,0000
ST	9,75	0,0000	0,06	0,9917	0,92	0,4812	7,74	0,0003
SST	5,6	0,0014	0,13	0,9659	2,19	0,0882	1,04	0,4059
TDS	66,22	0,0000	0,07	0,99	0,73	0,6044	17,65	0,0000
Turbidez	67,76	0,0000	0,05	0,9932	2,61	0,0505	1,15	0,3563
PO4	4,23	0,0067	1,44	0,2494	5,91	0,3147	10,57	0,0318
NH4	17,78	0,0032	4,26	0,3717	1,49	0,3625	8,34	0,0002
NO2	22,43	0,0000	0,23	0,9148	0,64	0,6647	5,57	0,0023
NO3	135,1	0,0000	0,05	0,9931	1,69	0,1753	2,63	0,0557
NT	3,99	0,0089	0,44	0,7758	7,71	0,173	9,06	0,0594
PT	2,28	0,0779	2,22	0,0946	0,44	0,8106	1,37	0,272
DBO	31,87	0,0000	0,11	0,9757	2,82	0,0383	6,09	0,0014
COLI. TOTAIS	8,03	0,0001	0,75	0,5635	0,8	0,5598	0,5	0,7339
COLI. TERMO.	10,26	0,001	0,85	0,5051	3,42	0,0178	0,24	0,9073
<i>E. COLI</i>	7,55	0,0002	0,17	0,9473	3,22	0,0228	0,41	0,795

No rio Itapecuru, as variáveis ambientais não apresentaram diferença espacial significativa, apresentando um padrão homogêneo no trecho analisado. Com exceção ao fósforo total, todas as variáveis ambientais apresentaram diferença temporal significativa no trecho analisado, sendo que os maiores valores/concentrações das variáveis pH, OD, temperatura e *E. Coli*, ocorreram no período de estiagem e as variáveis condutividade elétrica, sólidos totais,

sólidos suspensos totais, sólidos totais dissolvidos, turbidez, fosfato, nitrogênio amoniacal, nitrito, nitrato, nitrogênio total, coliformes totais e coliformes termotolerantes, apresentaram valores/concentrações maiores no período chuvoso.

Nos afluentes, as variáveis ambientais apresentaram diferença espacial significativa, com os parâmetros apresentando os maiores valores/concentrações, oxigênio dissolvido nos pontos 1 e 5, condutividade elétrica, sólidos totais, sólidos totais dissolvidos, nitrogênio amoniacal, nitrito, nitrato no ponto 2 e fosfato e DBO nos pontos 2 e 4. Também apresentam diferença temporal significativa, com os parâmetros oxigênio dissolvido, temperatura, DBO apresentando maiores valores/concentrações no período de estiagem, e pH apresentando diferenças entre os meses em que foram realizadas as coletas, porém sem se poder definir marcadamente, uma diferença entre os períodos chuvoso e de estiagem, apresentando valores mais elevados tanto em meses de grande ocorrência de chuvas, quanto em meses com menor ocorrência de chuvas. Nos parâmetros turbidez, coliformes termotolerantes e *E. Coli*, foi constatado maiores valores/concentrações no período chuvoso.

5.3 Análise de Componentes Principais – ACP

A análise de componentes principais foi utilizada para a identificação de padrões espaciais e temporais, relacionados as variáveis ambientais analisadas no rio Itapecuru e seus afluentes, conforme pode ser observado nas figuras 12 e 13 e os resultados da análise dos componentes principais, nas tabelas 9 e 10.

Figura 12: Diagrama da análise de componentes principais (ACP) das variáveis ambientais de qualidade de água do baixo curso do rio Itapecuru

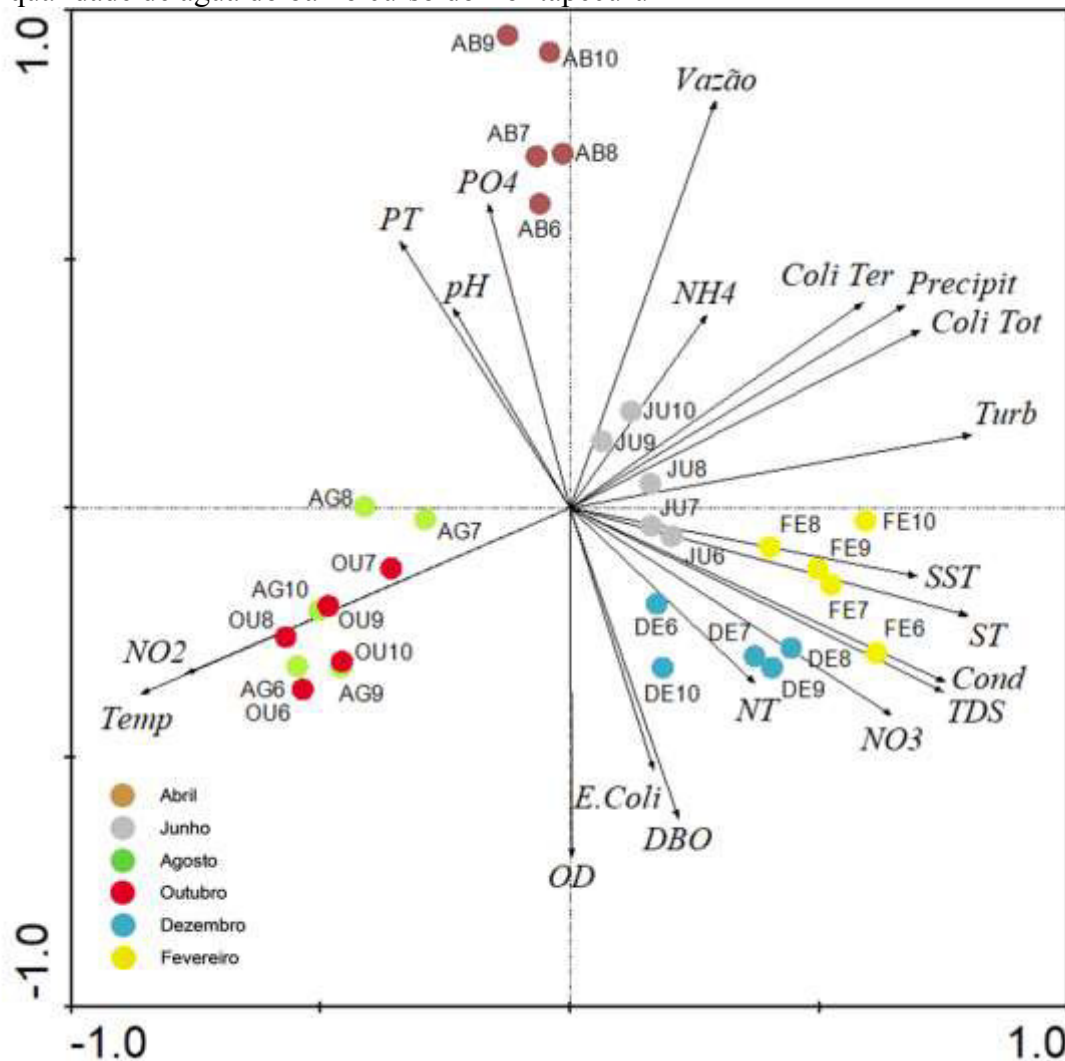


Tabela 09: Resultado da análise de componentes principais ACP utilizando as variáveis ambientais no baixo curso do rio Itapecuru

	Eixo 1	Eixo 2		Eixo 1	Eixo 2
% Variação explicada	32,26	23,60	Nitrito (NO ₂)	-0,34	-0,11
pH	-0,05	0,10	Nitrato (NO ₃)	0,25	-0,21
Oxigênio Dissolvido (OD)	-0,03	-0,37	Nitrogênio (NT)	0,09	-0,11
Temperatura (Temp)	-0,36	-0,11	Fósforo Total (PT)	-0,09	0,22
Condutividade Elétrica (Cond)	0,29	-0,18	Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)	0,05	-0,29
Sólidos Totais (ST)	0,22	-0,11	Coliformes Totais (Coli Total)	0,28	0,10
Sólidos Totais Dissolvidos (SST)	0,18	-0,08	Coliformes Termotolerantes (Coli Term)	0,28	0,17
Sólidos Totais em Suspensão (TDS)	0,30	-0,20	<i>Escherichia coli</i> (<i>E. Coli</i>)	0,08	-0,54
Turbidez (Turb)	0,28	0,01	Precipitação (Precip)	0,35	0,13
Fosfato (PO ₄)	-0,03	0,23	Vazão	0,19	0,38
Amônio (NH ₄)	0,10	0,10			

A análise de componentes principais foi utilizada para identificar padrões temporais no rio Itapecuru, os dois primeiros eixos explicaram 55,86% da variabilidade dos dados, conforme mostra a figura 13. A ACP demonstrou que existe um padrão temporal significativo, fortemente correlacionados.

Na porção positiva do eixo 1, as amostras dos meses de junho, dezembro e fevereiro, apresentaram as variáveis que tiveram maiores concentrações, SST, ST, condutividade elétrica, TDS, NO₃, *E.Coli*, turbidez e coliformes totais, coliformes termotolerantes e precipitação.

Na porção negativa do eixo 1, as amostras dos meses de agosto e outubro, apresentaram variáveis (temperatura e nitrato) que tiveram maiores concentrações no período de estiagem.

No eixo 2 foram evidenciadas as amostras do período de abril e junho, correlacionadas fortemente a porção positiva, às variáveis PT, PO₄, vazão e pH. Nesses mesmos meses na porção negativa as variáveis DBO, OD e *E.Coli* estiveram inversamente correlacionadas, com o maior pronunciamento dessas variáveis nos meses de agosto, outubro e dezembro.

O padrão temporal das variáveis mostrado pela ACP do rio Itapecuru, demarcou a forte influência do período chuvoso para o pronunciamento de parâmetros, que comumente estão associados ao aumento do escoamento superficial da água, com destaque aos nutrientes associados ao fósforo e nitrogênio, material particulado e dissolvido na água e os coliformes totais e termotolerantes. E mostrou uma maior concentração do oxigênio dissolvido no período de estiagem, fato que pode estar relacionado ao aumento e intensificação das correntes de ar na região (ventos alísios de nordeste), principalmente entre os meses de agosto a novembro, fazendo com que ocorra uma maior transferência de oxigênio atmosférico para o corpo d'água.

É como relata Silva e Souza (2013), os parâmetros limnológicos de rios são fortemente influenciados pelas águas pluviais, uma vez que, as mesmas são responsáveis pela lixiviação, percolação e carreamento de componentes para esses ecossistemas.

No estudo realizado na bacia hidrográfica do rio do Carmo no Estado do Rio Grande do Norte, Silva e Souza (2013), constataram um maior pronunciamento de variáveis ambientais associadas a material particulado e dissolvido na água no período chuvoso e maior concentração de oxigênio dissolvido no período de estiagem.

Figura 13: Diagrama da análise de componentes principais (ACP) das variáveis ambientais de qualidade de água dos afluentes do baixo curso do rio Itapecuru

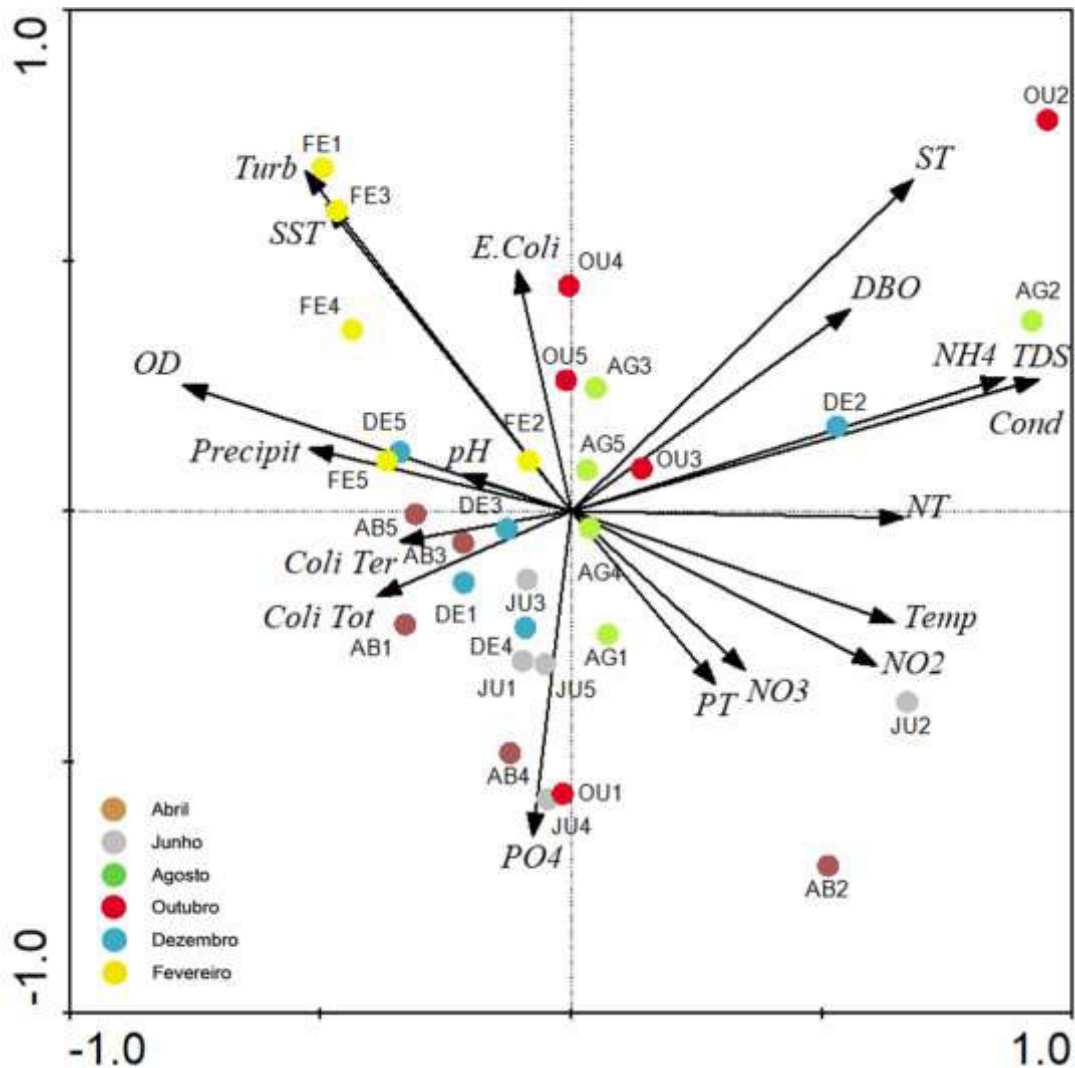


Tabela 10: Resultado da análise de componentes principais ACP utilizando as variáveis ambientais nos afluentes do baixo curso do rio Itapecuru

	Eixo 1	Eixo 2		Eixo 1	Eixo 2
% Variação explicada	33,70	14,60	Amônio (NH ₄)	0,29	0,15
pH	-0,13	0,00	Nitrito (NO ₂)	0,34	-0,11
Oxigênio Dissolvido (OD)	-0,32	0,02	Nitrato (NO ₃)	0,25	-0,21
Temperatura (Temp)	0,31	-0,04	Nitrogênio (NT)	0,19	-0,01
Condutividade Elétrica (Cond)	0,32	0,11	Fósforo Total (PT)	0,09	-0,22
Sólidos Totais (ST)	0,23	0,16	Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)	0,05	0,29
Sólidos Totais Dissolvidos (SST)	-0,18	0,38	Coliformes Totais (Coli Total)	-0,28	-0,10
Sólidos Totais em Suspensão (TDS)	0,32	0,11	Coliformes Termotolerantes (Coli Term)	-0,28	-0,17
Turbidez (Turb)	-0,20	0,39	<i>Escherichia coli</i> (<i>E. Coli</i>)	-0,08	0,54
Fosfato (PO ₄)	-0,03	-0,29	Precipitação (Precip)	-0,35	0,13

A análise dos componentes principais foi utilizada para identificar padrões espaciais e temporais nos afluentes, os dois primeiros eixos explicaram 48,3% da variabilidade dos dados, como mostrado na figura 14.

