



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
INSTITUTO DE GEOGRAFIA DESENVOLVIMENTO E MEIO AMBIENTE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA**

Nayara Barreto da Costa

**AVALIAÇÃO PLURIANUAL DA CARGA DE NUTRIENTES E DO ÍNDICE DO
ESTADO TRÓFICO EM UMA SEÇÃO DO RIO PARAÍBA DO MEIO - ALAGOAS**

Maceió – Alagoas
2022

NAYARA BARRETO DA COSTA

AVALIAÇÃO PLURIANUAL DA CARGA DE NUTRIENTES E DO ÍNDICE DO ESTADO TRÓFICO EM UMA SEÇÃO DO RIO PARAÍBA DO MEIO - ALAGOAS

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia, do Instituto de Geografia, Desenvolvimento e Meio Ambiente (IGDEMA), da Universidade Federal de Alagoas (UFAL), como requisito para a obtenção do título de Mestra em Geografia.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Ricardo Petter Medeiros

Maceió – Alagoas
2022

Catálogo na Fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca Central
Divisão de Tratamento Técnico

Bibliotecário: Marcelino de Carvalho Freitas Neto – CRB-4 – 1767

C837a Costa, Nayara Barreto da.

Avaliação plurianual da carga de nutrientes e do índice do estado trófico em uma seção do rio Paraíba do Meio - Alagoas / Nayara Barreto da Costa. – 2022.

129 f. : il. color.

Orientador: Paulo Ricardo Petter Medeiros.

Dissertação (mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Alagoas. Instituto de Geografia, Desenvolvimento e Meio Ambiente. Maceió, 2022.

Bibliografia: f. 117-129.

1. Conselho Nacional do Meio Ambiente (Brasil) - Resolução. 2. Carga de nutrientes. 3. Eutrofização. 4. Escoamento superficial. 5. Paraíba do Meio, Rio (AL) - Estado trófico. I. Título.

CDU: 911.2:504.45.058 (813.5)



UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
INSTITUTO DE GEOGRAFIA DESENVOLVIMENTO E MEIO AMBIENTE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

FOLHA DE APROVAÇÃO

Título da Dissertação: Avaliação plurianual da carga de nutrientes e do índice do estado trófico em uma seção do rio Paraíba do Meio – Alagoas.

Autora: Nayara Barreto da Costa.

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia, do Instituto de Geografia, Desenvolvimento e Meio Ambiente (IGDEMA), da Universidade Federal de Alagoas (UFAL), como requisito para a obtenção do título de Mestra em Geografia.

Maceió – Alagoas, 23 de fevereiro de 2022.

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Paulo Ricardo Petter Medeiros
(Orientador)

Profª Drª Nilva Brandini
(Examinadora Externa)

Prof. Dr. Geórgenes Hilário Cavalcante Segundo
(Examinador Externo)

Profª Drª Ana Paula Lopes da Silva
(Examinadora Interna)

Dedico esta dissertação primeiramente a Deus, pois foi através da Sua Palavra que pude entender que todos os planos que eu fosse traçar e todas as metas que eu fosse estabelecer, deveriam/devem ser direcionadas e conduzidas por Ele e para a honra e a Glória dEle, e aos meus pais, Telma Barreto de Souza e Cícero Moraes da Costa, que são basilares na minha educação e desenvolvimento pessoal.

AGRADECIMENTOS

A Deus, que é O Dono da minha vida e à conduz todos os dias, que é Fonte de todo o conhecimento e sabedoria, a minha Verdadeira Fortaleza e Socorro. O Meu Castelo Forte, sem O Qual nada seria possível.

À minha mãe, Telma Barreto, e ao meu pai, Cícero Costa, que sempre acreditaram no meu desenvolvimento acadêmico e profissional.

Ao meu orientador, professor e doutor Paulo Ricardo Petter Medeiros, por todas as orientações e suporte científico, essenciais ao meu desenvolvimento acadêmico ao longo da minha jornada no mestrado.

Aos professores que participaram do meu exame de qualificação e da minha banca de mestrado, Ana Paula Lopes, Nilva Brandini e Geórgenes Hilário, pelas contribuições fundamentais à qualidade da minha dissertação.

Ao amigo José Marcelo (Júnior), que esteve sempre me acompanhando no decorrer do mestrado (da vida), me apoiando e incentivando em todos os momentos.

À amiga Amanda Vieira, pelas orações e incentivo que muito me fortaleceram no decorrer do mestrado.

Às amigas Raquel Lourenço, Débora Moura e Rayanne Mendonça, que juntas comigo enfrentaram e compartilharam dos desafios e conquistas durante a graduação e o mestrado.

Aos amigos Fernando Barros, Nataniely Nogueira e Laura Chagas, pelo apoio e crença no meu progresso acadêmico.

Aos amigos Jardel Estevam e Laís Gois, pelo suporte na construção dos mapas presentes nesta dissertação.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Geografia da Ufal (PPGG – UFAL) e demais colegas, que direta e indiretamente colaboraram para o progresso do presente trabalho.

Porque dEle, e por Ele, e para Ele são todas as coisas. Glória, pois, a Ele eternamente. Porque nEle foram criadas todas as coisas nos céus e na Terra, as visíveis e as invisíveis. E Ele é antes de todas as coisas e nEle subsistem todas as coisas.

(Romanos 11:36; Colossenses 1:16a – 17)

*“É preciso abrir a mente
Refletir por um momento
É incrível como a gente
Aprende com o tempo”*

(Rebeca Helena)

*“Ninguém ignora tudo. Ninguém sabe tudo.
Todos nós sabemos alguma coisa. Todos nós
ignoramos alguma coisa. Por isso aprendemos
sempre!”*

(Paulo Freire)

*A nossa vida se torna dinâmica quando
entendemos que ela se desenvolve por meio de
um processo (singular a cada pessoa), no qual
plantamos e colhemos, erramos e aprendemos... e
quando passamos a buscar a sermos melhores
hoje mais do que ontem e amanhã mais do que
hoje.*

(Nayara Costa)

Em tudo dai graças!

(1 Tessalonicenses 5:18a)

RESUMO

Mediante o crescimento populacional no mundo, os recursos naturais, sobretudo os ecossistemas aquáticos, são afetados por uma intensa transformação. Caracterizado como um rio de porte pequeno, o rio Paraíba do Meio encontra-se em alto processo de degradação devido à maneira de como o seu uso para fins sociais e/ou econômicos é feito pela população local. Dessa forma, o objetivo dessa pesquisa foi determinar o Índice do Estado Trófico (IET) e o comportamento da carga de nutrientes em uma seção do rio Paraíba do Meio (Alagoas - AL) durante o período de dois anos hidrológicos (2016-2017) e suas implicações socioambientais. Os dados de vazão e precipitação pluvial foram obtidos através do portal HidroWeb da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico – ANA. Foram correlacionados os dados de vazão e precipitação pluvial na seção do rio para o período em estudo. Os dados referentes aos parâmetros físico-químicos da água foram obtidos a partir do Banco de Dados do Laboratório de Geoquímica Ambiental (IGDEMA-UFAL), a saber: Amônio (NH₄), Nitrito (NO₂-), Nitrato (NO₃-), Fósforo Dissolvido, Oxigênio Dissolvido (OD), Turbidez (UNT), Temperatura da água (°C), Clorofila *a*, Salinidade, Potencial Hidrogeniônico (pH), Condutividade Elétrica e os Sólidos Totais em Suspensão (TSS), os quais foram comparados com os padrões estabelecidos pela Resolução do CONAMA n° 357/2005. Para a determinação e análise do Estado Trófico na água, foi utilizado o Índice do Estado Trófico (IET) obtido através do método de Carlson (1977) modificado por Lamparelli (2004). O total de precipitação média para o período de 1988-2017 foi de 1116,13 mm, enquanto que em 2016 a precipitação total anual foi de 921,44 mm e em 2017 foi de 1866,9 mm. Quanto a vazão, a média para o período de 1988-2017 foi 22,51 m³ s⁻¹, sendo a média anual em 2016 de 7,97 m³ s⁻¹ e de 58,40 m³ s⁻¹ em 2017. A correlação entre a vazão e precipitação do período de 1988-2017 retornou coeficientes de Pearson e de determinação de 0,90 e 0,79, respectivamente. Enquanto que para os anos de 2016 e 2017 os coeficientes foram 0,85 e 0,73 e 0,95 e 0,88, respectivamente. As médias anuais de amônio foram de 76,57 µg.L⁻¹ em 2016 e de 49,5 µg.L⁻¹ em 2017. Quanto ao nitrito, as médias anuais foram de 19,46 µg.L⁻¹ em 2016 e de 7,90 µg.L⁻¹ em 2017. Já o nitrato, suas médias anuais foram de 126,48 µg.L⁻¹ em 2016 e de 227,67 µg.L⁻¹ em 2017. Em 2016 a média anual de fósforo total foi de 111,34 µg.L⁻¹ e 4,41 µg.L⁻¹ de clorofila *a*, já em 2017 a média anual de fósforo total foi de 98,64 µg.L⁻¹ e de 13,15 µg.L⁻¹ de clorofila *a*. O IET variou de 59 (eutrófico) a 66 (supereutrófico) em 2016 e de 58 (mesotrófico) a 72 (hipereutrófico) em 2017. Conclui-se que a precipitação e a vazão modificaram as concentrações de nutrientes e o seu comportamento na água do rio, e que a concentração de fosfato e das formas do nitrogênio inorgânico dissolvido (nitrito, nitrato e amônio) durante os anos de 2016 e 2017 foram, em parte, alteradas pela vazão. Ao analisar o IET obtido, pode-se classificar o rio em duas principais zonas de estado trófico: eutrófico e supereutrófico, ainda com alguns meses em condições mesotróficas e hipereutrólicas.

Palavras-chave: Carga de Nutrientes; Eutrofização; Escoamento superficial; Estado Trófico; Resolução CONAMA.

ABSTRACT

Due to population growth in the world, natural resources, especially aquatic ecosystems, are affected by an intense transformation. Characterized as a small river, the Paraíba do Meio river at the present time is suffering with a high degradation process due to the way in which its use for social and/or economic purposes is done by the local population. Therefore, the objective of this research was to determine the Trophic State Index (TSI) and the behavior of the nutrients load in a section of the Paraíba do Meio river (Alagoas - AL) during the period of two hydrological years (2016-2017) and its social and environmental implications. The flow rate and rainfall data were obtained through the HidroWeb portal of the National Agency for Water and Basic Sanitation – ANA. Flow rate and rainfall data were correlated in the section of the river for the period under study. The data referring to the physical-chemical parameters of the water were obtained from the Database of the Environmental Geochemistry Laboratory (IGDEMA-UFAL), which are: Ammonium (NH₄), Nitrite (NO₂-), Nitrate (NO₃-), Dissolved Phosphorus, Dissolved Oxygen (OD), Turbidity (UNT), Water Temperature (°C), Chlorophyll a, Salinity, Potential of Hydrogen (pH), Electrical Conductivity and Total Suspended Solids (TSS), which were compared with the standards established by CONAMA Resolution N° 357/2005. For the determination and analysis of the Trophic State in the water, the Trophic State Index (TSI) obtained through the Carlson method (1977) modified by Lamparelli (2004) was used. The total average rainfall for the period 1988-2017 was 1116.13 mm, whereas in 2016 the total annual rainfall was 921.44 mm and in 2017 it was 1866.9 mm. About flow rate, the average for the period 1988-2017 was 22.51 m³ s⁻¹, with the annual average in 2016 being 7.97 m³ s⁻¹ and 58.40 m³ s⁻¹ in 2017. The correlation between the flow rate and rainfall of the period 1988-2017 showed Pearson and determination coefficients of 0.90 and 0.79, respectively. For the years 2016 and 2017, the coefficients were 0.85 and 0.73 and 0.95 and 0.88, respectively. The annual averages of ammonium were 76.57 µg.L⁻¹ in 2016 and 49.5 µg.L⁻¹ in 2017. About nitrite, the annual averages were 19.46 µg.L⁻¹ in 2016 and 7.90 µg.L⁻¹ in 2017. About nitrate, its annual averages were 126.48 µg.L⁻¹ in 2016 and 227.67 µg.L⁻¹ in 2017. In 2016 the annual average of phosphorus total was 111.34 µg.L⁻¹ and 4.41 µg.L⁻¹ for chlorophyll a, in 2017 the annual average of phosphorus total was 98.64 µg.L⁻¹ and 13.15 µg.L⁻¹ for chlorophyll a. The TSI ranged from 59 (eutrophic) to 66 (supereutrophic) in 2016 and from 58 (mesotrophic) to 72 (hypereutrophic) in 2017. It is concluded that rainfall and flow rate can modified the nutrient concentrations and their behavior in river water, and that the concentration of phosphate and dissolved inorganic nitrogen forms (nitrite, nitrate and ammonium) during the years 2016 and 2017 were, partly, changed by the flow rate. By analysing the TSI obtained, the river can be classified into two main zones of trophic state: eutrophic and supereutrophic, furthermore there are few months with mesotrophic and hypereutrophic conditions.

Keywords: Nutrient loads; eutrophication; surface runoff; Trophic State, CONAMA Resolution.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. O ciclo hidrológico.....	23
Figura 2. Esquema simplificado do ciclo do nitrogênio em ecossistemas aquáticos continentais. Nop: nitrogênio orgânico particulado; nod: nitrogênio orgânico dissolvido; fbn: fixação biológica de nitrogênio; rdna: redução dissimilatória do nitrato e amônia.	35
Figura 3. Esquema simplificado do ciclo do fósforo em ambientes aquáticos.....	36
Figura 4. O processo de eutrofização em ambientes aquáticos (rios).....	37
Figura 5. Valores médios de densidade e produtividade do fitoplâncton em ambientes aquáticos com diferentes níveis tróficos. Ta – todo o ano; ffp – florescimentos de fitoplâncton na primavera; mfv – mínimo de fitoplâncton no verão; mfo – máximo de fitoplâncton no outono; ffv – florescimentos de fitoplâncton no verão; csm – camada superior da mistura vertical; mfp – máximo de fitoplâncton em zonas profundas; chl a – clorofila; μ – coeficiente de produção específica por dia; dpm – camada profunda de mistura vertical; na – número de assimilação de clorofila por hora; volumes médios de células para cada fração do fitoplâncton: pico – $2 \mu\text{m}^3$; nano – $100 \mu\text{m}^3$; micro – $10.000 \mu\text{m}^3$. Valores obtidos para ecossistemas aquáticos continentais, em condições de regiões temperadas.....	43
Figura 6. Mapa das regiões hidrográficas do Brasil.....	47
Figura 7. Mapa das bacias hidrográficas do estado de Alagoas (AL).....	49
Figura 8. Mapa de localização da bacia hidrográfica do rio Paraíba do Meio (PE - AL).....	50
Figura 9. Mapa de localização do Complexo Estuarino Lagunar Mundaú-Manguaba (CELM).....	51
Figura 10. Classificação climática de Köppen para o estado de Alagoas.....	52
Figura 11. Mapa da rede de drenagem da bacia hidrográfica do rio Paraíba do Meio.....	54
Figura 12. Mapa de solos da bacia hidrográfica do rio Paraíba do Meio.....	55
Figura 13. Mapa da cobertura vegetal e de uso do solo da bacia hidrográfica do rio Paraíba do Meio.....	58
Figura 14. Mapa de altimetria da bacia hidrográfica do rio Paraíba do Meio.....	59
Figura 15. Mapa geológico da bacia hidrográfica do rio Paraíba do Meio.....	60
Figura 16. Local de coleta das amostras de água no rio Paraíba do Meio.....	61
Figura 17. Localização das estações fluviométrica Atalaia (código 39870000) e pluviométrica Atalaia (código 936110) onde foram obtidos os dados de vazão e precipitação do rio Paraíba do Meio para os anos hidrológicos de 2016 e 2017.....	63
Figura 18. Sonda multiparamétrica ysi-6600. Figura 19. Medidor multiparâmetros.....	65
Figura 20. Normais climatológicas (1931-1960, 1961-1990 e 1981-2010) da precipitação acumulada (mm) na estação do INMET no município de Maceió-AL.....	70
Figura 21. Comparação da precipitação média mensal entre os anos de 2016, 2017 e a média histórica de 1988-2017 da estação da ANA para o município de Atalaia-AL.....	71
Figura 22. Comparação da vazão média mensal entre os anos de 2016, 2017 e a média histórica de 1988-2017 da estação fluviométrica da ANA para o rio Paraíba do Meio no município de Atalaia-AL.....	73

Figura 23. Vazão média anual e vazão média histórica do rio paraíba do meio nos anos de 1988-2017 da estação fluviométrica da ANA no município de Atalaia-AL.	73
Figura 24. Análise correlacionada da precipitação e vazão (rio Paraíba do Meio) para o período de estudo (2016-2017) no município de Atalaia-AL.	74
Figura 25. Correlação entre a vazão e a precipitação mensal do rio Paraíba do Meio em Alagoas para o período de 1988-2017.	76
Figura 26. Correlação entre a vazão e a precipitação mensal do rio Paraíba do Meio em Alagoas para o ano de 2016.....	77
Figura 27. Correlação entre a vazão e a precipitação mensal do rio Paraíba do Meio em Alagoas para o ano de 2017.....	78
Figura 28. Variação das concentrações mensais das formas de nitrogênio (amônio, nitrito e nitrato) do rio Paraíba do Meio obtidas no município de Pilar-Alagoas para o ano hidrológico de 2016.....	81
Figura 29. Variação das concentrações mensais das formas de nitrogênio (amônio, nitrito e nitrato) do rio Paraíba do Meio obtidas no município de Pilar-Alagoas para o ano hidrológico de 2017.....	82
Figura 30. Variação das concentrações mensais do Nitrogênio Inorgânico Dissolvido (NID) do rio Paraíba do Meio (Pilar-AL) para os anos de 2016 e 2017.....	84
Figura 31. Variação das concentrações mensais do fosfato orto (P-Orto) do rio Paraíba do Meio (Pilar – AL) para os anos de 2016 e 2017.....	86
Figura 32. Variação dos níveis de oxigênio dissolvido (OD) do rio Paraíba do Meio (Pilar – AL) para os anos de 2016 e 2017. A linha vermelha representa o máximo padrão de OD para rios estabelecido pelo Conama.	88
Figura 33. Variação dos níveis de salinidade do rio Paraíba do Meio (Pilar – AL) para os anos de 2016 e 2017. A linha vermelha representa o máximo padrão de salinidade para rios estabelecido pelo Conama.	90
Figura 34. Variação dos níveis de turbidez do rio Paraíba do Meio (Pilar – al) para os anos de 2016 e 2017. A linha vermelha representa o máximo padrão de turbidez para rios estabelecido pelo Conama.	92
Figura 35. Variação dos níveis de temperatura do rio Paraíba do Meio (Pilar – AL) para os anos de 2016 e 2017.....	94
Figura 36. Variação dos níveis de pH da água do rio Paraíba do Meio (Pilar – AL) para os anos de 2016 e 2017. As linhas vermelhas (superior e inferior) representam o máximo e mínimo padrão de pH para rios estabelecido pelo Conama.	96
Figura 37. Variação dos níveis de condutividade elétrica do rio Paraíba do Meio (Pilar – AL) para os anos de 2016 e 2017.....	98
Figura 38. Variação dos níveis de tss do rio Paraíba do Meio (Pilar – AL) para os anos de 2016 e 2017.	100
Figura 39. Variação das concentrações mensais de fósforo total do rio paraíba do meio (Pilar – AL) para os anos de 2016 e 2017. A linha vermelha representa o nível máximo de fósforo total para rios estabelecido pelo Conama.	102
Figura 40. Variação das concentrações mensais de Clorofila <i>a</i> do rio paraíba do meio (Pilar – AL) para os anos de 2016 e 2017. A linha vermelha representa o nível máximo padrão de	

Clorofila <i>a</i> para rios estabelecido pelo Conama.....	103
Figura 41. Variação mensal do índice do estado trófico (IET) médio avaliado na seção do rio Paraíba do Meio (Pilar – AL) para o ano hidrológico de 2016. As linhas retas representam o limite superior da classe para cada estado trófico presentes no quadro 6.	107
Figura 42. Variação mensal do índice do estado trófico (IET) total (fósforo total e clorofila <i>a</i>) avaliado na seção do rio Paraíba do Meio em estudo (Pilar – AL) para o ano hidrológico de 2017. As linhas retas representam o limite superior da classe para cada estado trófico presentes no quadro 6.....	108

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Distribuição percentual de água no Brasil.....	21
Tabela 2. Variação média anual dos principais parâmetros meteorológicos em Alagoas	53
Tabela 3. Totais mensais e anuais de precipitação pluvial para o município de Atalaia – AL nos anos de 2016 e 2017. Os meses em destaque representam o período mais chuvoso da região enquanto que os demais meses, o período mais seco	68
Tabela 4. Médias mensais e anuais de vazão do rio Paraíba do Meio no município de Atalaia nos anos de 2016 e 2017. Os meses em destaque representam o período mais chuvoso da região enquanto que os demais meses, o período mais seco	71
Tabela 5. Concentrações mensais das formas de nitrogênio (amônio, nitrito e nitrato) do rio paraíba do meio obtidas no município de Pilar-Alagoas para os anos de 2016 e 2017. Os meses em destaque representam o período mais chuvoso da região, enquanto que os demais meses, o período mais seco.....	79
Tabela 6. Médias mensais e anuais do nitrogênio inorgânico dissolvido (NID) no rio Paraíba do Meio (Pilar – AL) para os anos de 2016 e 2017. Os meses em destaque representam o período mais chuvoso da região, enquanto que os demais meses, o período mais seco.....	83
Tabela 7. Médias mensais e anuais de P-Orto (P-PO ₄) no rio paraíba do meio (Pilar – AL) nos anos de 2016 e 2017. Os meses em destaque representam o período mais chuvoso da região, enquanto que os demais meses, o período mais seco.....	85
Tabela 8. Médias mensais e anuais do oxigênio dissolvido (OD) no rio Paraíba do Meio (Pilar – AL) para os anos de 2016 e 2017. Os meses em destaque representam o período mais chuvoso da região, enquanto que os demais meses, o período mais seco	87
Tabela 9. Médias mensais e anuais da salinidade no rio paraíba do meio (Pilar – AL) para os anos de 2016 e 2017. Os meses em destaque representam o período mais chuvoso da região, enquanto que os demais meses, o período mais seco.....	89
Tabela 10. Médias mensais e anuais da turbidez (UNT) no rio paraíba do meio (Pilar – AL) para os anos de 2016 e 2017. Os meses em destaque representam o período mais chuvoso da região, enquanto que os demais meses, o período mais seco	91
Tabela 11. Médias mensais e anuais da temperatura no rio paraíba do meio (Pilar – AL) para os anos de 2016 e 2017. Os meses em destaque representam o período mais chuvoso da região, enquanto que os demais meses, o período mais seco	93
Tabela 12. Médias mensais e anuais do potencial hidrogeniônico (PH) no rio paraíba do meio (Pilar – al) para os anos de 2016 e 2017. Os meses em destaque representam o período mais chuvoso da região, enquanto que os demais meses, o período mais seco	95
Tabela 13. Médias mensais e anuais da condutividade elétrica no rio paraíba do Meio (Pilar – AL) para os anos de 2016 e 2017. Os meses em destaque representam o período mais chuvoso da região, enquanto que os demais meses, o período mais seco	97
Tabela 14. Médias mensais e anuais dos totais de sólidos em suspensão (TSS) no rio paraíba do meio (Pilar – AL) para os anos de 2016 e 2017. Os meses em destaque representam o período mais chuvoso da região, enquanto que os demais meses, o período mais seco.....	99
Tabela 15. Concentrações mensais do fósforo total e da clorofila <i>a</i> do rio Paraíba do Meio (Pilar – AL) para os anos de 2016 e 2017. Os meses em destaque representam o período mais chuvoso da região, enquanto que os demais meses, o período mais seco	101

Tabela 16. Índice do estado trófico (IET) para as concentrações mensais do fósforo total e clorofila *a*, média mensal e classificação do estado trófico da água avaliadas na seção do rio Paraíba do Meio em estudo (Pilar – AL) para o ano de 2016 **105**

Tabela 17. Índice do estado trófico (IET) para as concentrações mensais do fósforo total e clorofila *a*, média mensal e classificação do estado trófico da água avaliadas na seção do rio Paraíba do Meio em estudo (Pilar – AL) para o ano de 2017 **106**

LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Parâmetros físicos, químicos, hidrobiológicos e microbiológico da água.	28
Quadro 2. Efeitos socioeconômicos e ambientais potenciais da eutrofização em ambientes aquáticos.	39
Quadro 3. Classe de estado trófico para os ambientes aquáticos e suas características principais.....	41
Quadro 4. Definição e características dos principais tipos de solos da bacia do rio Paraíba do Meio.	56
Quadro 5. Classes de uso e cobertura do solo da bacia hidrográfica do rio Paraíba do Meio. .	59
Quadro 6. Classificação do Estado Trófico para rios segundo o Índice de Carlson (1977), modificado por Lamparelli (2004). Classificação usada pela CETESB citada em Martins et al. (2020).	67

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

- ANA – Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico
- ANAMOX - Oxidação anaeróbica da amônia
- CELMM – Complexo Estuarino Lagunar Mundaú-Manguaba
- CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
- CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente
- CL – Clorofila *a*
- CSM – Camada Superior da Mistura Vertical
- DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio
- DQO – Demanda Química de Oxigênio
- EMPRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
- FBN – Fixação Biológica de Nitrogênio
- FFP – Florescimentos de Fitoplâncton na Primavera
- FFV – Florescimentos de Fitoplâncton no Verão
- FPA – Frente Polar Atlântica
- IAP – Índice de Qualidade das Águas Brutas para Fins de Abastecimento Público
- IB – Índice de Balneabilidade
- IBA – Índice de Biomassa de Algas
- IBGE – Índice Brasileiro de Geografia e Estatística
- ICB – Índice da Comunidade Bentônica
- ICF – Índice da Comunidade Fitoplanctônica
- ICZRES – Índice da Comunidade Zooplanctônica para Reservatórios
- IET – Índice de Estado Trófico
- IPCC – Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas
- IQA – Índice de Qualidade das Águas
- IVA – Índices de Qualidade das Águas para Proteção da Vida Aquática e de Comunidades Aquáticas
- LABMAR – Laboratório Integrado de Ciências do Mar e Naturais
- MDR – Ministério do Desenvolvimento Regional
- MFO – Máximo de Fitoplâncton no Outono
- MFP – Máximo de Fitoplâncton em Zonas profundas de Mistura Vertical
- MFV – Mínimo de Fitoplâncton no Verão
- mg m⁻³ – Miligramas por metros cúbicos mm – Milímetros

MMA – Ministério do Meio Ambiente
mm h⁻¹ – Milímetros por hora

NOP – Nitrogênio Orgânico Particulado
OD – Oxigênio Dissolvido

PDRH – Plano Diretor de Recursos Hídricos
Pg – Peta grama

pH – Potencial Hidrogeniônico
PT – Fósforo Total

RDNA – Redução Dissimilatória do Nitrato e Amônia
RHN - Rede Hidrometeorológica Nacional

SI – Sistema Internacional

SiBCS – Sistema Brasileiro de Classificação de Solos

SNIRH - Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos
µg L⁻¹ – Microgramas por litro

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	18
1.1 Objetivos.....	20
1.1.1 Objetivo geral	20
1.1.2 Objetivos específicos	20
2 REVISÃO DE LITERATURA	21
2.1 O ciclo hidrológico e a importância da água	21
2.2 Aspectos fisiográficos dos rios.....	24
2.2.1 Precipitação pluvial.....	25
2.2.2 Vazão	27
2.3 Parâmetros físico-químicos da água e o conama	28
2.4 Carga de nutrientes nos ecossistemas aquáticos	31
2.4.1 Dinâmica da carga de nutrientes em águas superficiais	33
2.4.2 O ciclo de nitrogênio e fósforo nos ecossistemas aquáticos.....	35
2.4.3 A eutrofização nos ambientes aquáticos.....	36
2.5. O índice do estado trófico (IET) e a importância de sua avaliação.....	40
2.5.1 Formas de determinação do IET	44
3 MATERIAL E MÉTODOS	47
3.1 Localização geográfica e caracterização geral da área de estudo.....	47
3.4 Características físicas da bacia hidrográfica do rio Paraíba do Meio.....	52
3.2.1 Aspectos climatológicos	52
3.2.2 Aspectos hidrográficos	53
3.2.3 Aspectos pedológicos	55
3.2.4 Aspectos de vegetação e de uso do solo	57
3.2.5 Aspectos geomorfológicos	59
3.2.6 Aspectos geológicos.....	60
3.3 Obtenção e análise dos dados	61
3.3.1 Coletas das amostras de água.....	61
3.3.2 Dados de vazão e precipitação pluvial do rio Paraíba do Meio – Alagoas.....	62
3.3.3 Correlação da vazão e precipitação.....	63
3.3.4 Parâmetros físico-químicos da água do rio Paraíba do Meio – Alagoas	64
3.3.6 Determinação do Índice do Estado Trófico – IET	65
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	67
4.1 Variação da precipitação pluvial e vazão do rio Paraíba do Meio – Alagoas, para os anos hidrológicos de 2016 e 2017.....	68

4.1.2 Correlação entre a vazão e a precipitação pluvial do rio Paraíba do Meio – Alagoas, para um período de trinta anos (1988 – 2017) e para os anos de 2016 e 2017.....	75
4.2 Análise e caracterização da concentração e carga de nutrientes do rio Paraíba do Meio – Alagoas, para os anos de 2016 e 2017	78
4.2.1 Nitrogênio.....	78
4.2.2 Fosfato Orto (P-Orto)	84
4.2.3 Oxigênio Dissolvido (OD)	87
4.2.4 Salinidade	89
4.2.5 Turbidez.....	90
4.2.6 Temperatura	93
4.2.7 Potencial hidrogeniônico (ph)	95
4.2.8 Condutividade elétrica	97
4.2.9 Totais de sólidos em suspensão (tss)	99
4.3 Avaliação do índice do estado trófico no rio paraíba do meio – alagoas (2016 – 2017) .	100
4.3.1 Fósforo total	101
4.3.2 Clorofila <i>a</i>	103
4.3.3 Índice do estado trófico (IET) no rio Paraíba do Meio	104
4.4 O processo de urbanização e a bacia hidrográfica do rio Paraíba do Meio.....	109
4.4.1 O crescimento urbano e os recursos hídricos do rio Paraíba do Meio – Alagoas.....	110
4.4.2 Atividades/implicações socioambientais e econômicas e uso do rio Paraíba do Meio - Alagoas	112
5 CONCLUSÃO	115
REFERÊNCIAS	117

1 INTRODUÇÃO

O crescimento populacional no mundo, nos últimos anos, tem configurado um cenário de intensa transformação no meio ambiente, afetando negativamente os ambientes aquáticos, uma vez que as mudanças no uso do solo, o desmatamento, a expansão da agricultura e a produção de energia e alimentos têm contribuído significativamente para a poluição de águas fluviais através da deposição de esgotos sanitários, resíduos sólidos e produtos altamente poluentes que levam ao aumento do aporte do fluxo de macronutrientes nessas águas, como o fósforo (F) e o nitrogênio (N), os quais passam, nesse caso, de nutrientes a poluentes (MEDEIROS et al., 2003).

Os ecossistemas aquáticos, especialmente os rios, caracterizados como os maiores agentes de transporte de materiais, engloba matéria orgânica, sedimentos em suspensão e nutrientes que são oriundos do continente para a região costeira, são responsáveis por transportar materiais resultantes da erosão continental em direção aos estuários e oceanos, sendo esse transporte característica importante da geologia e biogeoquímica do planeta Terra (MEDEIROS et al., 2007). Os rios se enquadram entre os ecossistemas mais afetados pela utilização inadequada de seus recursos hídricos e decorrente a este fator provocam impactos negativos de cunho ambiental que conseqüentemente acabam modificando os fluxos naturais da água assim como a sua biogeoquímica (SILVA, 2012).

Dentro desse contexto, Medeiros et al., (2011) salienta que os rios denota uma das principais ligações pertinentes ao ciclo hidrológico e biogeoquímico global, agindo como transportadores de água e substâncias dissolvidas dos continentes para o oceano. É mediante essa questão que a atenção voltada à qualidade ambiental dos corpos hídricos deve ser significativa, sobretudo para àqueles que estão situados próximos e/ou inseridos nos grandes centros urbanos, como é o caso da grande parte dos rios brasileiros, em que as atividades provocadas pelos seres humanos são mais intensas.

A vazão de um rio recebe grande influência da precipitação pluviométrica, de maneira que à medida que há níveis maiores de precipitação, conseqüentemente a vazão também aumentará (ALCÂNTARA, 2004). Além disso, existe uma relação direta entre a vazão e a capacidade de carga de transporte de um rio (BRANCO, 2008). Os índices de retenção de nutrientes são maiores quando a precipitação na bacia hidrográfica à qual o rio pertence se eleva, uma vez que “as cargas nas entradas se tornam ainda maiores com o aporte de nutriente às águas” (VIDAL; CAPELO; NETO, 2014, p. 406). Assim, Leite (2016, p. 18) ressalta que quando há a ocorrência do aumento da vazão juntamente com o início do período chuvoso, “a

velocidade de escoamento fluvial é intensificada, acarretando uma maior taxa de erosão, bem como na capacidade de transporte do material particulado e dissolvido transportado”.

O rio Paraíba do Meio possui uma lacuna quanto aos estudos voltados ao transporte de material em suspensão que ele é capaz de realizar. Ao longo de sua margem, apresenta uma intensa modificação em suas condições físicas, químicas e biológicas, devido à maneira de como o seu uso para fins sociais e/ou econômicos é feito pela população, estabelecendo um mecanismo de deterioração da biodiversidade local, que conseqüentemente tende a comprometer o seu uso para fins sociais e/ou econômicos. Esse rio também possui importância ecológica em razão de sua diversidade de espécies e sua hidrodinâmica costeira, embora tenha apresentado muitos problemas ambientais ao longo do seu curso (MEDEIROS et al., 2011).

O fluxo de nutrientes é essencial no balanço de nutrientes e manutenção da produtividade primária da água, base de sustentação para as teias alimentares nesse ambiente (CALLENDER; HAMMOND, 1982). Assim, o estudo voltado à análise dos fluxos de nutrientes do rio Paraíba do Meio irá complementar a bibliografia sobre suas características físico-químicas, além de que poderá servir aos órgãos privados e públicos responsáveis pela manutenção dos corpos hídricos brasileiros. Além disso, será possível identificar os pontos ricos em nutrientes, como o fósforo e o nitrogênio, que são tidos como indicativos de poluição e que, por sua vez, contribuem para a contaminação da água e morte de diversos organismos, tornando esta imprópria para o uso.

Existem inúmeros índices que permitem a determinação do Estado Trófico da água de um rio em relação as concentrações de fósforo total, clorofila, transparência e biomassa. Dentre estes, destaca-se o Índice do Estado Trófico (IET), utilizado nesta pesquisa, que leva em consideração o fósforo total e a clorofila *a* como os parâmetros de maior importância devido sua relação direta com a produção primária e biomassa (CARLSON, 1977; LAMPARELLI, 2004). O Índice do Estado Trófico também pode ser utilizado como uma forma de registrar as atividades humanas em um ecossistema aquático, oferecendo subsídios para o desenvolvimento de planos de manejo e gerenciamento desses ambientes, através de estratégias ligadas à sustentabilidade dos recursos hídricos, garantindo os usos múltiplos da água, em médio e em longo prazo (BARRETO, et al., 2013).

Dentre os efeitos ocasionados ao meio ambiente devido ao acúmulo de nutrientes em um corpo hídrico, destaca-se a eutrofização, que de acordo com Kitsiou e Karydis (2011) o estudo voltado a eutrofização, contribui numa melhor compreensão dos processos biogeoquímicos que estão relacionados a este problema, uma vez que segundo Barreto et al.,

(2013) o intensivo uso de diferentes formas dos rios, lagos e conseqüentemente de suas bacias hidrográficas, provoca uma necessidade substancial de serem definidas formas de manejos sustentável assim como o gerenciamento desses ecossistemas. Para tanto, torna-se largamente necessário que haja o monitoramento sistemático para que se permita avaliar o desenvolvimento da qualidade da água de um corpo hídrico.

Nesse contexto, o recorte temporal considerado no estudo do presente trabalho corresponde aos anos hidrológicos de 2016 e 2017, os quais foram atípicos do ponto de vista pluviométrico, pois apresentou níveis elevados de precipitação pluvial, sem uma distribuição homogênea no estado de Alagoas (INMET, 2020). A pesquisa foi realizada numa seção do rio Paraíba do Meio, localizada no município de Pilar (AL), próximo a divisa com o município de Atalaia (AL).

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo Geral

- Determinar o Índice do Estado Trófico (IET) e o comportamento da carga de nutrientes em uma seção do rio Paraíba do Meio (Alagoas - AL) durante o período de dois anos hidrológicos (2016-2017) e suas implicações sociambientais.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Avaliar a variação temporal da precipitação pluvial e vazão para o rio Paraíba do Meio (AL) para um período de trinta anos (1988-2017);
- Analisar a variabilidade dos níveis de precipitação e vazão no rio Paraíba do Meio (AL) para os anos hidrológicos de 2016 e 2017;
- Correlacionar a vazão e a precipitação do rio Paraíba do Meio (AL) para um período de trinta anos (1988-2017) e para os anos de 2016 e 2017;
- Avaliar a concentração de fósforo dissolvido, nitrito, nitrato, amônia, clorofila a, turbidez, pH, temperatura, condutividade elétrica, oxigênio dissolvido (OD), salinidade e Sólidos Totais em Suspensão (TSS) na água do rio nos anos de 2016 e 2017, comparando com os níveis apresentados na resolução do CONAMA n° 357/2005;
- Verificar o estado trófico da água através do Índice do Estado Trófico (IET), nos anos de 2016 e 2017;
- Apresentar as principais atividades/implicações sociambientais e econômicas e o processo de urbanização na área da bacia do rio Paraíba do Meio em estudo.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 O ciclo hidrológico e a importância da água

Ao longo de sua história, a sociedade tem buscado, através do trabalho, o aperfeiçoamento de técnicas e instrumentos no objetivo de manter com a natureza uma relação mais intrínseca capaz de transformá-la, ou seja, o ser humano estabelece um vínculo com o meio ambiente provocando intensas modificações, seja em micro ou em macro escala, uma vez que ele constitui-se como parte integrante deste meio sendo também um agente transformador, e afim de que suas necessidades sejam satisfeitas apropria-se dos recursos naturais e os utiliza para diversas finalidades (SANTOS; MEDEIROS; SANTOS, 2018). Nesse sentido, o entendimento acerca desse processo de relação do ser humano com a natureza é fundamental para que se possa compreender os principais problemas e consequências associados às atividades antrópicas provocadas no meio ambiente no decorrer da história da humanidade.

Considerada um bem de domínio público, a água é um recurso natural limitado dotado de valor econômico (MMA, 2021). Em função de sua localização e dimensão continental, o Brasil é um dos países que possui posição privilegiada no que diz respeito a quantidade de água e recursos hídricos disponíveis, tanto superficiais como subterrâneos. As três bacias hidrográficas que possuem o maior volume de água doce do mundo são expressivamente de domínio brasileiro, as quais são a bacia Amazônica, do São Francisco e do Paraná. No entanto, embora haja essa grande quantidade de água disponível no território nacional, o seu acesso pela população, tanto em qualidade como em quantidade, ocorre de forma desigual, e devido as características geográficas específicas de cada região do país, a distribuição natural desse recurso é verificada de maneira não equilibrada, conforme a Tabela 1 (EOS, 2021).

Tabela 1. Distribuição percentual de água no Brasil

Região	Disponibilidade hídrica (%)	População (%)
Norte	68,5%	8,8%
Nordeste	3,3%	27,1%
Centro-Oeste	15,7%	7,8%
Sudeste	6,0%	42,0%
Sul	6,5%	14,3%

Fonte: Elaborada com base no IBGE (2020) e ANA (2010).

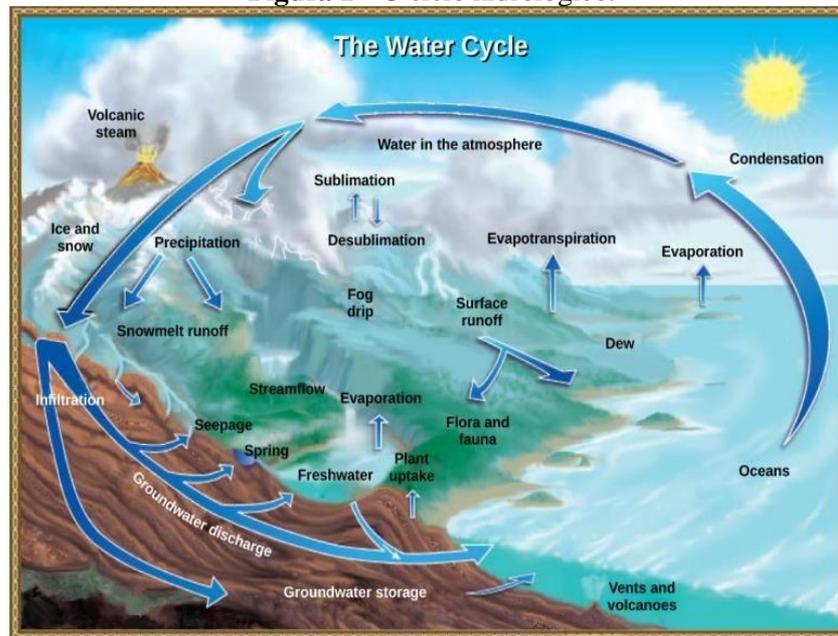
Sabendo-se que a água possui papel importante para todos os processos vivos, conservação da biodiversidade e regulação do clima do planeta, é essencial que o seu uso seja feito de forma racional e que a sociedade também estabeleça uma relação consciente com a natureza (ECYCLE, 2020). Nessa perspectiva, Silva, Silva e Pires (2014, p. 1) destacam que

“a quantidade e a qualidade das águas doces no planeta sempre foram essenciais para manter os ciclos de vida, a biodiversidade dos organismos e a sobrevivência da espécie humana”. De acordo com dados do Ministério do Meio Ambiente (2021), cerca de 1/3 do total da água utilizada no Brasil destina-se ao consumo humano, sendo os principais usos destinados à irrigação, indústria abastecimento humano e animal, geração de energia, mineração, aquicultura, navegação, lazer e turismo (ANA, 2018).

Ainda no que diz respeito o uso da água, Tundisi (2003) destaca que em função do constante crescimento da população mundial, a demanda por alimentos também tem aumentado, intensificando o uso dos recursos hídricos para a produção destes alimentos, tanto de origem animal como vegetal, assim como no próprio consumo humano e nas indústrias. Associado a esse fator, Menezes (2012) evidencia que os problemas voltados à qualidade e quantidade da água tendem a se intensificarem no transcorrer dos anos por efeito decorrente das mudanças no clima, o aumento da temperatura do planeta, com o derretimento de geleiras, além do uso de forma desordenado da água pela população, provocando grandes complicações ambientais e sócio-econômicas.

No percurso da história da humanidade, tem-se buscado soluções para aumentar e conservar a disponibilidade e qualidade da água, com o desenvolvimento de tecnologias, como cavar poços para coletar água subterrânea, armazenar água da chuva e a dessalinização para se obter água potável do oceano. Portanto, apesar da busca por água potável esteja em andamento desde muitos anos, o seu abastecimento continua a ser um grande problema nos tempos modernos (FOWLER; ROUSH; WISE, 2013). Muitas discussões têm sido feitas em torno dessa problemática, o que pode ser observado através específicos que são realizados em parcerias com Universidades, centros de pesquisas, como a Agência Nacional de Águas (ANA), órgãos de gestão estadual de recursos hídricos, e também a nível internacional (SILVA; SILVA; PIRES, 2014).

Além do dilema existente em relação a quantidade, qualidade e a necessidade de água doce, as atividades provocadas pelos seres humanos que tem atingido de forma negativa os processos hidrológicos, conferem uma ameaça significativa e muito preocupante sobre esse recurso (VENIZIANI JÚNIOR, 2018; SANTOS, 2020). Do ponto de vista hidrológico, a movimentação e as mudanças de estado da água ocorrem dentro do ciclo da água, o qual, de acordo com Tundisi (2003), constitui-se como o principal indicador relativo à água no planeta Terra, em que ocorrem diversos processos, dentre os quais destacam-se a evaporação e a sublimação, a condensação e a precipitação, o fluxo de água subterrânea, o escoamento superficial e o derretimento de neve, conforme é ilustrado na Figura 1.

Figura 1 - O ciclo hidrológico.

Fonte: Fowler, Roush e Wise (2013).

O ciclo hidrológico é definido por Esteves (1998, p.8) como “um processo contínuo de transporte de massas d’água do oceano para a atmosfera e desta, através de precipitações, escoamento (superficial e subterrâneo) novamente ao oceano”. É também considerado como um fenômeno global associado à circulação da água processada entre a superfície da terra e a atmosfera, impulsionado pela radiação solar, pelo movimento de rotação realizado pela Terra e pela gravidade (SILVEIRA; LOUZADA; BELTRAME, 2000). Este ciclo age em função da energia solar que permite a ocorrência da evaporação das águas dos oceanos e dos efeitos dos ventos, fazendo com que o vapor de água acumulado seja transportado para outros continentes.

Partindo desse entendimento, Fowler, Roush e Wise (2013) afirmam que a chuva e o escoamento superficial são as principais formas pelas quais os minerais, incluindo o carbono, o nitrogênio, o fósforo e o enxofre, são reciclados da terra para a água. Dessa maneira, pode-se afirmar que a disponibilidade hídrica superficial está intimamente ligada aos rios, uma vez que estes ecossistemas são considerados como as principais fontes voltadas ao abastecimento público de águas, os quais, considerado o transporte contínuo de massas d’água, encontram-se ligados aos reservatórios de água que abrangem o ciclo hidrológico, sobretudo os oceanos, as geleiras, outros rios, a atmosfera, a biosfera e a água subterrânea (TUNDISI, 2005). Mediante esse contexto, Esteves (1998) ressalta que numa última análise, o balanço que existe entre os diferentes elementos processados dentro do ciclo da água determina as características tanto hidrológicas como geoquímicas dos corpos d’água.

2.2 Aspectos fisiográficos dos rios

O geógrafo norte-americano William M. Davis (1899), com a sua teoria do ciclo geográfico, é considerado o primeiro a classificar os rios, dividindo-os em três categorias básicas referente ao estágio de evolução do canal (jovens, maduros e velhos) e a partir de sua proposição “novos sistemas de classificação de rios foram elaborados, baseados em delineações qualitativas e descritivas” (SANTANA; MARÇAL, 2020, p. 1887). Outras classificações com diferentes critérios foram relatadas, considerando o transporte de material, a estabilidade do canal, as características geológicas e o tipo de vale (VASCONCELOS, 2012). Todavia, embora a importância de estudos voltados a caracterização e classificação de canais fluviais seja muito grande, ainda existe uma lacuna quanto à discussão voltada a esse tema, que ainda é pouco explorado no Brasil. Destacam-se os trabalhos de Christofolleti (1981) e Souza Filho (1993), que são importantes exemplos que contribuem nesse aspecto.

Mediante esse contexto, Milliman (1991), destaca que os rios são responsáveis por contribuírem com aproximadamente 70% do aporte total mundial de sedimentos e nutrientes para o oceano. Tal fato configura uma significativa importância, uma vez que esse transporte promove a manutenção da vida e fertilidade dos oceanos. Santana e Marçal (2020, p. 1887) ressaltam que os rios refletem, no contexto da bacia hidrográfica, as interações dos processos ambientais, e “funcionam com características e dinâmicas próprias, resultantes tanto da combinação de fatores naturais, como tipos de clima, relevo, solo e geologia, assim como os antrópicos”. Além disso, Silva (2012) também salienta que os rios estão compreendidos entre os ecossistemas mais afetados pelo uso desequilibrado de seus recursos hídricos, o que leva à geração de impactos negativos, ambientais e socioeconômicos, que como consequência modifica os fluxos naturais da água e a sua biogeoquímica.

Barbosa e Espínola (2003) frisam que os rios nascem, geralmente, através de fontes naturais originadas de lençóis subterrâneos. O fluxo dos rios se estabelece de forma unidirecional, partindo das nascentes em direção à foz sob ação da força gravitacional, qual conduz o transporte de água da região de maior altitude para uma menor altitude. As características próprias de um determinado rio provêm das condições da bacia hidrográfica na qual este rio seja pertencente. Assim, considerando-se que o ciclo de um rio é constituído desde a sua juventude até sua velhice, e a depender de como esse processo ocorre, um rio pode chegar a renascer, em casos especiais, quando os índices de precipitação pluvial aumentarem, garantindo a continuidade desse ciclo.

No objetivo de gerenciar adequadamente os recursos hídricos, tanto em escala

municipal ou estadual, como em escala nacional ou internacional, é indispensável que se utilizem mecanismos que possibilitem a caracterização dos corpos hídricos. Nesse aspecto, Dellamatrice e Monteiro (2014, p. 1298) ressalta que “os ecossistemas aquáticos de rios possuem grande heterogeneidade física, que incluem de pequenos a grandes rios, variação no regime de vazão e geomorfologia do canal, entre outras características do habitat”. Associado a esse fator, Vasconcelos (2012) evidencia que o clima, a geologia, a geomorfologia, entre outros, provocam mudanças em diferentes locais, criando diferentes paisagens, e é com base nessas condicionantes climáticas, geológicas e morfológicas, além das diferenças em nível local, que ocorrem as modificações nas formas dos rios.

Os trabalhos de Ashmore (2015), Rinaldi et al., (2016), Brierley et al., (2019), entre outros, que são exemplos muito importantes de estudos relacionados aos rios e a interação estabelecida no meio físico com os agentes sociais, demonstram que as discussões dentro dessa temática entre pesquisadores e gestores, vêm ganhando espaços cada vez maiores, sobretudo porque estas informações fornecem contribuições significativas para o entendimento acerca da dinâmica ambiental configurada na paisagem dos sistemas fluviais. Além disso, tanto numa escala temporal como numa escala espacial, os aspectos físicos e químicos dos rios se apresentam de maneira variada e estabelecem uma importante conexão com o ciclo hidrológico e biogeoquímico global, favorecendo o transporte de água e materiais particulados dos continentes para os oceanos Medeiros et al. (2011b).

Tal transporte de sedimentos dos continentes para os oceanos através dos cursos fluviais constitui uma importante característica no que diz respeito a biogeoquímica e geologia do planeta (MEDEIROS et al., 2007). A concentração de material em suspensão que um determinado rio é capaz de realizar, é controlada por diversas condições naturais da bacia hidrográfica, tais como os fatores climáticos, o uso do solo, a cobertura vegetal natural, os fatores pedológicos, geológicos e geomorfológicos (MEDEIROS et al., 2011a).

2.2.1 Precipitação pluvial

Caracterizada como o último processo conferido dentro do ciclo hidrológico, fazendo com que a água presente na atmosfera retorne para a superfície, após os fenômenos de evaporação e condensação atmosférica, a precipitação pluvial é considerada como um dos mais importantes elementos meteorológicos que em conjunto com outras variáveis, determina as condições atmosféricas num determinado instante, sendo ocasionada pelo sistema de rotação da terra, o qual se constitui como um importante elemento para a funcionalidade dos sistemas de convecção e formação de nuvens (PEREIRA; ANGELOCCI; SENTELHAS,

2002; LOO; BILLA; SINGH, 2015). Além disso, a precipitação pluvial está diretamente associada a disponibilidade hídrica de uma determinada região, podendo ocorrer de forma mais distribuída ao longo do ano ou de maneira dividida em estações, como a seca e chuvosa (MACIE; FREITAS, 2016).

Nery, Carfan e Parizotto (2009, p. 104) definem a precipitação pluvial como uma das variáveis climáticas que exerce grande influência na qualidade do meio ambiente e salientam que “quantidades relativas de chuvas, seu regime sazonal ou diário e a intensidade de chuvas individuais são algumas das características que afetam direta ou indiretamente a população, a economia e o meio ambiente”. Mediante esse contexto, Terrassi, Graça e Tomasselli (2016, p. 119) destacam que uma das principais características da pluviosidade é o “seu potencial em ocasionar erosões. A erosão pode ser entendida como produto final da interação chuva/solo e é, portanto, uma resultante do poder da chuva em causar erosão e da capacidade do solo em resistir”. Estes mesmos autores destacam ainda que “o poder da chuva em causar erosão é denominado erosividade, que é função de suas características físicas”.

A quantidade e a distribuição de chuvas verificada anualmente numa dada região determina o tipo de vegetação natural e os seus principais aspectos climatológicos. A variação regional e sazonal da precipitação pluvial é um dos principais elementos determinantes das condições climatológicas ao redor do globo. Assim, a disponibilidade e distribuição sazonal da precipitação em uma determinada região, são fatores determinantes para quantificar a necessidade de irrigação de uma determinada cultura, o abastecimento de água doméstico e industrial, a ocorrência de cheias e inundações, os dimensionamentos de canais de drenagem, entre outros fatores (PERTUSSATTI, 2013).

A medição da precipitação pluviométrica pode ser conferida a partir da quantificação da camada de água pluvial acumulada em um determinado lugar, sendo caracterizada como a espessura da camada de água ou volume que se forma sobre uma superfície horizontal por unidade de área, geralmente expressa em milímetros (mm) ou em milímetros por hora (mm h⁻¹). Tal medição é geralmente feita através de um dos métodos convencionais mais utilizado no Brasil, por meio de um instrumento meteorológico, o pluviômetro, no qual a leitura da água acumulada é realizada por meio de uma proveta pluviométrica milimetrada, que serve para indicar a quantidade exata de chuva. Destaca-se também o pluviógrafo que diferente do pluviômetro convencional, registra de forma automática os quantitativos de chuva por meio de um pluviograma (diagrama de chuva) que possui por um papel milimetrado (VAREJÃO SILVA, 2006).

2.2.2 Vazão

Carvalho (2008, p. 74) destaca que a vazão pode ser caracterizada como o volume de água que “passa numa determinada seção do rio por unidade de tempo, a qual é determinada pelas variáveis de profundidade, largura e velocidade do fluxo, e é expressa comumente no sistema internacional (SI) de medidas em m^3/s ”. Influenciada pela precipitação, a vazão tende a aumentar em períodos chuvosos e a diminuir em períodos secos. Essa variável também pode ser influenciada pela evaporação total ocorrida ao longo da superfície de um determinado corpo hídrico, dependendo, assim, dos níveis de radiação e temperatura da superfície terrestre. O quantitativo de sedimentos presentes na coluna de água é também influenciada pela vazão, de maneira que quanto menor for a vazão, mais rápido os sedimentos serão depositados na região mais profunda do rio, e quanto maior for a vazão, mais tempo os sedimentos permanecerão suspensos na coluna de água (PALHARES et al., 2007).

O estudo sobre a vazão de um determinado rio pode prever o seu comportamento futuro em relação ao seu nível de água, por exemplo, o que é fundamental para o desenvolvimento de projetos de obras nos arredores do canal fluvial, como as pontes. Assim, a sua medição torna-se importante, pois vai exercer influência tanto na qualidade da água, como nos seus organismos e habitats, além de servir à população e a instituições governamentais para diversas finalidades, tais como a prevenção de danos, como as cheias ou inundações, dimensionamento de barragens, e para o ensino e pesquisa científicas pautadas no determinado corpo hídrico manutenção de um determinado corpo hídrico, o qual pode ser utilizado para o abastecimento doméstico, industrial e para a agricultura irrigada (PALHARES et al., 2007; ANA, 2013; SOUZA et al., 2018).

Mediante esse contexto, os métodos que são utilizados para a determinação da vazão podem ser indiretos, que consistem na forma “manual”, não convencional, de se estimar a vazão em um determinado rio ou córrego, em que é exigido um embasamento teórico, ou automáticos, que são mais precisos e possibilitam uma medição direta, pois envolve o uso de equipamentos específicos como o molinete hidrométrico, doppler acústicos, como é o caso do *Automatic Doppler Current Profiler* (ADCP), não exigindo maiores conhecimentos do processo de medição, e em casos especiais são utilizados satélites, como o TOPEX/POSEIDON. Dentre estes, o uso do molinete hidrométrico e o método do flutuador são os mais comuns, em função do baixo custo benefício, agilidade e praticidade (CARVALHO, 2008; ANA, 2014).

2.3 Parâmetros físico-químicos da água e o CONAMA

Para se compreender a qualidade da água e os principais processos que podem ocasionar determinados problemas num dado ecossistema aquático, é necessário levar em consideração seus parâmetros físicos, químicos e hidrobiológicos, dentre os quais se destacam a cor, a condutividade elétrica, a temperatura, a transparência, a turbidez, o potencial hidrogeniônico (pH), o oxigênio dissolvido (OD), a demanda bioquímica de oxigênio (DBO), a demanda química de oxigênio (DQO), o fósforo, o nitrogênio (amônia, nitrito e nitrato), a clorofila a, entre outros. A análise desses parâmetros emprega uma significativa importância no que diz respeito aos estudos e definições das características físico-químicas da qualidade água de um determinado ecossistema aquático.

A depender do tipo de análise realizada, esta também pode não só fornecer informações acerca da qualidade da água, mas também quantificar os elementos que fazem parte do ecossistema aquático. Para tanto, o Quadro 1 apresenta as principais características referentes a esses parâmetros.

Quadro 1. Parâmetros físicos, químicos, hidrobiológicos e microbiológico da água.

Parâmetros físico-químicos, hidrobiológicos e microbiológico da água	
Parâmetros físicos da água	
Parâmetro	Características
Cor	Esse parâmetro está associado ao grau de redução de intensidade que a luz sofre quando a atravessa. Tal intensidade é dada por meio da absorção de parte da radiação eletromagnética, em função da presença de sólidos dissolvidos, sobretudo de material em estado coloidal orgânico e inorgânico.
Condutividade elétrica	Trata-se da expressão numérica da capacidade da água conduzir a corrente elétrica. Tal parâmetro depende das concentrações iônicas e da temperatura, indicando a quantidade de sais que existem na coluna d'água. Representa uma medida indireta da concentração de poluentes.
Temperatura	Esse parâmetro desempenha um papel crucial no meio aquático, condicionando as influências de uma série de variáveis físico-químicas. A elevação da temperatura em um corpo d'água geralmente é provocada por despejos industriais (indústrias canavieiras, por exemplo) e usinas termoelétricas.

Turbidez	Tal parâmetro indica o grau de atenuação que um feixe de luz sofre ao atravessar a água, a qual ocorre pela absorção e espalhamento da luz causada pelos sólidos em suspensão (silte, areia, argila, algas, detritos, etc.). A turbidez pode variar com a atividade biológica existente no rio e por influência da pluviosidade. Quando maior é a turbidez, maior será a redução da fotossíntese da vegetação submersa e de algas, diminuindo a vida aquática.
Transparência	Para obtê-la, é necessário utilizar o disco de Secchi, que é um disco circular branco ou com setores branco e preto e um cabo graduado, que é mergulhado na água até a profundidade de modo que não seja mais possível visualizá-lo. Tal profundidade, a qual o disco desaparece e logo reaparece, é a profundidade de transparência. Com isso, é possível estimar a profundidade da zona fótica, isto é, da penetração vertical da luz solar na coluna de água, indicando o nível da atividade fotossintética de rios, lagos ou reservatórios.
Parâmetros químicos da água	
Parâmetro	Características
Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)	Esse parâmetro representa a quantidade de oxigênio necessária para oxidar a matéria orgânica presente na água através da decomposição microbiana aeróbia. A DBO é normalmente considerada como a quantidade de oxigênio consumido durante um determinado período de tempo, numa temperatura de incubação específica. Um período de tempo de 5 dias numa temperatura de incubação de 20°C é frequentemente usado e referido como DBO 5,20.
Demanda Química de Oxigênio (DQO)	Refere-se à quantidade de oxigênio necessária para oxidação da matéria orgânica de uma amostra por meio de um agente químico, como o dicromato de potássio. O aumento da concentração de DQO num corpo de água deve-se, sobretudo, a despejos de origem industrial.
Fósforo Total	Constitui-se como um dos principais nutrientes para os processos biológicos, sendo então um dos chamados macronutrientes, por ser altamente exigido em grandes quantidades pelas células.

Oxigênio Dissolvido (OD)	Parâmetro vital para a preservação da vida aquática. Os níveis de O.D. de um rio podem ser reduzidos quando há lançamento de efluentes ricos em carga orgânica, cuja decomposição biológica do material depende de altos níveis de oxigênio.
Potencial Hidrogeniônico (pH)	A influência do pH sobre os ecossistemas aquáticos naturais ocorre em função de seus efeitos sobre a fisiologia de diversas espécies. O efeito indireto também é muito importante podendo, em determinadas condições de pH, contribuir para a precipitação de elementos químicos tóxicos como metais pesados, e em outras condições pode exercer efeitos sobre as solubilidades de nutrientes.
Nitrogênio Total	Assim como o fósforo, o nitrogênio é também um macronutriente, e pode ser encontrado nas águas nas formas de nitrogênio orgânico, amoniacal, nitrito e nitrato. As duas primeiras são formas reduzidas e as duas últimas, oxidadas. Os compostos de nitrogênio são nutrientes para processos biológicos, uma vez que, depois do carbono, o nitrogênio é o elemento exigido em grande quantidade pelas células vivas.
Salinidade	Este parâmetro mede a quantidade de sais dissolvidos e presentes em ecossistemas aquáticos, como rios, lagos e reservatórios, e geralmente ela é maior no verão e menor no inverno.
Parâmetros hidrobiológicos da água	
Parâmetro	Características
Clorofila <i>a</i>	A clorofila <i>a</i> é considerada a principal variável indicadora de estado trófico dos ambientes aquáticos, e é um dos pigmentos responsáveis pelo processo fotossintético. A clorofila <i>a</i> é a mais universal das clorofilas (<i>a</i> , <i>b</i> , <i>c</i> , e <i>d</i>) e representa de 1 a 2% do peso seco do material orgânico em todas as algas planctônicas, sendo um indicador da biomassa algal.
Comunidade fitoplanctônica	Indica a qualidade da água, sobretudo em reservatórios, e a sua análise possibilita a avaliação de alguns efeitos advindos das alterações ambientais. Essa comunidade é caracterizada como a base da cadeia alimentar, em que a produtividade dos elos seguintes depende da sua biomassa.

Comunidade zooplanctônica	Essa comunidade é importante na manutenção do equilíbrio do ambiente aquático, e pode atuar como reguladora da comunidade fitoplanctônica, utilizando-a como alimento, assim como na reciclagem de nutrientes, além de servir de alimento para diversas espécies de peixes. É formada por animais microscópicos que vivem em suspensão.
Comunidade bentônica	A comunidade bentônica corresponde ao conjunto de organismos que vive todo ou parte de seu ciclo de vida no substrato de fundo de ambientes aquáticos.
Parâmetro microbiológico da água	
Parâmetro	Características
Coliformes Termotolerantes	São definidos como micro-organismos do grupo coliforme que possuem a capacidade de fermentar a lactose a 44-45°C. São representados principalmente pela <i>Escherichia coli</i> , e por algumas bactérias dos gêneros <i>Klebsiella</i> , <i>Enterobacter</i> e <i>Citrobacter</i> . Os coliformes termotolerantes não são indicadores de contaminação fecal tão apropriados quanto a <i>E. coli</i> , porém o seu uso é aceitável para avaliação da qualidade da água de um ambiente aquático.