No eixo 1 foi observado um forte padrão espacial, com pronunciamento das amostras do ponto 2 (P2), na porção positiva do eixo, com forte correlação com as variáveis NO₂, NO₃, NH₄, NT, condutividade elétrica, TDS, ST, DBO e temperatura; destacando-se o OD inversamente correlacionado ao P2. Na porção negativa foi observado um padrão temporal, relacionados as variáveis coliformes totais, coliformes termotolerantes, OD e precipitação, condicionando as amostras dos períodos com maior precipitação (fevereiro e abril).

O eixo 2 apresentou distribuição de amostras com maiores concentrações das variáveis turbidez, SST e *E. Coli* na porção positiva. Já na porção negativa esteve relacionada as maiores concentrações de fósforo (PO₄ e PT). De forma geral, não foi observado um padrão espacial e temporal neste eixo, no entanto, foram evidenciadas as maiores concentrações dessas variáveis em diferentes períodos e pontos.

O padrão espacial muito evidenciado na ACP dos afluentes do rio Itapecuru analisados no estudo, está relacionado ao isolamento de variáveis relacionadas à nutrientes associados ao fósforo e nitrogênio e ao material particulado e dissolvido na água, no ponto 2. Situação que pode ser explicada em função da localização do referido ponto de amostragem, que se encontra na região mais urbanizada da cidade de Itapecuru-Mirim e recebe grande aporte de efluentes domésticos e sedimentos em função do escoamento superficial.

Rocha e Andrade (2018), em estudo realizado na bacia hidrográfica do rio Machado (Ji-Paraná), constataram a partir da avaliação da qualidade da água nos trechos mais urbanizados da bacia, que a degradação da qualidade da água está diretamente relacionada ao aumento da concentração populacional, ao identificarem que o valor do IQA na área mais urbanizada é muito menor que, o valor do IQA de áreas que contam com menor concentração populacional. E que depleção da água, se deve à lixiviação de poluentes, como ao descarte irregular de resíduos urbanos, descargas de efluentes sanitários *in natura* diretamente nessas águas.

5.4 Descrição qualitativa das variáveis e comparação dos valores médios encontrados com os padrões da Resolução Conama n° 357/2005 nas classes de qualidade 2 e 3.

Neste tópico foi realizada a descrição qualitativa de todas as variáveis analisadas na pesquisa e a comparação dos valores médios encontrados para cada parâmetro, com a Resolução Conama n° 357/2005. Na tabela 11 são elencados as médias e os desvios padrão das variáveis ambientais de qualidade da água do rio Itapecuru e na tabela 12, as médias e os desvios padrão das variáveis ambientais dos afluentes.

Tabela 11: Médias e desvio padrão das variáveis ambientais de qualidade da água do rio Itapecuru, distribuição temporal do P6 ao P10.

	Temporal					
	Abril	Junho	Agos	Out	Dez	Fev
pH	7,38 ± 0,15	6,2 ± 0,1	6,88 ± 0,09	6,98 ± 0,04	6,79 ± 0,03	6,92 ± 0,06
OD	3,20 ± 0,12	3,28 ± 0,16	6,75 ± 0,3	5,54 ± 0,16	6,04 ± 0,32	6,80 ± 1,48
Temp	27,8 ± 0,19	29,33 ± 0,14	31,28 ± 0,64	32,5 ± 0,28	28,02 ± 0,07	27,26 ± 0,38
Cond	54,6 ± 0,48	81,78 ± 0,57	62,04 ± 0,68	53,86 ± 1,43	75,64 ± 1,13	78,86 ± 7,38
ST	111,2 ± 6,73	139,2 ± 7,46	119,2 ± 8,44	91,6 ± 15,56	158 ± 45,53	204,6 ± 38,41
SST	57,6 ± 6,71	57,8 ± 7,73	57,8 ± 7,73	37,6 ± 15,51	82,4 ± 46,18	126 ± 39,57
TDS	53,6 ± 0,48	81,4 ± 0,48	61,4 ± 1,01	54 ± 1,26	75,6 ± 1,35	78,6 ± 7,25
Turb	67 ± 4,73	54,37 ± 4,01	22,4 ± 1,01	37,8 ± 6,01	60,3 ± 4,25	112,38 ± 14,06
PO4	1,69 ± 0,63	1,59 ± 0,6	1,03 ± 0,23	1,08 ± 0,16	1,08 ± 0,16	0,61 ± 0,11
NH4	0,04 ± 0,01	0,05 ± 0,01	0,04 ± 0,03	0,01 ± 0,01	0,03 ± 0,01	0,02 ± 0,01
NO2	0,01 ± 0,01	0,01 ± 0	0,04 ± 0,02	0,08 ± 0,01	0,00 ± 0,01	0,01 ± 0,01
NO3	0,92 ± 0,03	3,14 ± 0,16	0,81 ± 0,12	1,74 ± 0,27	3,69 ± 0,24	2,29 ± 0,25
NT	2,65 ± 1,11	3,41 ± 0,41	2,79 ± 0,41	2,99 ± 0,09	4,08 ± 0,1	3,07 ± 0,03
PT	2,22 ± 1,12	1,97 ± 0,73	1,87 ± 0,59	1,64 ± 0,31	1,17 ± 0,07	1,03 ± 0,04
DBO	2,38 ± 0,39	2,96 ± 0,08	3,04 ± 0,08	5,6 ± 0,46	5,58 ± 0,54	4,96 ± 0,95
Coli Total	2400 ± 0	2400 ± 0	1030,6 ± 786,07	1620 ± 636,86	2400 ± 0	2400 ± 0
Coli Term	2400 ± 0	2400 ± 0	569,2 ± 453,64	1620 ± 636,86	2140 ± 520	2140 ± 520

Tabela 12: Médias e desvio padrão das variáveis ambientais de qualidade da água dos afluentes do rio Itapecuru, padrão temporal e espacial.

	Temporal						Espacial				
	Abril	Junho	Agosto	Outubro	Dezembro	Fevereiro	P1	P2	P3	P4	P5
pH	7,08 ± 0,27	6,22 ± 0,11	6,24 ± 0,07	6,48 ± 0,21	6,82 ± 0,2	6,87 ± 0,24	6,63 ± 0,42	6,76 ± 0,47	6,65 ± 0,36	6,51 ± 0,27	6,56 ± 0,27
OD	3,06 ± 1,22	2,59 ± 1,01	2,99 ± 1,22	1,87 ± 1,13	3,94 ± 1,66	6,01 ± 2,04	4,23 ± 1,71	1,14 ± 0,44	3,63 ± 1,34	3,17 ± 2,12	4,69 ± 1,47
Temp	27,37 ± 1,12	27,73 ± 0,85	29,12 ± 0,27	27,12 ± 0,65	26,18 ± 0,8	25,24 ± 0,45	26,79 ± 0,97	27,86 ± 1,7	27,54 ± 1,24	26,83 ± 1,25	26,63 ± 1,48
Cond	79 ± 103,61	112,66 ± 113,1	164,02 ± 134,12	188,38 ± 175,56	96,56 ± 108,44	54,86 ± 28,44	40,58 ± 11,65	333,21 ± 128,55	86,65 ± 47,06	65,8 ± 42,62	67,71 ± 47,73
ST	120,7 ± 89,51	156 ± 99,32	206,8 ± 122,68	276,2 ± 179,8	162,4 ± 85,93	174,8 ± 41,53	116,83 ± 55,93	361,58 ± 137,27	158,66 ± 40,88	151 ± 89,69	145 ± 43,9
SST	42,6 ± 21,84	43,8 ± 20,69	43,8 ± 20,69	88,4 ± 74,79	66 ± 34,43	120,4 ± 52,69	76,66 ± 54,57	29,00 ± 24,23	72,83 ± 41,96	85,83 ± 74,53	77,83 ± 9,28
TDS	78,1 ± 103,81	112,2 ± 112,84	163 ± 133,63	187,8 ± 175,7	96,4 ± 108,51	54,4 ± 28,54	40,16 ± 11,85	332,58 ± 128,44	85,83 ± 46,76	65,16 ± 42,58	67,16 ± 47,52
Turb	38,13 ± 20,2	36,63 ± 16,34	42,8 ± 8,99	53,8 ± 26,64	38,22 ± 13,99	81,28 ± 32,77	46,35 ± 27,28	29,19 ± 14,26	58,18 ± 32,08	50,63 ± 25,75	56,35 ± 18,29
PO4	0,93 ± 0,19	0,93 ± 0,16	0,61 ± 0,23	0,86 ± 0,2	0,86 ± 0,2	0,70 ± 0,17	0,85 ± 0,18	0,80 ± 0,26	0,57 ± 0,18	0,92 ± 0,3	0,84 ± 0,1
NH4	0,22 ± 0,31	0,21 ± 0,29	0,83 ± 0,6	0,58 ± 0,92	0,28 ± 0,44	0,1 ± 0,12	0,21 ± 0,35	1,24 ± 0,69	0,07 ± 0,03	0,08 ± 0,04	0,15 ± 0,16
NO2	0,03 ± 0,06	0,03 ± 0,05	0,02 ± 0,03	0,01 ± 0,01	0,01 ± 0,01	0,01 ± 0,01	0,01 ± 0,01	0,07 ± 0,06	0,01 ± 0,01	0,01 ± 0,01	0,01 ± 0,01
NO3	2,68 ± 2,73	3,33 ± 0,27	1,33 ± 0,69	2,06 ± 0,85	3,40 ± 0,35	2,28 ± 0,25	2,53 ± 0,86	3,99 ± 1,73	1,81 ± 0,94	2,19 ± 1,09	2,03 ± 1,13
NT	4,01 ± 1,15	3,96 ± 0,63	3,67 ± 1,22	4,17 ± 1,36	3,96 ± 0,25	2,99 ± 0,12	3,42 ± 0,77	4,85 ± 1,14	3,18 ± 0,27	3,86 ± 0,87	3,59 ± 0,84
PT	1,10 ± 0,2	1,11 ± 0,18	1,13 ± 0,25	1,29 ± 0,35	1,2 ± 0,39	1,03 ± 0,04	1,21 ± 0,36	1,27 ± 0,32	0,96 ± 0,1	1,17 ± 0,23	1,05 ± 0,19
DBO	4,71 ± 1,76	4,78 ± 1,5	5,28 ± 1,46	9,56 ± 2,77	6,32 ± 2,91	6,44 ± 2,05	3,78 ± 0,99	9,51 ± 2,29	5,49 ± 1,52	6,28 ± 2,91	5,38 ± 1,6
Coli Total	2400 ± 0	2400 ± 0	2140 ± 520	2140 ± 520	2400 ± 0	2400 ± 0	2400 ± 0,00	2183,33 ± 484,48	2183,33 ± 484,48	2400 ± 0,00	2400 ± 0
Coli Term	2400 ± 0	2400 ± 0	1364 ± 877,57	2140 ± 520	1620 ± 636,86	2400 ± 0	1966,66 ± 612,82	1860 ± 785,7	2183,33 ± 484,48	2183,33 ± 484,48	2076,66 ± 722,99

O **pH** é considerado como uma das variáveis ambientais que mensuram a qualidade da água, mais importantes, porém de difícil interpretação. Isso se deve ao grande número de fatores (bióticos e abióticos) que podem influenciá-lo (ESTEVES, 1998). O valor médio do pH, nos afluentes ficou entre 6,22 e 7,08 no padrão temporal e 6,51 a 6,76 no padrão espacial e no rio Itapecuru entre 6,2 e 7,38. Estando em conformidade com a Resolução Conama nº 357/2005, nas classes de qualidade 2 e 3, para as referidas classes, o valor do pH fica entre 6 a 9.

Oxigênio dissolvido (OD), é um dos gases presentes na água mais importantes para a dinâmica e caracterização de ecossistemas aquáticos, além de ser essencial para os ciclos de vida de peixes e outros organismos aquáticos e para o funcionamento adequado dos ecossistemas. Tem como principais fontes a atmosfera e a fotossíntese (ESTEVES, 2011; ANA, 2017a). A concentração média do OD, nos afluentes ficou entre 1,87 e 6,01 mg/L⁻¹ para o padrão temporal e 1,14 a 4,69 mg/L⁻¹ para o padrão espacial, estando com todos os meses em desconformidade, exceto o mês de fevereiro; e com todos os pontos em desconformidade para a classe 2 e somente os pontos 1 e 5 em conformidade para a classe 3 e no rio Itapecuru entre 3,20 e 6,80 mg/L⁻¹ estando os meses de abril e junho em desconformidade com a Resolução Conama nº 357/2005, nas classes de qualidade 2 e 3, que define o valor do OD não inferior a 5 mg/L⁻¹ na classe 2 e 4 mg/L⁻¹ na classe 3.

Temperatura da água, é uma variável abiótica, muito importante no equilíbrio ecológico dos corpos hídricos, pois regula, a tensão superficial da água, que diminui com a elevação da temperatura, e os níveis de oxigênio dissolvido, tendo em vista que quanto maior a temperatura da água, mais aceleradas serão as reações decorrentes da decomposição da matéria orgânica (oxidação) e menor será a solubilidade do oxigênio na água (ESTEVES, 1998). O valor médio da temperatura, nos afluentes ficou entre 25,4 e 29,12 °C padrão temporal e 26,63 a 27,86 °C padrão espacial e no rio Itapecuru entre 27,8 e 32,5 °C. A Resolução Conama nº 357/2005, não apresenta valores de referência para essa variável.

Condutividade elétrica, refere-se à capacidade de uma solução em conduzir a corrente elétrica. Considerando-se que a capacidade de uma solução em conduzir corrente elétrica é em função da concentração dos íons presentes, é de se esperar que em soluções de maior concentração iônica, maior será a condutividade elétrica. Essa variável depende expressivamente das concentrações da temperatura, que determina a atividade iônica de uma solução, o pH também a pode influenciar. Os íons mais diretamente responsáveis pelos valores da condutividade elétrica em águas interiores são cálcio, magnésio, potássio, sódio, carbonato,

sulfato e cloreto. A condutividade indica a quantidade de sais existentes na coluna d'água e, portanto, pode representar uma medida indireta da concentração de poluentes (ESTEVES, 2011; CETESB, 2017). A condutividade teve como valores médios, nos afluentes 54,86 e 188,38 $\mu\text{S}/\text{cm}$ padrão temporal e 40,58 e 333,21 $\mu\text{S}/\text{cm}$ padrão espacial e no rio Itapecuru 53,86 e 81,78 $\mu\text{S}/\text{cm}$. A Resolução Conama n° 357/2005, não apresenta valores de referência para essa variável.

Sólidos totais, todas as substâncias que permaneçam na cápsula após a total secagem de um determinado volume de amostra, divide-se em sólidos fixos (minerais) e voláteis (orgânicos). Também denominado resíduo total, pode ser um indicador de lançamento de efluentes e do aporte anormal de sedimentos em função do deflúvio superficial (SABESP-NTS 013, 1999). A variável, sólido total apresentou os valores médios, nos afluentes entre 120,7 e 276,2 para o padrão temporal e 145 e 361,58 para o padrão espacial e no rio Itapecuru 91,6 e 204,6. A Resolução Conama n° 357/2005, não apresenta valores de referência para essa variável.

Sólidos suspensos totais, todas as substâncias que após filtração e secagem, permaneçam retidas na membrana (fibra de vidro com porosidade 1,2 μm), portanto é a porção dos sólidos totais que fica retida em um filtro que propicia a retenção de partículas de diâmetro maior ou igual a 1,2 μm , pode refletir os processos erosivos existentes nas bacias de drenagem e lançamentos de efluentes domésticos e industriais (SABESP-NTS 013, 1999). Esse parâmetro teve como valor médio, afluentes entre 42,6 e 120,4 padrão temporal e 29 a 85 padrão espacial e no rio Itapecuru 37,6 e 126. A Resolução Conama n° 357/2005, não apresenta valores de referência para essa variável.

Sólidos dissolvidos totais, todas as substâncias que não ficaram retidas na filtração e permaneceram após total secagem de determinado volume de amostra, representa um bom indicador da quantidade de sólidos dissolvidos na água e pode demonstrar lançamento de efluentes (SABESP-NTS 013, 1999). A concentração média de TDS, nos afluentes ficou entre 54,4 e 187,8 para o padrão temporal e 40,16 a 332,58 para o padrão espacial, estando com todos os períodos amostrados e todos os pontos em conformidade para a classe 2 e 3 e no rio Itapecuru entre 53,6 e 81,4 estando os períodos amostrados em conformidade com a Resolução Conama n° 357/2005, nas classes de qualidade 2 e 3, que tem em ambas as classes o valor de 500 mg/L.

Turbidez, denota a interferência de materiais em suspensão na passagem da luz através da água. Representado, um bom indicador da quantidade de sólidos em suspensão e, conseqüentemente, de processos erosivos na bacia hidrográfica. Em áreas urbanas, o aumento

da turbidez pode refletir lançamento de efluentes domésticos e industriais de fontes que podem ser pontuais e/ou difusas (ANA, 2018). Os valores médios de turbidez, nos afluentes ficou entre 36,63 e 81,28 UNT para o padrão temporal, e 29,19 e 58,18 UNT para o padrão espacial, estando com todos os períodos amostrados e todos os pontos em conformidade para a classe 2 e 3 e no rio Itapecuru entre 22,4 e 112,38 UNT estando os períodos amostrados em conformidade, com a Resolução Conama n° 357/2005 para as classes 2 e 3, exceto fevereiro que, apresentou-se em desconformidade com a referida resolução e classes de qualidade. Em ambas as classes, o valor limite para a turbidez, é de até 100 UNT.

Fósforo total, apresenta grande importância nos sistemas biológicos. Que se deve à participação deste elemento em processos fundamentais do metabolismo dos seres vivos, tais como: armazenamento de energia e estruturação da membrana celular. Na maioria das águas continentais o fósforo é o principal fator limitante de sua produtividade e responsável pela eutrofização artificial (ESTEVEES, 2011). Em média, a concentração do fósforo total, nos afluentes ficou entre 1,29 e 1,03 mg/L para o padrão temporal, e 1,27 e 0,96 mg/L para o padrão espacial, estando com todos os períodos amostrados e todos os pontos em desconformidade com a Resolução Conama n° 357/2005 para a classe 2 e 3 e no rio Itapecuru entre 2,22 e 1,03 mg/L estando todos períodos amostrados em desconformidade, para as classes 2 e 3. O padrão para o fósforo total para ambiente lótico, é de 0,1 mg/LP e 0,15 mg/LP para as respectivas classes.

Fosfato, tem sua origem em ecossistemas aquáticos continentais, relacionada a fontes naturais e artificiais. Dentre as fontes naturais, as rochas da bacia de drenagem constituem a fonte básica; já as fontes artificiais mais importantes são: esgotos domésticos e industriais. Em geral em regiões industrializadas e com elevada densidade populacional, as fontes artificiais de fosfato são mais importantes do que as naturais (ESTEVEES, 1998). Esse parâmetro teve como valor médio, afluentes entre 0,93 e 0,61 mg/L padrão temporal e 0,57 a 0,92 mg/L padrão espacial e no rio Itapecuru 1,69 e 0,61 mg/L. A Resolução Conama n° 357/2005, não apresenta valores de referência para essa variável.

Nitrogênio total, é um dos elementos mais importantes no metabolismo de ecossistemas aquáticos. Esta importância deve-se principalmente à sua participação na formação de proteínas, um dos componentes básicos da biomassa (ESTEVEES, 2011). Apresentou como valor médio, afluentes entre 4,17 e 2,99 mg/L padrão temporal e 4,85 a 3,18 mg/L padrão espacial e no rio Itapecuru 4,08 e 2,65 mg/L. A Resolução Conama n° 357/2005, não apresenta valores de referência para essa variável; contudo em seu Art. 10° § 3° define que, para águas

doces de classes 1 e 2, quando o nitrogênio for fator limitante para eutrofização, nas condições estabelecidas pelo órgão ambiental competente, o valor de nitrogênio total (após oxidação) não deverá ultrapassar 1,27 mg/L para ambientes lênticos e 2,18 mg/L para ambientes lóticos, na vazão de referência. Mostrando que os valores médios desse parâmetro, verificados na área de estudo, estão bastante elevados.

Nitrogênio amoniacal total (NH_4), é muito importante para os organismos produtores, especialmente porque sua absorção é energeticamente mais viável. Altas concentrações do íon amônio podem ter grandes implicações ecológicas no ambiente aquático, como, a diminuição na concentração de oxigênio dissolvido, por conta da grande demanda para sua oxidação (ESTEVES, 1998). Em média, a concentração do nitrogênio amoniacal total, nos afluentes ficou entre 0,83 e 0,1 mg/L para o padrão temporal, e 1,24 e 0,07 mg/L para o padrão espacial, estando com todos os períodos amostrados e todos os pontos em conformidade com a Resolução Conama nº 357/2005 para a classe 2 e 3 e no rio Itapecuru entre 0,05 e 0,01 mg/L estando todos períodos amostrados em conformidade, para as referidas classes. O padrão para o nitrogênio amoniacal total é de 3,7 mg/L e 13,3 mg/L para $pH \leq 7,5$; 2,0 e 5,6 para $7,5 < pH \leq 8$ e; 1,0 e 2,2 para $8 < pH \leq 8,5$, para as classes 2 e 3 respectivamente.

Nitrito, é encontrado em baixas concentrações notadamente em ambientes oxigenados. Em ambientes anaeróbios, pode-se encontrar altas concentrações deste íon. O nitrito representa uma fase intermediária entre a amônia (forma mais reduzida) e nitrato (forma mais oxidada). Em altas concentrações, o nitrito é extremamente tóxico à maioria dos organismos aquáticos (ESTEVES, 2011). Apresentou como valor médio, nos afluentes entre 0,01 e 0,03 mg/L padrão temporal e 0,01 a 0,07 mg/L padrão espacial e no rio Itapecuru 0,00 e 0,08 mg/L; estando com todos os períodos e pontos amostrados, nos afluentes e no rio Itapecuru, em conformidade com a Resolução Conama nº 357/2005 para a classe 2 e 3. O valor limite para nitrito é de 1,0 mg/L para ambas as classes.

Nitrato, constitui-se na maioria dos casos, como a principal fonte de nitrogênio para os vegetais aquáticos. Os organismos produtores necessitam realizar a redução do nitrato no interior das suas células que ocorre pela nitrato-redutase até amônio (ESTEVES, 1998). Esse parâmetro teve como valor médio, nos afluentes, entre 1,33 e 3,40 padrão temporal e 1,81 a 3,99 padrão espacial e no rio Itapecuru 0,81 e 3,69; estando com todos os períodos e pontos amostrados, nos afluentes e no rio Itapecuru, em conformidade com a Resolução Conama nº 357/2005 para a classe 2 e 3. O valor limite para nitrato é de 10,0 mg/L para ambas as classes.

Demanda bioquímica de oxigênio (DBO), indica a quantidade de oxigênio consumido nos processos biológicos de degradação da matéria orgânica no meio aquático. É, portanto, um indicador das cargas orgânicas nos corpos hídricos. Cargas orgânicas provenientes de esgotos domésticos não tratados têm forte influência no aumento da DBO, sobretudo em rios e córregos de pequeno porte e com capacidade limitada de autodepuração (ANA, 2017a). Os valores médios da DBO, nos afluentes ficou entre 4,71 e 9,56 mg/L para o padrão temporal e 3,78 a 9,51 mg/L para o padrão espacial, estando na maioria dos meses em desconformidade, exceção aos meses de abril e junho; e com todos os pontos, exceto P1, em desconformidade para a classe 2 e todos meses e pontos amostrados em valores médios estão em conformidade para a classe 3. E no rio Itapecuru entre 2,38 e 5,6 mg/L, estando somente os meses de abril e junho em conformidade com a Resolução Conama nº 357/2005, na classe de qualidade 2 e todos os meses amostrados em conformidade para a classe 3. O padrão para demanda bioquímica de oxigênio é, até 5 mg/L na classe 2 e até 10 mg/L na classe 3.

Coliformes totais, são um grupo de bactérias que contem bacilos gram-negativos, aeróbios ou anaeróbios facultativos, não formadores de esporos, oxidase-negativa, capazes de crescer na presença de sais biliares ou outros compostos ativos de superfície, com propriedades similares de inibição de crescimento, e que fermentam a lactose com produção de ácidos, aldeídos e gás a 35°C em 24-48 horas. Este grupo contém os seguintes gêneros: Escherichia, Citrobacter, Enterobacter e Klebsiella (BETTEGA, 2006). Essa variável apresentou como valores médios, nos afluentes entre 2.140 e 2.400 NMP/100 mililitros, para o padrão temporal e 2.183 e 2.400 NMP/ 100 mililitros, para o padrão espacial e no rio Itapecuru entre 1.030 e 2.400 NMP/100 mililitros. A Resolução Conama nº 357/2005, não apresenta valores de referência para essa variável.

Coliformes termotolerantes, bactérias gram-negativas, em forma de bacilos, oxidase-negativas, caracterizadas pela atividade da enzima β -galactosidase. Podem crescer em meios contendo agentes tenso-ativos e fermentar a lactose nas temperaturas de 44° - 45°C, com produção de ácido, gás e aldeído. Além de estarem presentes em fezes humanas e de animais homeotérmicos, ocorrem em solos, plantas ou outras matrizes ambientais que não tenham sido contaminados por material fecal (BRASIL, 2005). Nos afluentes ficou entre 1.364 e 2.400 NMP/100 mililitros para o padrão temporal e 1.860 a 2.183 NMP/100 mililitros para o padrão espacial; estando todos os meses e pontos amostrados em desconformidade com a classe de qualidade 2 e em conformidade com a classe 3, da Resolução Conama nº 357/2005. No rio Itapecuru, 569,2 e 2.400 NMP/100 mililitros, com todos os meses em desconformidade com a classe de qualidade

2, exceção ao mês de agosto que, está em conformidade e com todos os meses amostrados em conformidade com a classe 3. Não deverá ser excedido um limite de 1.000 coliformes termotolerantes por 100 mililitros, na classe de qualidade 2 e 4.000 coliformes termotolerantes por 100 mililitros, na classe de qualidade 3, em 80% ou mais de pelo menos 6 (seis) amostras coletadas durante o período de um ano, com frequência bimestral.

Escherichia Coli (E.Coli), bactéria pertencente à família enterobacteriaceae caracterizada pela atividade da enzima β -glicuronidase. Produz indol a partir do aminoácido triptofano. É a única espécie do grupo dos coliformes termotolerantes cujo habitat exclusivo é o intestino humano e de animais homeotérmicos, onde ocorre em densidades elevadas (BRASIL, 2005). Essa variável, esteve presente em 60% das amostras do rio Itapecuru e 53,33% das amostras dos afluentes e 56,66% do total das amostras. A Resolução Conama n° 357/2005, não apresenta valores de referência para *E. Coli*.

5.5 Índice de qualidade da água – IQA

O IQA nos corpos de água da Bacia Hidrográfica do Rio Itapecuru no Município de Itapecuru-Mirim, enquadrrou a qualidade da água nas classes “Ruim” (valores em vermelho), “Regular” (valores em amarelo) e “Boa” (valores em verde), como mostra a tabela 13.

Tabela 13: Pontuação do índice de qualidade da água da bacia do rio Itapecuru em Itapecuru-Mirim.