Fonte: MARIN-MORALES (2016), MARTINS et al. (2020) e ANA (2021).

Cada um dos parâmetros supracitados possui uma importância significativa quanto à caracterização da qualidade da água de um ecossistema aquático. Para tanto, é válido mencionar o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), que foi criado com o objetivo de assessorar, estudar e propor ao Conselho do Governo, assim como outros órgãos ambientais, as diretrizes e políticas governamentais para o meio ambiente, bem como deliberar, no contexto de suas competências, acerca das normas e padrões para um ambiente ecologicamente equilibrado e essencial à boa qualidade de vida (CONAMA, 2012). Nesse contexto, em âmbito nacional, destaca-se a Resolução do CONAMA nº 357, de 17 de Março de 2005, que dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento dos corpos de águas superficiais e estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, além de dá outras providências. Assim, conforme Santos (2020), esta resolução leva em consideração a qualidade dos ecossistemas aquáticos, garantindo que esse recurso natural esteja adequado dentro do padrão estabelecido para o consumo humano.

2.4 Carga de nutrientes nos ecossistemas aquáticos

O nitrogênio e o fósforo estão presentes em praticamente todos os ecossistemas aquáticos, sendo considerados nutrientes de grande importância à cadeia alimentar. Tais nutrientes são adicionados aos ambientes aquáticos normalmente através do processo de escoamento superficial, cargas provenientes de água subterrânea e até por intemperismo e precipitação (BARRETO et al., 2013; REISMANN; VIEIRA; RODRIGUES, 2017). Com base no ciclo do nitrogênio, pode-se dizer que este elemento pode ser encontrado em ambientes aquáticos como nitrato, amônia, nitrito, óxido nitroso, nitrogênio molecular, nitrogênio orgânico dissolvido (aminas, aminoácidos etc.) e nitrogênio orgânico particulado (bactérias, fito e zooplâncton e detritos) (ESTEVES, 1998).

O fósforo, entretanto, pode apresentar-se de três formas diferentes: fosfatos orgânicos, ortofosfatos (fosfatos inorgânicos) e polifosfatos ou fosfatos condensados. A forma de ortofosfato é a mais importante por ser a principal forma assimilável pelos vegetais aquáticos (ALVIM, 2016). O fosfato presente em ecossistemas aquáticos tem origem de fontes naturais e antropogênicas. Dentre as fontes naturais, estão as rochas que compõem o solo das bacias hidrográficas ou que estão presentes nos lagos e lagoas, e através da decomposição de matéria orgânica constituem a fonte básica de fosfato para os ecossistemas aquáticos, sendo a principal fonte de fosfato desses ecossistemas é proveniente do solo. Dentre as fontes antropogênicas, destacam-se os esgotos domésticos, industriais, principalmente aqueles que possuem detergentes, além do uso de fertilizantes (DELLAGUSTINA, 2000; DANELON; NETTO; RODRIGUES, 2012).

Nos sistemas aquáticos, tanto o nitrogênio como o fósforo são importantes para a estabilidade da vida dos organismos presentes em tal sistema, sejam eles microorganismos, plantas ou animais. Além disso, a carga de tais nutrientes nesses sistemas contribui para a manutenção da qualidade da água, uma vez que são elementos que contribuem para mudanças nas características físico-químicas da água da depender de suas variações. De acordo com Baldwin (2013), o fósforo é responsável por controlar a produção primária ou produção de energia dentro de ecossistemas aquáticos, especialmente em ecossistemas marinhos e de água doce. Assim, altas concentrações de fósforo podem contribuir para o crescimento excessivo de algas e plantas macrofitas, além de levar a padrões ruins da qualidade da água. No caso do nitrogênio, Rabalais (2002) destacou que muitas espécies de plantas e fitoplâncton utilizam diferentes formas do nitrogênio reativo, sendo este uso, proporcional à carga do nitrogênio na água e assim como o fósforo pode influenciar em fatores como o crescimento fitoplanctônico, suas estruturas e disposição de suas comunidades.

Esses nutrientes também podem ser encontrados em águas sedimentadas em especial nas águas dos rios, visto que sofrem forte influência do escoamento superficial devido à precipitação pluvial ou ações antropogênicas de poluição hídrica. Na água dos rios, o fluxo de nutrientes é fator crucial no balanço de nutrientes e manutenção da produtividade primária do ecossistema aquático (CALLENDER; HAMMOND, 1982). Além disso, os rios servem como fonte crucial de nutrientes para os oceanos, sendo este processo essencial para a continuidade do ciclo desses nutrientes. De acordo com Paerl et al. (2001), uma fonte essencial de nitrogênio em águas estuarinas e costeiras é a deposição atmosférica que pode representar até 30% do total de cargas do fósforo e nitrogênio total nesses ambientes aquáticos. Nos ecossistemas marinhos as altas concentrações de nutrientes podem levar a uma acidificação das águas causando a calcificação de organismos marinhos como moluscos e crustáceos, pode também desenvolver áreas mortas devido a hipóxia e anóxia (ausência de oxigênio) devido a processos relativos à eutrofização das águas (HOWARTH, et al. 2011; NGATIA et al. 2019).

Atualmente existem diversas pesquisas realizadas acerca do fluxo de nutrientes em ecossistemas aquáticos. Wu et al. (2017) em seu estudo sobre as mudanças das cargas de nutrientes no estuário do rio Jiulong em Fujian na China, demonstraram que as mesmas são fortemente influenciadas pelo escoamento superficial, mas não o seguem estritamente. Segundo os autores, as cargas de nutrientes encontradas nos fluxos do rio também foram influenciadas pela concentração de nutrientes, os quais dependiam dos dejetos humanos dentro da bacia do estuário, incluindo fertilizantes, gado e resíduos industriais, represamento e outros fatores. Os autores concluíram que, apesar do estuário do rio Jiulong possuir uma bacia de captação relativamente pequena, ele apresenta cargas de nutrientes mais altas do que muitos sistemas estuarinos de grande porte, sugerindo que o estuário do rio Jiulong é demasiadamente afetado pelas atividades humanas.

Cotovicz Júnior et al. (2012) realizaram uma análise do estado trófico da água do complexo estuarino-lagunar Mundaú-Manguaba (CELMM) no estado de Alagoas – Brasil através de uma comparação e análise de modelos e índices para o cálculo da estimativa das cargas de nutrientes que levam a eutrofização. Os autores concluíram através das estimativas e previsões dos índices e modelos que o CELMM é um sistema naturalmente susceptível a eutrofização e que já sofre com altas cargas de nutrientes. Segundo os autores a previsão é de uma leve diminuição das condições de eutrofização no futuro.

2.4.1 Dinâmica da carga de nutrientes em águas superficiais

As bacias hidrográficas são responsáveis por grande parcela das águas superficiais do

planeta, sendo configuradas como vias de acesso de substâncias continentais aos ambientes costeiros, que por sua vez podem ser direcionados à águas distantes e profundas nos oceanos, devido a ação, especialmente, das correntes marítimas. São os rios os principais componentes dessas bacias, que exercem toda a dinamicidade desses sistemas, ou seja, os rios são sistemas dinâmicos que atuam no transporte de água e substâncias dissolvidas e particuladas advindas da atmosfera e do continente para lagos, estuários e oceanos, em outras palavras, são sistemas abertos com fluxo contínuo desde a nascente até a foz (HYNES, 1970). Dentro dos sistemas das bacias hidrográficas existem diversos processos que contribuem para a sua dinâmica, os quais envolvem fatores físicos, químicos e biológicos, tais como o comportamento relacionado ao transporte, retenção e perda de nutrientes do solo, da água subterrânea e da rede fluvial, retenção de nutrientes e alteração da biota.

No que diz respeito o transporte, retenção e perda de nutrientes do solo, esse comportamento envolve uma função muito complexa de inúmeros processos sendo praticamente impossível de ser definida completamente, tanto espacial como temporalmente (WIT, 2001). Entretanto, assim como todo sistema dinâmico, existem fatores que contribuem para seu desenvolvimento. No caso da dinâmica dos ecossistemas aquáticos, os seus principais fatores influenciadores são a temperatura da água, precipitação pluvial e localização geográfica. Esses fatores, ao contribuírem com a dinâmica do ecossistema aquático, poderão afetar diretamente os níveis de nutrientes, forças físicas ou seus próprios organismos (BOUWMAN et al., 2013). No que concerne aos cursos fluviais, a velocidade do escoamento superficial também é um dos fatores que influenciam na distribuição dos níveis de nutrientes, pois em condições de baixa vazão, as principais mudanças ecológicas são resultados de pequenas alterações nas concentrações dos nutrientes, já em casos de alta vazão, haverá uma influência significativa na sedimentação da água e no fluxo de nutrientes, além disso, é possível também que haja mudanças na composição e na quantidade dos organismos que vivem nesses ambientes (NEWMAN, 2005).

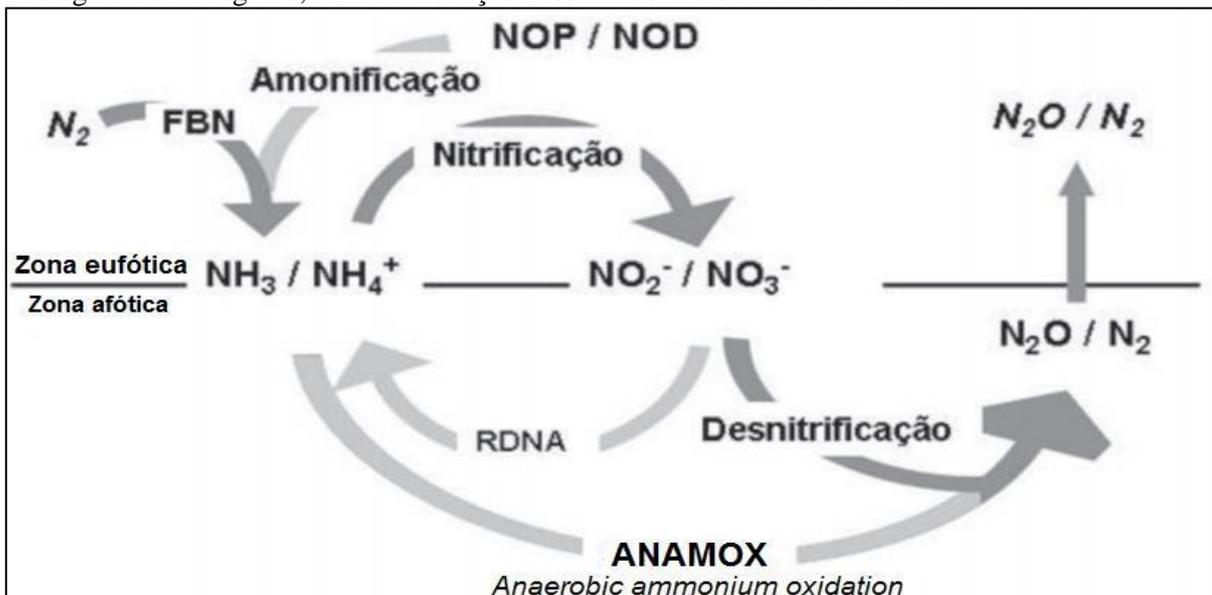
Em massas de águas superficiais, como córregos, rios, lagos, reservatórios e zonas úmidas de matas ciliares a retenção de nutrientes é importante porque os processos físicos, químicos e biológicos podem remover ou armazenar permanentemente nutrientes por períodos mais curtos ou mais longos, influenciando diretamente no transporte de substâncias nas bacias hidrográficas (HEJZLAR et al., 2009). Além disso, com a mudança das cargas de nutrientes num determinado ambiente aquático, seja devido à deposição, retenção, sedimentação ou aumento da concentração pelo escoamento superficial é esperada uma alteração do desenvolvimento de algas, fitoplânctons e outros microorganismos aquáticos,

sendo possível verificar alterações também na flora e fauna aos arredores do ambiente aquático (YAO; YANG; TIANTIAN, 2020; PITCAIRN et al., 1998). De acordo com Ducrotoy (1999), essa alteração na biota pode ocorrer também nos ambientes oceânicos e levar a alterações excessivas da biodiversidade local.

2.4.2 O ciclo de nitrogênio e fósforo nos ecossistemas aquáticos

A dinâmica do nitrogênio em ambientes aquáticos superficiais ocorre principalmente por processos microbiológicos de regulação deste nutriente, onde é imprescindível destacar os processos de fixação biológica (FBN), nitrificação e desnitrificação, pois são considerados os principais processos do ciclo biogeoquímico global do nitrogênio, onde os dois primeiros ocorrem dentro da zona eufótica e o último na zona afótica (KLOTZ; STEIN, 2008) (Figura 2). A forma mais comum do nitrogênio na atmosfera (N_2) é considerada não-reativa, sendo as demais formas biologicamente e radioativamente reativas (N_r) no meio ambiente. Nos ecossistemas aquáticos o nitrogênio geralmente é encontrado na sua forma orgânica particulada e dissolvida, como a amônia (NH_4), íon amônio (NH_4^+), óxido nitroso (N_2O), nitrito (NO_2^-) e nitrato (NO_3^-). Para que essas formas do nitrogênio existam nos ambientes aquáticos é necessário que microorganismos convertam o N_2 atmosférico em amônia, por meio de assimilação, este processo neutraliza a perda de nitrogênio causada microbiologicamente pela desnitrificação ou pela oxidação anaeróbica da amônia (ANAMOX).

Figura 2 - Esquema simplificado do ciclo do Nitrogênio em ecossistemas aquáticos continentais. NOP: Nitrogênio Orgânico Particulado; NOD: Nitrogênio Orgânico Dissolvido; FBN: Fixação Biológica de Nitrogênio; RDNA: Redução Dissimilatória do Nitrato e Amônia.

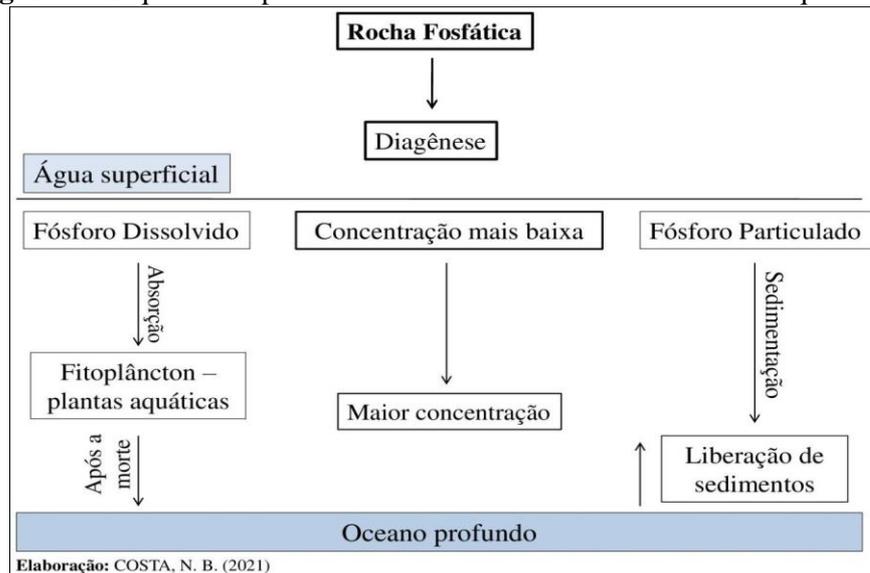


Fonte: Adaptada de Santoro e Enrich-Prast (2011), com base em Esteves (1998).

O processo de amonificação é responsável pela criação do NH_4^+ através da mineralização orgânica do N que é realizada através da decomposição de compostos orgânicos por enzimas extracelulares de organismos (SINSABAUGH; ANTIBUS; LINKINS, 1991), os quais são transformados em aminoácidos para então chegar ao íon amônio. O processo de nitrificação é importante, pois gera o nitrito e nitrato através da união das fases reduzidas com as fases oxidadas do N, além de que o NO_2^- e NO_3^- servem como substrato para os processos de desnitrificação que, por sua vez, devolverá N_2 para a atmosfera, juntamente com o óxido nitroso, processo que ocorre através à assimilação na biomassa de algas e microorganismos onde o nitrito e nitrato são reduzidos anaerobicamente ao N_2 (SANTORO; ENRICH-PRAST, 2011).

A transformação das rochas fosfáticas em ions de fósforo e outros minerais devido a ação do intemperismo é a fonte primordial de fósforo nos ambientes aquáticos (Figura 3). Nestes ambientes o fósforo encontra-se em suas formas dissolvidas e particuladas. O fósforo dissolvido quando liberado nos oceanos é rapidamente absorvido pelos fitoplânctons e plantas aquáticas fazendo com que a sua concentração em águas superficiais seja infima. Quando ocorre a morte dos fitoplânctons e de outros organismos, parte destes são depositados no fundos dos oceanos levando a um alta concentração de fósforo em sedimentos costeiros.

Figura 3 - Esquema simplificado do ciclo do Fósforo em ambientes aquáticos.



Fonte: Elaborado com base em Daneshgar et al. (2018).

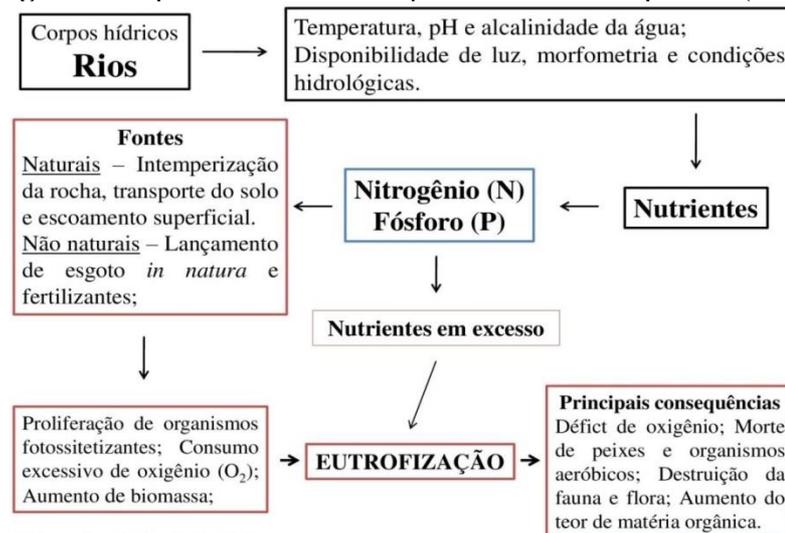
2.4.3 A eutrofização nos ambientes aquáticos

No contexto dos problemas ambientais conferidos em todo o mundo no decorrer dos anos, sobretudo os que são intensificados pelas atividades provocadas pelos seres humanos, destaca-se a eutrofização, que é um dos principais problemas ocasionados nos ambientes

aquáticos, afetando lagos, rios, águas costeiras e represas em todo o planeta. Em grande escala, o processo da eutrofização tem provocado muitas perdas da biodiversidade, e reduzido a qualidade da água dos ambientes supracitados, provocando riscos à saúde humana e de animais. Assim, de acordo com Costa et al., (2018), a eutrofização é caracterizada como um problema ambiental ocasionado pelo incremento de nutrientes nos ecossistemas aquáticos, como nitrogênio e fósforo, os quais possuem uma variedade considerável de origens, os quais não vêm apenas de áreas urbanas ou de esgotos industriais, mas também da agricultura de terras. Logo, informações acerca do uso da terra são importantes para que se possa identificar o estado trófico de determinados corpos hídricos.

A literatura apresenta diversos conceitos acerca da eutrofização, contribuindo largamente para a compreensão desse processo. Dentre os principais conceitos, destaca o dado por Esteves (1998, p. 203), em seu livro Fundamentos da Limnologia, o qual define eutrofização como sendo “o aumento da concentração de nutrientes, especialmente fósforo e nitrogênio, nos ecossistemas aquáticos, que tem como consequência o aumento de suas produtividades”. Carpenter (2005) destaca que a eutrofização pode ser definida como o enriquecimento excessivo dos ecossistemas aquáticos com nutrientes que levam à proliferação de algas e eventos anóxicos. Para esse autor, tal processo se constitui como um problema persistente nas condições e qualidade das águas superficiais em todo o mundo. Smith e Schindler (2009) destacaram que a eutrofização pode ser entendida como a condição que possibilita o desenvolvimento de florações de cianobactérias e de microalgas, reforçado pela temperatura, condições de luz e pH favoráveis. A Figura 4 demonstra o esquema referente ao processo de eutrofização em ambientes aquáticos.

Figura 4 - O processo de eutrofização em ambientes aquáticos (rios).



Elaboração: COSTA, N. B. (2021)

Fonte: Autoria própria (2021).

Em seu trabalho, Rosa, Messias e Ambrozini (2003, p. 50) elencaram inúmeras informações que conceituam a eutrofização, tais como “o desequilíbrio nos ciclos do nitrogênio e do fósforo” provocado pelo uso indiscriminado de fertilizantes artificiais, como o NPK, “com o intuito de aumentar a produção agrícola, e o despejo de esgoto sem tratamento em rios”, e ainda enfatizaram que um corpo hídrico eutrofizado, apresenta, em primeira instância, uma elevada proliferação de fitoplâncton - grupo de organismos sensíveis à variação dos nutrientes -, que em consequência incrementa na alta produção de matéria orgânica (de origem vegetal ou animal e que é produzido no próprio ambiente aquático, chamado de autóctone, ou que é introduzido neste através de despejos ou carreamento, ou seja, pelo arraste por água de chuva, denominado de alóctone) e poluentes (TUNDISI, 2003).

Destaca-se que o processo de eutrofização pode ocorrer tanto de forma natural como de maneira artificial. A eutrofização natural ocorre de forma mais lenta e contínua, resultando no aporte de nutrientes que advêm das águas das chuvas e das águas superficiais, que conseqüentemente acabam provocando a erosão e a lixiviação da superfície terrestre. Além disso, a eutrofização natural ocasiona o chamado de “envelhecimento natural” do ecossistema aquático. Por outro lado, quando tal processo acontece artificialmente, isto é, por meio das ações provocadas pelos seres humanos, a eutrofização é caracterizada como artificial, cultural ou mesmo antrópica, podendo ter diversas origens, como de efluentes domésticos e/ou industriais e/ou atividades agrícolas, ocasionando “envelhecimento precoce” de ambientes hídricos. No que diz respeito a eutrofização artificial, esta pode ser definida como “um processo dinâmico, no qual ocorrem profundas modificações qualitativas e quantitativas nas comunidades aquáticas, nas condições físicas e químicas do meio e no nível de produção do sistema, podendo ser considerada uma forma de poluição” (ESTEVEZ, 1998, p. 204).

O aporte excessivo de fósforo e de nitrogênio em rios, lagos e reservatórios levam a geração de diversos efeitos negativos, sejam eles diretos ou indiretos, que afetam tanto a sociedade como o meio ambiente, assim como gera reflexos econômicos críticos (Quadro 2). Em muitos ambientes hídricos, o aumento do aporte supracitado pode provocar o aceleração do processo de biodegradação de produtos petroquímicos, de pesticidas e de hidrocarbonetos aromáticos, “uma vez que o aumento do estado trófico promove o aumento da biomassa bacteriana. Conseqüentemente ocorre um aumento na diversidade de substratos orgânicos, os quais as bactérias são capazes de metabolizar” (VOLLENWEIDER, 1992; BARRETO et al., 2013, p. 2169). Tais efeitos também contribuem na diminuição da quantidade de água limpa disponível, levando a ocorrência de inúmeros tipos de doenças para uma grande parcela da população do mundo, que nos países em desenvolvimento é a causa de

mais 30% das mortes (MORAES; JORDÃO, 2002).

Quadro 2. Efeitos socioeconômicos e ambientais potenciais da eutrofização em ambientes aquáticos.

Efeitos socioeconômicos da eutrofização em ambientes aquáticos	Efeitos ambientais da eutrofização em ambientes aquáticos
<ul style="list-style-type: none"> - Iteração do valor econômico e protético de algumas espécies de peixes e crustáceos; - Diminuição do valor turístico, cultural e recreativo devido principalmente a diminuição da transparência da água; - Acesso restrito à pesca e outros tipos de atividades econômicas ou recreativas devido ao acúmulo de plantas aquáticas; - Falta de alimentação e diminuição da renda de famílias que dependem do comércio pesqueiro; - Aumento de material particulado, incluindo matéria orgânica na água dificultando a captação de água. 	<ul style="list-style-type: none"> - Depleção de oxigênio principalmente - Mudanças na coloração e qualidade da água, reduzindo o seu valor estético; - Mudanças dos sistemas dos organismos aquáticos; - Falta de oxigênio dissolvido causando morte de peixes e de invertebrados; - Liberação de gases tóxicos com cheiros desagradáveis; - Diminuição da biomassa de peixes e moluscos cultiváveis; - Aumento da frequência de mortalidade de peixes; - Florescimento de algas e rápido crescimento de outras plantas aquáticas; - Produção de substâncias tóxicas por alguns tipos de cianobactérias; - Altas concentrações de matéria orgânica; - Diminuição da diversidade de espécies de plantas e animais (biodiversidade).

Fonte: Adaptado do Instituto Internacional de Ecologia (2000) e de Smith e Schindler (2009).

Diante desse contexto, Carpenter (2005) ressalta que a eutrofização inclui a produção excessiva de plantas, florescimento de algas nocivas, aumento da frequência de eventos anóxicos e morte de peixes, perdas econômicas, levando aos altos custos de purificação da água para uso humano, perdas de produção de peixes e animais selvagens e perdas de instalações recreativas. Dessa forma, Barreto et al., (2003, p. 2169) salienta que

A eutrofização resulta em aumento nos custos do tratamento da água para abastecimento público devido ao aumento no uso de coagulantes e alcalinizantes para ajuste de pH de coagulação; necessidade de usar polímeros para auxiliar a floculação e evitar a flotação; diminui a eficiência de remoção de flocos na decantação, acelera a obstrução do meio filtrante, redução na duração da cadeia de filtros e aumento no consumo da água de lavagem; e conseqüentemente aumento de

águas residuárias e maior consumo de cloro devido à presença de matéria orgânica e amônia, diminuindo a eficiência da desinfecção e aumentando a possibilidade de formação de componentes tóxicos organoclorados, prejudiciais à saúde humana (BARRETO et al., 2003, p. 2169).

Lamparelli (2004) destacou que dentre os fatores que influenciam a eutrofização, além das concentrações de fósforo e nitrogênio, podem ser citados a velocidade da água, a vazão, a turbidez, a profundidade do curso de água, a temperatura entre outros. No estudo de Barreto et al., (2013, p. 2167), sobre a eutrofização nos rios brasileiros, é ressaltado que um dos impactos mais críticos que levam aceleração do processo de eutrofização “é o aumento da probabilidade de ocorrência de florações de algas, principalmente as cianobactérias potencialmente tóxicas, as quais podem alterar a qualidade das águas, sobretudo no que tange ao abastecimento público”. É importante destacar, ainda no trabalho de Rosa, Messias e Ambrozini (2003, p. 17), que o fósforo é tido como o principal nutriente indicador de eutrofização nos ambientes aquáticos e

Por ter a capacidade de formar compostos solúveis, o fósforo é facilmente carregado pela chuva para os lagos e rios, sendo justamente nessa etapa que podem ocorrer sérios danos ao meio ambiente, pois se um excesso de componentes nitrogenados e fosfatados, que são largamente utilizados como fertilizantes, entra em um lago ou rio, esses nutrientes podem causar aumento da população bacteriana e de algas verdes (fotossintéticas), originando um processo conhecido como eutrofização (ROSA; MESSIAS; AMBROZINI, 2003, p. 17).

De acordo com a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo – CETESB (2014), os altos níveis de concentração de nutrientes, sobretudo de fósforo e nitrogênio, podem levar a ocorrência do processo de eutrofização dos recursos hídricos, levando a redução e até mesmo eliminação do oxigênio dissolvido presente na água. Nesse sentido, é importante destacar que a eutrofização não pode ser considerada como um estado, como o “eutrófico”, e sim como um processo, sendo o primeiro mais facilmente definido em termos de biomassa fitoplanctônica como uma concentração de clorofila a, por exemplo, ou a concentração de um determinado nutriente como o fósforo. Dessa maneira, Mansor (2005) destaca que os ambientes eutróficos são constituídos de altos níveis de produtividade, de matéria orgânica e de elementos minerais (nutrientes), sejam eles tanto em suspensão quanto na região bentônica.

2.5 O Índice do Estado Trófico (IET) e a importância de sua avaliação

De acordo com Martins et al. (2020), atualmente existem diversos índices/indicadores ambientais de qualidade da água, cada um com determinado propósito (e.g.: Índice de Qualidade das Águas (IQA), Índice de Qualidade das Águas Brutas para Fins de Abastecimento Público (IAP), Índice do Estado Trófico (IET), Índices de Qualidade das

Águas para Proteção da Vida Aquática e de Comunidades Aquáticas (IVA), Índice da Comunidade Fitoplanctônica (ICF), Índice da Comunidade Bentônica (ICB), Índice de Balneabilidade (IB) e Índice da Comunidade Zooplanctônica para Reservatórios (ICZRES)).

Dentre esses índices/indicadores ambientais desenvolvidos, o IET é um índice de qualidade da água essencial para avaliação do nível trófico de um determinado ambiente aquático, assim como conhecer os possíveis fatores que podem estar influenciando nas características físico-químicas da água. O estado trófico de um corpo hídrico pode ser obtido através de informações da concentração de nutrientes, sendo mais comum, neste caso, o uso do fósforo, da clorofila (indicador de biomassa de fitoplâncton) e da transparência da água (que depende da biomassa de algas e de sedimentos em suspensão) que pode ser avaliada através da profundidade de Secchi (ISTVÁNOVICS, 2009).

Segundo Carlson (1977), o estado trófico de um determinado ambiente hídrico pode ser igualmente determinado através da análise da curva de oxigênio, da composição das espécies da fauna do fundo do ambiente aquático ou do fitoplâncton. A depender do seu valor o IET pode receber diversas classificações com diferentes características (Quadro 3). É importante destacar que o estado trófico da água pode ser alterado devido a mudanças no ganho ou perda de água em um determinado corpo hídrico. Ganhos/perdas de água podem ocorrer por conta de fatores de fonte/consumo que são afetados por limitações em parâmetros de disponibilidade de água (MCCLUNEY; SABO, 2009).

Quadro 3. Classe de estado trófico para os ambientes aquáticos e suas características principais.

Valor do IET	Classes do estado trófico	Características
$IET \leq 47$	Ultraoligotrófico	Corpos de água limpos, de produtividade muito baixa e concentrações insignificantes de nutrientes que não acarretam em prejuízos aos usos da água.
$47 < IET \leq 52$	Oligotrófico	Corpos de água limpos, de baixa produtividade, em que não ocorrem interferências indesejáveis sobre os usos da água, decorrentes da presença de nutrientes.
$52 < IET \leq 59$	Mesotrófico	Corpos de água com produtividade intermediária, com possíveis implicações sobre a qualidade da água, mas em níveis aceitáveis, na maioria dos casos.

59 < IET ≤ 63	Eutrófico	Corpos de água com alta produtividade em relação às condições naturais, com redução da transparência, em geral afetados por atividades antrópicas, nos quais ocorrem alterações indesejáveis na qualidade da água decorrentes do aumento da concentração de nutrientes e interferências nos seus múltiplos usos.
63 < IET ≤ 67	Supereutrófico	Corpos de água com alta produtividade em relação às condições naturais, de baixa transparência, em geral afetados por atividades antrópicas, nos quais ocorrem com frequência alterações indesejáveis na qualidade da água, como a ocorrência de episódios de florações de algas, e interferências nos seus múltiplos usos.
IET > 67	Hipereutrófico	Corpos de água afetados significativamente pelas elevadas concentrações de matéria orgânica e nutrientes, com comprometimento acentuado nos seus usos, associado a episódios de florações de algas ou mortandades de peixes, com conseqüências indesejáveis para seus múltiplos usos, inclusive sobre as atividades pecuárias nas regiões ribeirinhas.