Meses/Estações	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10
Abril 2018 *	49	34	42	42	43	43	43	41	38	37
Junho 2018 *	44	33	41	35	42	40	41	40	39	38
Agosto 2018 **	43	37	39	42	52	63	54	53	53	59
Outubro 2018 **	38	30	46	28	39	54	49	52	51	52
Dezembro 2018 **	48	33	46	49	51	48	49	48	49	52
Fevereiro 2019 *	43	39	44	50	52	43	48	48	43	38

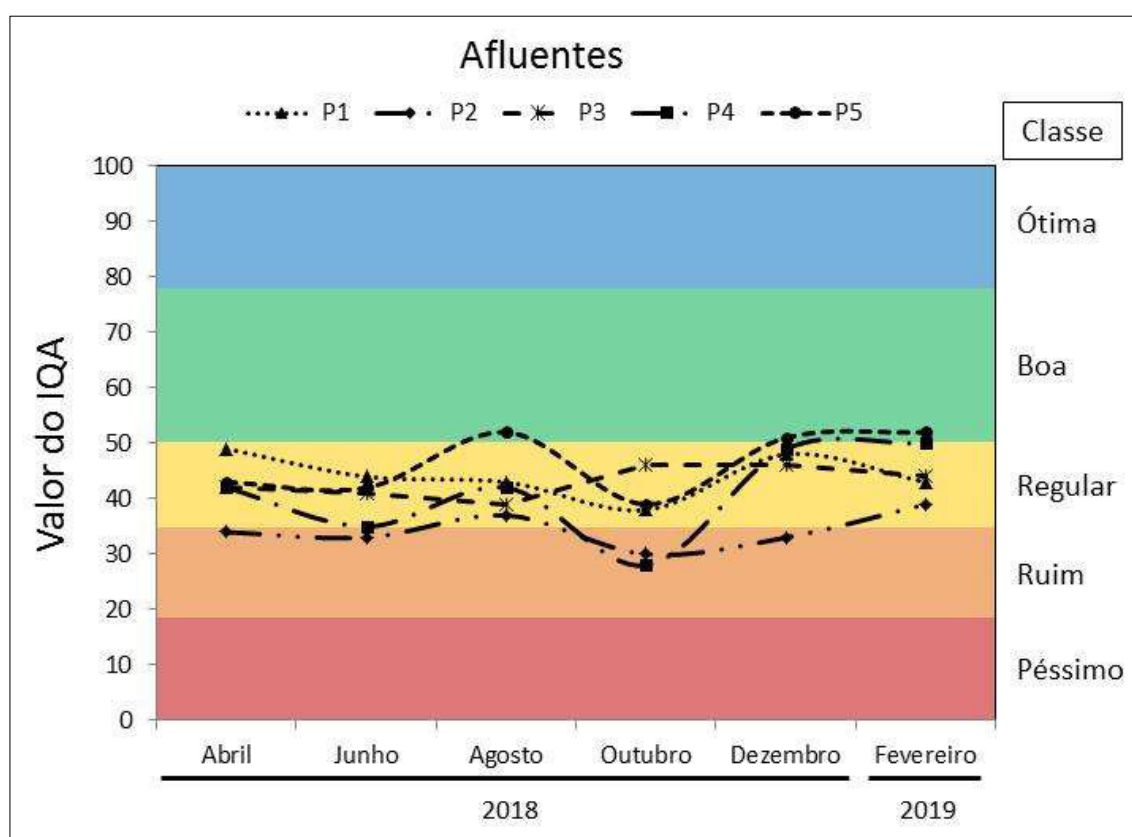
* Período chuvoso

** Período de estiagem

Nas estações de amostragem dos afluentes do rio Itapecuru P1 a P5, o enquadramento do IQA variou de “Ruim” a “Boa”. Na campanha do mês de abril, P2 teve o IQA enquadrado como “Ruim” e as demais estações P1, P3, P4 e P5 tiveram o IQA enquadrado como “Regular”; na campanha do mês de junho, P2 e P4 tiveram o IQA enquadrado como “Ruim” e P1, P3 e P5 tiveram o IQA enquadrado como “Regular”; na campanha do mês de agosto, as estações P1, P2, P3 e P4 tiveram o IQA enquadrado como “Regular” e P5 como “Boa”; na campanha do mês

de outubro, P2 e P4 tiveram o IQA enquadrado como “Ruim” e P1,P3 e P5 tiveram o IQA enquadrado como “Regular”; na campanha do mês de dezembro, P2 teve o IQA enquadrado como “Ruim” e as demais estações P1,P3,P4 e P5 tiveram o IQA enquadrado como “Regular” e na campanha do mês de fevereiro, P1, P2, P3 e P4 tiveram o IQA enquadrado como “Regular” e P5 como “Boa”. Dentre essas estações, a que apresentou melhor nível de qualidade da água foi P5 nos meses de agosto, dezembro e fevereiro, com a classe “Boa” e “Regular” e a que apresentou o pior nível de qualidade foi P2 nos meses de abril, junho e dezembro e P4 no mês de outubro, com a classe “Ruim”, o enquadramento em classes é demonstrado no gráfico da figura 14.

Figura 14: Gráfico do valor e enquadramento em classe do IQA dos afluentes



Analisando o gráfico com a distribuição dos valores do IQA dos pontos de amostragem dos afluentes em relação às classes de enquadramento e os períodos das coletas, pode-se perceber que não houve grandes variações sazonais nos valores do IQA, praticamente todos os pontos amostrados ficaram dentro da classe “regular” ao longo de quase todo o período analisado, demonstrando que nos afluentes, a sazonalidade não representou um fator muito determinante na modificação do comportamento das variáveis, apesar de haver uma variação dentro da classe. É perceptível que alguns desses corpos d’água, apresentam uma qualidade da

água melhor no período chuvoso, já outros, apresentam um melhor resultado no IQA no período de estiagem.

Ao se fazer a correlação das estações com o maior e menor valor do IQA (P5 e P2), com a distribuição espacial das mesmas, percebe-se que, tal variação está relacionada ao fato de P5 estar localizada em um riacho relativamente distante do núcleo urbano de Itapecuru-Mirim, na zona semiurbana desse município e P2 ficar localizada na região central do núcleo urbano da referida cidade

Essa é uma situação que já era esperada, haja vista que, devido à falta de saneamento básico nas cidades e de disciplinamento do uso e ocupação do solo, os corpos d'água localizados em áreas urbanizadas, tendem a apresentar água com a qualidade degradada. Segundo ANA (2017b), a maioria dos problemas relacionados à qualidade de água, sobretudo os que se referem ao aporte de matéria orgânica e nutrientes, estão concentrados próximos a áreas urbanizadas, especialmente as grandes aglomerações urbanas e indicam poluição por esgotos lançados sem tratamento ou com tratamento inadequado.

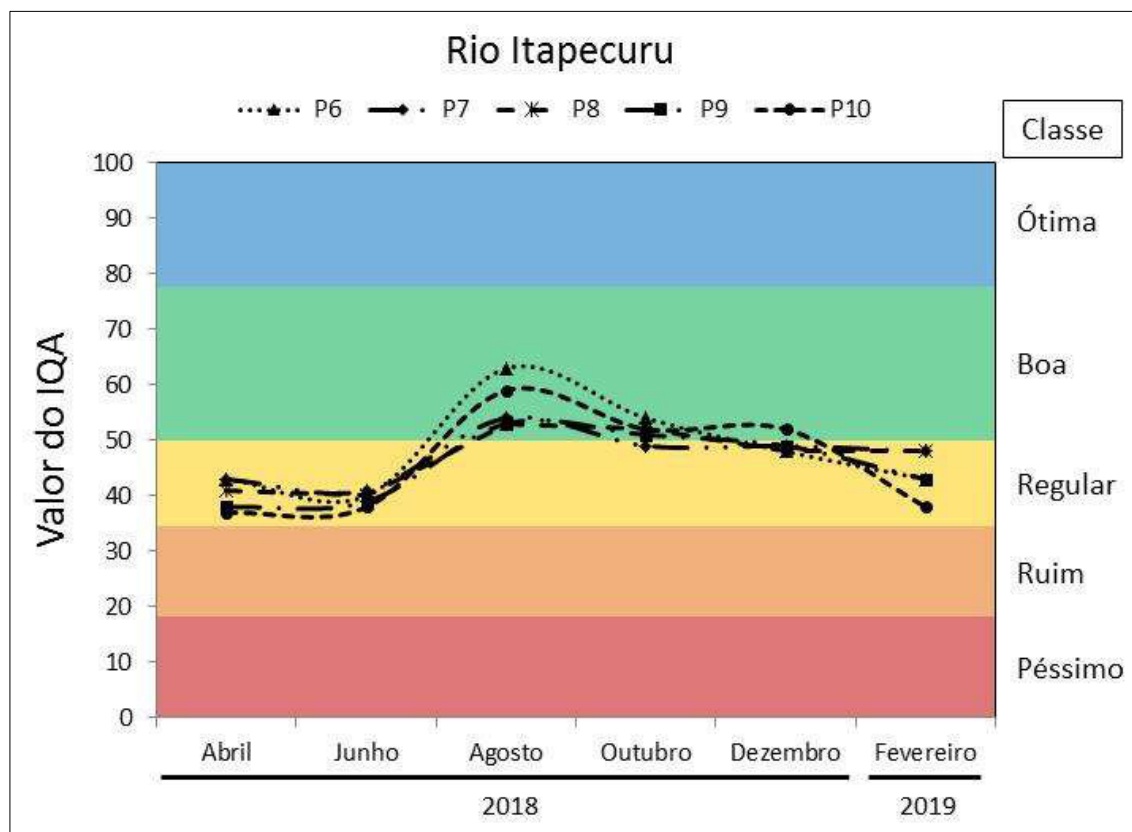
No tocante a dinâmica das variáveis que integram o IQA, constatou-se com a análise dos resultados dos cálculos do produtório ponderado das qualidades de água, correspondente às variáveis, que os parâmetros mais representativos para a variação do valor do IQA para baixo, nas cinco estações de amostragem foram, coliformes termotolerantes, fósforo total, oxigênio dissolvido e turbidez.

Esse resultado confirma que, a principal fonte de poluição dos afluentes estudados é o esgoto doméstico *in natura*, e que eles têm um relevante papel no aumento da degradação da qualidade da água do rio Itapecuru. É como corrobora CETESB (2014), o aumento na quantidade de coliformes termotolerantes na água, representa um dos principais, se não o principal indicador da disposição de esgotos domésticos sem tratamento no meio aquático. O conseqüente aumento da concentração da matéria orgânica e a sua decomposição pelos microrganismos determinam a redução nos níveis de oxigênio dissolvido no meio aquático.

Nas estações de amostragem da calha principal do rio Itapecuru P6 a P10, nas campanhas dos meses de abril e de junho, todas as estações de amostragem tiveram o IQA enquadrado como “Regular”; no mês de agosto, todas as estações tiveram o IQA enquadrado como “Boa”; no mês de outubro, as estações P6, P8 e P10 tiveram o IQA enquadrado como “Boa” e as estações P7 e P9 tiveram o IQA enquadrado como “Regular”; no mês de dezembro as estações P6, P7, P8 e P9 tiveram o IQA enquadrado como “Regular” e a estação P10 teve o IQA enquadrado como “Boa” e no mês de fevereiro, todas as estações de amostragem tiveram

o IQA enquadrado como “Regular”. Dentre essas estações de monitoramento a que apresentou melhor nível de qualidade da água foi P6 nos meses de agosto e outubro, e P10 em dezembro, com o resultado de 63, 54 e 52 respectivamente, valores representativos da classe “Boa”, e a que apresentou o pior nível de qualidade foi P10 nos meses de abril, junho e fevereiro com o resultado de 37, 38 e 38, valores de IQA bem próximos do limite superior da classe de qualidade de água “Ruim” que é 36, como fora mostrado na tabela 12 e pode ser visualizado na figura 15.

Figura 15: Gráfico do valor e enquadramento em classe do IQA do rio Itapecuru



Analisando o gráfico com a distribuição dos valores do IQA dos pontos de amostragem do rio Itapecuru, em relação as classes de enquadramento e os períodos das coletas, pode-se perceber que, apesar de todas as estações de amostragem desse corpo hídrico apresentarem classe de qualidade de água para o IQA “Regular” e “Boa”, observou-se que a qualidade da água varia bastante em função da sazonalidade, onde percebe-se que a água apresenta uma qualidade bem melhor no período de estiagem e perde significativamente qualidade no período chuvoso.

Durante o período chuvoso, há um aumento no aporte de matéria orgânica dissolvida e particulada que, é oriunda do lançamento de esgotos domésticos, do escoamento superficial e da própria ressuspensão dos sedimentos (TAKIYAMA et al., 2003; RODRIGUES et al., 2011 apud DAMASCENO, 2015).

Ao se fazer a análise da distribuição espacial das estações, constatou-se que o nível do IQA é pouco maior nas estações a montante do núcleo urbano da cidade de Itapecuru-Mirim P6 e P7, diminui um pouco na região central mais urbanizada P8 e nas estações a jusante dessa região central P9 e P10. Fato que sugere a atuação dos afluentes, principalmente os que cortam a zona mais urbanizada, como canais de escoamento de efluentes para o rio Itapecuru, contribuindo dessa forma, para a diminuição da qualidade da água desse corpo d'água, sobretudo a jusante da região central e urbanizada da área de estudo.

A disposição de efluentes em corpos de água sem tratamento ou com tratamento inadequado, tem como resultado imediato, a degradação da qualidade da água, sendo os trechos dos corpos hídricos localizados em áreas urbanas e/ou próximas a elas, os locais mais atingidos, podendo ter como resultado impactos na saúde da população e até impossibilitar ou limitar o atendimento de usos a jusante, especialmente os que exigem um padrão de qualidade da água mais elevado, como o abastecimento humano (ANA, 2017b).

No que se refere a dinâmica das variáveis que integram o IQA, constatou-se com a análise dos resultados dos cálculos do produtório ponderado da qualidade de água correspondente às variáveis, que os parâmetros mais representativos para a variação do valor do IQA para baixo nas cinco estações de amostragem foram, coliformes termotolerantes, fósforo total, oxigênio dissolvido e turbidez.

Ao constatar-se que, coliformes termotolerantes, fósforo total e oxigênio dissolvido foram as variáveis mais representativas para a diminuição do valor do IQA, nas dez estações de monitoramento, percebeu-se que esses parâmetros estão associados ao lançamento de esgotos domésticos de forma *in natura* que, são lançados por diversas cidades ao longo do curso desse rio e nos afluentes desse rio na cidade de Itapecuru-Mirim.

Segundo ANA (2017a), as águas poluídas por esgotos, apresentam grande quantidade de coliformes termotolerantes, essas bactérias ocorrem no trato intestinal de animais de sangue quente e são indicadoras de poluição por esgotos domésticos. Apesar das mesmas não serem patogênicas, sua presença em grandes números, indicam a possibilidade da existência de microrganismos patogênicos que, são responsáveis pela transmissão de doenças de veiculação hídrica. E apresentam baixa concentração de oxigênio dissolvido, pois o mesmo é consumido no processo de decomposição da matéria orgânica.

Apesar de ser importante nutriente para os processos biológicos, o excesso de fósforo é um dos principais indicadores de poluição das águas continentais, podendo causar a eutrofização. Entre as fontes de fósforo destacam-se os esgotos domésticos, pela presença dos

detergentes superfosfatados e da própria matéria fecal. A drenagem pluvial de áreas agrícolas e urbanas, também é uma fonte significativa de fósforo para os corpos d'água (ANA, 2018).

Resultados parecidos com os encontrados na pesquisa, foram relatados em estudos realizados em outros locais do baixo curso do rio Itapecuru, como o realizado por Soares et al. (2016), em que o IQA enquadrava a água do ambiente como “Ruim” e “Boa”. Os resultados foram associados principalmente aos níveis elevados de coliformes termotolerantes, fósforo total e turbidez. Com relação aos níveis de coliformes termotolerantes e fósforo total os autores alegam que a elevação da concentração está associada a poluição da água por esgoto doméstico.

No estudo realizado por Siqueira et al. (2012), no rio Parauapebas no Pará, o IQA determinado para o referido corpo d'água foi de 40,01, o que na classificação do índice enquadra-se na categoria “Regular”. A variável que mais contribuiu para a definição do valor do IQA foi coliformes termotolerantes, segundo os autores o resultado reforça a questão de estar havendo contaminação por efluentes orgânicos na região, especialmente de origem doméstica.

A pesquisa realizada por Almeida e Schwarzbald (2003), no Arroio da Cria Monte Negro no Rio Grande do Sul, a maioria dos valores do IQA (70%) foi enquadrado na classe “Regular”, 20% na “Boa” e 10 % na “Ruim”; os autores relataram que os resultados do IQA com pior qualidade ocorreram no verão, quando o nível de água do arroio foi um dos maiores. As estações que apresentaram as piores qualidades no IQA, foi devido aos valores muito altos de coliformes termotolerantes, turbidez, fósforo total e baixa saturação de oxigênio.

Como é sabido o índice de qualidade da água – IQA, é um índice que foi criado para mensurar a qualidade da água para abastecimento humano, esse índice analisa a qualidade da água e o tipo de tratamento que a mesma deve passar, mediante qualidade apresentada, de modo que não represente risco a saúde pública.

Água que apresenta IQA na classe péssima e ruim, são consideradas águas impróprias para tratamento convencional visando o abastecimento público, sendo necessários tratamentos mais avançados; já a água que apresenta IQA na classe regular, boa e ótima, são consideradas apropriadas para o tratamento convencional visando o abastecimento público (ANA, 2012).

Dessa forma, o IQA apresenta-se como um mecanismo de mensuração da qualidade da água, muito importante pois determina a qualidade da água e a partir disso, define o tipo de tratamento que deve ser imposto a mesma, de modo que a população que venha a consumir essa água, não corra nenhum risco de comprometimento de sua saúde. Mostra-se ainda mais relevante em localidades que não dispõem de saneamento ambiental e que fazem a disposição

final dos seus efluentes em canais fluviais sem nenhum tipo de tratamento prévio, e que utilizam esses canais fluviais como local de captação da água bruta utilizada para o abastecimento público.

Por outro lado, o IQA mostra-se restrito por limitar-se a mensurar a qualidade da água para um único tipo de uso (abastecimento público), de modo que uma série de outros usos não são contemplados por esse índice, e a população fica vulnerável quando se utiliza apenas esse índice na análise da qualidade da água. Sendo necessário a aplicação de outros índices para contemplar todos os principais usos da água.

Uma possível adaptação do IQA utilizado, está alinhada às colocações de Almeida; Schwarzbald (2003), na qual o índice deveria levar em consideração a natureza das atividades desenvolvidas na área da bacia, com o uso de variáveis mais significativas para cada caso específico, que poderia apresentar resultados que evidenciassem mais a diferença entre as zonas impactadas e as mais preservadas. No entanto, a adaptação dos índices existentes às realidades locais deve ser feita por metodologias próprias para isso, em pesquisas especialmente projetadas para este fim, a partir de conhecimentos básicos pré-existent.

5.6 Índice de conformidade ao enquadramento – ICE

O ICE da bacia hidrográfica do rio Itapecuru no Município de Itapecuru-Mirim, mostrou que a condição de qualidade da água dos corpos hídricos monitorados, está em desconformidade com a classe de qualidade em que os corpos de água encontram-se enquadrados; tendo em vista que, encontrou-se a classe do ICE “Péssima” para corpos d’ água enquadrados na classe 2, classe de enquadramento dos corpos hídricos da área de estudo e “Ruim” quando simulou-se os corpos d’ água enquadrados na classe 3. Resultado que pode ser observado na tabela 14 e figura 16.

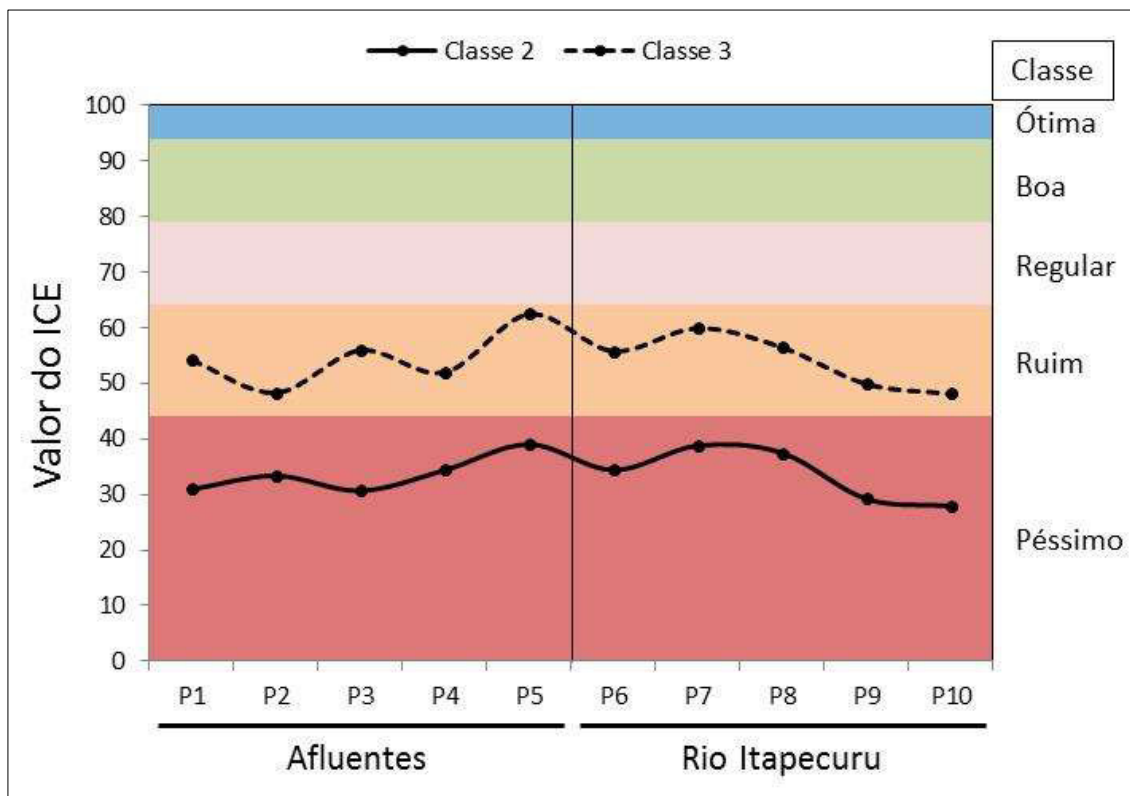
Tabela 14: Resultado do ICE e seus fatores, para classe 2 de enquadramento da água.

Período / Estações	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10
2018 / 2019 *C2	30	33	30	34	39	34	38	37	29	27
2018 / 2019 *C3	54	48	55	51	62	55	59	56	49	48

*C2 – classe 2 de enquadramento da água

*C3 – classe 3 de enquadramento da água

Figura 16: Gráfico do valor e enquadramento em classe do ICE do rio Itapecuru e dos afluentes



Analisando o gráfico do valor e enquadramento do ICE em classes, verificou-se que ao utilizar-se o padrão (valor limite adotado como requisito normativo de um parâmetro de qualidade de água) da classe 2, definido pela Resolução Conama n° 357/2005 e adaptado pela ANA, 2012. Para essa classe todas as estações de monitoramento estão com a qualidade da água distante do enquadramento, ou seja, em desconformidade, tendo em vista que o valor do ICE encontrado em todos os pontos ficou entre 0 e 44, o que os coloca na classe “Péssima” do ICE, representando que, a qualidade de água quase sempre está alterada e os parâmetros de qualidade frequentemente não atendem os padrões estabelecidos pelo enquadramento.

Os parâmetros que mais contribuíram para baixar o valor do ICE foram o fósforo total que apareceu sempre fora dos padrões estabelecidos; coliformes termotolerantes; demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e oxigênio dissolvido (OD) como mostra a tabela 15, estando quase sempre desconformes com os valores determinados no enquadramento.

Tabela 15: Total de vezes que uma variável violou o critério estabelecido pela norma (Res. Con. N° 357/2005), para classe 2 de enquadramento da água.

Variável	P1 N _{exc}	P2 N _{exc}	P3 N _{exc}	P4 N _{exc}	P5 N _{exc}	P6 N _{exc}	P7 N _{exc}	P8 N _{exc}	P9 N _{exc}	P10 N _{exc}	Total N _{exc}	% N _{exc}
PH	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
OD	5	5	5	5	4	2	2	2	2	3	35	58,3
DBO	1	6	3	4	3	1	2	2	2	3	27	45
Fósforo total	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	60	100
Turbidez	1	0	1	0	0	1	0	0	1	1	5	8,3
Coliformes termotolerantes	6	4	6	6	5	5	6	5	6	5	54	90

N_{exc}= Número total de vezes que uma variável violou o critério estabelecido como objetivo do monitoramento

Tendo em vista que os corpos d' água monitorados foram enquadrados na classe 2, pela determinação da Resolução Conama n° 357/2005, que em seu Art. 42 assevera que enquanto não aprovados os respectivos enquadramentos, as águas doces serão consideradas classe 2, isso acontecendo pelo fato de no Estado do Maranhão nenhum corpo hídrico ter sido enquadrado total ou parcialmente; assim tanto o rio Itapecuru, como os afluentes estudados neste trabalho não foram enquadrados seguindo as determinações da legislação pertinente, a saber Resolução CNRH n° 91 de 05 de novembro de 2008.

Situação que suscitou calcular o ICE dos corpos hídricos monitorados, os enquadrando também na classe 3; onde mesmo tendo como referência para a definição do ICE uma classe de qualidade menos restritiva quanto aos valores dos parâmetros analisados, todos as estações de monitoramento apresentaram qualidade da água em desconformidade com o enquadramento, haja vista, que o valor do ICE encontrado em todos os pontos ficou entre 45 e 64, o que os coloca na classe "Ruim", demonstrando que, a qualidade de água está frequentemente afetada e com frequência os parâmetros de qualidade da água não atendem os padrões estabelecidos pelo enquadramento.

Como ocorreu quando se enquadraram os corpos d' água na classe 2, os parâmetros que mais contribuíram para baixar o valor do ICE com corpos d' água enquadrados na classe 3, foram o fósforo total que apareceu sempre fora dos padrões estabelecidos; coliformes termotolerantes; demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e oxigênio dissolvido (OD), estando

com certa frequência desconformes com os valores determinados no enquadramento, como demonstrado na tabela 16.

Tabela 16: Total de vezes que uma variável violou o critério estabelecido pela norma (Res. Con. N° 357/2005), para classe 3 de enquadramento da água.

Variável	P1 N _{exc}	P2 N _{exc}	P3 N _{exc}	P4 N _{exc}	P5 N _{exc}	P6 N _{exc}	P7 N _{exc}	P8 N _{exc}	P9 N _{exc}	P10 N _{exc}	Total N _{exc}	% N _{exc}
PH	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
OD	3	5	4	4	3	2	2	2	2	3	30	50
DBO	0	3	0	1	0	0	0	0	0	0	4	6,6
Fósforo total	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	60	100
Turbidez	1	0	1	0	0	1	0	0	1	1	5	8,3
Coliformes termotolerantes	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

N_{exc}= Número total de vezes que uma variável violou o critério estabelecido como objetivo do monitoramento.

O baixo valor do ICE está associado aos parâmetros fósforo total, coliformes termotolerantes, DBO e OD, que com frequência estavam em desconformidade com os valores determinados pela Resolução Conama n° 357/2005, que serve de referência para o enquadramento dos corpos hídricos em classe de qualidade.

Esses parâmetros estão diretamente ligados à emissão de esgoto doméstico, fato que se confirma nos baixos valores do ICE dos afluentes do rio Itapecuru e também na calha do rio Itapecuru, observando que os pontos que ficam a montante da cidade de Itapecuru (P6, P7 e P8) apresentam o ICE um pouco mais elevado que os pontos que ficam a jusante da cidade (P9 e P10), o que mostra que a água do rio Itapecuru chega no território do município de Itapecuru-Mirim com a qualidade já bastante degradada, porém a degradação da qualidade da água desse rio é agravada em função do lançamento de esgoto que ocorre nessa cidade, tendo como importantes canais de emissão, os afluentes do rio Itapecuru.

Dentre os parâmetros mensurados no ICE, fósforo total foi o que teve o pior desempenho, em 100% das vezes violou o critério estabelecido como objetivo do monitoramento, tanto para a classe 2, como para a classe 3. Essa variável, em ambientes urbanos, tem sua concentração na água, associada principalmente a poluição por efluentes domésticos e industriais (ANA, 2017a).

Levando em consideração relatos de ANA (2007), ao definir que, a Resolução Conama n° 357/2005, estabelece que, o conjunto de parâmetros selecionado para subsidiar a proposta

de enquadramento do corpo de água deverá ser representativo dos impactos ocorrentes e dos usos pretendidos. Acredita-se que os parâmetros mensurados no ICE neste trabalho são bem representativos dos impactos que acometem o rio Itapecuru e os afluentes estudados, haja vista, que as variáveis que mais estiveram em desconformidade com o padrão estabelecido pela Resolução Conama nº357/2005, estão associadas ao lançamento de esgotos domésticos *in natura*.

Na pesquisa realizada por Cabral e Melo (2018), no alto rio das Velhas em Minas Gerais, foi constatado que o ICE, apresentou valores muito baixos, estando enquadrado na classe péssima do referido índice, com o trecho do rio das Velhas estudado, estando enquadrado na classe 3. Os autores relataram que as variáveis que apresentaram maior percentual de desconformidade foram, DBO, fósforo total e coliformes termotolerantes, e destacaram que as variáveis estão relacionadas ao lançamento de esgoto doméstico.

Estudo realizado por Amaro e Porto (2009), mostrou que, nos pontos de amostragem localizados nos rios Corumbataí e Capivari ambos no Estado de São Paulo, os valores do ICE foram baixos e que estava relacionado ao fato dos referidos pontos, estarem próximos da foz e receberem toda a carga poluidora da bacia.

No mesmo estudo Amaro e Porto (2009), relatam que as áreas urbanizadas e industriais influenciaram no resultado do ICE, destacando que nos pontos das bacias do rio Piracicaba, que estavam perto de áreas urbanizadas e industrializadas, os valores do ICE foram baixos e associou o resultado a poluição da água do rio Piracicaba por esgotos domésticos e industriais não tratados ou com tratamento inadequado.







5.6.1 Compatibilidade dos usos com a qualidade da água.

Como fora determinado pelo ICE, a qualidade da água na área estudada, foi definida como “Péssima” para corpos d’ água enquadrados na classe 2, classe em que se encontra enquadrado os corpos hídricos monitorados, tendo em vista o Art. 42 da Resolução Conama nº 357/005 e “Ruim” quando usou-se como referência do enquadramento uma classe menos restritiva, a classe 3.