Fonte: Lamparelli (2004); Martins et al. (2020).

Assim, o IET tem por finalidade classificar os ambientes aquáticos de acordo com o seu nível trófico, pois avalia a qualidade da água com relação à concentração de nutrientes (fósforo) ou através da transparência da água. O efeito da concentração de fósforo está relacionado com o crescimento excessivo de algas e cianobactérias. Através do IET também é possível realizar a avaliação desse efeito (Figura 5), pois o IET obtido pelo fósforo pode ser entendido como a medição do potencial de ocorrência de eutrofização e quando avaliado pela clorofila, deve-se considerar que esta é uma medida da resposta do ambiente aquático ao agente causador, determinando assim o nível de crescimento de algas (MARTINS et al. 2020). De acordo com Martins et al. (2020), a transparência da água muitas vezes é

ineficaz para a avaliação do IET, uma vez que ela pode ser afetada pelo parâmetro de turbidez que, devido ao material particulado em suspensão e densidade de microorganismos presentes, a água pode acabar perdendo a transmissividade, além da comum indisponibilidade desses dados.

Figura 5 - Valores médios de densidade e produtividade do fitoplâncton em ambientes aquáticos com diferentes níveis tróficos. TA – todo o ano; FFP – florescimentos de fitoplâncton na primavera; MFV – mínimo de fitoplâncton no verão; MFO – máximo de fitoplâncton no outono; FFV – florescimentos de fitoplâncton no verão; CSM – camada superior da mistura vertical; MFP – máximo de fitoplâncton em zonas profundas; Chl a – clorofila; μ – coeficiente de produção específica por dia; DPM – camada profunda de mistura vertical; NA – número de assimilação de clorofila por hora; volumes médios de células para cada fração do fitoplâncton: pico – $2\ \mu\text{m}^3$; nano – $100\ \mu\text{m}^3$; micro – $10.000\ \mu\text{m}^3$. Valores obtidos para ecossistemas aquáticos continentais, em condições de regiões temperadas.

ESTADO TRÓFICO E VARIÇÕES DE PRODUÇÃO PRIMÁRIA ANUAL (PP)	ESTAÇÃO DO ANO	CAMADA	DENSIDADE DAS POPULAÇÕES									PRODUÇÃO			
			DENSIDADE NUMÉRICA DAS FRAÇÕES			BIOMASSA DAS FRAÇÕES					PRODUÇÃO PRIMÁRIA/DIA		μ	NÚMERO DE ASSIMILAÇÃO/HORA	
			PICO, $10^6\ \text{L}^{-1}$	NANO, $10^6\ \text{L}^{-1}$	MICRO, $10^6\ \text{L}^{-1}$	PICO, $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$	NANO, $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$	MICRO, $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$	TOTAL, $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$	Chl a, $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$	$\text{mgC}\cdot\text{m}^{-3}$	$\text{gC}\cdot\text{m}^{-2}$			
Oligotrófico	TA	CSM	5	0,3	2	0,01	0,03	0,02	0,06	0,1	5	0,2	1,2	2	
		DPM	10	1,8	5	0,02	0,18	0,05	0,25	0,5	2	—	—	3	
Mesotrófico	FFP	CSM	50	9	1.400	0,10	0,90	14,00	15,0	5,0	300	3,0	0,6	5	
	MFV	CSM	50	3	10	0,10	0,30	0,1	0,5	0,5	30	0,5	1,0	6	
	MFP	CSM	100	13	100	0,20	1,30	1,0	3,0	3,0	—	—	—	—	
Eutrófico	MFO	CSM	150	170	400	0,3	1,70	4,0	6,0	1,5	100	1,2	1,2	5	
	FFP	CSM	1.000	150	300	2,0	15,0	3,0	20,0	15,0	1.000	5,0	0,5	6	
		CSM	150	150	70	0,3	1,50	0,7	3,0	3,0	200	1,5	0,8	7	
Eutrófico	MFV	MFP	250	175	600	0,5	3,50	6,0	10,0	15,0	—	—	—	—	
	MFO	CSM	250	175	800	0,5	3,0	8,0	12,0	5,0	300	2,5	1,0	5	
Hipereutrófico	FFV	CSM	1.000	1.300	1.000	2,0	13,00	10,0	25,0	30,0	1.500	4,0	0,8	4	

Fonte: Tundisi e Matsumura-Tundisi (2008).

A importância primária da avaliação do IET em ecossistemas aquáticos está relacionada à detecção de predição dos processos concernente a eutrofização, bem como a busca por soluções que possam viabilizar o controle deste problema e melhorar as condições ambientais desses ecossistemas (TUNDISI; MATSUMURA-TUNDISI, 2008). Através do IET também é possível verificar separadamente os efeitos da concentração de nutrientes nas águas e do acúmulo de algas. De forma geral, o IET auxilia na avaliação de padrões de qualidade da água concernente a trofia de organismos e de minerais, mostrando quase que diretamente ambientes aquáticos que podem ou não serem considerados poluídos, sendo possível até a identificação de fontes de poluição através de uma análise espaço-temporal da variação do índice num determinado corpo hídrico (ISTVÁNOVICS, 2009; TUNDISI; MATSUMURA-TUNDISI, 2008).

Atualmente o IET é muito difundido, dada a sua notoriedade na avaliação do estado

trófico em ambientes aquáticos. Prasad e Siddaraju (2012) avaliaram o estado trófico da água de dois lagos no distrito de Mandya na Índia. Para tanto, os autores utilizaram o IET proposto por Carlson (1977) para o fósforo total (PT), clorofila e transparência da água. Os autores obtiveram valores do IET de Carlson variando entre 35 e 53, com variações sazonais desuniformes. O lago Arakere foi classificado como mesotrófico no período de 2009-2010 e oligotrófico em 2010-2011 e o lago Thaggahalli como mesotrófico durante todo o período de estudo.

Rybak (2021) avaliou o IET através do método de Carlson para o PT, clorofila e transparência de Secchi em um pequeno ambiente aquático semi-natural situado em uma cidade na Polônia. A intenção do autor era determinar o IET dentro do corpo hídrico onde havia diversas populações de *Ulva Prolifera* (*Ulvaceae, Chlorophyta*) para avaliar se a alga poderia ser utilizada como um bioindicador do nível de trofia para pequenos ambientes aquáticos. O autor concluiu que na maioria dos sistemas onde existem a presença da *Ulva Prolifera*, o IET de Carlson mostrou que eles foram classificados como eutróficos e que este tipo de alga pode ser considerado como um bioindicador da condição eutrófica, ao menos em pequenos ambientes aquáticos de acordo com o guia da *Water Framework Directive* da União Europeia.

Pinho et al. (2018) avaliaram o grau de trofia da água em um sistema agrícola de produção em tanques-rede, utilizados na aquicultura, em um reservatório no município de Lajeado em Tocantins. Os autores utilizaram o IET de Carlson modificado por Lamparelli (2004) com a utilização de dados coletados em 10 amostras de água somente com a utilização das equações para o PT e clorofila. Os autores mostraram que a área aquícola apresentou predominância de estado trófico supereutrófico e que o estado trófico do lago nas proximidades dos tanques-rede sofre forte influência externa de atividades antrópicas, principalmente no período chuvoso. No período seco, os autores perceberam que, pelo fato de não haver a diluição de nutrientes devido à escassez de chuvas, ocorre aumento considerável na concentração de fósforo na água, levando a um estado hipereutrófico.

2.5.1 Formas de determinação do IET

A quantificação do estado trófico por meio de vários índices permite agrupar os sistemas aquáticos em categorias que definiram o nível de trofia da água levando em consideração fatores como fósforo total, clorofila, transparência da água, concentração de oxigênio na água, materiais em suspensão, diversidade e biomassa de algas e fitoplânctons, etc. Tendo isso em vista, pode-se afirmar que os IETs são elaborados a partir da avaliação de

indicadores físicos, químicos e biológicos que regem todo um sistema dentro do ambiente aquático, os quais estão direta ou indiretamente interligados (TUNDISI; MATSUMURA-TUNDISI, 2008). Dessa forma destacam-se alguns dos principais métodos de determinação do IET com base no parâmetro físico de transparência (Carlson, 1977), parâmetros químicos de concentração de fósforo, nitrogênio e oxigênio (Carlson, 1977; Lamparelli, 2004; Martins et al., 2020; Henderson; Seller; Markland, 1987; Kratzer; Brezonik, 1981) e parâmetros biológicos de biomassa de algas e fitoplânctons (Canfield et al., 1983; Hu et al., 2021; Henderson; Seller; Markland, 1987).

O primeiro deles é o método de Carlson (1977) que foi proposto originalmente para a avaliação do IET em lagos. Neste método o IET é pode ser determinado através da transparência da água pelo método do disco de Secchi, pela clorofila e pelo fósforo total (Equações 1-3):

$$\text{IET (SD)} = 10 \left(6 - \frac{\ln \text{SD}}{\ln 2} \right) \quad (1)$$

$$\text{IET (CL)} = 10 \left(6 - \frac{2,04 - 0,68 \ln \text{CL}}{\ln 2} \right) \quad (2)$$

$$\text{IET (PT)} = 10 \left(6 - \frac{\ln \frac{48}{\text{PT}}}{\ln 2} \right) \quad (3)$$

Em que SD é a transparência do disco de Secchi em metros. CL é a concentração de clorofila a em (mg m^{-3}) e PT a concentração de fósforo total em (mg m^{-3}).

Lamparelli, (2004) e Martins et al. (2020) utilizaram o método de Carlson (1977) com a finalidade de adaptá-lo para ambientes de rios e reservatórios em regiões subtropicais. De acordo com Martins et al. (2020) a transparência pode ser desconsiderada para a determinação do IET, uma vez que existem muitos fatores que podem influenciar em sua caracterização, assim, seguem as parametrizações das equações para os rios (Equações 4 e 5) e para reservatórios (Equações 6 e 7).

IET para Rios:

$$\text{IET (CL)} = 10 \left(6 - \frac{0,7 - 0,6 \ln \text{CL}}{\ln 2} \right) - 20 \quad (4)$$

$$\text{IET (PT)} = 10 \left(6 - \frac{0,42 - 0,36 \ln \text{PT}}{\ln 2} \right) - 20 \quad (5)$$

IET para reservatórios:

$$\text{IET (CL)} = 10 \left(6 - \frac{0,92 - 0,34 \ln \text{CL}}{\ln 2} \right) \quad (6)$$

$$\text{IET (PT)} = 10 \left(6 - \frac{1,77 - 0,42 \ln \text{PT}}{\ln 2} \right) \quad (7)$$

Onde CL e PT são expressos em ($\mu\text{g L}^{-1}$). O IET total é dado pela média do IET da clorofila *a* e do IET do fósforo total para ambos os ambientes aquáticos.

Henderson, Seller e Markland (1987) propuseram um método diferente para a determinação do IET com base na avaliação de diversos parâmetros (físicos, químicos e biológicos). O método foi proposto para lagos e é conhecido como Índice de Avaliação de Lagos (IAL) demonstrado na equação abaixo (Equação 8).

$$\text{IAL} = \frac{\frac{0,25}{(\text{CL} + \text{MAC})}}{2 + \text{SD} + \text{OD} + \text{T}(\text{N}, \text{P})} \quad (8)$$

Onde MAC é a biomassa de algas macrófitas. OD é o oxigênio dissolvido e T representa a soma do nitrogênio e fósforo total.

Outro método que se pode destacar é o de Kratzer; Brezonik (1981). Os autores desenvolveram um método com base em Carlson (1977) para avaliação de lagos no estado americano da Flórida. Para tanto os autores adaptaram o método Carlson para determinação do IET com base no nitrogênio total que leva em consideração a concentração de clorofila *a* que é dada através de uma relação linear entre a CL e o nitrogênio total proposta pelos autores (equação 9) e o IET é dado pela equação 10.

$$\text{CL} = 11,51 \text{ NT}^{1,6} \quad (9)$$

$$\text{IET (NT)} = 10 \left(6 - \frac{\ln \left(\frac{1,47}{\text{NT}} \right)}{\ln 2} \right) \quad (10)$$

Em que CL é dada em ($\mu\text{g L}^{-1}$) e NT é a concentração de nitrogênio total em (mg L^{-1}).

Hu et al. (2021), por sua vez, estimaram o IET para ambiente aquáticos continentais através de imagens de satélite. Para tanto, os autores consideraram que a CL da equação 2 de Carlson pode ser representada pelo índice de biomassa de algas (IBA) (Equação 12) o qual foi obtido através de imagens de diferentes bandas espectrais do satélite Landsat-8 sensor OLI situadas nos comprimentos de ondas do espectro azul (B), verde (G), vermelho (R) e infravermelho próximo (NIR) (Equação 11).

$$IBA = (G - B) \frac{G\lambda - B\lambda}{R\lambda - B\lambda} - (NIR - B) \frac{G\lambda - B\lambda}{NIR\lambda - B\lambda} \quad (11)$$

$$IET (CL) = 10 \left(6 - \frac{2,04 - 0,68 \ln IBA}{\ln 2} \right) \quad (12)$$

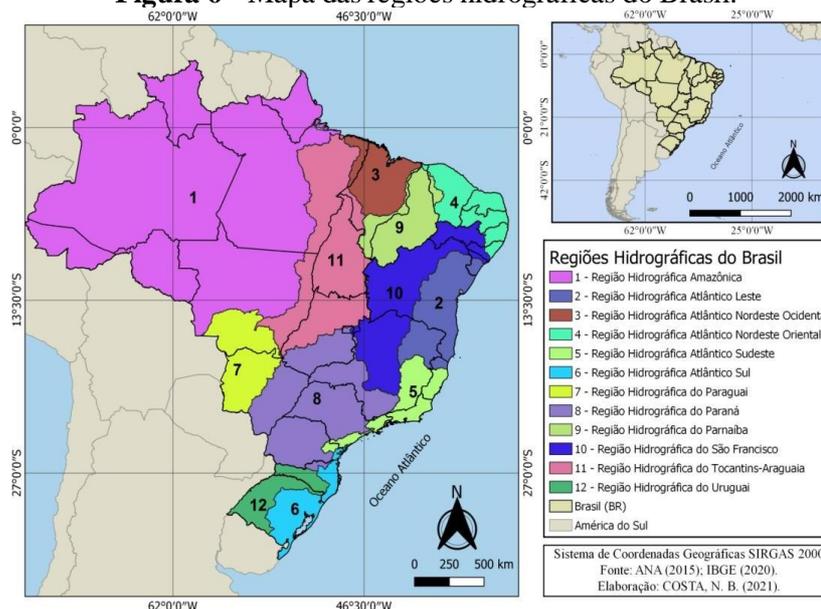
Em que λ é o comprimento de onda correspondente as bandas espectrais do sensor do satélite. B, G, R e NIR são dados por 482, 561, 655, 865 nm.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Localização geográfica e caracterização geral da área de estudo

Valendo-se de uma abordagem de localização geográfica em escala nacional, regional e estadual, nesta ordem, a bacia hidrográfica do rio Paraíba do Meio está inserida em uma das 12 grandes regiões hidrográficas do território brasileiro (Figura 6), distribuídas nos seus 8.510.345,538 km² de extensão territorial (IBGE, 2021), no sul da Região Hidrográfica do Atlântico Nordeste Oriental do Brasil (enumerada em 4). De acordo com Porto e Porto (2008), tais regiões possuem sua divisão justificada nas diferenciações presentes no território nacional, tanto no que diz respeito os seus ecossistemas como nas questões de ordem cultural, social e econômica. A região hidrográfica supracitada contempla 6 importantes estados brasileiros, tais como os estados de Piauí (PI), Ceará (CE), Rio Grande do Norte (RN), Paraíba (PB), Pernambuco (PE) e Alagoas (AL), sendo dentre estes dois últimos o perímetro que é percorrido pela bacia do rio em estudo, sendo, então, uma das bacias situadas na região Nordeste do país.

Figura 6 - Mapa das regiões hidrográficas do Brasil.



Fonte: ANA (2015); IBGE (2020). **Elaboração:** COSTA (2021).

De acordo com a Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil: regiões hidrográficas brasileiras (Edição Especial) da ANA (2015), a Região Hidrográfica Atlântico Nordeste Oriental contempla dezenas de grandes núcleos urbanos, e um considerável parque industrial, o que explica questão de esta região compreender mais de uma dezena de pequenas bacias situadas na região costeira do Brasil, as quais, por sua vez, são caracterizadas pela pequena extensão e baixa vazão em suas drenagens. Tal região possui uma área de 286.800 km², que representa 3,4% do território nacional, e abrange 874 municípios, dos quais 739 possuem suas sedes na RH supracitada, a qual está dividida em treze unidades hidrográficas, a saber Aracaú, Apodi Mossoró, Curu, Jaguaribe, Litorânea PE/PB/RN, Litorânea AL/PE, Litorânea CE, Litorânea CE/PI, Litorânea CE/RN, Litorânea PB/RN, Litorânea PE, Litorânea RN e Piranhas. Nesta região, os principais rios são o Jaguaribe, Piranhas, Aracaú, Banabuiú, Paraíba, Ipojuca, Una, Apodi e Capibaribe, sendo os rios Jaguaribe e o Piranhas Açu responsáveis por abrigarem os principais açudes da região (ANA, 2015).

A população total da RH é de cerca de 24,1 milhões de habitantes, de acordo com o último censo (IBGE, 2010), a qual é predominantemente urbana, representada por 80% dos seus habitantes, os quais vivem majoritariamente nos centros urbanos que estão situados nas proximidades do litoral, sobretudo nas cinco regiões metropolitanas, a saber: Fortaleza, Natal, João Pessoa, Recife e Maceió. Abrangendo 15 cidades com mais de 200.000 habitantes (IBGE, 2010), as quais são as capitais Fortaleza (CE), Recife (PE), Maceió (AL), Natal (RN), João Pessoa (PB), Jaboatão dos Guararapes (PE), Olinda (PE), Campina Grande (PB), Paulista (PE), Caucaia (CE), Caruaru (PE), Juazeiro do Norte (CE), Mossoró (RN), Maracanaú (CE), Paramirim (RN), possui uma densidade demográfica de 84 hab./km², que é cerca de 4 vezes maior que a média brasileira (22,4 hab./km²) (ANA, 2015).

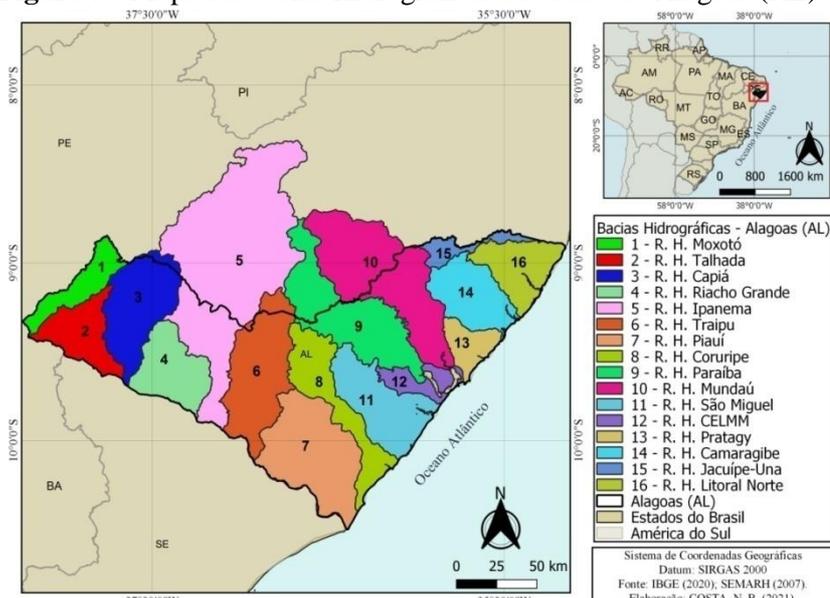
Quase toda a área da RH Antlântico Nordeste Oriental pertence a Região do Semiárido nordestino, a qual apresenta períodos prolongados de estiagens, resultando na baixa pluviosidade (média anual de 1.052 mm) e na alta evaporação. A disponibilidade hídrica superficial é de 91,5 m³/s, que corresponde a 0,1% da disponibilidade superficial do país (91.071 m³/s), e a sua vazão média é de 774 m³/s, que corresponde a 0,43% da vazão média nacional (179.516 m³/s), e a vazão de retirada, isto é, a demanda total, é 262 m³/s, que corresponde a 11% da demanda nacional. A RH possui uma vazão específica de 2,7 L/s/km², com volume máximo de reservação per capita de 1.080 m³/hab, 3 vezes menor que o volume máximo de reservação per capita a nível nacioal (3.607 m³/hab.) (ANA, 2015).

Nesta Região Hidrográfica, é possível observar o crescimento cada vez mais intenso

da ação antrópica sobre a vegetação nativa, que pode ser expresso através da devastação da Caatinga através de atividades da pecuária, do desmatamento da Zona da Mata, para a implantação da cultura canvieira, e do extrativismo vegetal voltado à exploração do potencial madeireiro, cuja atividade provoca um dos maiores impactos sobre o meio ambiente. Na maior parcela da região, o uso e manejo dos solos se dão de forma inadequada, sobretudo por conta das práticas agrícolas inapropriadas, que conseqüentemente acarretam em processos erosivos, salinização e até mesmo na formação de áreas desertificadas (GHIRARDI, 2003).

A bacia do rio Paraíba do Meio é uma dentre as 16 presentes no estado de Alagoas, enumerada em 9 no mapa demonstrado na Figura 7. Tucci (1997) define bacia hidrográfica como uma área que naturalmente capta a água de precipitação pluvial, a qual converge o escoamento para um determinado ponto de saída, sendo composta por um agrupamento de superfícies vertentes e por uma rede de drenagem constituída de cursos da água que vão se confluir até formar um único leito em seu exutório, local onde se apresentam os processos configurados no seu sistema. Dessa forma, Porto e Porto (2008, p.44) ressaltam que a bacia hidrográfica pode ser considerada como um ente sistêmico, pois é nesta onde “se realizam os balanços de entrada proveniente da chuva e saída de água através do exutório, permitindo que sejam delineadas bacias e sub-bacias, cuja interconexão se dá pelos sistemas hídricos”. Em sua totalidade, as áreas urbanas, industriais, agrícolas ou de preservação, vão estar inseridas em alguma bacia hidrográfica. Logo, o que nesta ocorre procede de como o território é ocupado e de como a água é utilizada.

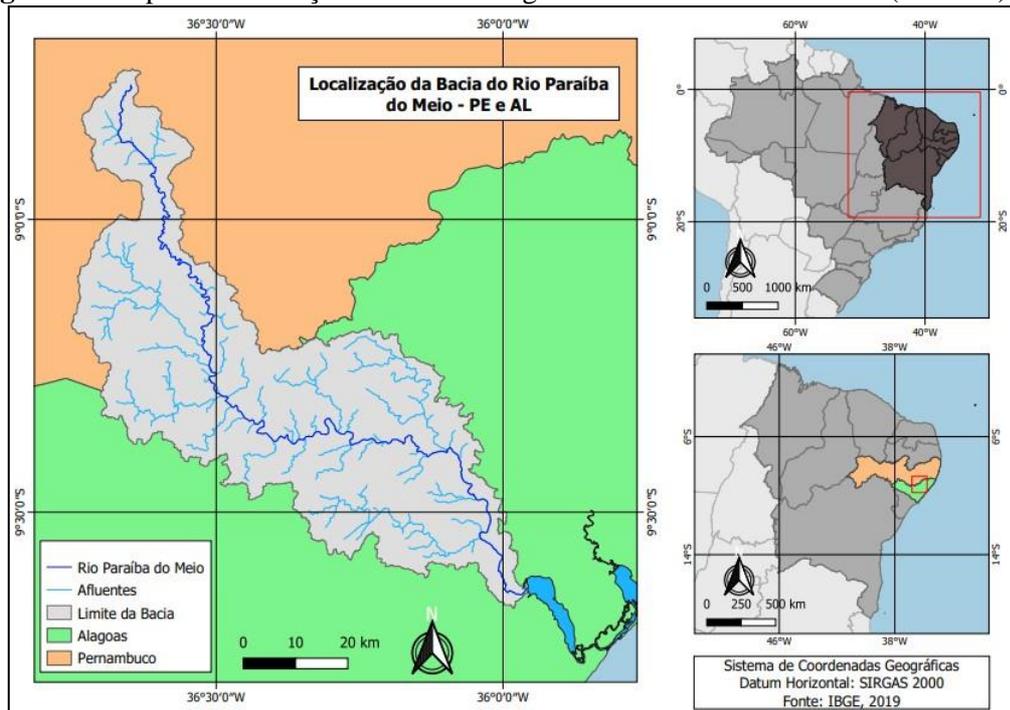
Figura 7 - Mapa das bacias Hidrográficas do estado de Alagoas (AL).



Fonte: SEMARH (2007); IBGE (2020). **Elaboração:** COSTA (2021).

Com base no seu Plano Diretor de Recursos Hídricos (COTEC, 2001), a bacia hidrográfica do rio Paraíba do Meio abrange uma área total de 3.127,83 km², com perímetro equivalente a 478 km. Sua nascente encontra-se no município de Saloá, no estado de Pernambuco (região Agreste), e sua foz na Laguna Manguaba, localizada no município de Pilar, no estado de Alagoas (região Agreste e Zona da Mata), sendo constituída, dessa forma, como uma bacia de cunho federal. De sua área total, 37,6% que é correspondente a 1.175,33 km² da área do seu rio principal, localizam-se no território estadual de Pernambuco (PE), e a sua maior parte (62,4%) em território alagoano, com aproximadamente 1.952,5 km². Suas coordenadas geográficas estão compreendidas entre os paralelos 08° 44' e 09° 39' de latitude sul e meridianos 35° 45' e 36° 45' de longitude oeste (Figura 8).

Figura 8 - Mapa de localização da bacia hidrográfica do rio Paraíba do Meio (PE - AL).



Fonte: IBGE (2019). **Elaboração:** COSTA (2020).

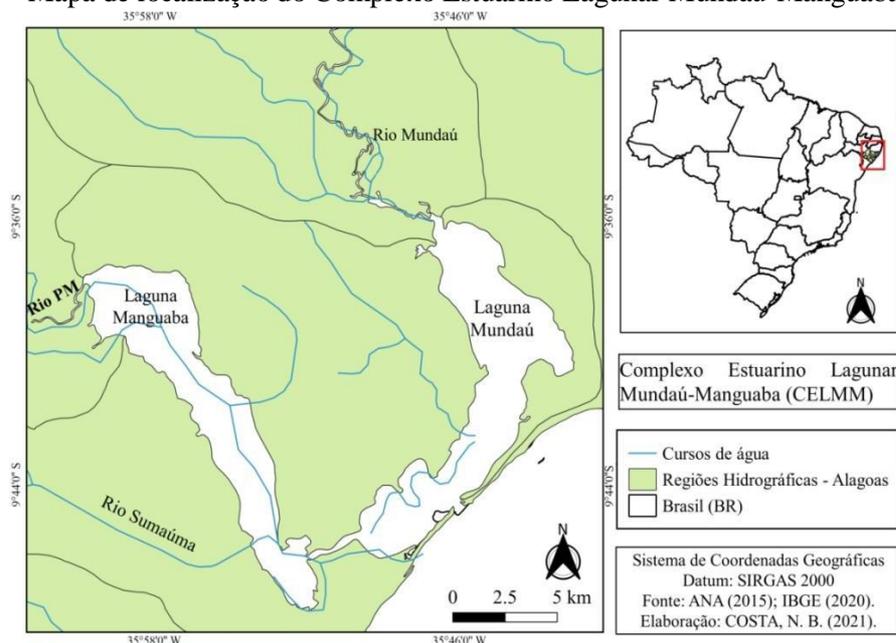
Com sua direção geral Noroeste-Sudeste, o curso principal do rio Paraíba do Meio abrange 171,98 km de extensão, que são percorridos desde a sua nascente até a sua foz, sendo que desse total 126,57 km percorrem áreas do estado de Alagoas com regime fluvial perene, e 45,41 km no estado de Pernambuco com regime fluvial intermitente, logo não possui um regime fluvial homogêneo, em função da divergência climática que existe ao longo dos dois estados supracitados, que consideravelmente contribui para essa heterogeneidade no regime fluvial. O Alto curso do rio Paraíba do Meio situa-se no estado de Pernambuco, e o Médio e o Baixo Paraíba no estado de Alagoas. Dentro de seu perímetro, o rio em estudo drena catorze municípios alagoanos, que são Boca da Mata, Cajueiro, Capela, Chã Preta, Marechal

Deodoro, Maribondo, Mar Vermelho, Palmeira dos Índios, Paulo Jacinto, Pilar, Quebrangulo, Viçosa, Pindoba e Atalaia, e oito municípios pernambucanos, os quais são Lagoa do Ouro, Bom Conselho, Saloá, Terezinha, Brejão, Paranatama, Caetés e Garanhuns (GOMES; MEDEIROS; LIMA, 2016; RAMOS, et al., 2017; SANTOS; MEDEIROS; SANTOS, 2018).

A foz do rio Paraíba do Meio, a Laguna Manguaba, faz parte do Complexo Estuarino Lagunar Mundaú-Manguaba (CELMM) (Figura 9), o qual possui grande importância e contribuição no contexto da bacia em estudo, sobretudo quanto ao fluxo de nutrientes. O CELMM está situado no estado de Alagoas, e segundo Brasil (2005) é caracterizado como um sistema de corpos hídricos naturais que compreende duas importantes lagoas costeiras, a Mundaú e a Manguaba, assim como uma zona de canais de acesso onde chegam os rios Mundaú, Paraíba do Meio, Sumaúma e Remédios. Ainda de acordo com Brasil (2005, p. 13),

O complexo conta com várias ilhas e uma parte estuarina comum a ambas as lagoas no deságüe no mar. Esse complexo está enquadrado como estuarino-lagunar, pois constitui uma estrutura geológica com três subsistemas principais: o subsistema flúvio-lagunar e suas interações rio-laguna; a laguna central; e o subsistema de canais e suas interações estuário-mar. O CELMM, além de ser o ambiente mais representativo do litoral médio alagoano, tem um valor socioeconômico muito importante para o Estado de Alagoas e primordial para a cidade de Maceió (BRASIL, 2005, p. 13).

Figura 9 - Mapa de localização do Complexo Estuarino Lagunar Mundaú-Manguaba (CELMM).



Fonte: ANA (2015); IBGE (2019). **Elaboração:** COSTA (2021).

Nesse contexto, é válido destacar que a laguna Manguaba possui cerca de 42 km² e sua profundidade é maior do que a da Laguna Mundaú, e é alimentada pelos rios Paraíba do Meio, Sumaúma e Remédios. Dessa forma, a ligação entre as duas lagoas supracitadas se dá por

meio de uma série de canais que estão interligados, dentre os quais existem ilhas, como a de Santa Rita e a do Lisboa. No que diz respeito as bacias dos rios que contribuem com o CELMM e com o seu entorno, destaca-se que a economia dominante orienta-se para atividades urbanas, tais como o comércio e serviços, indústria de transformação, sobretudo para bens intermediários ligados à indústria química e às usinas sucroalcooleiras. Na agricultura, predominam-se as grandes extensões de cana-de-açúcar e a pecuária bovina, com a presença de inúmeros matadouros, que também contribuem para a economia da região (BRASIL, 2005).

3.4 Características físicas da Bacia hidrográfica do Rio Paraíba do Meio

3.2.1 Aspectos climatológicos

De acordo com a classificação de Köppen a bacia hidrográfica do rio Paraíba do Meio, em sua área que contemplo o estado de Alagoas, o clima é caracterizado como tropical quente e chuvoso com verão seco do tipo As', com estações bem definidas de abril a julho (estação chuvosa), e de novembro a março (estação seca) (Figura 10), com pluviosidade média de 1.400 mm. Já na área que abrange o território pernambucano, segundo a classificação de Köppen, o clima é classificado como subsumido do tipo BSshs', com período chuvoso curto na transição da estação outono para inverno, que compreende os meses de março a setembro. As temperaturas, geralmente apresentam-se elevadas, com média anual de 25°C, e pluviosidade média anual de aproximadamente 750 mm, com sua distribuição concentrada no período de abril a agosto (69,8% da precipitação total anual) e no trimestre que vai de maio a julho (48,2% da precipitação total anual) (COTEC, 2001; GOVERNO DO ESTADO DE PERNAMBUCO, 1999; GAMA, 2011).

Figura 10 - Classificação climática de Köppen para o estado de Alagoas.



Fonte: COTEC (2001).

Diante desse contexto, é válido destacar que entre os sistemas meteorológicos que atuam no leste do Nordeste do Brasil, destacam-se os Sistemas Frontais, Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis – VCANs, Ondas de Leste, Linhas de Instabilidade Tropical, Perturbações Ondulatórias e o fenômeno ENOS El Niño e La Niña, que trata-se de um fenômeno físico que é ocasionado pelo aquecimento/resfriamento anormal das águas superficiais do oceano Pacífico Tropical próximo da costa da América do Sul, que consequentemente influenciam nas condições do clima e do tempo da região (RODRIGUES, 2012; TRENBERTH, 2019). A Tabela 2 demonstra a variação média anual que corresponde principais parâmetros meteorológicos.

Tabela 2. Variação média anual dos principais parâmetros meteorológicos em Alagoas

PARÂMETROS METEOROLÓGICOS	MÉDIA ANUAL
Pressão Atmosférica	995,8 hPa
Temperatura mínima do ar	20,8 °C
Temperatura média do ar	24,7 °C
Temperatura máxima do ar	29,5 °C
Amplitude térmica	8,7 °C
Umidade relativa do ar	79,2 °C
Precipitação pluviométrica	1.400 mm

Fonte: Adaptada de Rodrigues (2012).

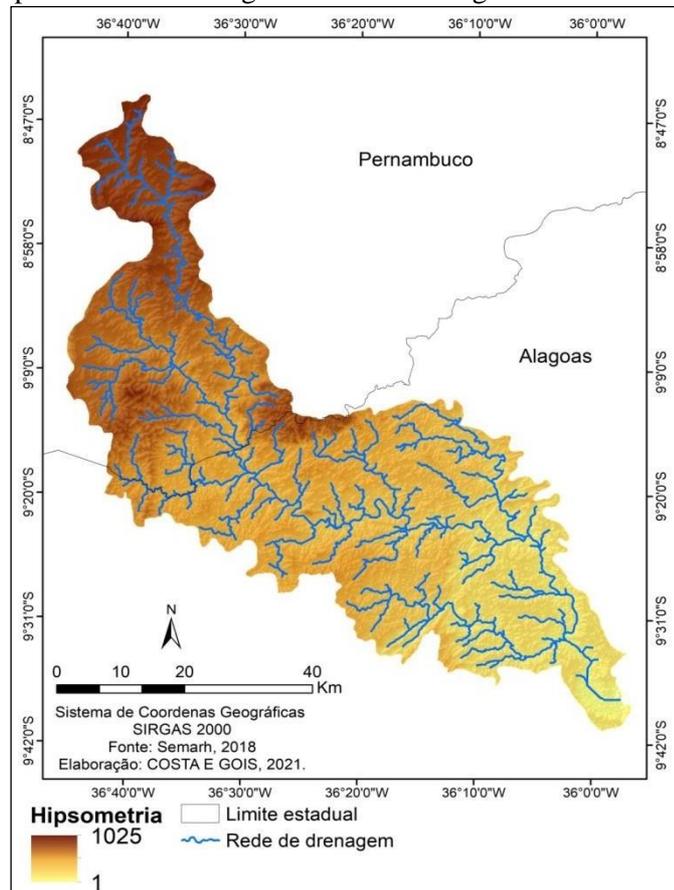
Em praticamente todo o ano, a região do Agreste em Alagoas e Pernambuco permanece sob o domínio da massa Equatorial Atlântica (mEa), com maior umidade na corrente inferior dos alísios, e no período de inverno é possível verificar a invasão de massas polares (mPa), as quais são provenientes do região sul do Brasil, provocando chuvas mais abundantes sobre a região, uma vez que se incorporam aos ventos alísios do sudeste do país (GAMA, 2011).

3.2.2 Aspectos hidrográficos

A bacia hidrográfica do rio Paraíba do Meio, se limita ao norte com a Bacia do rio Ipanema, no estado de Pernambuco, ao sul com as Bacias dos rios São Miguel e Sumaúma, a leste se limita com a Bacia do rio Mundaú, e a oeste possui limite com as bacias dos rios Traipú e Coruripe. Dentre os afluentes da bacia em estudo, em sua área que abrange o estado de Alagoas, destacam-se: na vertente direita o rio Bálamo, Quebrangulo, Riachão, Itapecuru, Branca e Porangaba e na vertente esquerda o rio Carangueja, Riachão de Cima, Taquara, Casaco, Anelsinho, Caçamba, Recanto, Paraibinha e Cacimbinhas. No município de Viçosa os afluentes são: Bálamo, Porangaba e Riachão, Limoeiro, Paraibinha, Riacho do Meio e

Gurungumba. Os principais rios que contribuem para o canal principal da bacia em estudo são o riacho Bálamo e o riacho Seco na margem direita, no estado de Pernambuco, e os rios Quebrangulinho, riacho Lunga, riacho do Canto, riacho Pedra de Fogo, riacho Riachão, riacho Itapicuru, riacho Isabel, riacho do Carapa e rio Porongaba, no estado de Alagoas (GAMA, 2011; SANTOS; MEDEIROS; SANTOS, 2018). A Figura 11 demonstra o mapa da rede de drenagem da bacia em questão.

Figura 11 - Mapa da rede de drenagem da Bacia hidrográfica do rio Paraíba do Meio.



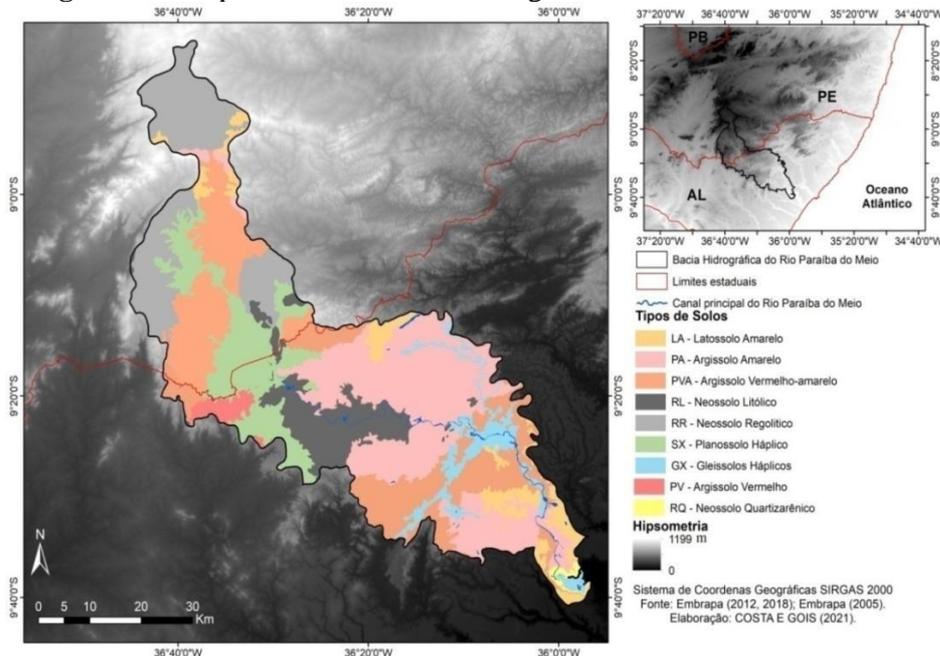
Fonte: SEMARH (2018). **Elaboração:** Costa e Gois (2021).

Ramos et al. (2017), que em seu estudo determinou o padrão de drenagem da bacia hidrográfica do rio Paraíba do Meio por meio do Sensoriamento Remoto, além da análise morfométrica que foi realizada com base nas equações definidas por Christofolletti (1980), destacou que considerando a sua geometria assim como do seus tipos de rochas e estruturas geológicas existentes no substrado da área da bacia, o padrão de drenagem do rio em estudo é classificado como dendrítico. Tal padrão é o mais comum dentre os padrões de drenagem que classificam os rios e é designado como arborescente, pois segundo Riccomini et al. (2009) é semelhante à distribuição de galhos de uma árvore e ocorre em rochas cristalinas homogêneas como, por exemplo, formada por granito, por exemplo, ou em rochas sedimentares com estratos horizontais.

3.2.3 Aspectos pedológicos

De acordo com o IBGE (2015, p. 39), o solo pode ser definido como “material mineral e/ou orgânico não consolidado na superfície da terra que serve como meio natural para o crescimento e desenvolvimento de plantas terrestres”. Também pode ser definido como uma coleção de corpos naturais, que se constituem por partes sólidas, líquidas e gasosas, tridimensionais, sendo formados por materiais minerais e orgânicos que, por sua vez, ocupam boa parte manto superficial das extensões territoriais dos continentes do planeta Terra, possuem matéria viva, podendo ser vegetados no ambiente onde ocorrem e, em alguns casos, podem ser modificados em função da ação antrópica (SANTOS et al., 2018). No que diz respeito os tipos de solos predominantes compreendidos na bacia do rio Paraíba do Meio, os quais ocorrem com propriedades diferenciadas, destacam-se o Argissolo Amarelo, Argissolo Vermelho e Argissolo Vermelho-Amarelo, o Planossolo Háptico, os Gleissolos, o Neossolo Litólico, Neossolo Rigolítico e o Neossolo Quartzarênico e o Latossolo Amarelado. A Figura 12 demonstra como esses solos estão distribuídos na bacia em estudo.

Figura 12 - Mapa de solos da Bacia hidrográfica do rio Paraíba do Meio.



Fonte: EMBRAPA (2005, 2012 e 2018). **Elaboração:** Costa e Gois (2021).

No Quadro 4 estão descritas as definições e as características dos principais tipos de solos da bacia do rio Paraíba do Meio, com base no sistema taxonômico oficial de classificação de solos do Brasil, o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS), de autoria de Santos et al. (2018), o qual foi coordenado pela Embrapa Solos, que é uma unidade da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA). É importante destacar que inúmeras universidades e instituições de ensino e pesquisa existentes no território brasileiro

estiveram envolvidas na elaboração do SiBCS, o qual é considerado como um ótimo exemplo de parceria bem-sucedida para o resgate dessa temática como um projeto de ordem nacional, e que é de grande valia e interesse, principalmente, para a comunidade da Ciência do Solo do Brasil (SANTOS et al., 2018).

Quadro 4. Definição e características dos principais tipos de solos da bacia do rio Paraíba do Meio.

Tipo de solo	Definição e características
Argissolos	Esta classe compreende os solos constituídos por material mineral e possuem características diferenciadas, como a presença de horizonte B textural imediatamente abaixo de horizonte A ou E de argila de atividade baixa ou de atividade alta caso exista uma conjugação com saturação por bases baixa ou de caráter alumínico. São de profundidade variável, variando desde forte a imperfeitamente drenados, podendo ter cores avermelhadas ou amareladas e, em raros casos, brunadas ou acinzentadas. É a segunda classe de solos mais extensa no território brasileiro ocupando cerca de 20% deste (Latosolos é a primeira) e também é considerada a mais heterogênea, em função da variabilidade de seus aspectos, pois podem ser arenosos ou argilosos na superfície, bem drenados e porosos, rasos ou muito profundos, apresentar baixa ou alta saturação por bases, além de possuírem condições físicas favoráveis, entre outros fatores.
Planossolos	Nesta classe, estão compreendidos os solos minerais que são mal ou imperfeitamente drenados, com horizonte superficial ou subsuperficial eluvial, com textura mais leve, que contrasta com o horizonte B imediatamente subjacente, adensado, com uma acentuada concentração de argila, permeabilidade lenta ou muito lenta. Em função da mudança textural brusca ou com transição abrupta ligada a diferença de textura do horizonte A para o B, possui uma peculiar característica marcada pela diferenciação bem visível entre os horizontes A ou E e o B. São predominantes em áreas de relevo plano ou suavemente ondulado, onde as condições ambientais e do solo são favoráveis à manutenção periódica de água/ano.

Latosolos	Classificam-se como solos bem intemperizados e muito evoluídos em função das transformações no material constitutivo, e são constituídos de material mineral, com horizonte B latossólico imediatamente abaixo de qualquer um dos tipos de horizonte diagnóstico superficial, com exceção do hístico. São solos normalmente muito profundos, ácidos e com baixa saturação por bases, podendo ser distróficos ou alumínicos, variando de fortemente a bem drenados. Embora sejam típicos das regiões equatoriais e tropicais, podendo ocorrer em zonas subtropicais, normalmente em relevo plano e suavemente ondulado, também podem ocorrer em relevo montanhoso, em áreas mais acidentadas.
Gleissolos	Esta classe compreende os solos minerais, hidromórficos, caracterizados pela forte gleização que é configurada devido o ambiente redutor de oxigênio dissolvido em função da saturação por água durante todo o ano ou por um longo período. São solos mal ou muito mal drenados em condições naturais, Em todos os horizontes dentro dos primeiros 150 cm a partir da superfície do solo, sua textura não é exclusivamente arenosa. Quando não estão artificialmente drenados, encontram-se periódica ou permanentemente saturados por água.
Neossolo	São solos constituídos por material mineral ou por material orgânico com menos de 20 cm de espessura, com nenhum tipo de horizonte B diagnóstico, sem grandes alterações em relação ao material originário devido em função da baixa intensidade de atuação dos processos pedogenéticos, seja em razão de características inerentes ao próprio material de origem, seja em razão da influência dos demais fatores de formação, podendo limitar ou impedir a evolução dos solos.

Fonte: Embrapa (2018).

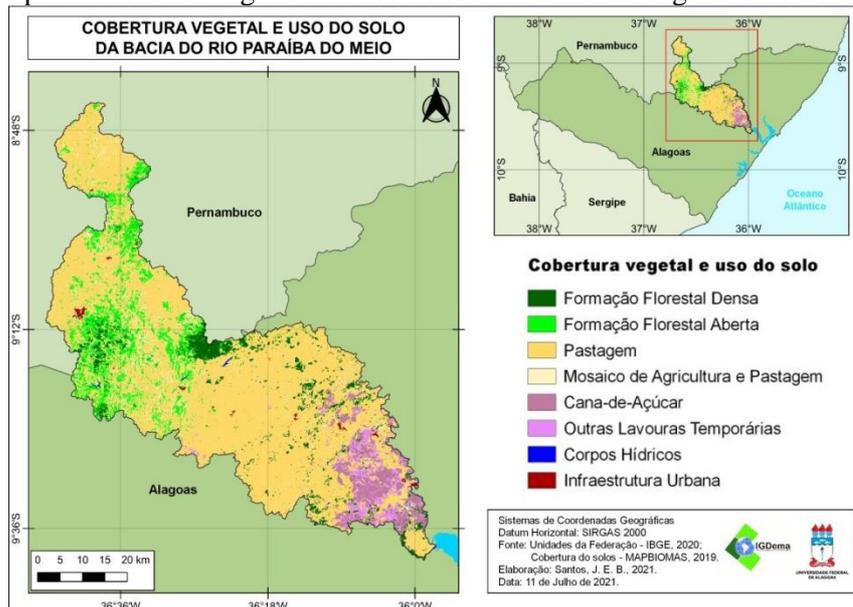
3.2.4 Aspectos de vegetação e de uso do solo

O Alto e o Médio Vale da bacia do rio Paraíba do Meio é caracterizado pela Mata Tropical de encosta do tipo subperenifólio e subcaducifólio, enquanto que no Baixo Vale, é caracterizado pela Mata de Tabuleiro com reflexos do Bioma Cerrado. Na Baixa Litorânea encontra-se a Vegetação de Restinga (Francês, Taperaguá e Massagueira) ainda um pouco conservada. As condições climáticas da bacia hidrográfica do rio Paraíba do Meio

proporcionam o aparecimento de uma cobertura vegetal dispersa (Caatinga) apresentando variações de para arbórea densa e arbórea aberta, e trechos de vegetação Florestal Secundária devido à intervenção antrópica.

Na planície lagunar aparecem os mangues dos solos salobros e nos mais arenosos tem-se o mangue de porte lenhoso. No entanto, nas áreas menos úmidas dos municípios pernambucanos, a saber: Bom Conselho, Terezinha, Saloá e Garanhuns, apresenta o predomínio da vegetação de Caatinga do tipo hipo e hiperxerófila de espécies decíduas, variando de arbórea a arbustiva, dotadas de espinhos e com abundância de cactáceas e bromeliáceas (subzonas do Agreste e Sertão de Pernambuco), correspondentes às subzonas do agreste e sertão central. A Figura 13 demonstra o mapa de cobertura vegetal e de uso do solo da bacia hidrográfica do rio Paraíba do Meio.

Figura 13 - Mapa da cobertura vegetal e de uso do solo da Bacia hidrográfica do rio Paraíba do Meio.



Fonte: MAPBIOMAS (2019); IBGE (2020). **Elaboração:** SANTOS (2021).

No que diz respeito o uso do solo da bacia do rio Paraíba do Meio, este se dá por meio de diversas formas, as quais definem as intensas ações provocadas pelos seres humanos. Ao norte os principais usos se dão a partir das culturas de algodão, feijão, banana, milho e pastos, com destaque para o Parque Estadual de Pedra Talhada, no extremo norte. Da parte central ao sul, predomina-se o cultivo da cana-de-açúcar, sobretudo nos municípios de Atalaia, Cajueiro, Capela, Chã Preta, Pilar e Pindoba, com uma cultura mais diversa nos municípios de Mar Vermelho, Paulo Jacinto e Quebrangulo com cultivo de feijão, milho, batata doce, fava, mandioca, entre outros. (BRASIL, 2005; GAMA, 2011). O Quadro 5 mostra a distribuição em Km² e em porcentagem das classes de uso e cobertura do solo da bacia hidrográfica do rio Paraíba do Meio.

Quadro 5. Classes de uso e cobertura do solo da bacia hidrográfica do rio Paraíba do Meio.

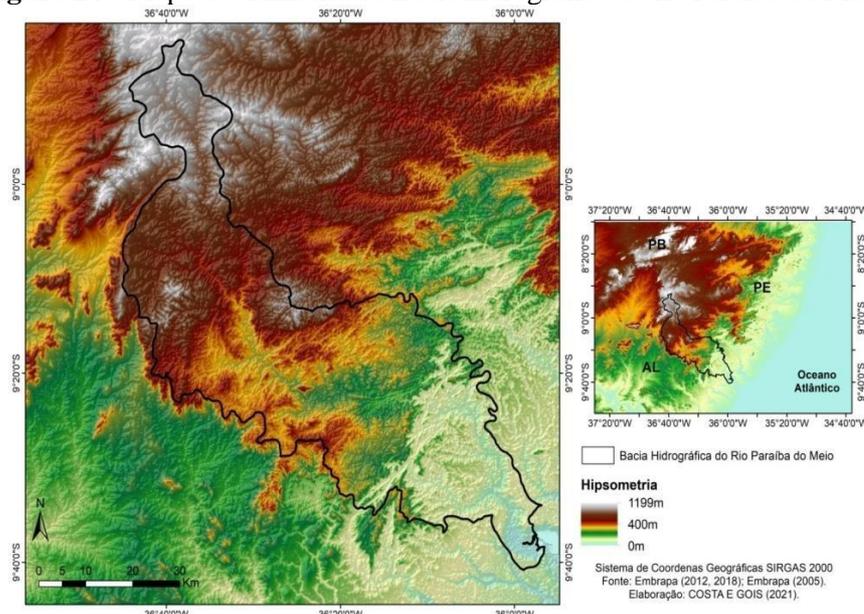
Classes de uso e cobertura do solo	Área (km ²)	Área (%)
Florestas ombrófilas densa	7,04	0,225
Mosaicos de vegetação não arbórea pastejada e pequena agricultura	22,42	0,716
Mosaicos de agricultura, pastagens e vegetação arbórea alterada	2.723,62	86,940
Floresta estacionais semi-decíduais densa	105,59	3,371
Rochas e solos nu ou com vegetação dispersa	249,98	7,980
Agriculturas e pastagens permanentes dominantes	24,07	0,768

Fonte: Elaborado com base em Gama (2011).

3.2.5 Aspectos geomorfológicos

A bacia do rio Paraíba do Meio é definida no seu alto curso por uma superfície aplanada, com relevo ondulado variando entre 600 e 800 m de altitude, enquanto que o seu médio curso é caracterizado pela presença de formas estruturais com dissecação homogênea e o seu baixo curso por uma superfície sedimentar dissecada em interflúvios tubuliformes e colinas. Destaca-se que em todo o seu alto curso, com vale em “V”, ao confluir com o Riacho Seco no estado de Pernambuco, chega a alcançar uma cota de 500 m, convergindo entre encostas erodidas que formam colinas, serras e cristas, até se confluir com o rio Paraibinha, que fica a montante do município de Capela. É nesse trecho que a bacia em estudo ocupa uma superfície dissecada em três níveis distintos: 450 – 550m que é o nível dominante, 600 – 700m e 230 – 350m, formando degraus de acesso aos níveis mais elevados (COTEC, 2001; GAMA, 2011; RODRIGUES, 2012). A Figura 14 demonstra o mapa de altimetria da bacia hidrográfica do rio Paraíba do Meio, respectivamente.

Figura 14 - Mapa de altimetria da Bacia hidrográfica do rio Paraíba do Meio.



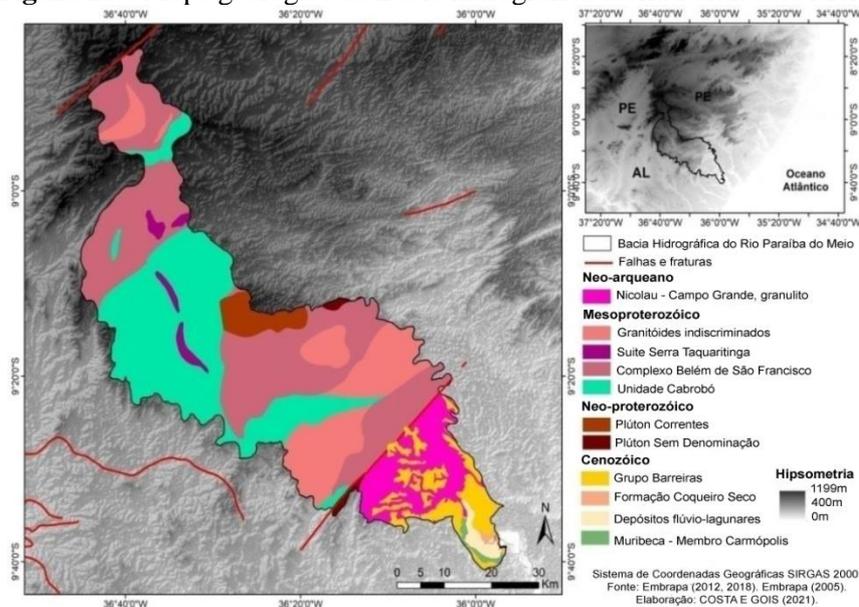
Fonte: EMBRAPA (2005, 2012, 2018). **Elaboração:** Costa e Gois (2021).

Mediante esse contexto, é importante ressaltar que ao deixar o patamar, antes de chegar nos terrenos sedimentares, a bacia em estudo se apresenta no cânion da Serra dos Dois Irmãos, penetrando na “depressão periférica”, cuja área apresenta erosão em função da ação de alguns afluentes que cortam o “front” da encosta oriental do planalto, funcionando como nível de base para os processos morfodinâmicos. Quando se conflui com o Paraíba, os platôs cristalinos que são capeados por sedimentos do Grupo Barreiras aparecem. Ao penetrar nos tabuleiros, especificamente no município de Atalaia (AL), o rio Paraíba do meio penetra nos tabuleiros, dissecando-os em colinas e interflúvios tabulares com a presença de colúvios e leques aluviais, encostas convexas e convexas-côncavas, até alcançar sua desembocadura, na laguna Manguaba – Pilar (AL) (COTEC, 2001; GAMA, 2011).

3.2.6 Aspectos geológicos

No que diz respeito os aspectos geológicos que constituem a bacia hidrográfica do rio Paraíba do Meio (Figura 15), no perímetro que abrange o estado de Alagoas, predomina-se os terrenos cristalinos, pertencentes ao Proterozóico Inferior, representados pelos Complexos Migmatítico-Granítico, Gnaissico-Migmatítico, e Nicolau – Campo Grande granulito, do período neo-arqueano, assim como os terrenos sedimentares Terciários, representados pela Formação do Grupo Barreiras, Depósitos flúvio-lagunares, e Formação Coqueiro Seco e Muribeca – Grupo Carmópolis, pertencentes ao período Cenozóico, além dos sedimentos Holocênicos que estão inclusos na unidade Quaternária (GAMA, 2011; EMBRAPA, 2018).

Figura 15 - Mapa geológico da Bacia hidrográfica do rio Paraíba do Meio.



Fonte: EMBRAPA (2005, 2012 e 2018). **Elaboração:** COSTA e GOIS (2021).

Na área da bacia que abrange o estado de Pernambuco, caracterizada por rochas do

embasamento cristalino de idade Pré-Cambriana, que compreende o Pré-cambriano Superior (Unidade Quartzítica da Região de Garanhuns) e o Pré-cambriano Indiviso, predominam-se feições de idade Mesoproterozóica, como os Granitóides indiscriminados, Suíte Serra Taquaritinga, Complexo Belém de São Francisco, e formações da Unidade Cabrobó, além de feições Neo-proterozóicas, com a ocorrência de Plúton Correntes e Plúton Sem Denominação (GAMA, 2011; EMBRAPA, 2018).

3.3 Obtenção e análise dos dados

3.3.1 Coletas das amostras de água

O local onde foram realizadas as coletas das amostras de água na seção do rio Paraíba do Meio considerada nesta pesquisa, encontra-se situado na região da ponte rodoviária sobre o referido rio (BR-316), com coordenadas decimais - 9, 596568 e - 36, 007742, localizada no município de Pilar (AL), próximo de Atalaia (AL), conforme indicado na Figura 16.

Figura 16 - Local de coleta das amostras de água no rio Paraíba do Meio.



Fonte: Google Maps (2021).

A coleta das amostras foi realizada com garrafa de coleta do tipo *Van Dorn* de acrílico em sub-superfície, em torno de 30 centímetros abaixo da linha de água (nível padrão adotado para todas as amostras), com periodicidade mensal de 16 de janeiro a 16 de dezembro para ano hidrológico de 2016 (resultando em 23 amostras, pois foram realizadas duas coletas para cada mês deste ano, com exceção do mês de setembro que só foi possível realizar uma, e em seguida fez-se a média para cada mês) e de 17 de janeiro a 17 de dezembro para o ano hidrológico de 2017 (resultando em doze amostras, pois não foi possível realizar duas

amostras para cada mês deste ano por falta de membrana de microfiltração). Logo, na presente pesquisa, os anos supracitados foram os considerados enquanto recorte temporal.

Em seguida as amostras foram armazenadas em frascos plásticos com volume de 5L, depois acondicionadas em caixa de isopor, refrigeradas sob gelo, conforme Medeiros et al. (2007), e posteriormente transportadas para o laboratório - Laboratório Integrado de Ciências do Mar e Naturais (LABMAR) da Universidade Federal de Alagoas (UFAL) – para a realização das análises. É válido ressaltar que em função dos altos custos financeiros para a execução de tal procedimento e análise físico-química da água, a presente pesquisa pautou-se em um único local de coleta, mas considera-se a dimensão apresentada na bacia do rio Paraíba do Meio, e que este ponto possa ter sofrido diversas influências, interferindo no nível de fósforo, do nitrogênio e demais parâmetros ao longo da extensão do rio. Além disso, destaca-se que o ano hidrológico de 2017 foi atípico do ponto de vista pluviométrico e nos meses de janeiro, fevereiro e março não foi possível obter dados de vazão, pois segundo a ANA a régua linimétrica apresentou “status seco” nesse período, isto é, não houve medição (ANA, 2021).

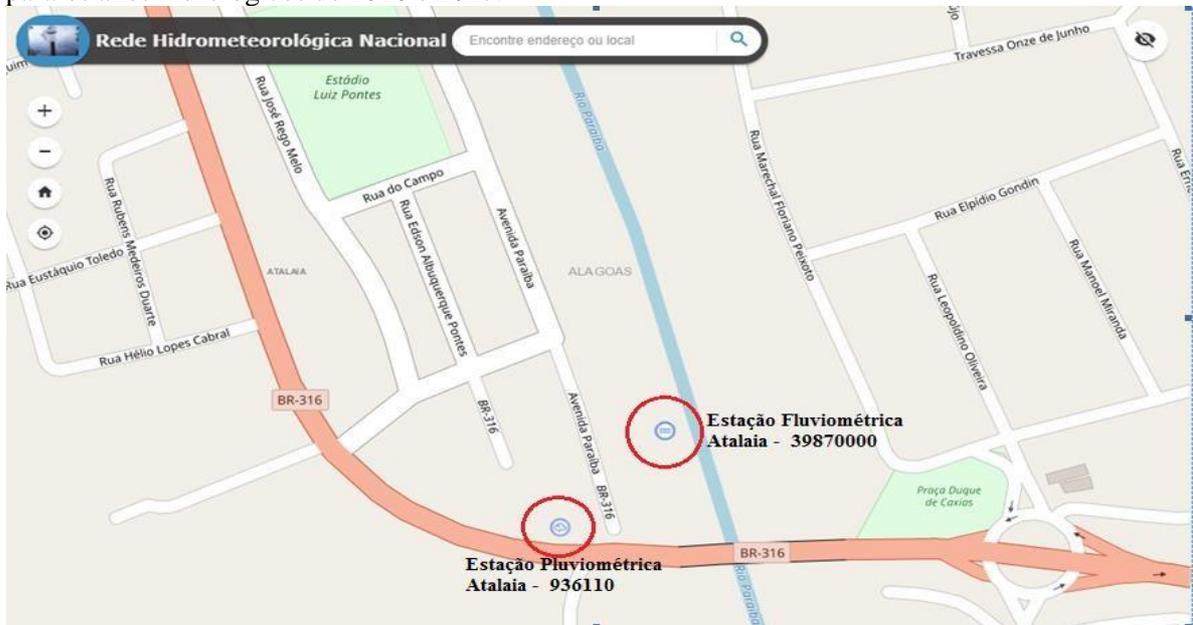
Destaca-se que os dados de vazão foram coletados na estação fluviométrica da ANA denominada Atalaia (código 39870000), a qual está localizada a aproximadamente 14 km, considerando o percurso do rio, antes do ponto onde foram realizadas as coletas de amostras de água. Tal distância influencia infimamente nos padrões de vazão observados entre o local da estação e o ponto de coleta, sendo então considerados para a análise realizada na presente pesquisa sem a necessidade de correções.

3.3.2 Dados de vazão e precipitação pluvial do rio Paraíba do Meio – Alagoas

Os dados de vazão e precipitação pluvial para os anos hidrológicos de 2016 e 2017 referentes ao rio Paraíba do Meio foram obtidos através do portal HidroWeb, uma ferramenta que constitui o Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH) e fornece informações coletadas através da Rede Hidrometeorológica Nacional (RHN), em que estão agregados dados como níveis fluviais, vazões, chuvas, sendo coordenado pela Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico – ANA (ANA, 2021). Dessa maneira, foram selecionados dados diários de vazão da estação fluviométrica Atalaia da ANA, código 39870000, do município de Atalaia – AL, situada entre as coordenadas geográficas - 9° 51’ S e - 36° 02’ O, e utilizando-se desses dados, fez-se as médias mensais da vazão do rio em estudo para os anos de 2016 e 2017, e foram selecionados valores diários de precipitação pluvial da estação pluviométrica Atalaia da ANA, código 936110, do mesmo município, situada entre as mesmas coordenadas (Figura 17), que foram somados para obter os totais

mensais para os anos supracitados.