A condição de qualidade, é imprescindível para maioria dos usos da água, mesmo que haja alguns que, não necessariamente dependam desse fator para serem executados. Com isso, é extremamente importante que se meça a qualidade da água, e a partir daí se defina a classe de enquadramento e a compatibilidade dos usos da água que, habitualmente se desenvolve em determinado corpo hídrico ou os que eventualmente possam vir a ser desenvolvidos.

A qualidade das águas superficiais é um fator que determina sua disponibilidade para diversos usos, apesar da qualidade em se tratando de usos, ser relativa, haja vista que tem usos que exigem um padrão de qualidade maior e outros um padrão menor. (TUNDISI, 2005, 2008; SOUSA et al., 2014; ANA, 2017a; 2018). Na área de estudo foram identificados diversos usos da água, tais como, abastecimento público, aquicultura, irrigação, recreação de contato primário, pesca e navegação, conforme mostrado no quadro 03.

Quadro 03: Usos da água identificados na área de estudo.

Tipo de uso / corpo hídrico(rioItapecuru)	Registro fotográfico	
<p>Captação para abastecimento público (ponto de captação de água da CAEMA).</p>		
<p>Captação para aquicultura.</p>		
<p>Captação para irrigação.</p>		

Recreação e atividade de contato primário.		
Atividades de pesca e/ou pesca amadora		
Navegação		

Mediante a condição de qualidade da água verificada pela aplicação do ICE e os usos desenvolvidos no baixo curso do rio Itapecuru e em afluentes pesquisados, determinou-se quais os usos da água que estão sendo desenvolvidos em desconformidade com a condição de qualidade da água e quais usos possíveis de serem desenvolvidos com segurança adequada, em função da classe de enquadramento, conforme Resolução Conama nº 357/2007, como mostra o quadro 04.

Quadro 04: Usos das águas doces conforme classes de enquadramento

Usos preponderantes	Classes de usos				
	Especial	1	2	3	4
Abastecimento para consumo humano com desinfecção	X				

Abastecimento para consumo humano após tratamento simplificado		X			
Abastecimento para consumo humano após tratamento convencional			X		
Abastecimento para consumo humano após tratamento convencional ou avançado				X	
Preservação dos ambientes aquáticos em unidades de conservação de proteção integral	X				
Preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas	X				
Proteção das comunidades aquáticas em terras indígenas		X			
Proteção das comunidades aquáticas		X			
Recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho, conforme Resolução Conama n° 274 de 2000		X	X		
Recreação de contato secundário				X	
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		X			
Irrigação de hortaliças, plantas frutíferas			X		
Irrigação de Parques, jardins, campos de esporte e lazer, com os quais o público possa vir a ter contato direto			X		
Irrigação de culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras				X	
Aquicultura e à atividade de pesca			X		
Pesca amadora				X	
Dessedentação de animais				X	
Navegação					X
Harmonia paisagística					X

Fonte: Adaptado de BRASIL, 2005.

Tendo em vista a verificação da conformidade do enquadramento para a classe 2, através da aplicação do ICE – índice de conformidade do enquadramento, constatou-se que o rio Itapecuru e os afluentes monitorados apresentam a classe do ICE “Péssima”, significando que a qualidade da água está quase sempre alterada e que os parâmetros de qualidade frequentemente não atendem aos padrões estabelecidos pelo enquadramento.

Pode-se destacar como usos possíveis de serem desenvolvidos com segurança adequada na classe 2, e que estão sendo feitos na área de estudo, em completa desconformidade com a

condição da qualidade da água, representando grande risco à população: recreação de contato primário, aquicultura, 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 atividade de pesca.

Ao verificar-se a conformidade do enquadramento para a classe 3, através da aplicação do ICE – índice de conformidade do enquadramento, constatou-se que o rio Itapecuru e os afluentes monitorados, apresentam a classe do ICE “Ruim”, significando que a qualidade da água está frequentemente alterada e que com frequência os parâmetros de qualidade não atendem aos padrões estabelecidos pelo enquadramento.

Essa situação mostrou que, mesmo em uma classe menos restritiva, o enquadramento desses corpos hídricos está em desconformidade, porém em uma condição de qualidade melhor que o apresentado na classe 2. Dessa forma, os usos da água permitidos pela classe 3, não podem ser realizados na área da pesquisa, frente a situação de desconformidade verificada pelo ICE.

Até que os corpos de água, alcancem uma melhor condição de qualidade da água, estando em conformidade com a os padrões da classe 3. Os usos abastecimento para consumo humano, deve ser feito após tratamento convencional ou avançado; irrigação somente de culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras; pesca amadora; à recreação de contato secundário e à dessedentação de animais, devem ser realizados com muito cuidado tendo em vista a situação de desconformidade que as condições de qualidade da água dos corpos hídricos da área de estudo apresentam, com relação a classe de enquadramento, podendo o seu uso indiscriminado representar risco à saúde pública.

É como relata ANA (2007), quando as condições de qualidade estiverem em desconformidade com os padrões estabelecidos para a classe em que o corpo hídrico foi enquadrado, ressalvados as variáveis que em função das condições naturais não atendam aos limites, deve-se buscar mecanismos para se alcançar a meta final de qualidade da água desejada, realizando-se investimentos e ações de natureza regulatória.

É importante ressaltar que os usos da água, proteção da comunidade aquática, recreação de contato primário, aquicultura, 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 atividade de pesca, que são usos da classe 2; não podem ser desenvolvidos em corpos de água enquadrados na classe 3, isto é, que apresentam água com qualidade compatível com os parâmetros de qualidade determinados pela classe 3, muito menos na condição de desconformidade com o enquadramento, que é a situação que o rio Itapecuru e os afluentes

monitorados apresentam. Sua utilização não apresenta segurança adequada para a população, frente aos grandes riscos à saúde, segurança e bem-estar da população, que estão associados a esses usos.

5.6.2 Implicações na saúde humana e qualidade ambiental, dos usos da água em condição de qualidade inapropriada.

A águas do rio Itapecuru e dos afluentes, apresentam-se em desconformidade com as classes de qualidades 2 e 3, sendo considerada, péssima na classe 2, onde a qualidade de água está frequentemente afetada e com frequência os parâmetros de qualidade da água não atendem os padrões estabelecidos pelo enquadramento e ruim na classe 3, estando a qualidade de água quase sempre alterada e com os parâmetros de qualidade frequentemente não atendendo aos padrões estabelecidos pelo enquadramento.

Tal situação, inviabiliza a realização da maioria dos usos possíveis com segurança adequada, permitidos para essas classes de qualidade da água, de acordo com a Resolução Conama nº 357/2005. Porém, as pessoas utilizam a água dos corpos hídricos da área de estudo, sem se preocupar com os possíveis problemas associados a saúde humana, animal e qualidade ambiental, que, podem ser desencadeados pelo uso da água, com a qualidade degradada.

Com base no Art. 2º, Inciso XII, da Resolução Conama nº 357/2005, condição de qualidade, diz respeito à qualidade apresentada por um segmento de corpo d'água, num determinado momento, em termos dos usos possíveis com segurança adequada, frente às Classes de Qualidade.

A seguir são apresentados os riscos associados aos usos da água que, apresentam a condição de qualidade em desconformidade com a classe de qualidade, indicada para cada uso.

Consumo humano sem tratamento convencional ou avançado da água, tendo em vista que o parâmetro coliformes termotolerantes, frequentemente não atendeu aos padrões do enquadramento, estando em desconformidade em 90% das amostras coletadas, no enquadramento na classe 2 e *Escherichia Coli*, esteve presente em 60% das amostras do rio e 53,33% das amostras dos afluentes e 56,66% do total das amostras, entende-se que há um grande risco à saúde humana, sobretudo em função da ocorrência de doenças de veiculação hídrica.

A presença dessas bactérias na água, estão fortemente associadas ao lançamento de esgotos domésticos *in natura*, e deixa claro o quanto a população que faz uso dessa água está em risco, caso utilize essa água para consumo humano sem realizar o tratamento convencional ou avançado. Os resultados do IQA, índice criado para avaliar a qualidade da água para fins de

abastecimento para consumo humano, enquadrando a água da maioria dos corpos hídricos estudados, na classe regular, a qual necessita da realização do tratamento convencional, para que não represente riscos à saúde pública.

Coliformes termotolerantes, estão presentes em fezes humanas e de animais homeotérmicos, ocorrem em solos, plantas ou outras matrizes ambientais que não tenham sido contaminados por material fecal. *Escherichia Coli (E.Coli)* é a única espécie do grupo dos coliformes termotolerantes cujo habitat exclusivo é o intestino humano e de animais homeotérmicos, onde ocorre em densidades elevadas (BRASIL, 2005).

O grupo Coliformes é composto em grande parte por bactérias intestinais excretadas nas fezes. São utilizadas como indicador de poluição da água (patógenos) devido aos seguintes fatores: constância, grande concentração no material fecal e facilidade no isolamento e identificação (FIUZA et al., 2010).

Escherichia coli (E. coli) é abundante em fezes humanas e de animais, sendo somente encontrada em esgotos, águas naturais e solos desde que tenham recebido contaminação fecal recente, proveniente de efluentes domésticos (ALVES et al., 2008).

No ano de 2015, segundo dados do Departamento de Informática do SUS (DATASUS). Informações de saúde. Doenças como cólera, febre tifoide e paratifoide, shiguelose, amebíase, diarreia e gastroenterite de origem infecciosa presumível, esquistossomose e outras doenças infecciosas intestinais foram responsáveis por 2,35% das internações totais no Brasil (PAIVA; SOUZA, 2018).

Segundo IBGE (2019), na cidade de Itapecuru-Mirim ocorre 2,5 internações por diarreia para cada 1.000 habitantes.

Com base nos dados do DATASUS-SIM, na cidade de Itapecuru-Mirim, entre os anos de 2000 a 2017, foram registrados 224 óbitos por algumas doenças infecciosas e parasitárias; 60 óbitos por doenças infecciosas intestinais e 2 óbitos por sequelas de doenças infecciosas e parasitárias. Situação que corrobora com o risco à saúde humana que a utilização indiscriminada da água do baixo curso do rio Itapecuru e dos afluentes estudados podem representar, tendo em vista que parte significativa desses óbitos podem estar relacionados às doenças infecciosas e parasitárias de veiculação hídrica.

Recreação de contato primário, segundo Resolução Conama n° 357/2005, só pode ser realizada em corpos hídricos enquadrados na classe 1 e 2, sendo vedada para a classe 3, que foi a classe de enquadramento em que a água dos corpos hídricos da área estudada, apresentaram um resultado mais próximo do aceitável (regular). No que diz respeito à balneabilidade,

conforme Resolução Conama nº 274/2000, usando como referência o Art. 2º, parágrafo § 4º, alínea a, pode-se aferir que, com 92,3% das amostras apresentando uma quantidade de coliformes termotolerantes acima de 1.000/100mL, os corpos hídricos da área de estudo estão impróprios para a balneabilidade.

A contaminação das águas recreacionais representa grande risco à saúde pública, por conta das doenças que podem ser transmitidas com o contato ou ingestão acidental da água. As principais fontes poluidoras em geral são os efluentes domésticos, agrícolas e industriais, sendo o primeiro o principal fator responsável por enfermidades advindas do contato com a água. Além destas fontes usuais de poluição, outra forma de degradação refere-se à poluição por material fecal advindo dos próprios banhistas e vazamentos de combustível de embarcações, que são gerados durante a prática de determinadas atividades recreativas (REES et al., 2000 apud LOPES; JUNIOR, 2010).

A vulnerabilidade dos banhistas que realizam a balneabilidade em corpos hídricos com condição de qualidade água comprometida, não se configura apenas pela possibilidade da transmissão de doenças de veiculação hídrica (gastroenterite, hepatite A, cólera, febre tifoide, entre outras), como também a ocorrência de organismos patogênicos oportunistas, responsáveis por dermatoses e outras doenças não afetas ao trato intestinal, como conjuntivite, otite e doenças das vias respiratórias (CETESB, 2003).

Segundo a CETESB (2003), a doença mais comum associada à utilização da água poluída por esgotos, para fins de balneabilidade é a gastroenterite. Esta doença ocorre numa grande variedade de formas e pode apresentar um ou mais dos seguintes sintomas: enjojo, vômitos, dores de estômago, diarreia, dor de cabeça e febre. Outras doenças menos graves incluem infecções de olhos, ouvidos, nariz e garganta. Em locais muito contaminados, os banhistas podem estar expostos a doenças mais graves, como disenteria, hepatite A, cólera e febre tifoide.

De acordo o DATASUS-SIM, na cidade de Itapecuru-Mirim, entre os anos de 2000 a 2017, foram registrados 54 óbitos causados por diarreia e gastroenterite, gerando uma média de 3,17 óbitos por ano. Doenças que estão associadas diretamente à ausência de saneamento básico, reforçando a vulnerabilidade da população que usa as águas dos corpos hídricos da área da pesquisa, frente ao expressivo número de óbitos e levando-se em consideração que são doenças de fácil prevenção.

Aquicultura (piscicultura), segundo Resolução Conama nº 357/2005, Art. 4º, este uso só pode ser realizado em corpos hídricos enquadrados na classe 2, sendo vedada para a classe

3, que foi a classe de enquadramento em que a água dos corpos hídricos da área de estudo, apresentaram um resultado mais próximo do aceitável (regular), e Art. 15º, Inciso II, da referida Resolução do Conama, define que o uso da água para a aquicultura, só é permitido quando pelo menos 80% ou mais de pelo menos 6 amostras coletadas durante o período de 1 ano, com frequência bimestral, não exceder o limite de 1.000 coliformes termotolerantes por 100mL, sabendo-se que, 92,3% das amostras coletadas, apresentaram uma quantidade de coliformes termotolerantes acima de 1.000/100mL, fica confirmando que a água dos corpos hídricos da área de estudo, está imprópria para a utilização na aquicultura.

O desenvolvimento da aquicultura, utilizando água, com classe de qualidade em desconformidade com a o que define a legislação ambiental pertinente (Resolução Conama nº 357 de 17 de março de 2005), pode representar riscos à saúde humana.

A qualidade da água determinada por variáveis microbiológicas, pode influenciar na qualidade da microbiota dos peixes criados em viveiros, os microrganismos presentes na estrutura dos peixes, em grande parte são os mesmos presentes na água. Dessa forma, esse alimento tem sido associado a agravos à saúde e é veículo de transmissão de microrganismos patogênicos, constituindo-se em problema de saúde pública (PAL & DASGUPTA, 1992 apud LOREZON, 2009; LOREZON, 2009; PAIVA, 2016).

A presença de diversas bactérias entéricas, tais como coliformes termotolerantes, *Salmonella* e *Staphylococcus*, nos tanques de aquicultura sugerem a necessidade de um controle rígido de higiene durante o manejo e a evisceração do peixe, a fim de prevenir a transferência de bactérias da água ou do trato gastrointestinal para a musculatura dos peixes (LOREZON, 2009).

Em trabalho realizado por Santos (2010), ao analisar a qualidade da água e histopatologia de órgãos de peixes, provenientes de 5 pisciculturas no município de Itapecuru-Mirim, que utilizam a água do rio Itapecuru, foi detectada em todas as pisciculturas a presença de coliformes totais, *E. coli* e bactérias heterotróficas. Assim como no sistema digestivo e brânquias dos peixes analisados.