Figura 17 - Localização das estações fluviométrica Atalaia (código 39870000) e pluviométrica Atalaia (código 936110) onde foram obtidos os dados de vazão e precipitação do rio Paraíba do Meio para os anos hidrológicos de 2016 e 2017.



Fonte: Adaptado de Hidroweb/ANA (2021).

Para demonstrar a variabilidade da precipitação e da vazão do rio Paraíba do Meio no ponto em que estes dados foram coletados, foram elaborados gráficos, para se visualizar o comportamento temporal das variáveis em estudo para os anos de 2016 e 2017. Além disso, também foram selecionados dados de vazão e precipitação das estações do município de Atalaia supracitadas, para um período de trinta anos, compreendidos de 1988 a 2017, em que foram calculadas médias e desvios históricos, assim como obter a média anual da vazão do rio Paraíba do Meio e o total médio de precipitação, os quais serão demonstrados através de tabelas e gráficos que foram elaboradas por meio do software Origin Pro 8. Os dados de vazão e precipitação referentes a cada mês, também serão dispostos em tabelas, em que foram destacados os meses que apresentaram os maiores níveis dessas variáveis.

3.3.3 Correlação da vazão e precipitação

Foi realizada uma correlação entre a vazão e precipitação do rio Paraíba do Meio para o período em estudo (2016 e 2017), por meio do cálculo obtido através do coeficiente de correlação de Pearson, a qual representada através de gráficos de relação linear, que serão elaborados no software Origin Pro 8. Tal correlação pode ser apresentada como uma medida do grau de ajustamento dos valores em torno de uma reta. O valor de r pode ser positivo ou negativo. Quando positivo, indica que o sentido da correlação corresponde a uma reta de inclinação descendente, e quando negativo, corresponde a uma reta de inclinação ascendente.

Em suma, o coeficiente de correlação indica o nível de proximidade ou representa a força da relação existente entre duas variáveis (WALPOLE; MYERS, 2011). O coeficiente de correlação de Pearson é dado pela Equação (13):

$$r = \frac{n \sum x_i y_i - (\sum x_i)(\sum y_i)}{\sqrt{[n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2][n \sum y_i^2 - (\sum y_i)^2]}} \quad (13)$$

Em que (r) corresponde ao coeficiente de correlação Pearson (r); n é o número de observações; X_i é a variável independente e Y_i é a variável dependente.

De acordo com Correa (2003), existem critérios estabelecidos para se verificar os níveis de correlação linear entre as variáveis, são eles:

- $0 < r < 0,3$: fraca correlação (positiva ou negativa) sendo difícil estabelecer uma relação entre as variáveis. Em porcentagem: $0 < r < 30\%$;
- $0,3 \leq r < 0,6$: correlação de fraca a moderada (positiva ou negativa), porém, pode-se considerar a existência de relativa correlação entre as variáveis. Em porcentagem: $30\% \leq r < 60\%$;
- $0,6 \leq r < 1$: a correlação é de moderada a forte; a relação entre as variáveis é significativa, o que permite coerência com poucos conflitos na obtenção das conclusões. Em porcentagem: $60\% \leq r \leq 100\%$.

3.3.4 Parâmetros físico-químicos da água do rio Paraíba do Meio – Alagoas

O método de obtenção dos dados de fósforo e do nitrogênio não é simples, e para tanto é necessário que alguns passos sejam minuciosamente seguidos, os quais envolvem desde a coleta até o processo final de determinação da concentração dos compostos de cada nutriente na amostra de água. No caso do fósforo, a análise será voltada para o fosfato inorgânico (ortofosfato). Tal processo de medição pode ser encontrado na metodologia de alguns trabalhos, como o de Wu et al. (2017) e Mu et al. (2017). Em função da complexidade e custos para a obtenção de dados medidos dos nutrientes, em muitos casos são utilizados modelos e índices de estimativa para a determinação de suas concentrações.

Os dados referentes aos parâmetros físico-químicos da água na seção do rio Paraíba do Meio considerada nesta pesquisa, foram obtidos a partir do Banco de Dados do Laboratório de Geoquímica Ambiental (IGDEMA-UFAL). Tais dados foram referentes aos parâmetros Amônio (NH_4), Nitrito (NO_2^-), Nitrato (NO_3^-), que são as formas de Nitrogênio encontradas em ecossistemas aquáticos, Fósforo Dissolvido, Oxigênio Dissolvido (OD), Saturação de

Oxigênio, Turbidez (UNT), Temperatura da água (°C), Clorofila a, Salinidade, Potencial Hidrogeniônico (pH), Condutividade Elétrica e os Sólidos Totais em Suspensão (TSS), os quais foram representados através de tabelas e gráficos desenvolvidos no software.

Os nutrientes inorgânicos dissolvidos, Amônio, Nitrito, Nitrato, Fosfato e o Fósforo Total foram determinados segundo a metodologia de Carmouze (1994), e o pigmento autotrófico Clorofila a e o material em suspensão foram determinados conforme Strickland e Parsons (1972). As amostras de Amônio, Nitrito e Nitrato representam o Nitrogênio Inorgânico Dissolvido (NID), pois foram filtradas. O fósforo pode se apresentar na água de um determinado ambiente aquático de diferentes formas, seja na sua forma iônica ou complexada, também encontradas na forma de fosfato. Dessa forma, dentre os fosfatos, destacam-se o Fosfato Orto (P-Orto), também denominado de fosfato inorgânico dissolvido ou ortofosfato ou fosfato reativo. Os dados referentes a esses parâmetros também serão comparados com os níveis que são estabelecidos pela Resolução do CONAMA n° 357/2005.

Os parâmetros temperatura, condutividade elétrica, sólidos totais dissolvidos, turbidez, salinidade, pH, oxigênio dissolvido e clorofila a, foram medidos e registrados In Situ, no recorte temporal em estudo, através da Sonda Multiparamétrica YSI-6600 de Qualidade da Água, a qual é um equipamento específico que possui sensores que mede e registra os parâmetros químicos, físicos ou biológicos da água (Figura 18). Junto a este equipamento, é conectado um medidor multiparâmetros que permite a leitura simultânea de todas as variáveis (Figura 19).

Figura 18 - Sonda Multiparamétrica YSI-6600.



Figura 19 - Medidor multiparâmetros.



Fonte: Clean Environment Brasil (2021).

3.3.6 Determinação do Índice do Estado Trófico – IET

O Índice do Estado Trófico determina os níveis de trofia da água em relação as concentrações de fósforo total, clorofila, transparência, biomassa, etc., possibilitando, então, a classificação da água por classes de estado trófico, sendo o fósforo total e a clorofila os parâmetros de maior importância devido sua relação direta com a produção primária e biomassa (LAMPARELLI, 2004). Para a determinação e análise do Estado Trófico na água do rio Paraíba do Meio para os anos de 2016 e 2017, foi utilizado o Índice do Estado Trófico (IET) obtido através do método que Carlson (1977) desenvolveu para ambientes lênticos (como os lagos) utilizando como parâmetros de qualidade de água a transparência, o fósforo total e clorofila *a*, o qual foi modificado por Lamparelli (2004) para a análise do Estado Trófico em ambientes lóticos, como os rios.

Entretanto, de acordo com o relatório da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) (MARTINS et al., 2020), a variável transparência deve ser desconsiderada, pois os seus valores geralmente não são representativos no estado de trofia, pois pode ser afetada pela elevada turbidez da água decorrente de material mineral em suspensão, que por sua vez sofre influência de outras características físicas, químicas e biológicas, o que acaba interferindo na transmissividade da água. Nesse sentido, foram considerados apenas os parâmetros de fósforo total e clorofila *a*, para a determinação do IET, conforme as equações 14 e 15:

$$\text{IET (CL)} = 10 \left(6 - \frac{-0,7 - 0,6 \ln \text{CL}}{\ln 2} \right) - 20 \quad (14)$$

$$\text{IET (PT)} = 10 \left(6 - \frac{0,42 - 0,36 \ln \text{PT}}{\ln 2} \right) - 20 \quad (15)$$

Onde CL é a concentração de clorofila *a* medida à superfície da água, PT é a concentração de Fósforo Total medida à superfície da água, ambos expressos em $\mu\text{g L}^{-1}$, e ln é o logaritmo natural.

É importante salientar que o valor 10 presente nas equações, conforme Carlson (1977), é utilizado como uma forma de padronizar os valores do IET, uma vez que são muito baixos, geralmente obtidos em números decimais. Os coeficientes empíricos, apresentados em ambas as equações, conforme Lamparelli (2004), são os termos que devem ser parametrizados de acordo com cada ambiente estudado, neste caso, os diferentes tipos de rios. O logaritmo natural (ln) é utilizado nas equações porque as variáveis (PT e CL) não se comportam de maneira linear, pois tendem a se modificar muito ao longo do tempo/espaço. O valor - 20 é um termo que foi posto na equação por Lamparelli (2004) com a função de padronizar os

limites das classes obtidas através do IET. Assim, quando ambas as variáveis estão disponíveis, o IET total é dado pela média aritmética simples do IET da clorofila *a* – IET (CL) – e do IET do fósforo total – IET (PT), conforme a Equação 16:

$$IET = \frac{IET (PT) + IET (CL)}{2} \quad (16)$$

Para a análise do IET, os dados de fósforo total e clorofila *a* foram organizados e separados por suas respectivas classes de acordo com o critério estabelecido no Quadro 6 proposto pela CETESB (MARTINS et al., 2020). Através dos dados organizados foram elaborados gráficos de barras no software Origin Pro 8.0 além de tabelas detalhando a classificação da água do Rio Paraíba do Meio no ponto de coleta.

Quadro 6. Classificação do Estado Trófico para rios segundo o Índice de Carlson (1977), modificado por Lamparelli (2004). Classificação usada pela CETESB citada em Martins et al. (2020).

CLASSIFICAÇÃO DO ESTADO TRÓFICO - RIOS				
Estado Trófico	Critério	Secchi - S (m)	P Total – PT ($\mu\text{g L}^{-1}$)	Clorofila <i>a</i> – CL ($\mu\text{g L}^{-1}$)
Ultraoligotrófico	IET \leq 47		PT \leq 13	CL \leq 0,74
Oligotrófico	47 < IET \leq 52		13 < PT \leq 35	0,74 < CL \leq 1,31
Mesotrófico	52 < IET \leq 59		35 < PT \leq 137	1,31 < CL \leq 2,96
Eutrófico	59 < IET \leq 63		137 < PT \leq 296	2,96 < CL \leq 4,70
Supereutrófico	63 < IET \leq 67		296 < PT \leq 640	4,70 < CL \leq 7,46
Hipereutrófico	IET > 67		640 < PT	7,46 < CL

Fonte: Martins et al. (2020).

De acordo com Mansor (2005) os ambientes classificados como oligotróficos são aqueles que apresentam baixas concentrações de nutrientes e baixa produtividade primária. Ambientes mesotróficos apresentam produtividade intermediária, com concentrações razoáveis de nutrientes e possíveis implicações sobre a qualidade da água. Ambientes eutróficos apresentam alto nível de produtividade e possuem alta concentração de matéria orgânica e nutrientes, tanto em suspensão quanto na região bentônica. Já os ambientes classificados como supertróficos e hipertróficos possuem concentração de nutrientes muito alta com nível de produtividade biótica consideravelmente alta, sendo níveis que demonstram nitidamente a existência do processo de eutrofização.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Considerando-se a temática central da presente pesquisa, pautada, sobretudo, numa avaliação plurianual (2016-2017) do comportamento da carga de nutrientes assim como na determinação do Índice do Estado Trófico (IET) em uma seção do rio Paraíba do Meio no estado de Alagoas, serão apresentados os resultados voltados a análise da variação da

precipitação pluvial e vazão do rio em estudo para os anos supracitados, a correlação entre essas duas variáveis, a análise da concentração e carga de nutrientes, com ênfase no Fósforo, Fósforo Total, nas formas de Nitrogênio (amônio, nitrito e nitrato – NID) e outros parâmetros físico-químicos, bem como a verificação do Estado Trófico por meio do IET no rio em questão no recorte temporal considerado.

4.1 Variação da precipitação pluvial e vazão do rio Paraíba do Meio – Alagoas, para os anos hidrológicos de 2016 e 2017

A observação da variação temporal da precipitação pluvial ao longo do ano fornece informações relevantes para a caracterização de uma determinada região quanto a determinação de períodos mais ou menos chuvosos ou em relação ao total de precipitação anual que ajuda a definir o quão úmido é um determinado local, em termos de disponibilidade hídrica. Assim, de acordo com a tabela 3 é possível observar os totais mensais de precipitação pluvial para o período de estudo, assim como seus respectivos acumulados anuais.

Tabela 3. Totais mensais e anuais de precipitação pluvial para o município de Atalaia – AL nos anos de 2016 e 2017. Os meses em destaque representam o período mais chuvoso da região enquanto que os demais meses, o período mais seco

Precipitação pluvial (mm)		
Mês	2016	2017
Janeiro	123,1	0,0
Fevereiro	70,4	7,6
Março	128,3	33,8
Abril	151,4	155,7
Maió	172,5	637,7
Junho	129	343,8
Julho	59,9	406,3
Agosto	33,2	39,9
Setembro	0,0	187,1
Outubro	0,8	45,5
Novembro	34,1	5,9
Dezembro	18,7	3,6
Total	921,4	1866,9

Fonte: Elaborado pela autora (2021).

No ano de 2016 a precipitação total anual foi muito baixa e em quase todos os meses houve precipitação abaixo do normal de acordo com a última normal climatológica de 1981-2010 do INMET para a região (1867,4 mm) (Figura 18). O mês mais chuvoso do ano foi maio e o menos chuvoso foi setembro, no qual não houve registro de precipitação, fato fora do comum, visto que setembro é um mês intermediário, onde dificilmente existem longos períodos de dias sem chuvas neste período. Considera-se que o ano hidrológico de 2016 foi

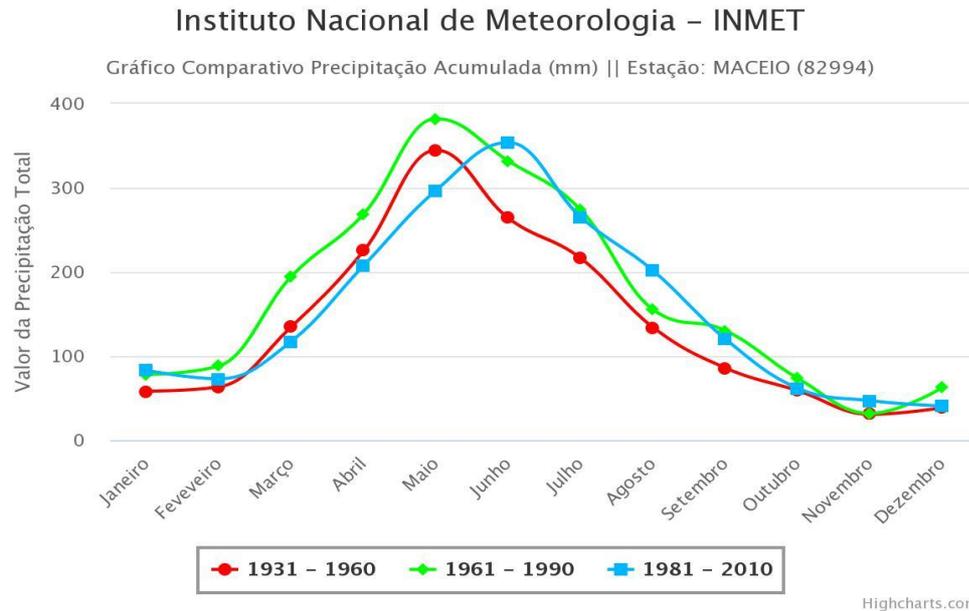
atípico em relação a quantidade de precipitação ao longo do ano. Os meses do período seco da região (Setembro - Fevereiro) tiveram uma precipitação total de 247 mm, comparando-se com a normal climatológica (425,1 mm) percebe-se uma diferença quase 200 mm. Entretanto, a precipitação desse período foi muita semelhante a média histórica de 1988-2017 da estação da ANA em Atalaia (238,8 mm), essa diferença pode ser observada na Figura 19.

Atentando-se aos meses do período chuvoso (Março – Agosto) é possível perceber na tabela 3 que a precipitação variou de 33,2 mm (agosto) a 172,5 mm (maio) com total de 674 mm para os seis meses. Esse valor é cerca de duas vezes menor do que a precipitação total do mesmo período da última normal climatológica (1442 mm). É válido notar que o mês mais chuvoso (maio) foi diferente do mês mais chuvoso da normal (junho) e que eles se diferenciam por um fator multiplicativo de 2. Observando a média histórica da estação da ANA percebe-se que essa diferença é bem menor (877,75 mm) demonstrando possivelmente que as médias climatológicas da precipitação de medições mais atuais, são mais similares se comparadas as dos últimos anos, ficando evidente uma diminuição leve e gradual dos totais médios de precipitação ao longo do tempo.

O total anual da precipitação de 2017 ficou dentro dos padrões se comparado a normal climatológica 1981-2017. Contudo houveram meses com totais atípicos, como é o caso de julho e principalmente maio, nos quais a normal climatológica foi de 265,2 mm e 296,9 mm, respectivamente, valores que equivalem a 65,2 % e 46,5 % dos totais do ano de 2017. Essa alta precipitação ocorreu em praticamente todo o litoral alagoano sem uma distribuição homogênea no estado. Esses níveis de precipitação ocorreram devido a influência de sistemas e fenômenos meteorológicos atuantes na região. De acordo com o CPTEC, o escoamento dos ventos alísios de sudeste próximo ao litoral do nordeste brasileiro influenciado pelo Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul (ASAS) em conjunto com a existência de cavados próximos a costa, causaram um direcionamento de umidade e baixas pressões na região do litoral alagoano sendo esse o principal fenômeno meteorológico que mais contribuiu para a formação de chuva na região (CPTEC, 2020).

No período seco do referido ano, a precipitação ficou abaixo da normal climatológica em aproximadamente 175,9 mm (41,3%), contudo no período chuvoso considerado o total foi de 1617,20 mm equivalendo a 86,61 % da precipitação do ano inteiro e a 10,8 % de chuva a mais que a normal climatológica (1442,3 mm) apresentada na Figura 20. Fazendo uma analogia entre a chuva do período chuvoso de 1988-2017 e o ano de 2017, nota-se que existe uma diferença de quase metade entre estes, destacando o caso atípico de chuvas ocorridas na região durante os meses chuvosos em 2017.

Figura 20 - Normais climatológicas (1931-1960, 1961-1990 e 1981-2010) da precipitação acumulada (mm) na estação do INMET no município de Maceió-AL.

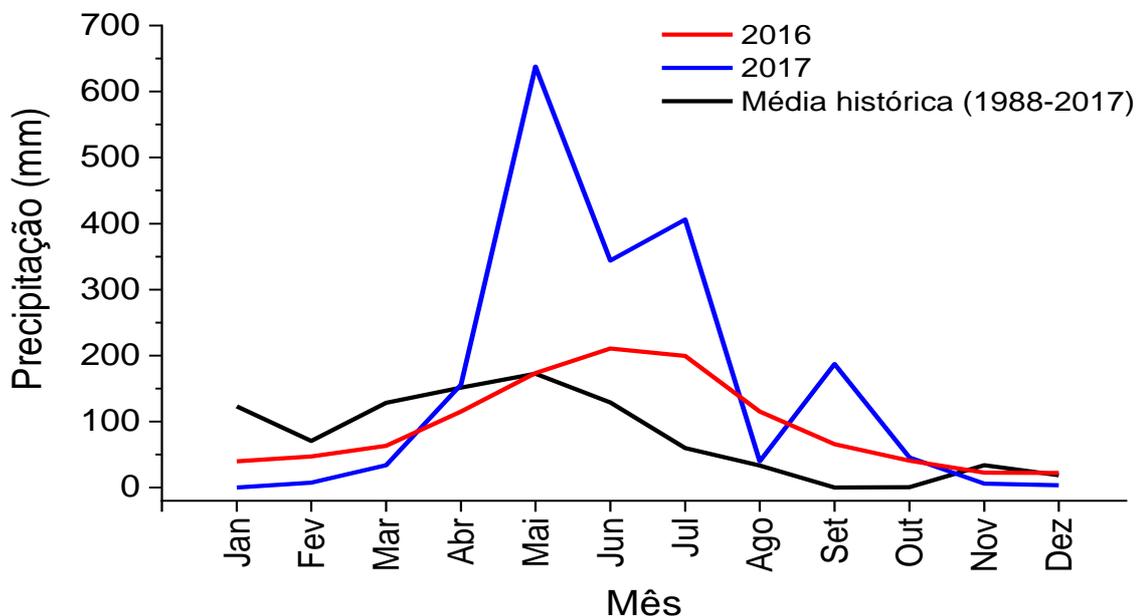


Fonte: INMET (2021).

A precipitação pluviá é uma variável extremamente dinâmica, podendo ter padrões mensais totalmente diferentes ano após ano e mudanças nos totais acumulados anuais. Além disso, a característica da precipitação para um período longo (ao menos 30 anos) demonstra a climatologia da precipitação durante este dado período para um região determinada. Com isso, é possível observar na Figura 21 a variação mensal da precipitação para os anos de 2016 e 2017, além de uma média histórica para o período mais recente em relação aos anos de estudo (1988-2017).

Inicialmente destaca-se a variação curva anual de chuva em 2016, como demonstrado anteriormente na Tabela 3, percebe-se que o padrão de elevação da curva é baixo apresentando-se de forma suavizada durante o período chuvoso. Em 2017 a situação é bem diferente, devido as grandes quantidades de chuva durante os meses do período chuvoso a curva de precipitação possui uma elevação extrema entre março e maio e diminuição de julho para agosto. Durante o período mais seco, este ano apresentou médias abaixo do normal, mostrando-se menores até mesmo do que as do ano de 2016. Em um breve comparativo com a média histórica, nota-se que 2016 tem um padrão de curva similar com diferenças em relação ao mês mais e menos chuvoso, enquanto que 2017 tem um padrão totalmente diferente com máximos bem mais elevados e mínimos no início e final do ano e não em setembro e outubro.

Figura 21 - Comparação da precipitação média mensal entre os anos de 2016, 2017 e a média histórica de 1988-2017 da estação da ANA para o município de Atalaia-AL.



Fonte: Elaborado pela autora (2021).

A vazão é componente essencial em estudos limnológicos e biogeoquímicos de rios, pois influencia diretamente na qualidade da água, de seus organismos vivos e no meio ambiente próximo ao ecossistema fluvial. O conhecimento de sua variabilidade pode contribuir principalmente com o dimensionamento de barragens, controle de cheias, manutenção e controle de rios e barragens os quais podem ser utilizado ao abastecimento doméstico, suprimento da agricultura irrigada, área industrial e como suprimento de energia elétrica (ANA, 2013; SOUZA et al., 2018). Assim, através da Tabela 4 é possível observar a variação mensal e média anual da vazão para o recorte temporal em estudo.

Tabela 4. Médias mensais e anuais de vazão do rio Paraíba do Meio no município de Atalaia nos anos de 2016 e 2017. Os meses em destaque representam o período mais chuvoso da região enquanto que os demais meses, o período mais seco

Mês	Vazão ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$)	
	2016	2017
Janeiro	7,38	0,0
Fevereiro	6,40	0,0
Março	-	0,0
Abril	13,23	9,23
Maio	18,18	165,00
Junho	19,52	105,51
Julho	11,77	104,90
Agosto	3,78	33,20
Setembro	4,08	47,30
Outubro	1,89	41,79
Novembro	1,37	14,59
Dezembro	0,14	4,04

Média	7,97	58,40
--------------	------	-------

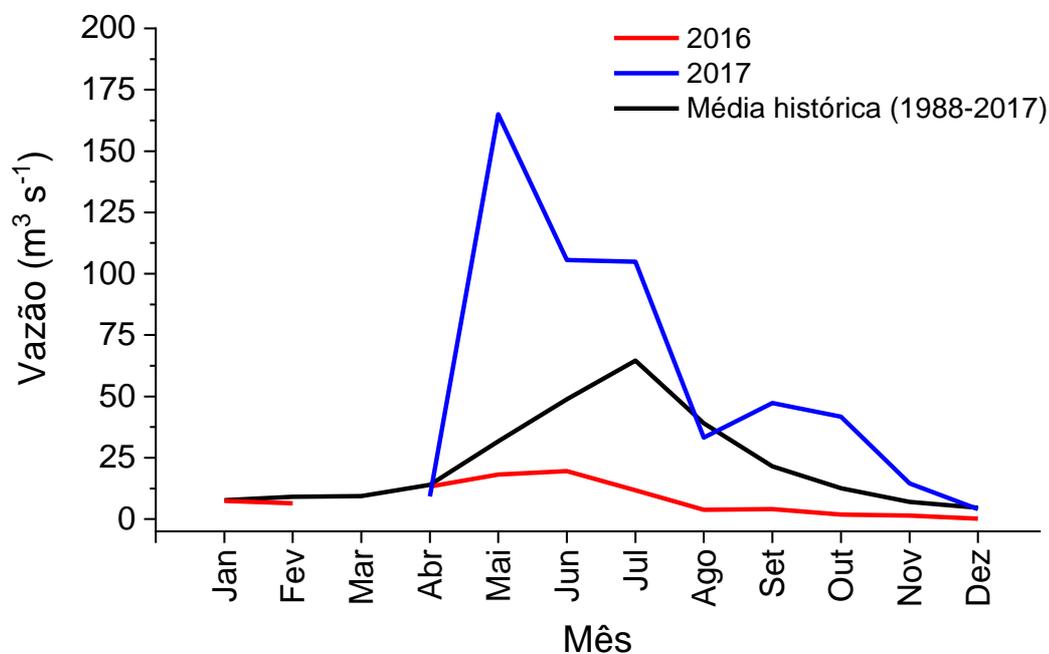
Fonte: Elaborado pela autora (2021).

Em virtude dos baixos níveis de precipitação pluvial ocorridos no ano de 2016, nota-se que a vazão média anual para o mesmo ano foi muito abaixo da média de 1988-2017 cujo valor foi $22,51 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ (Figura 24). No mês de março os dados de vazão não estavam disponíveis nas planilhas baixadas do Hidroweb para a estação definida e foi possível a realização de correção por interpolação de outras estações, uma vez que as demais estações encontram-se muito afastadas do ponto de coleta. Destacando-se o período chuvoso os meses de maio e junho foram responsáveis pela ocorrência dos máximos de vazão, relacionando-se certamente ao volume de chuvas do período. Durante este período o volume médio de água por segundo no rio Paraíba do Meio foi de $13,3 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. No período seco o volume médio de água por segundo foi $3,54 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ com vazão mensal mínima no mês de dezembro.

No ano de 2017 a seca ocasionada pelos baixos volumes de precipitação no final de 2016 e início de 2017 fez com que os meses de janeiro, fevereiro e março tivessem vazões zeradas ou sem a possibilidade de medição no local pelas régua linimétricas, devido aos seus baixíssimos níveis, uma explicação para isso é que os totais mensais de precipitação no início de 2017 foram devido a poucas chuvas concentradas em alguns dias destes meses e também pelo fato de que a chuva pode não ter ocorrido de forma expressiva em outros pontos anteriores do rio. Nos meses do período de chuvas a vazão foi extraordinária, principalmente no mês de maio que foi 5,2 vezes maior que a vazão média de 1988-2017 ($31,7 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$). A vazão média do período foi de $83,59 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, enquanto que no período seco foi $26,93 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ e para o ano de 2017 a vazão foi 2,59 vezes maior do que a média climatológica, isso pode ser explicado basicamente pelo volume de chuvas que ocorreu no período.

Complementando a análise mensal das médias de vazão para o período de estudo e para a média histórica, é possível observar na Figura 22 o comportamento das curvas e com base nisso concluir que, apesar do ano de 2016 apresentar precipitação similar a da média histórica, a vazão não possui essa similaridade, pois durante o período chuvoso apresentou bem menores do que o período de 1988-2017 que teve média de $34,59 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. No período de setembro a fevereiro a média da vazão histórica foi $10,42 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ contra os $3,54 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ da média de 2016. A curva do ano de 2017 teve padrão aproximado ao da precipitação, contando somente com algumas suavizações nos meses de julho e setembro com relação a precipitação.

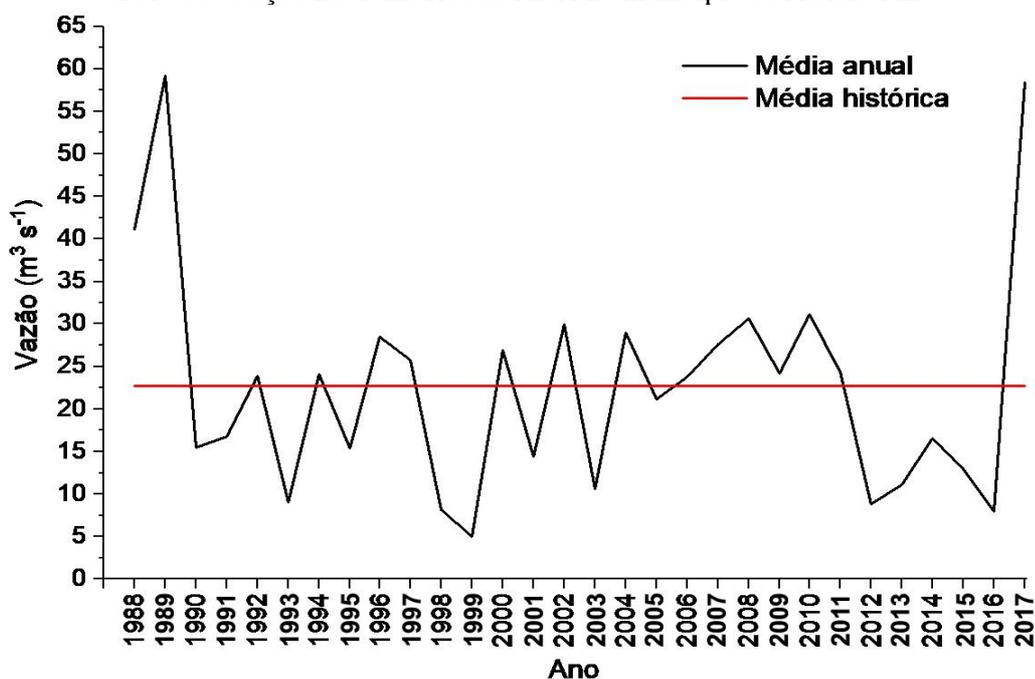
Figura 22 - Comparação da vazão média mensal entre os anos de 2016, 2017 e a média histórica de 1988-2017 da estação fluviométrica da ANA para o rio Paraíba do Meio no município de Atalaia-AL.



Fonte: Elaborado pela autora (2021).

Com a finalidade de analisar o comportamento temporal da vazão do rio Paraíba do Meio ao longo dos últimos anos e necessitando-se de uma complementação para a avaliação climatológica dos parâmetros hidrúcos e físicoquímicos do rio, foi elaborada a Figura 23 a qual apresenta a variação média anual da vazão assim como a vazão média histórica do período de 1988-2017.

Figura 23 - Vazão média anual e vazão média histórica do rio Paraíba do Meio nos anos de 1988-2017 da estação fluviométrica da ANA no município de Atalaia-AL.



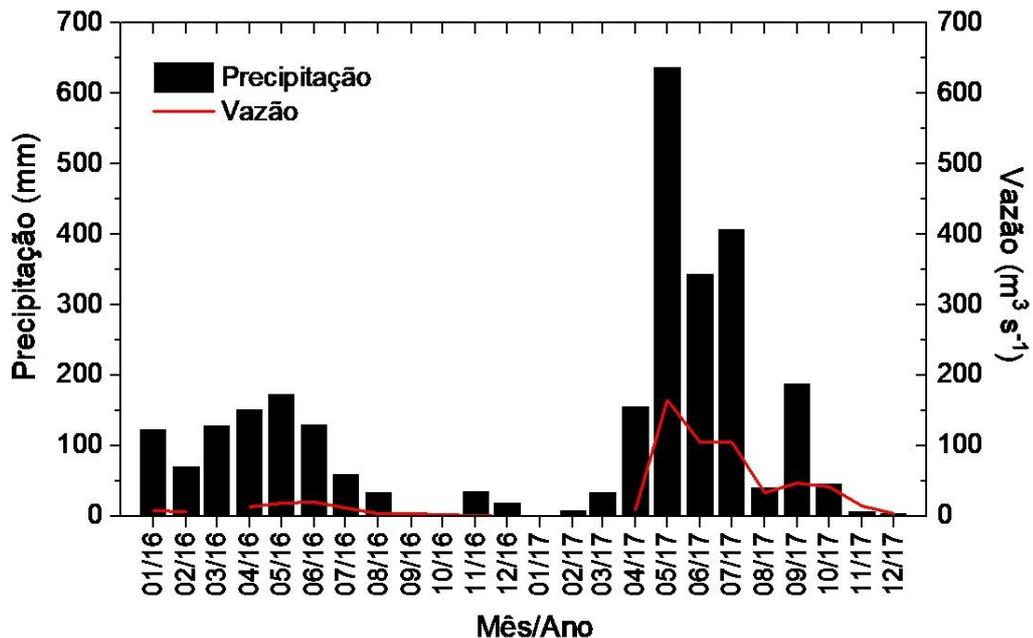
Fonte: Elaborado pela autora (2021).

Com base nesta figura nota-se, primeiramente, os pontos de vazão extrema ocorridos nos anos de 1988 e 2017, em tais anos ocorreram totais de precipitação elevados 1620 mm e 1866 mm, respectivamente (dados não inclusos). Nestes anos, grandes totais de precipitação ocorreram em apenas um mês, no caso de 1988 o máximo ocorreu em junho (501 mm) e em 2017 ocorreu em maio (637,7 mm) ocasionando elevados níveis de vazão nesses períodos $318,18 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ em junho/1988 e $165,01 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ em maio/2017.

No ano de 1999 a vazão média foi a menor ($5,02 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$) isso porque choveu mais homogeneamente ao longo do ano, ou seja, a precipitação não ficou muito concentrada no período chuvoso, mas sim ao longo de todo o ano. A média histórica da vazão anual foi de $22,72 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, ficando definida por este valor, a vazão média do rio Paraíba do Meio para o período. Ressalta-se que as médias anuais de vazão que apresentaram valores abaixo da média histórica podem está associadas a elementos meteorológicos como os baixos níveis de precipitação pluvial, alterações climáticas, eventos como a La Niña e El Niño, que por sua vez apresentam características distintas para cada ano. Bayer, Reis e Bayer (2012) encontraram um valor médio anual de vazão próximo ao encontrado no presente trabalho, que foi de $17,8 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ no rio Potiribu, afluente do rio Ijuí situado no estado do Rio Grande do Sul para o período de 2002 a 2009.

As variações mensais da vazão e precipitação ao longo do período de estudo foram plotadas como uma análise correlacionada na Figura 24 que mostra as características de cada variável sendo possível a realização de uma comparação mais eficiente entre seus valores.

Figura 24 - Análise correlacionada da precipitação e vazão (rio Paraíba do Meio) para o período de estudo (2016-2017) no município de Atalaia-AL.



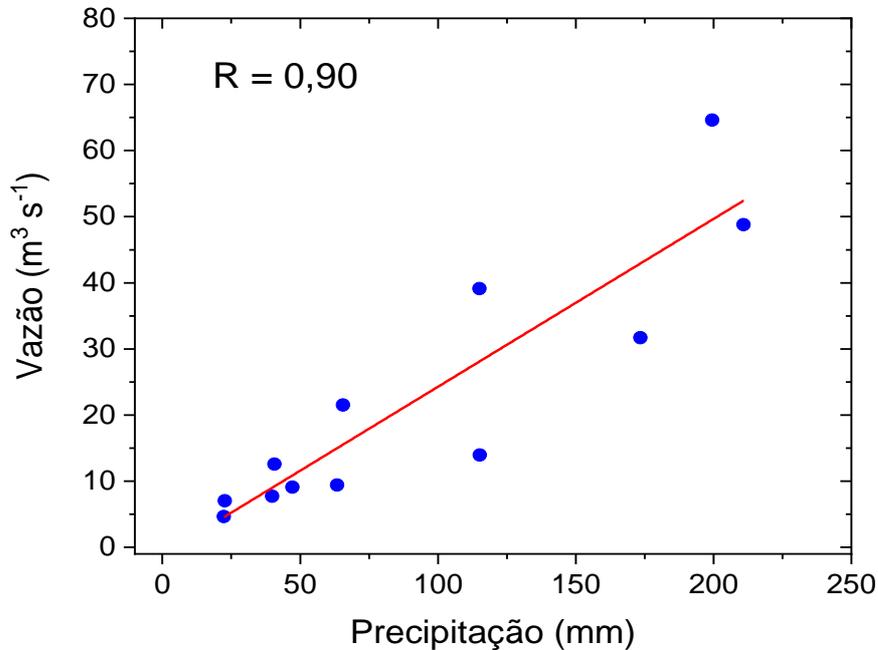
Fonte: Elaborado pela autora (2021).

Em 2016 durante quase todo o ano a vazão foi homogênea, se levar em consideração os períodos sazonais separadamente. É possível notar também a existência de uma defasagem em relação a precipitação e a vazão, a precipitação tem seu maior valor em maio e a vazão em junho. Durante os meses de agosto de 2016 e março de 2017 os níveis de precipitação foram muito baixos, caracterizando um período muito seco na região, levando a diminuição da vazão a ponto de não ser identificava pela régua de medição em Atalaia. Com a entrada do período chuvoso de 2017 a precipitação teve um aumento considerável entre os meses de abril e julho, sendo que em maio (637,7 mm) a precipitação teve o maior total mensal do período da média histórica (1988-2017) fazendo com que a vazão também atingisse níveis elevados sendo a maior desde 1989 quando atingiu $349,47 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. É válido destacar que outros trabalhos como é o caso de Santos, Medeiros e Santos (2021) também demonstraram os níveis elevados de precipitação e vazão para o rio Paraíba do Meio no ano de 2017.

4.1.2 Correlação entre a vazão e a precipitação pluvial do rio Paraíba do Meio – Alagoas, para um período de trinta anos (1988 – 2017) e para os anos de 2016 e 2017

Uma análise de correlação se faz necessária entre as variáveis vazão e precipitação, visto que são os principais fatores modificadores dos parâmetros dos rios, tais como a concentração de nutrientes e outras substâncias, turbidez da água, oxigênio dissolvido e parâmetros exteriores ao próprio rio as encostas e a mata ciliar. Através dessa análise torna-se possível destacar o nível de relação existente entre as chuvas e a vazão do rio e, então, definir quais fatores exercem influência na vazão. A correlação entre a vazão e precipitação do rio Paraíba do Meio para o período de 1988-2017 está destacada na Figura 25, enquanto que as correlações para os anos de 2016 e 2017 podem ser observadas nas Figuras 26 e 27, respectivamente.

Figura 25 - Correlação entre a vazão e a precipitação mensal do rio Paraíba do Meio em Alagoas para o período de 1988-2017.

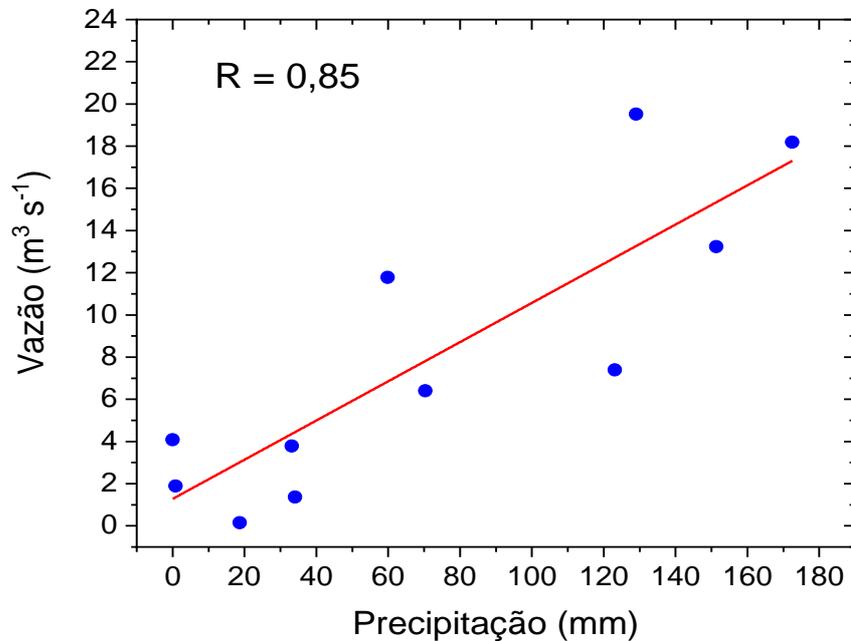


Fonte: Elaborado pela autora (2021)

Com um coeficiente de Pearson (r) de 0,90 a correlação entre a vazão e precipitação de 1988-2017, demonstra o alto nível de proximidade que o rio Paraíba do Meio possui entre estes fatores. O coeficiente de determinação (R^2) foi de 0,79 e os coeficientes angular e linear foram -1,1059 e 0,2539, respectivamente. Os meses do período seco (novembro, dezembro, janeiro, fevereiro e outubro) foram os que melhor se correlacionaram, enquanto que abril, maio, junho e agosto foram os que tiveram menor correlação. Assim, a análise da correlação linear mostra que, a precipitação pluvial é responsável por no máximo 90% da distribuição das águas do rio, ao menos durante os período de coleta da amostra, concluindo-se que existe uma forte correlação entre estas variáveis. O rio Paraíba do Meio situa-se numa área urbana, o que leva-o a ser influenciado também por fatores antropogênicos como barragens e descarga de esgotos domésticos e industriais, além de processos relativos ao assoreamento. Destaca-se que uma análise mais detalhada é necessária para se obter conclusões mais próximas da realidade em relação ao comportamento das águas do rio.

Eichenberger, Souza e Nascimento (2020) em seu estudo no rio Uma no estado da Bahia demonstraram que a correlação entre a precipitação pluvial e vazão do referido rio foi baixa retornando valores de 0,41 no coeficiente de correlação de Pearson e de 0,17 no coeficiente de determinação, diferença que os autores atribuíram a possíveis interferências de fatores extrínsecos a precipitação.

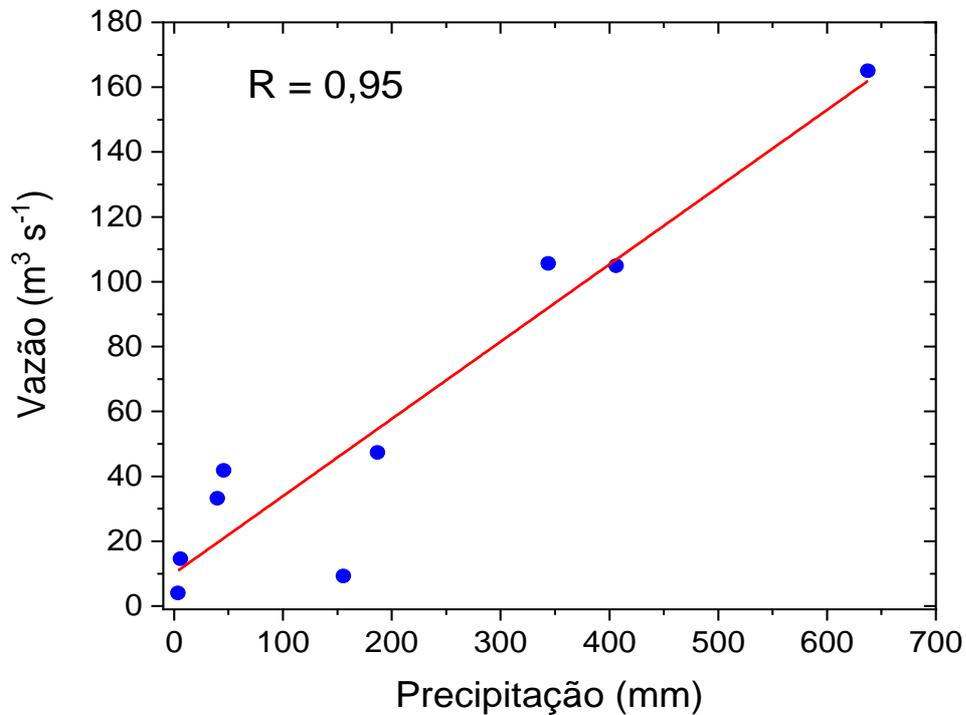
Figura 26 - Correlação entre a vazão e a precipitação mensal do rio Paraíba do Meio em Alagoas para o ano de 2016.



Fonte: Elaborado pela autora (2021)

A correlação da vazão e precipitação para o ano de 2016 apresentou um coeficiente r de 0,85 e coeficiente de determinação de aproximadamente 0,73. O coeficiente angular da equação linear foi 1,277 e o linear 0,092. Em 2016 a precipitação pluvial teve um comportamento diferente da vazão, principalmente no primeiro semestre do ano (janeiro, abril, maio e junho), como pode ser observado na Figura 26. Essa diferença foi o que provavelmente causou uma diminuição no coeficiente de correlação, contudo ainda assim, é possível definir que a precipitação ainda é majoritariamente o fator que mais influencia nos padrões dos níveis de água do rio Paraíba do Meio.

Figura 27 - Correlação entre a vazão e a precipitação mensal do rio Paraíba do Meio em Alagoas para o ano de 2017.



Fonte: Elaborado pela autora (2021).

Ao observar a Figura 27 e compará-la com a Figura 29 de correlação das variáveis hidrometeorológicas percebe-se que existe uma proximidade, um acompanhamento de suas médias mensais do período de abril a dezembro do referido ano. Os meses de abril e outubro, entretanto, foram os que menos se correlacionaram. Está correto em fazer esta afirmação, uma vez que o coeficiente de Pearson e o coeficiente de determinação foram os maiores dentre todas as correlações, 0,95 e 0,88, respectivamente, indicando que existe uma correlação forte entre as variáveis. Esse fato mostra que, durante 2017 as chuvas foram responsáveis pela vazão dos meses de abril a dezembro em quase sua totalidade.

4.2 Análise e caracterização da concentração e carga de nutrientes do rio Paraíba do Meio – Alagoas, para os anos de 2016 e 2017

4.2.1 Nitrogênio

Como já fora salientado, o Nitrogênio (N) pode ser encontrado em diferentes formas nos ecossistemas aquáticos, dentre as quais destacam-se os constituintes do grupo do nitrogênio inorgânico dissolvido (NID), assim como na forma de nitrogênio orgânico dissolvido (NOD) ou particulado (NOP). Dentre essas formas nitrogenadas destacam-se o nitrato e o íon amônio como os mais importantes, uma vez que constituem-se como as principais fontes de alimento para os produtores primários. Além disso, também pode ser

encontrado na forma de gases dissolvidos em equilíbrio com a atmosfera, como o nitrogênio diatômico (N₂) e o óxido nitroso (N₂O). Considerando este aspecto, a Tabela 5 elucida as concentrações das principais formas de N (amônio, nitrito e nitrato) encontradas no rio Paraíba do Meio, obtidas através das coletas de água realizadas numa seção do rio no município em Pilar (AL), referentes aos anos de 2016 e 2017.

Tabela 5. Concentrações mensais das formas de nitrogênio (amônio, nitrito e nitrato) do rio Paraíba do Meio obtidas no município de Pilar-Alagoas para os anos de 2016 e 2017. Os meses em destaque representam o período mais chuvoso da região, enquanto que os demais meses, o período mais seco

Mês	2016			2017		
	Amônio	Nitrito	Nitrato	Amônio	Nitrito	Nitrato
	$\mu\text{g.L}^{-1}$ N.NH ₄ ⁺	$\mu\text{g.L}^{-1}$ N.NO ₂ ⁻	$\mu\text{g.L}^{-1}$ N.NO ₃ ⁻	$\mu\text{g.L}^{-1}$ N.NH ₄ ⁺	$\mu\text{g.L}^{-1}$ N.NO ₂ ⁻	$\mu\text{g.L}^{-1}$ N.NO ₃ ⁻
Jan	33,75	7,82	5,30	44,37	1,42	1,98
Fev	62,86	6,89	0,94	77,37	0,88	9,52
Mar	89,86	8,94	5,16	25,30	1,95	73,45
Abr	256,51	40,60	608,04	23,83	2,75	129,65
Mai	223,60	87,91	316,32	95,70	2,22	108,18
Jun	35,86	8,75	31,20	37,77	25,74	428,66
Jul	18,14	46,01	460,26	96,43	15,85	395,55
Ago	35,44	6,89	34,24	63,43	8,90	201,50
Set	69,19	3,35	14,27	28,23	3,29	157,11
Out	35,02	9,87	31,65	83,23	8,63	190,77
Nov	30,80	3,91	3,14	6,97	2,22	472,18
Dez	27,84	2,61	7,18	11,37	20,93	563,47

Fonte: Elaborado pela autora (2021).

No que diz respeito a amônia ou amoníaco (NH₃), esta é geralmente encontrada na sua forma dissociada, apresentando-se como íon amônio ou amônio (NH₄⁺), e isso é condicionado pelo pH da água, de maneira que os níveis de amônia na superfície da água doce é maior quando ocorre o aumento nos níveis de pH, e quando este se reduz, a amônia é combinada com a água para produzir um íon amônio (NH₄⁺) ou um íon hidróxido (OH⁻). Nesse sentido, a resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) n° 357/2005, no Art. 14 da Seção II, estabelece que quando o pH for menor ou igual a 7,5 o valor máximo de nitrogênio amoniacal deve ser 3,7 mg.L⁻¹ N ou 3700 $\mu\text{g.L}^{-1}$ N, para pH maior que 7,5 e menor ou igual a 8,0 o valor máximo deve ser de 2,0 mg.L⁻¹ N ou 2000 $\mu\text{g.L}^{-1}$ N, para pH maior que 8,0 e menor ou igual a 8,5 o valor máximo deve ser de 1,0 mg.L⁻¹ N ou 1000 $\mu\text{g.L}^{-1}$ N, e para pH maior que 8,5 o valor máximo não pode ultrapassar 0,5 $\mu\text{g.L}^{-1}$ N ou 500 $\mu\text{g.L}^{-1}$.

Observando os dados apresentados na Tabela 5, verifica-se que tanto para o ano hidrológico de 2016 como para o ano de 2017, os níveis de amônio no rio Paraíba do Meio estiveram dentro dos padrões estabelecidos pela resolução supracitada. Em 2016, a maior quantidade de amônio foi registrada no mês de abril, que apresentou 256,51 $\mu\text{g.L}^{-1}$ N, seguido

do mês de maio, com $223,60 \mu\text{g.L}^{-1} \text{ N}$, e a menor quantidade foi conferida no mês de julho, que registrou $18,14 \mu\text{g.L}^{-1} \text{ N}$. Em 2017, o maior valor de amônio foi de $96,43 \mu\text{g.L}^{-1} \text{ N}$, encontrado no mês de julho, seguido do mês de maio, que apresentou $95,70 \mu\text{g.L}^{-1} \text{ N}$, e a menor concentração foi registrada em novembro, com $6,97 \mu\text{g.L}^{-1} \text{ N}$. Tais resultados corroboram com os níveis de pH medidos nos anos em estudo, uma vez que em 2016 este não ultrapassou o valor de 7,66, e em 2017 o valor máximo foi de 7,60. Santos, Medeiros e Santos (2021) encontraram uma variação na concentração de amônio no rio Paraíba do Meio no ano de 2013, de $0,02 \text{ mg/L}$ ($20 \mu\text{g.L}^{-1}$) a $0,19 \text{ mg/L}$ ($190 \mu\text{g.L}^{-1}$) com pH variando de 6,93 a 8,16, também dentro dos padrões estabelecidos pelo CONAMA.

Quanto à concentração de nitrito encontrada em águas doces, a resolução do CONAMA estabelece que esta não pode ultrapassar o valor de $1,0 \text{ mg/L N}$ ou $1.000 \mu\text{g.L}^{-1} \text{ N}$. No ano de 2016, a maior concentração de nitrito registrada no rio Paraíba do Meio ocorreu no mês de maio e a menor de dezembro, sendo $87,91 \mu\text{g.L}^{-1} \text{ N}$ e $2,61 \mu\text{g.L}^{-1} \text{ N}$, respectivamente. Todavia, no ano de 2017, o valor máximo de nitrito foi $25,74 \mu\text{g.L}^{-1} \text{ N}$ no mês de junho, e o valor mínimo de $0,88 \mu\text{g.L}^{-1} \text{ N}$ no mês de fevereiro. Dessa forma, ver-se uma diferença significativa quanto às concentrações de nitrito encontradas no rio em estudo nos anos supracitados, a qual é explícita comparando-se os valores máximos e mínimos de cada ano. Logo, os níveis de nitrito estiveram dentro dos padrões estabelecidos pelo CONAMA. Santos, Medeiros e Santos (2021) também encontraram no ano de 2013 baixas concentrações de nitrito no rio Paraíba do Meio, com uma variação de $0,001 \text{ mg/L}$ ($1 \mu\text{g.L}^{-1}$) a $0,030 \text{ mg/L}$ ($30 \mu\text{g.L}^{-1}$).

A concentração de nitrato presente na água de um determinado ecossistema aquático, geralmente é mais expressiva do que a de nitrito e amônio, devido à diversidade de fontes que pode gerar a sua presença se comparado com as outras formas. A resolução do CONAMA estabelece que para águas doces, o nível de nitrato não pode ultrapassar $10,0 \text{ mg/L N}$ ou $10.000 \mu\text{g.L}^{-1} \text{ N}$. Observando os dados de nitrato encontrados no rio Paraíba do Meio no período em estudo, percebe-se uma variação considerável dos seus níveis comparando-se alguns meses entre um ano e outro.

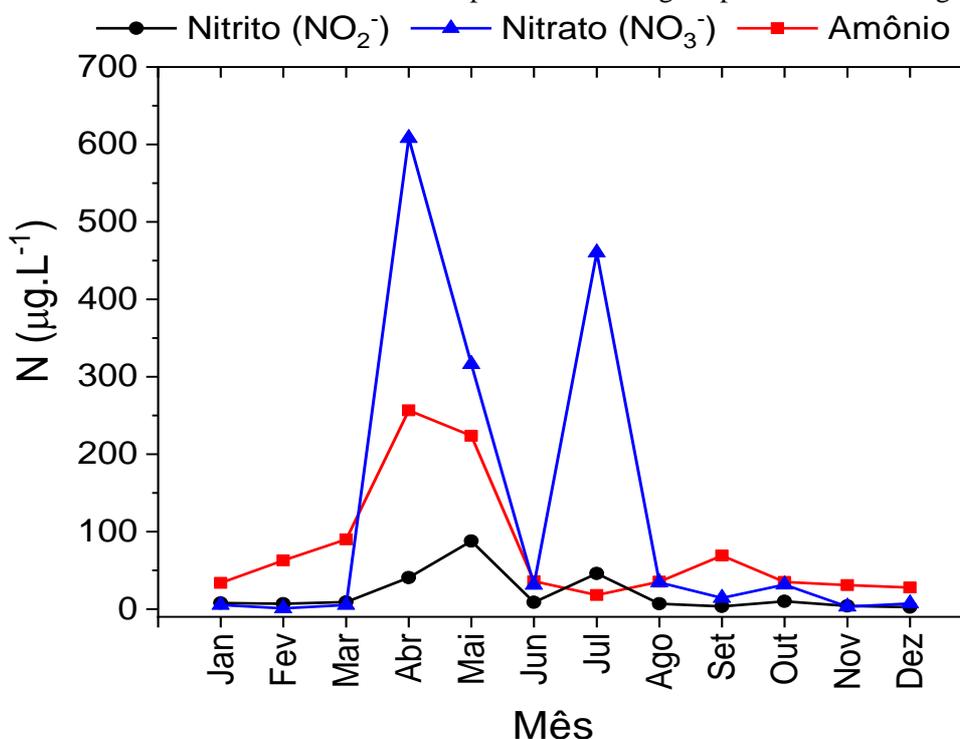
No ano de 2016 as maiores concentrações de nitrato foram de $608,04 \mu\text{g.L}^{-1} \text{ N}$ em abril, $460,26 \mu\text{g.L}^{-1} \text{ N}$ em julho e $316,32$ em maio, enquanto que no ano de 2017, as maiores concentrações foram de $563,47$ em dezembro, $472,18$ em novembro e $428,66$ em junho. As menores concentrações encontradas em ambos os anos, foram de $0,94 \mu\text{g.L}^{-1} \text{ N}$ em fevereiro de 2016 e $1,98 \mu\text{g.L}^{-1} \text{ N}$ em janeiro de 2017. Apesar dos valores significativos, estes encontraram-se dentro dos padrões estabelecidos pelo CONAMA. Santos, Medeiros e Santos

(2021) também encontraram valores baixos de nitrato no rio Paraíba do Meio no ano de 2013, dentro do padrão estabelecido pelo CONAMA, com uma variação de $0,002 \text{ mg/L N}$ ($2 \text{ } \mu\text{g.L}^{-1}$) a $0,360 \text{ mg/L}$ ($360 \text{ } \mu\text{g.L}^{-1}$).

Além disso, observa-se que no período mais chuvoso da região (março a agosto), conforme destacado em cinza na tabela, foram obtidos os níveis mais significativos das formas de Nitrogênio em ambos os anos, sobretudo nos dados de amônio e nitrato no ano de 2016, que apresentaram níveis mais expressivos se comparado com os meses do período mais seco para a região (setembro a fevereiro). Os níveis mensais de nitrato no ano de 2017 foram mais consideráveis a partir do mês de abril, seguindo até dezembro, o que pode estar atribuído aos despejos em quantidades expressivas de efluentes derivados da agricultura na água do rio no período de setembro a dezembro, que são meses que apresentaram baixos níveis de precipitação e vazão nos anos em estudo. No período mais chuvoso, as médias de amônio, nitrito e nitrato foram de 110, 33 e $243 \text{ } \mu\text{g.L}^{-1}$ em 2016, respectivamente, e 57, 10 e $223 \text{ } \mu\text{g.L}^{-1}$ em 2017, de forma respectiva.

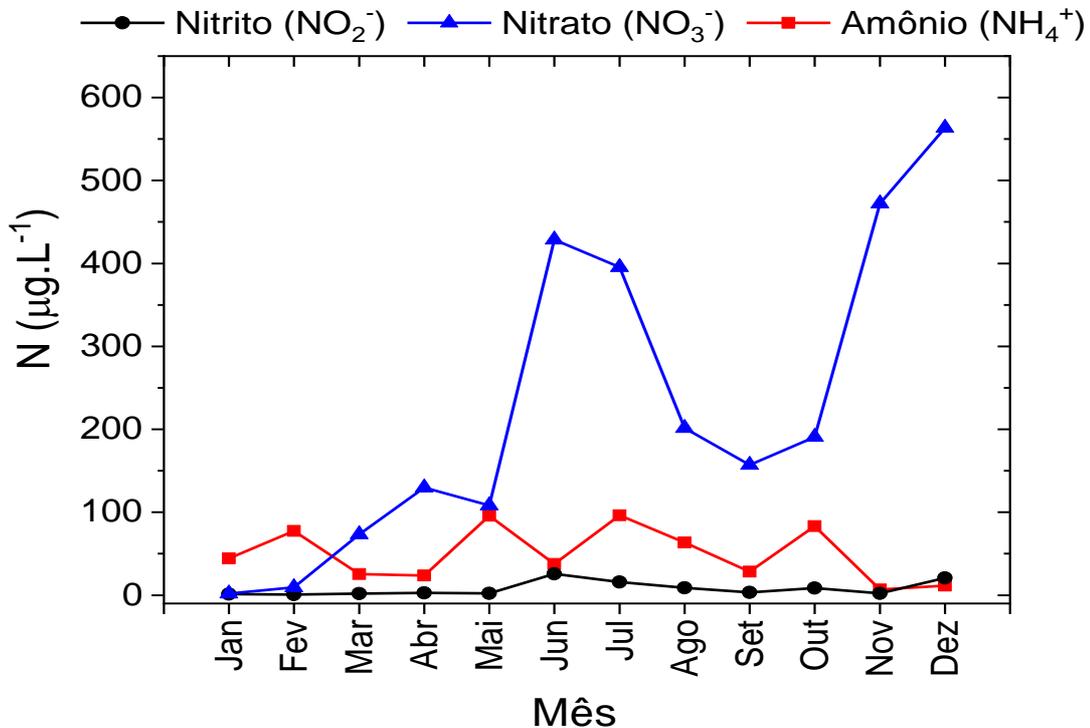
Para demonstrar a variação entre as concentrações mensais das formas de nitrogênio destacadas anteriormente referentes ao rio Paraíba do Meio para o ano hidrológico de 2016 e 2017, foram elaboradas as Figuras 28 e 29.

Figura 28 - Variação das concentrações mensais das formas de nitrogênio (amônio, nitrito e nitrato) do rio Paraíba do Meio obtidas no município de Pilar-Alagoas para o ano hidrológico de 2016.



Fonte: Elaborado pela autora (2021).

Figura 29 -Variação das concentrações mensais das formas de nitrogênio (amônio, nitrito e nitrato) do rio Paraíba do Meio obtidas no município de Pilar-Alagoas para o ano hidrológico de 2017.



Fonte: Elaborado pela autora (2021).

As concentrações mensais de nitrito em ambos os anos foram significativamente baixas conforme a resolução do CONAMA, e sempre apresentaram níveis abaixo das concentrações de amônio e nitrato, com exceção do mês de dezembro de 2017, em que a concentração de nitrito foi maior que a de amônio. O nitrogênio na forma de nitrato é geralmente encontrado em concentrações maiores nos ambientes aquáticos em relação aos outros tipos de nitrogênio, como pode ser visto, sobretudo na Figura 28. Destaca-se que as concentrações de nitrato registradas no ano de 2017 atingiram níveis mais consideráveis em relação as outras formas neste ano e em relação aos níveis registrados no ano de 2016, sobretudo de junho a dezembro. Contudo, é válido chamar à atenção para os meses de abril e julho de 2016, que registraram níveis de concentração de nitrato significativos em relação às outras formas nesses mesmos meses.

A soma dos valores do nitrogênio na forma de amônio, nitrito e nitrato determina o valor referente ao Nitrogênio Inorgânico Dissolvido (NID) encontrado em um determinado ecossistema aquático. Para tanto, a Tabela 6 demonstra as médias mensais e anuais referentes às concentrações do NID registradas no rio Paraíba do Meio nos anos hidrológicos de 2016 e 2017.