Trabalho realizado por Lorezon (2009), demonstrou que houve uma similaridade na quantidade de coliformes termotolerantes presentes na água e encontrados no trato gastrointestinal dos peixes, acima de 2500/NMP/mL. E detectou-se a presença de coliformes termotolerantes nos músculos dos peixes, mesmo que em pequena quantidade em relação a água e trato gastrointestinal. Todos os peixes apresentaram contagem de coliformes termotolerantes nos músculos abaixo de 10^2 NMP.g⁻¹.

Para a utilização da água na irrigação, segundo Resolução Conama nº 357/2005, Art. 4º e Art. 14º, Inciso I, alínea g, 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, deve ser feita com águas enquadradas na classe 1, sendo vedada para as classes 2 e 3; segundo Art. 4 e Art. 15º, Inciso II, irrigação de hortaliças, plantas frutíferas e irrigação de parques, jardins, campos de esporte e lazer, com os quais o público possa vir a ter contato direto, deve ocorrer com águas classe 2, sendo vedada para a classe 3, que foi a classe de enquadramento em que a água dos corpos hídricos da área estudada, apresentaram um resultado mais próximo do aceitável (regular), e irrigação de culturas arbóreas, cerealíferas e forrageira, podendo ser realizado na classe 3, conforme Art. 4º e Art. 16º, Inciso I, alínea g, da referida Resolução do Conama.

Tendo em vista que, com 80% ou mais de pelo menos 6 amostras coletadas durante o período de 1 ano, com frequência bimestral, a água classe 1, não pode exceder o limite de 200 coliformes termotolerantes por 100mL, classe 2, 1.000 coliformes termotolerantes por 100m/L. E sabendo-se que, 92,3% das amostras coletadas, apresentaram uma quantidade de coliformes termotolerantes acima de 1.000/100mL, fica confirmando que a água dos corpos hídricos da área de estudo, está imprópria para a utilização na irrigação de hortaliças que são consumidas cruas e de frutas que se desenvolvam rentes ao solo e irrigação de hortaliças, plantas frutíferas e irrigação de Parques, jardins, campos de esporte e lazer, com os quais o público possa ter contato direto. Sendo que a utilização da água para esses fins, pode representar grande risco para a saúde da população que, consome hortaliças e frutas, e tem contato com ambientes irrigados com essas águas, conforme artigos especificados acima.

É fato observado com relativa frequência, a ocorrência de microrganismos patogênicos, como *Escherichia coli* enteropatogênica, *Salmonelas* e parasitas intestinais, em hortaliças e frutas consumidas pela população. A água utilizada na irrigação constitui uma das principais fontes de contaminação para esses vegetais. A transmissão de doenças via água de irrigação e alimentos contaminados é muito comum e dependem de fatores epidemiológicos. Os mais importantes estão relacionados à persistência do patógeno no ambiente, dose mínima infectante (MAROULLI; SILVA, 1998; GUIMARÃES et al., 2003).

Em estudo realizado por Guimarães et al. (2003), que investigou a presença de microrganismos em alfaces, os exames microbiológicos mostraram que, todas amostras de alface apresentaram alta contagem de coliformes totais e fecais (coliformes em NMP por 100ml de água).

Santos et al. (2010), ao estudarem a qualidade higiênico-sanitária de hortaliças e águas de irrigação em Salvador-BA, revelaram que das amostras de água de irrigação 89% foram positivas para coliformes totais e 87 % para coliformes termotolerantes e todas as amostras de vegetais analisadas, estavam contaminadas e *E. coli* foi isolada em 56% das amostras.

Proteção das comunidades aquáticas, a comunidade aquática depende de um ambiente ecologicamente equilibrado, para o desenvolvimento harmônico das diferentes formas de vida desse ambiente. Em corpos hídricos em que existe um desequilíbrio causado pelo aporte anormal de determinado elemento, como por exemplo, o fósforo, que, em excesso, aumenta de modo anormal a disponibilidade de nutrientes no meio aquático e proporciona o aumento exponencial de organismos primários como fitoplâncton (cianobactérias e algas microscópicas) e macrófitas. Pode haver uma diminuição na concentração de oxigênio dissolvido na água, em função da decomposição dos detritos orgânicos que consomem grande quantidade desse gás que se encontra solubilizado na água.

Essa eutrofização artificial, pode ser considerada como uma reação em cadeia de causas e efeitos bem evidentes, cuja característica principal é a quebra relativa de estabilidade do ecossistema (homeostasia); que em ecossistemas aquáticos é caracterizada pelo equilíbrio, existente entre a produção de matéria orgânica e o seu consumo e decomposição. Com o rompimento do estado de equilíbrio, devido ao grande aporte de nutrientes, sobretudo o fósforo, o ecossistema passa a produzir mais matéria orgânica do que é capaz de consumir e decompor (ESTEVES, 2011).

Na área estudada, a concentração de fósforo total na água, esteve em desconformidade em todas as amostras, tanto para a classe 2, como para a classe 3. O oxigênio dissolvido, esteve em desconformidade em 58,3 % das amostras, na classe 2 e 50% das amostras, na classe 3. O aumento na concentração de fósforo e a baixa concentração de oxigênio na água, pode causar desequilíbrio biológico nas comunidades aquáticas, que pode ter como consequência, a redução e/ou substituição de representantes da flora e fauna aquática dos corpos d'água da área de estudo.

Estudos demonstram que o aumento na concentração de fosfato não implica somente no aumento da produção de fitoplâncton, mas também alteram aspectos qualitativos da comunidade, isso quer dizer que, leva inicialmente ao aumento no número de espécies e no número de indivíduos, e ocorre o surgimento de algumas espécies, geralmente, em detrimento do desaparecimento de outras. Na mesma lógica, com a diminuição da concentração de oxigênio dissolvido na água, as comunidades de peixes passam por drásticas alterações, onde

os peixes que necessitam de concentrações mais altas de oxigênio, são substituídos por espécies que suportam concentrações de oxigênio mais baixas (ESTEVES, 2011).

6 CONCLUSÃO

A partir da análise da cobertura e uso da terra, pode-se determinar que a principal classe de uso, são as áreas florestais com 45,68%, o que representa um bom indicativo para a manutenção da qualidade da água, mas, mostrou que os tipos de usos da terra que se originaram a partir da supressão da vegetação (áreas abertas, agropastoris e solo exposto), correspondem a 49,76% e as áreas extremamente antropizadas e causadoras de grandes impactos ambientais e em especial alterações na qualidade da água (áreas urbanizadas e de mineração), respondem juntas por 1,69% dos tipos de uso da terra.

A mensuração da qualidade da água do rio Itapecuru no seu baixo curso e de afluentes que compõem sua rede de drenagem, utilizando-se de variáveis físicas, químicas e biológicas, compiladas no IQA e no ICE, demonstrou que a qualidade da água da área pesquisada, encontra-se na maioria dos corpos hídricos monitorados, enquadrada na classe regular do índice de qualidade da água - IQA, utilizado para verificar a qualidade da água para fins de abastecimento público após tratamento convencional, estando totalmente inapropriado o uso dessa água para fins de consumo humano, com o tratamento simplificado ou somente com a desinfecção.

Com a aplicação do índice de conformidade ao enquadramento – ICE, pode-se determinar que a condição de qualidade da água do rio Itapecuru no trecho que corta o município de Itapecuru-Mirim e dos afluentes que cortam a referida cidade, está em completa desconformidade com a classe de enquadramento desses corpos hídricos, classe 2 e também com a classe 3, e que os usos da água que são determinados pela Resolução Conama nº 357/2005, para as classes citadas, não podem ser realizados com segurança adequada, sem que possa vir a representar risco a saúde pública.

Constatou-se que a água do rio Itapecuru, chega na área da pesquisa, com a condição de qualidade já bastante comprometida e que a diferença entre o valor do ICE nos pontos amostrados a montante e a jusante da cidade de Itapecuru-Mirim, são muito pequenas, fato que vem a reforçar a constatação.

Os resultados do IQA e do ICE, são categóricos em apontar as variáveis coliformes termotolerantes, fósforo total e oxigênio dissolvido, como as que mais contribuíram para os baixos valores desses índices, associando inequivocamente a degradação da qualidade da água do rio Itapecuru e dos afluentes monitorados, ao lançamento de esgotos domésticos sem

tratamento, demonstrando o impacto da falta de políticas de saneamento básico, na qualidade da água e o risco à saúde pública frente aos usos da água que são desenvolvidos na região.

Com a finalização da pesquisa, acredita-se que os resultados obtidos, poderão servir de informação para a população que utiliza as águas desses canais fluviais, alertando para a condição de qualidade e o risco associado a alguns usos que exigem uma qualidade maior e são realizados com a qualidade da água comprometida. E que poderá servir de alerta para o poder público, da necessidade e importância do enquadramento dos corpos hídricos e alcance da meta final de qualidade e da urgência da realização do monitoramento da qualidade da água, de modo a garantir a saúde pública e a perenidade dos serviços ambientais prestados por esses ecossistemas.

A pesquisa apresentou algumas limitações, como a ausência da série histórica da cobertura uso da terra; o fato de ter deixado de fora da análise da qualidade da água, a medição da concentração de agrotóxicos e metais pesados, que permitiriam uma mensuração mais completa da condição de qualidade da água dos canais fluviais estudados.

Entende-se que a verificação da qualidade da água com a utilização de índices, sobretudo ICE e a associação com os usos que podem ser realizados com segurança adequada, deve ser aplicado em trabalhos futuros em outros pontos desse rio e em outros importantes rios que drenam o território maranhense e que o estado trófico e a concentração de agrotóxicos e metais pesados nesse corpo de água, poderão ser estudados futuramente.

Ao longo da pesquisa ficou claro a falta de compromisso do poder público a nível federal, estadual e municipal no tocante a prestação de serviços de saneamento básico e principalmente, na manutenção e recuperação da qualidade das águas superficiais.

A inexistência ou ineficácia de instrumentos que otimizam a gestão de recursos hídricos, tais como o enquadramento dos canais fluviais em classes e o monitoramento ambiental da qualidade das águas, contribuem significativamente para a péssima gestão das águas no Estado do Maranhão.

Ficou notório que a falta dos referidos instrumentos, dentre outras ações, sobretudo a coleta e tratamento de esgotos, compromete a qualidade e a gestão das águas; situação que reverbera no acesso da população a uma água em quantidade e principalmente com qualidade compatível com os usos múltiplos que são desenvolvidos ou que se pretende desenvolver e transforma esse recurso essencial e insubstituível, em vetor de transmissão de doenças de veiculação hídrica.

Com base nessa realidade, acredita-se ser imperativo o cumprimento das legislações pertinentes aos recursos hídricos e saneamento ambiental, do plano nacional e estadual de recursos hídricos, criação e implementação dos comitês de bacias hidrográficas e implantação e universalização de programas de saneamento básico; para se alcançar uma gestão plena e eficiente das águas, que possibilite aos usuários a participação nas decisões atinentes ao enquadramento, definição de usos prioritários, de modo que se evite conflitos pelo uso da água e principalmente, que sejam produzidos contínua e periodicamente relatórios informando a condição de qualidade da água dos diferentes corpos hídricos do Estado e a compatibilidade com os usos e se recupere a qualidade da água desses corpos fluviais, assegurando assim saúde, segurança e bem-estar à população.

REFERÊNCIAS

- ANA. Agência Nacional de Águas. **Manual de usos consuntivos da água no Brasil**. Brasília: ANA, 2019. 75 p.
- _____ **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil: 2018**. Brasília: ANA, 2018. 72 p.
- _____ **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil: 2017**. Brasília: ANA, 2017a. 177 p.
- _____ **Atlas esgotos: despoluição de bacias hidrográficas**. Brasília: ANA, 2017b. 92 p.
- _____ **Atlas água e esgoto: 2013**. Brasília: ANA, 2013.
- _____ **Panorama das águas superficiais do Brasil: 2012**. Brasília: ANA, 2012. 265 p.
- _____ **Panorama do enquadramento dos corpos d' água do Brasil, e, panorama das águas subterrâneas no Brasil**. Cadernos de Recursos Hídricos, 5. Brasília: ANA, 2007. 126p.
- ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas); **NBR 9897: Planejamento de amostragem de efluentes líquidos e corpos receptores-procedimento**. Rio de Janeiro, 14p. (1987)
- ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas); **NBR 9898: Planejamento de amostragem de efluentes líquidos e corpos receptores-procedimento**. Rio de Janeiro, 22p. (1987)
- AUGUSTO, Lia Giraldo da Silva et al. **O contexto global e nacional frente aos desafios do acesso adequado à água para consumo humano**, Ciência & Saúde Coletiva, v.17, n.6, p.1511-1522, 2012.
- ALMEIDA, M.A.B; SCHWARZBOLD, A. **Avaliação sazonal da qualidade das águas do Arroio da Cria Montenegro, RS com aplicação de um índice de qualidade de água (IQA)**. RBRH Revista Brasileira de Recursos Hídricos. v.8 n.1, p.81-97, 2003.
- ALEMEIDA, Geane Silva de. **Avaliação da aplicação do IQA-CCME na divulgação da qualidade de água de bacias hidrográficas. Estudo de caso: bacia hidrográfica do rio Joanes**. Dissertação de Mestrado-Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental Urbana – MEAU, Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia UFBA, Salvador, 2014.

AMARO, Cristiane Araújo; PORTO, Mônica Ferreira do Amaral. **Proposta de um índice para avaliação de conformidade da qualidade dos corpos hídricos ao enquadramento**. XVIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2009, Campo Grande – MS.

BRAGA, B.; HESPANHOL, I.; CONEJO, J. G. et al. **Introdução à engenharia ambiental: o desafio do desenvolvimento sustentável**. 2 ed. São Paulo: Prentice Hall, 2002.

BRASIL. Lei 9433, de 8 de janeiro de 1997, **institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos**, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Brasília, DF, Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L9433.htm>. Acesso em: 06 out. 2019.

BRASIL. Conselho Nacional de Meio Ambiente – CONAMA. **Resolução nº 357 de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos d'água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento**. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>>. Acesso em: 08 ago. 2019.

_____. Conselho Nacional de Meio Ambiente – CONAMA. **Resolução nº 274 de 29 de novembro de 2000**. Dispõe sobre os padrões mínimos de qualidade da água para o uso da balneabilidade. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/resoluções>> acessado em 09 ago. 2019.

BRASIL. Agência Nacional das Águas – ANA. **Resolução nº 643 de 27 de junho de 2016**. Altera o Programa de Estímulo à Divulgação de Dados de Qualidade de Água –QUALIÁGUA. Disponível em: <www.cbhdoce.org.br/wp-content/uploads/2016/01/643-2016.pdf> acessado em 21/10/2019.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. Departamento de Vigilância em Saúde Ambiental e Saúde do Trabalhador. **Análise de indicadores relacionados à água para consumo humano e doenças de veiculação hídrica no Brasil**. Brasília, Ministério da Saúde, 2015.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional. Secretaria Nacional de Saneamento. SINIS – Sistema Nacional de Informações Sobre Saneamento. **Diagnóstico dos serviços de água e esgoto**. Brasília, Ministério do Desenvolvimento Regional, 2017.

BARROS, Fernanda Gene Nunes; AMIN, Mario M. **Água: um bem econômico de valor para o Brasil e o mundo**, Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional, v.4, n.1, p. 75-108, 2008.

BETTEGA, Janine Maria Pereira Ramos et al. **Métodos analíticos no controle microbiológico de água para consumo humano**. Cienc. agrotec. [online], v.30, n.5, p.950-954, 2006.

CABRAL, Lorena Soares Laia; MELO, Carlos Eduardo Ferraz de. **Avaliação do Índice de conformidade ao enquadramento em um trecho do rio das Velhas**. XXI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos: segurança hídrica e desenvolvimento sustentável: desafios do conhecimento e da gestão, 2015, Brasília-DF.

CAMDESSUS, Michel et al. **Água: oito milhões de mortos por ano: um escândalo mundial**, Rio de Janeiro, Bertrand Brasil, 2005. 271p.

CAMPOS, José Nilson Bezerra. **A gestão integrada dos recursos hídricos: uma perspectiva histórica**, Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais (GESTA), v.1, n. 1, p. 111-121, 2013.

CIRILO, José Almir. **Crise Hídrica: desafios e superação**. Revista USP, n. 106, p. 45-58, 2015.

CETESB. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo. **Qualidade das águas interiores do Estado de São Paulo**. São Paulo, SP, 2017. Disponível em: <<http://aguasinteriores.cetesb.sp.gov.br/publicacoes-e-relatorios/>>. Acesso em: 12 de novembro de 2018.

_____ **Qualidade das águas superficiais do Estado de São Paulo. Parte 1-águas doces**. São Paulo, SP, 2014. Disponível em: <<http://aguasuperficiais.cetesb.sp.gov.br/publicacoes-e-relatorios/>>. Acesso em: 13 de novembro de 2018.

_____ **Relatório de balneabilidade das praias paulistas 2002**. São Paulo: CETESB, 2003. 206p.

DAMASCENO, Maria da Conceição Silva et al. **Avaliação sazonal da qualidade das águas superficiais do rio Amazonas na orla da cidade de Macapá, Amapá, Brasil**. Revista ambiente e água, v. 10, n. 3, p.599-613, 2015.

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

_____ **Fundamentos de limnologia**, Rio de Janeiro: Interciência, 2011. 826 p.

FIELDER, Nilton César et al. **Produtos florestais não madeireiros: importância e manejo sustentável da floresta**. Revista ciências exatas e naturais, v.10, n.2, p. 263-278, 2008.

FINAZZI, Ana Elisa Martinelli. **Análise sensitiva do índice de qualidade de água IQACCME**. Dissertação de mestrado- Universidade Federal de Mato Grosso, Instituto de Ciências Exatas e da Terra, Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos, Cuiabá, 2012.

FIUZA, Ana Beatriz Jucá de Queiroz et al. **Análise ambiental do estado de conservação do baixo curso do rio Pacoti – Ceará.** Revista Arquivos de Ciência do Mar, v.43 n.1 p.18-29, 2010.

GARCEZ, Lucas Nogueira; ALVARES, Guilherme Acosta. **Hidrologia**, 2º ed. São Paulo, Edgard Blucher, 1988.

GEODIVERSIDADE DO ESTADO DO MARANHÃO. Organização Iris Celeste Nascimento. Teresina: CPRM, 2013. 294 p.

GUIMARÃES, Antonio Marcos. et al. **Frequência de enteroparasitas em amostras de alface (*Lactuca sativa*) comercializadas em Lavras, Minas Gerais.** Revista da sociedade brasileira de medicina tropical, n.36, p. 621-623, 2003.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Subsídios ao zoneamento ecológico-econômico da bacia do rio Itapecuru – MA: diretrizes gerais para ordenação territorial.** Primeira Divisão de Geociência do Nordeste. Rio de Janeiro: IBGE, 1998.187 p.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Zoneamento geoambiental do estado do – MA: diretrizes gerais para ordenação territorial.** Diretoria de Geociência, Divisão de Geociências da Bahia. Salvador: IBGE, 1997.44 p.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios Contínua-PNAD, 2017.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. Portal Eletrônico. Disponível em<<http://cidades.ibge.gov.br/brasil/ma/panorama>. Acessado em março de 2018 e novembro de 2019.

INSTITUTO TRATA BRASIL. Trata Brasil Saneamento e Saúde. Disponível em: <<http://www.tratabrasil.org.br/saneamento/principais-estatisticas/> no [brasil/saúde/água/esgoto](http://www.tratabrasil.org.br/saude/agua/esgoto)> acessado em 16 de julho 2019.

INSTITUTO MARANHENSE DE ESTUDOS SOCIOECONÔMICOS E CARTOGRÁFICOS – IMESC. **Mais Itapecuru: subsídios ao planejamento e a gestão dos recursos hídricos.** São Luís, IMESC, 2019. 284 p

KOBIYAMA, Masato et al. **Áreas degradadas e sua recuperação.** Revista informe agropecuário v. 22, n. 10, p. 10-17, 2001.

LIBÂNIO, Paulo Augusto Cunha. et al. **A dimensão da qualidade de água: avaliação da relação entre indicadores sociais, de disponibilidade hídrica, de saneamento e de saúde pública,** Revista Engenharia Sanitária e Ambiental, v.10, n.3, p. 219-228, 2005.

LOPES, Frederico Wagner de Azevedo; JUNIOR, Antônio Pereira Magalhães. **Avaliação da qualidade das águas para recreação de contato primário na bacia do alto rio das Velhas – MG.** Revista Hygeia, v.6, n.11, p.133-149, 2010.

LOREZON, Cíntia Sobue. **Perfil microbiológico de peixes e água de cultivo em pesque-pagues situados na região nordeste do estado de São Paulo.** Dissertação de mestrado- Universidade Estadual Paulista, Centro de Aquicultura da UNESP, Programa de Pós-Graduação em Aquicultura, Jaboticabal, 2009.

MACHADO, Carlos José Saldanha. **Recursos hídricos e cidadania no Brasil: limites, alternativas e desafios.** Ambiente e sociedade, v.6, n.2, 2003.

MARQUES, Maria N. et al. **Avaliação de um índice dinâmico de qualidade de água para abastecimento: um estudo de caso.** Revista Exacta, v.5, n.1, p. 47-55, 2007.

MARTINS, M. S.; RÓZ, A. L.; MACHADO, G. O. **Mata Atlântica. Localização geográfica da região.** Disponível em: <<http://educar.sc.usp.br/licenciatura/trabalhos/mataatl.htm>>. Acesso em: 8 novembro 2019.

MASULLO, Yata Anderson Gonzaga et al. **Dinâmica da paisagem da bacia hidrográfica do rio Itapecuru-MA.** Revista brasileira de geografia física, v.12, n. 3, p.1054-1073, 2019.

MAROULLI, Waldir A.; SILVA, Henoque R. da. EMBRAPA-Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuárias - Centro Nacional de Pesquisa de Hortaliças - Ministério da Agricultura e Abastecimento. Comunicado técnico da Embrapa Hortaliças 5. **Aspectos sanitários da água para fins de irrigação**, 1998.

MEDEIROS, Raimundo. **Itapecuru: águas que correm entre pedras.** São Luís: Grafic, 2001.

Ministério da Saúde. **DATASUS-SIM.** <http://datasus.saude.gov.br/sistemas-e-aplicativos/eventos-v/sim-sistema-de-informacoes-de-mortalidade>. Acesso: 09/12/2019.

NUGEO. Núcleo Geoambiental da Universidade Estadual do Maranhão. **Bacias Hidrográficas: Subsídios para o planejamento e a gestão territorial.** Relatório Técnico. 2011. 47 p.

_____. **Bacias Hidrográficas e Climatologia no Maranhão.** Relatório Técnico. 2016. 166 p.

OPAS – Organização Pan-Americana de Saúde. **Folha informativa – 10 principais causas de morte no mundo,** 2018. Disponível em: https://www.paho.org/bra/index.php?option=com_content&view=article&id=5638:10-principais-causas-de-morte-no-mundo&Itemid=0. Acessado em: 09/12/2019.

PAIVA, Roberta Fernanda da Paz de Souza; SOUZA, Marcela Fernanda da Paz de. **Associação entre condições socioeconômicas, sanitárias e de atenção básica e a morbidade hospitalar por doenças de veiculação hídrica no Brasil.** Cadernos de Saúde Pública, v. 34, n.1, p.1-11, 2018.

PAIVA, Thaís Vieira. **Avaliação das condições microbiológicas da água e de peixes do rio Mearim, no município de Bacabal, Maranhão.** Dissertação de mestrado- Universidade Federal do Maranhão, Programa de Pós-Graduação em Saúde e Ambiente, São Luís, 2016.

PESSOA, Guido de Melo; AZEVEDO, Taiza dos Santos; RIBEIRO, Celso Bandeira de Melo. **Estudo de conformidade ao enquadramento dos corpos hídricos da bacia hidrográfica dos rios Preto e Paraibuna.** III Simpósio de Recursos Hídricos do Rio Paraíba do Sul, 2018, Juiz de Fora-MG.

REBOUÇAS, A. da C. **Água doce no mundo e no Brasil.** In: REBOUÇAS A. DA C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J. G. Águas doces no Brasil capitais ecológicas usos e conservação. 3 ed. São Paulo: Escrituras, 2002. p. 269-324

REBOUÇAS, Aldo da C. **Água no Brasil: abundância, desperdício e escassez.** Bahia Análise & Dados, v.13, n. especial, p.341-345, 2003.

RELATÓRIO MUNDIAL DAS NAÇÕES UNIDAS SOBRE O DESENVOLVIMENTO DOS RECURSOS HÍDRICOS. Organização das Nações Unidas para a Educação, Ciência e Cultura (UNESCO). Disponível em: <<https://unesdoc.unesco.org>> acessado em 24 junho 2019.

RELATÓRIO MUNDIAL DE DESENVOLVIMENTO DA ÁGUA DAS NAÇÕES UNIDAS. Programa Mundial de Avaliação da Água das Nações Unidas) / UN-Water. 2018. Disponível em: <<https://www.unwater.org/publications/world-water-development-report>> Acessado em 24 de junho 2019.

ROCHA, V.N.L; ANDRADE, N.L.R. **Relação entre índice de qualidade das águas e densidade demográfica dasimétrica em igarapés urbanos Amazônicos.** Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais, v.9, n.2, p.148-159, 2018.

SABESP, Norma Técnica Interna, **NTS 013: Sólidos: métodos de ensaio.** São Paulo, 12p. 1999.

SANTOS, Débora Martins Silva. **Qualidade da água e histopatologia de órgãos de peixes provenientes de criatórios do município de Itapecuru-Mirim, Maranhão.** Tese, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, 2010.

SANTOS, Y. O.; ALMEIDA, R. C. de C.; GUIMARÃES, A. G.; ALMEIDA, P. F. **Hygienic**

Sanitary quality of vegetables and evaluation of treatments for the elimination of indigenous E. coli and E. coli O157:H7 from the surface of leaves of lettuce (*Lactuca sativa* L.). Revista Ciência e Tecnologia de Alimentos, v. 30, n. 4, p. 1083-1098, 2010.

SILVA, Marcela Teixeira Lopes. **Adaptação e aplicação do índice de conformidade ao enquadramento (ICE) de cursos d'água.** Dissertação de mestrado- Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia, Programa de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Belo Horizonte, 2017.

SILVA, D. de J.; CONCEIÇÃO G.M. da. **Rio Itapecuru: caracterização geoambiental e socioambiental, município de Caxias, Maranhão, Brasil,** 2011.

SILVA, A.G; SOUSA, L. D. **Efeitos antrópicos e sazonais na qualidade da água do rio do Carmo.** Revista Holos, v.5, p. 122-136, 2013.

SIQUEIRA, Gilmar W.; Aprile. F.; Miguéis, A.M. **Diagnóstico da qualidade da água do rio Parauapebas (Pará – Brasil).** Revista Acta Amazônica, v.42 n.3 p.413-422, 2012.

SOARES, Leonardo Silva. **Planejamento ambiental integrado: subsídio para o desenvolvimento sustentável das sub-bacias hidrográficas do baixo curso do Rio Itapecuru, Maranhão,** 2016.

_____, Leonardo Silva et al. **Índice de qualidade de água do baixo curso do rio Itapecuru, estado do Maranhão, Brasil,** Espacios, v.37, n.14, p.6-18, 2016.

SOUZA, Juliana Rosa de. et al. **A Importância da Qualidade da Água e os seus Múltiplos Usos: Caso Rio Almada, Sul da Bahia, Brasil,** REDE Revista Eletrônica do Prodem, v.8, n.1, p. 26-45, 2014.

SPERLING Eduardo Von. **Afinal, quanta água temos no planeta?** RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v.11, n.4, p. 189-199, 2006.

TUCCI, C.E.M. **Usos e impactos dos recursos hídricos.** In: TUCCI, C.E.M.; MENDES, C. A. Avaliação ambiental integrada de bacia hidrográfica. São Paulo: Ministério do Meio Ambiente (Secretaria de Qualidade Ambiental) / Rhama Consultoria Ambiental, 2006.

TUCCI, C.E.M. **Águas urbanas.** Estudos Avançados, v. 22, n. 63, p. 97 – 112. 2008.

TUNDISI, J.G; MATSUMARA-TUNDISI, T; RODRIGUEZ, S.L. **Gerenciamento e recuperação das bacias hidrográficas dos rios Itaqueri e do Lobo e da represa Carlos Botelho (lobo-broa).** IIE, IIEGA, PROAQUA, ELEKTRO, 2003.

TUNDISI, José Galizia. **Água no século XXI: enfrentando a escassez,** 2º ed., Carlos: Rima, IEE – Instituto Internacional de Ecologia, 2005. 248 p.

_____ **Novas Perspectivas para a gestão de recursos hídricos**, Revista USP, n.70, p.24-35, 2006.

_____ **Recursos hídricos no futuro: Problemas e Soluções**, Revista USP Estudos Avançados, v.22, n.63, 2008.

VAEZA, Rafael Franco et al. **Uso e ocupação do solo em bacia hidrográfica urbana a partir de imagens orbitais de alta resolução**, Revista Floram floresta e ambiente, n. 17, v. 1, p.223 – 29, 2010.

VALE, Francineide da Silva et al. **Rio Itapecuru: uma visão geoambiental**, em Caxias, 2014. Revista humana et al v.1, n. 2, p. 104-119, 2014.

YOSHIDA, Yatsuda Moromizato. **Recursos hídricos: aspectos éticos, jurídicos, econômicos e socioambientais**, Campinas –SP, editora Alínea, 2007.