Tabela 6. Médias mensais e anuais do Nitrogênio Inorgânico Dissolvido (NID) no rio Paraíba do Meio (Pilar – AL) para os anos de 2016 e 2017. Os meses em destaque representam o período mais chuvoso da região, enquanto que os demais meses, o período mais seco

Mês	NID ($\mu\text{g L}^{-1}$)	
	2016	2017
Janeiro	46,87	47,77
Fevereiro	70,70	87,77
Março	103,96	100,70
Abril	905,16	156,23
Mai	627,83	206,10
Junho	75,81	492,17
Julho	524,41	507,83
Agosto	76,57	273,83
Setembro	86,82	188,63
Outubro	76,54	282,63
Novembro	37,85	481,37
Dezembro	37,64	595,77
Média	222,51	285,07

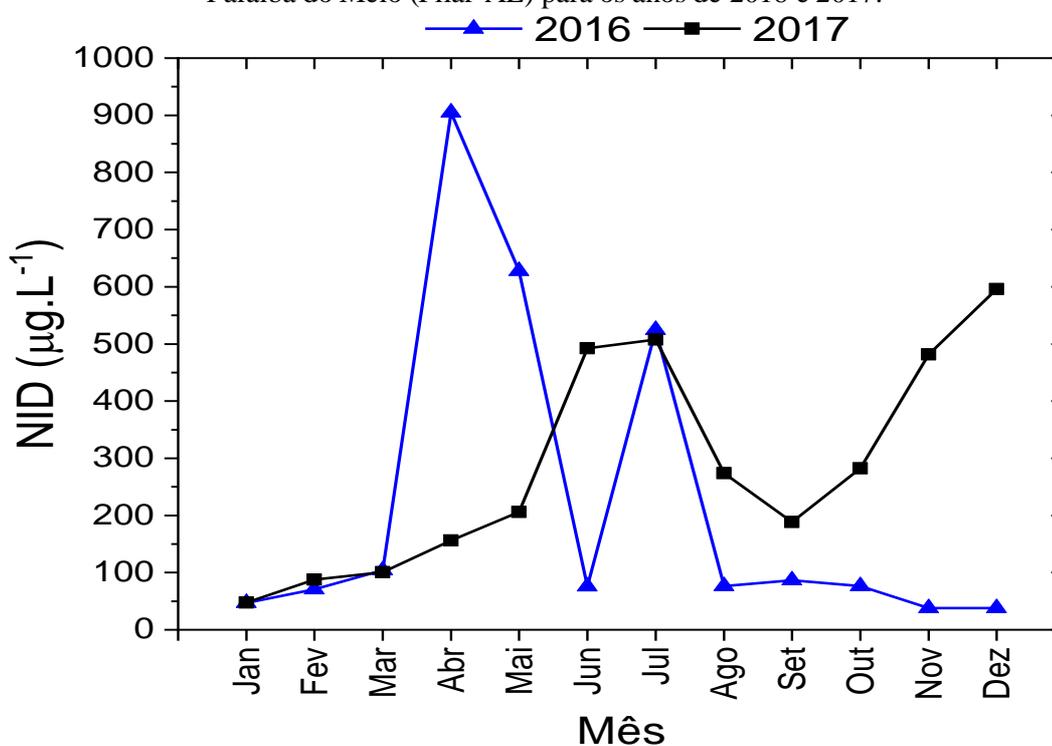
Fonte: Elaborado pela autora (2021).

As concentrações mensais de NID registradas na seção em estudo do rio Paraíba do Meio (Pilar – AL) para os anos hidrológicos de 2016 e 2017 foram consideravelmente baixas na maioria dos meses, levando em consideração a resolução do CONAMA. No ano de 2016, tais concentrações variaram entre $37,60 \mu\text{g.L}^{-1}$ N, referente ao mês de dezembro, e $905,16 \mu\text{g.L}^{-1}$ N, que corresponde ao mês de abril. Os meses de maio e julho também apresentaram níveis consideráveis de concentração de NID, sendo $627,83 \mu\text{g.L}^{-1}$ N e $524,41 \mu\text{g.L}^{-1}$ N, respectivamente, com uma média anual de $222,51 \mu\text{g.L}^{-1}$ N. Em 2017, os níveis mensais de nitrogênio estiveram majoritariamente acima de $100,70 \mu\text{g.L}^{-1}$ N, exceto os meses de janeiro e fevereiro, variando entre $47,77 \mu\text{g.L}^{-1}$ N (janeiro) e $595,77 \mu\text{g.L}^{-1}$ N (dezembro), com uma média anual de $285,07 \mu\text{g.L}^{-1}$ N.

Observa-se que no período mais chuvoso da região (março a agosto), os valores do NID foram significativamente os mais expressivos nos dois anos em estudo, e em função da grande carga de nitrato possivelmente derivada das atividades de agricultura no ano de 2017, estes valores também foram consideráveis nos meses de setembro a dezembro. No período mais chuvoso, a média do NID foi de $386 \mu\text{g.L}^{-1}$ em 2016 e $289 \mu\text{g.L}^{-1}$ em 2017, enquanto que no período mais seco da região (setembro a fevereiro), essa média foi de $59 \mu\text{g.L}^{-1}$ em 2016 e $281 \mu\text{g.L}^{-1}$ em 2017.

A Figura 30 demonstra a variabilidade das concentrações mensais de NID referentes ao rio Paraíba do Meio (seção em Pilar – AL) entre os anos hidrológicos de 2016 e 2017.

Figura 30. Variação das concentrações mensais do Nitrogênio Inorgânico Dissolvido (NID) do rio Paraíba do Meio (Pilar-AL) para os anos de 2016 e 2017.



Fonte: Elaborado pela autora (2021).

Comparando-se os níveis mensais das concentrações de NID registradas no rio Paraíba do Meio entre os anos de 2016 e 2017, ver-se uma variação significativa. Durante a estação chuvosa (abril a julho) tais níveis foram mais consideráveis no ano de 2016 do que no ano de 2017. Todavia, de agosto a dezembro de 2017, as concentrações mensais de NID foram significativamente mais elevadas que em 2016 nesses mesmos meses.

4.2.2 Fosfato Orto (P-Orto)

Medeiros et al. (2003, p. 13) ressalta que o Fosfato Orto representa a principal forma de fosfato assimilada pelos vegetais aquáticos, isto é, o fitoplâncton. Logo, “a sua medição é muito importante em estudos limnológicos. Podendo o íon ortofosfato (PO_4^{3-}) estar presente sob H_3PO_4 , H_2PO_4^- , HPO_4^{2-} ou na forma iônica propriamente dita (PO_4^{3-})”. Assim, a presença e predominância das espécies químicas do íon fosfato ocorre em função do pH da água. Destaca-se que a presença de P-Orto é dependente da densidade e da atividade de organismos, sejam eles fitoplanctônicos ou macrófitas aquáticas, uma vez que durante a fotossíntese, estes podem assimilar grandes quantidades de íons (ESTEVEZ, 1998). Nesse sentido, o rio Paraíba do Meio, na seção em estudo, apresentou médias mensais de P-Orto significativas nos anos de 2016 e 2017 (Tabela 7).

Tabela 7. Médias mensais e anuais de P-Orto (P-PO₄) no rio Paraíba do Meio (Pilar – AL) nos anos de 2016 e 2017. Os meses em destaque representam o período mais chuvoso da região, enquanto que os demais meses, o período mais seco

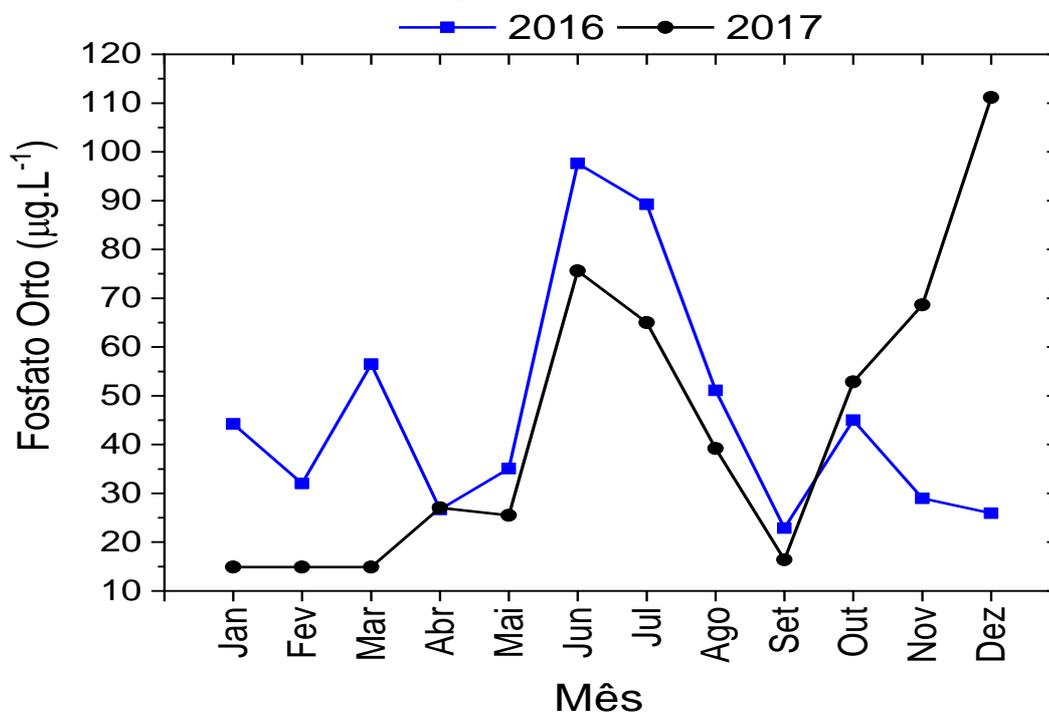
Mês	Fosfato Orto PO ₄ ³⁻ (µg L ⁻¹)	
	2016	2017
Janeiro	44,25	14,88
Fevereiro	32,04	14,88
Março	56,45	14,88
Abril	26,70	27,03
Mai	35,09	25,51
Junho	97,65	75,61
Julho	89,26	64,98
Agosto	51,11	39,17
Setembro	22,89	16,40
Outubro	45,01	52,84
Novembro	28,99	68,63
Dezembro	25,94	111,14
Média	46,28	43,83

Fonte: Elaborado pela autora (2021).

Constata-se que as médias mensais de concentração de P-Orto (PO₄), ou ortofosfato, no rio Paraíba do Meio para o ano de 2016 estiveram sempre acima de 20 µg.L⁻¹ N, uma vez que variaram entre 22,89 µg.L⁻¹ N (dezembro) e 97,65 µg.L⁻¹ N (junho). Por outro lado, observa-se que as concentrações mensais registradas na seção do rio em estudo no ano de 2017 apresetaram uma variação entre 14,88 µg.L⁻¹ N (para janeiro, fevereiro e março), e 111,14 µg.L⁻¹ N (dezembro). O fosfato orto presente na água do rio tem como fonte principal de origem os fertilizantes fosfatados utilizados nas atividades agrícolas. Além disso, essa variação ocorreu devido alguns fatores importantes, de maneira que os altos níveis de concentração de ortofosfato ocorreram devido a diluição ou sedimentação da rocha fosfática e solo na água do rio. No período mais chuvoso da região (março a agosto), a média de P-Orto foi de 59 µg L⁻¹ em 2016 e 41 µg L⁻¹ em 2017, e no período mais seco (setembro a fevereiro) essa média foi de 33 µg L⁻¹ em 2016 e 46 µg L⁻¹ em 2017. Gaspar (2009), em seu estudo realizado nos rios Botafogo e Carrapicho (PE), encontrou quantidades de fosfato orto próximas. O valor máximo de fosfato orto foi encontrado no mês de julho no rio Carrapicho (176,64 µg.L⁻¹). No período seco a média dos valores de fosfato orto foi maior, com um máximo de 131,05 µg.L⁻¹.

Na Figura 31 é demonstrado a variação das concentrações mensais de P-Orto na seção do rio Paraíba do Meio em estudo nos anos de 2016 e 2017.

Figura 31 - Variação das concentrações mensais do Fosfato Orto (P-Orto) do rio Paraíba do Meio (Pilar – AL) para os anos de 2016 e 2017.



Fonte: Elaborado pela autora (2021).

Numa análise comparativa das concentrações mensais de P-Orto na seção do rio em estudo, observa-se uma variação significativa nos meses de novembro e dezembro do ano de 2017 em relação ao ano de 2016 nesses mesmos meses. As maiores concentrações de P-Orto em alguns pontos, estão associadas à ocorrência de forma mais intensa do lançamento de efluentes provenientes das estações de tratamento de esgoto que existem ao longo do local em que ocorreu a coleta das amostras. A comunidade que vive nas proximidades do rio utiliza de sua água para diversas finalidades, além do lançamento de materiais domésticos e o uso inadequado do solo, que gera a diminuição dos níveis de oxigênio e um aumento na concentração de nutrientes e da produtividade no ambiente hídrico, que em consequência provoca um desequilíbrio ecológico que altera todo o ecossistema aquático, possibilitando o processo de eutrofização e consequentemente sérios problemas não só ambientais, mas também socioeconômicos.

Nesse sentido, existe uma série de relações positivas e negativas derivadas dessas atividades, que podem variar em função da influência que os componentes ambientais, clima e precipitação, possam exercer no contexto de todo o ecossistema aquático. Esses fatores são atribuídos também à falta de preservação das margens desse rio, da ausência de um planejamento urbano e ambiental eficiente, que apresentam erosões e o transporte de solos sem cobertura vegetal, além da ocorrência de ocupações irregulares e da pulverização de

herbicidas nas lavouras, sobretudo de cana-de-açúcar, o que intensifica a concentração de fósforo nesse ambiente (SILVA JÚNIOR; CARVALHO; PINHEIRO, 2017).

4.2.3 Oxigênio Dissolvido (OD)

De acordo com Esteves (1998), as principais fontes de oxigênio para a água são a atmosfera e a fotossíntese, e as perdas se dão em função do consumo pela decomposição de matéria orgânica, bem como perdas para a atmosfera, respiração de organismos aquáticos e oxidação de íons metálicos (ferro e manganês). O Oxigênio Dissolvido (OD) se constitui como o principal parâmetro que caracteriza os efeitos oriundos da poluição da água através dos despejos orgânicos. Na seção do rio Paraíba do Meio em estudo, durante os anos hidrológicos de 2016 e 2017, foi possível observar que as concentrações médias mensais de OD foram consideráveis (Tabela 8).

Tabela 8. Médias mensais e anuais do Oxigênio Dissolvido (OD) no rio Paraíba do Meio (Pilar – AL) para os anos de 2016 e 2017. Os meses em destaque representam o período mais chuvoso da região, enquanto que os demais meses, o período mais seco

Mês	Oxigênio Dissolvido (mg. L ⁻¹)	
	2016	2017
Janeiro	1,50	1,80
Fevereiro	6,18	2,74
Março	6,27	1,40
Abril	6,37	2,10
Mai	4,60	2,00
Junho	3,76	8,30
Julho	3,53	7,10
Agosto	4,10	7,10
Setembro	3,98	3,70
Outubro	3,51	7,20
Novembro	2,45	7,20
Dezembro	1,73	6,80
Média	4,00	4,79

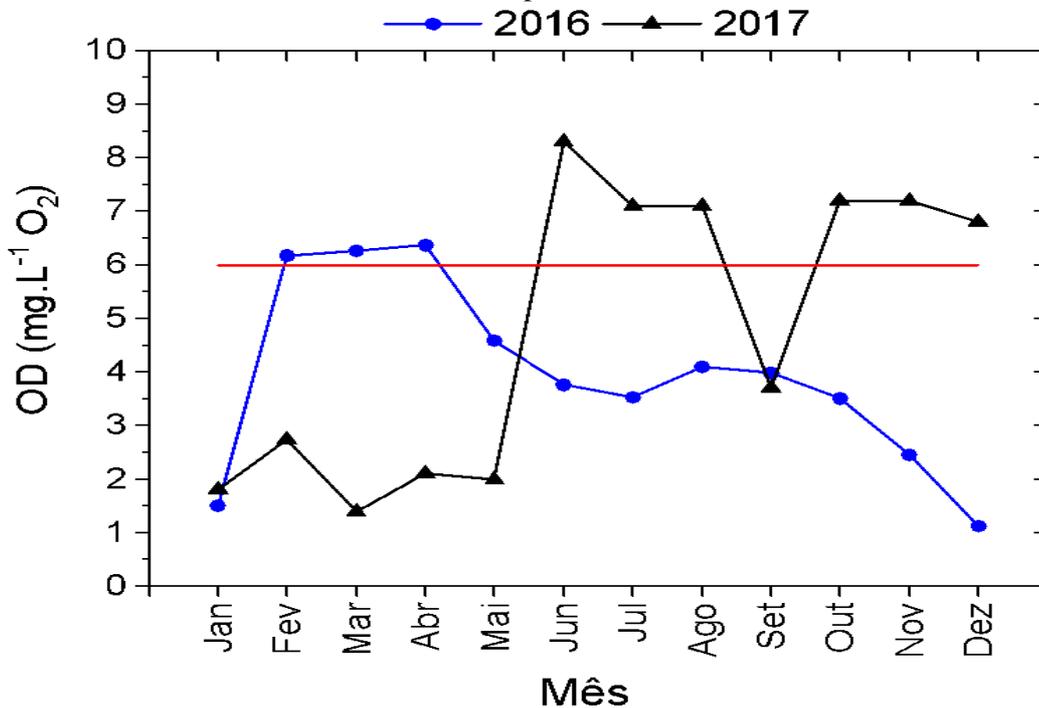
Fonte: Elaborado pela autora (2021).

Verificou-se que as médias mensais de OD na seção do rio em estudo, variaram entre 1,50 mg.L⁻¹ (dezembro) e 6,37 mg.L⁻¹ (abril) no ano de 2016 e 1,40 mg.L⁻¹ (março) e 8,30 mg.L⁻¹ (junho) em 2017. No período mais chuvoso da região (março a agosto), a média do OD no ano de 2016 foi de 4,77 mg.L⁻¹ e em 2017 essa média foi de 4,66 mg.L⁻¹, enquanto que no período mais seco (setembro a fevereiro) a média do OD em 2016 foi de 3,23 mg.L⁻¹ e em 2017 foi de 4,91 mg.L⁻¹. As médias mensais de OD nos primeiros meses de 2017 foram menores, comparando-se com os demais meses, em função do período de estiagem e consequentemente as baixas vazões. Tal situação merece destaque, pois geralmente valores

abaixo de 2 mg.L^{-1} é caracterizado como hipoxia, que indica baixa concentração de oxigênio, inferindo-se a presença de macrófitas aquáticas, que influencia na redução de OD no rio, as quais quando morrem, ocorre um consumo maior de oxigênio durante o processo de decomposição, alterando a qualidade da água.

Na Figura 32 é demonstrado a variação dos níveis mensais de Oxigênio Dissolvido (OD) na seção do rio Paraíba do Meio em estudo nos anos de 2016 e 2017 em comparação ao nível padrão estabelecido pela resolução do CONAMA.

Figura 32 - Variação dos níveis de Oxigênio Dissolvido (OD) do rio Paraíba do Meio (Pilar – AL) para os anos de 2016 e 2017. A linha vermelha representa o máximo padrão de OD para rios estabelecido pelo CONAMA.



Fonte: Elaborado pela autora (2021).

A resolução do CONAMA n° 357/2005 o limite de OD na água de um rio não pode ser inferior a 6 mg.L^{-1} , conforme demonstra a linha em vermelho na Figura 31. Dessa forma, observa-se que as médias mensais de OD no rio Paraíba do Meio nos anos de 2016 e 2017, estiveram, em sua maioria, fora dos padrões estabelecidos pelo CONAMA, com exceção dos meses de fevereiro, março e abril do ano de 2016, e junho, julho, agosto, outubro, novembro e dezembro de 2017, que apresentaram médias mensais de OD dentro dos padrões, acima do limite mínimo. Santos (2020), conforme os resultados de OD obtidos nas análises realizadas em seu trabalho, no mesmo rio em estudo, para o ano de 2013, constatou que apenas durante os meses de junho ($8,49 \text{ mg.L}^{-1}$), julho ($7,33 \text{ mg.L}^{-1}$), agosto ($7,27 \text{ mg.L}^{-1}$) e novembro ($8,16 \text{ mg.L}^{-1}$) as concentrações mensais de OD estiveram dentro dos padrões estabelecidos pelo

CONAMA.

4.2.4 Salinidade

A salinidade constitui-se como um importante parâmetro no que diz respeito a quantidade de sais dissolvidos encontrados na água de um determinado ecossistema aquático, de maneira que quando ocorrem alterações em seus níveis, outros parâmetros químicos, físicos e biológicos podem sofrer influência, principalmente nos processos do metabolismo dos seres aquáticos. A Tabela 9 demonstra as médias mensais e anuais da salinidade no rio Paraíba do Meio no anos de 2016 e 2017.

Tabela 9. Médias mensais e anuais da Salinidade no rio Paraíba do Meio (Pilar – AL) para os anos de 2016 e 2017. Os meses em destaque representam o período mais chuvoso da região, enquanto que os demais meses, o período mais seco

Mês	Salinidade (g.L ⁻¹)	
	2016	2017
Janeiro	0,07	0,12
Fevereiro	0,07	0,17
Março	0,09	0,14
Abril	0,10	0,04
Mai	0,21	0,06
Junho	0,04	0,10
Julho	0,11	0,12
Agosto	0,06	0,08
Setembro	0,10	0,08
Outubro	0,12	0,06
Novembro	0,12	0,06
Dezembro	0,09	0,10
Média	0,10	0,09

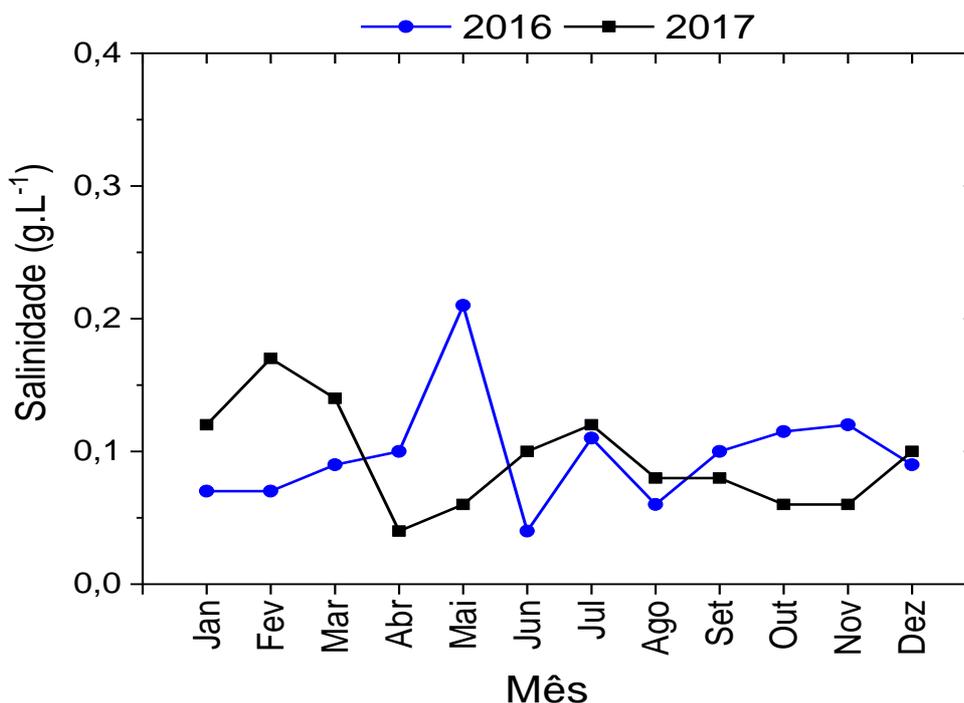
Fonte: Elaborado pela autora (2021).

Ao analisar as médias mensais de salinidade do rio Paraíba do Meio referentes aos anos de 2016 e 2017, expressas em g.L⁻¹ que é o equivalente a ‰ (partes por mil), verificou-se uma variação de 0,06 g.L⁻¹ (agosto) e 0,21 g.L⁻¹ (maio) em 2016 e 0,04 g.L⁻¹ (abril) e 0,17 g.L⁻¹ (fevereiro) em 2017. Nos meses mais chuvosos na região, a média de salinidade foi de 0,10 g.L⁻¹ no ano de 2016, enquanto que no ano de 2017, a média foi de 0,26 g.L⁻¹, indicando uma influência das chuvas e vazões mais significativa. Estas alterações das médias de salinidade ao longo dos meses dos anos em estudo, sobretudo nos valores mais altos, pode indicar a interferência do processo do intemperismo químico, bem como do processo de lixiviação, que agregam à água do rio uma composição salina oriunda das rochas adjacentes e/ou mesmo do solo.

A Figura 33 demonstra a variação dos níveis mensais de salinidade na seção do rio

Paraíba do Meio em estudo nos anos de 2016 e 2017.

Figura 33 - Variação dos níveis de salinidade do rio Paraíba do Meio (Pilar – AL) para os anos de 2016 e 2017. A linha vermelha representa o máximo padrão de salinidade para rios estabelecido pelo CONAMA.



Fonte: Elaborado pela autora (2021).

De acordo com a resolução do CONAMA n° 357/2005, os níveis de salinidade na água de ecossistemas aquáticos de água doce deve ser igual ou inferior a 0,5 ‰, e ao analisar a Figura 32, observa-se que não houveram médias que excederam esse padrão, o que significa que os níveis médios mensais de salinidade para a água do rio Paraíba do Meio na seção em estudo, nos anos de 2016 e 2017, estiveram todos dentro do padrão estabelecido pela referida resolução, o que pode estar atrelado à pouca influência do processo do intemperismo e lixiviação nessa região. Entretanto, no ano de 2013, Santos (2020) encontrou valores significativos de salinidade para o mesmo rio em seu estudo, no qual foi verificada uma média de 1,34 ‰ no mês de maio, único valor fora do padrão determinado pelo CONAMA.

4.2.5 Turbidez

O parâmetro turbidez possui íntima relação com o material em suspensão em um determinado ecossistema aquático, sendo muito importante a sua análise para o monitoramento da qualidade de águas superficiais. É causada, sobretudo, pela presença de materiais sólidos em suspensão (silte, argila, sílica ou colóides, algas, entre outros), os quais podem ser originados pela erosão dos solos, pela mineração, ou até mesmo através das

indústrias ou efluentes domésticos lançados na água. Esteves (1998) define a turbidez como a medida de sua capacidade de dispersar a radiação. A Tabela 10 destaca as médias mensais e anuais da turbidez (UNT - Unidades Nefelométricas de Turbidez) referentes à seção do rio Paraíba do Meio em estudo, nos anos de 2016 e 2017.

Tabela 10. Médias mensais e anuais da Turbidez (UNT) no rio Paraíba do Meio (Pilar – AL) para os anos de 2016 e 2017. Os meses em destaque representam o período mais chuvoso da região, enquanto que os demais meses, o período mais seco

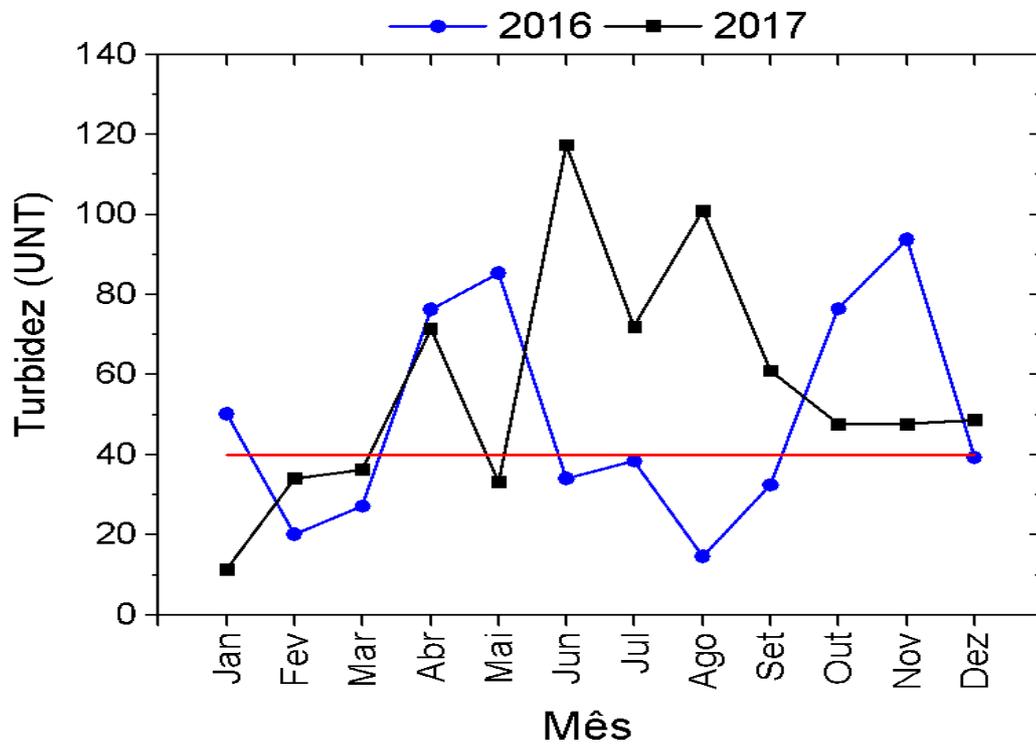
Mês	Turbidez (UNT)	
	2016	2017
Janeiro	50,30	11,40
Fevereiro	20,20	34,13
Março	27,25	36,33
Abril	76,35	71,48
Mai	85,40	33,19
Junho	34,15	117,40
Julho	38,45	72,00
Agosto	14,65	101,00
Setembro	32,50	61,00
Outubro	76,55	47,70
Novembro	93,80	47,70
Dezembro	39,30	48,70
Média	49,08	56,84

Fonte: Elaborado pela autora (2021).

Analisando a Tabela 10, verificou-se médias mensais de turbidez (UNT) significativas na seção do rio Paraíba do Meio em estudo para os dois anos, as quais variaram entre 14,65 UNT (agosto) e 93,80 UNT (novembro) no ano de 2016 e 11,40 UNT (janeiro) e 117,40 UNT (junho) em 2017. No período mais chuvoso da região (março a agosto), houveram as taxas mais elevadas de turbidez, sobretudo no ano de 2017, em que a média nesse período foi de 71,9 UNT, e de 46,04 UNT em 2016. Destaca-se que a comum retirada da mata ciliar pela população no local e a conseqüente elevação dos processos erosivos podem ter provocado os altos níveis de turbidez, que por sua vez, podem atenuar a penetração da luz na coluna d'água, levando a redução de sua transparência.

A Figura 34 apresenta as variações dos níveis de turbidez na seção do rio Paraíba do Meio em estudo nos anos de 2016 e 2017 e compara com o nível padrão estabelecido pela resolução do CONAMA.

Figura 34 - Variação dos níveis de turbidez do rio Paraíba do Meio (Pilar – AL) para os anos de 2016 e 2017. A linha vermelha representa o máximo padrão de turbidez para rios estabelecido pelo CONAMA.



Fonte: Elaborado pela autora (2021).

Os níveis de turbidez na água doce de um determinado ecossistema aquático, conforme a resolução do CONAMA nº 357/2005, deve ser de até 40 UNT, o que indica que uma parte significativa das médias mensais de turbidez na seção do rio Paraíba do Meio, tanto em 2016 como em 2017, estiveram acima desse padrão, sobretudo no ano de 2017, em que essas variações se deram de forma mais significativa do que no ano de 2016, indicando a forte interferência dos altos níveis de precipitação nos meses que ultrapassaram o valor de 40 UNT, que acabou elevando a quantidade de materiais sólidos transportados pelo escoamento da água do rio, assim como a grande presença de material em suspensão, além das atividades derivadas da mineração e o lançamento do esgoto doméstico e industrial muito comum na região. Conseqüentemente, essas médias mensais elevadas prejudicou a fotossíntese das algas e plantas aquáticas.

Bulhões et al. (2018), em seu estudo realizado numa seção do rio São Francisco que percorre o perímetro urbano do município e Pão de Açúcar, sertão alagoano, no período de outubro de 2014 até março de 2017, rio este de grande porte, diferentemente do rio Paraíba do Meio que é de pequeno porte, encontraram variações de turbidez entre 0,01 UNT em março de 2015 e 47 UNT em junho de 2016. Comparando-se esses valores com os que foram apresentados nessa pesquisa, destaca-se que em função dos altos níveis de precipitação

ocorridos no recorte temporal estudado e a localidade onde foram realizadas as coletas, as variações de turbidez no rio Paraíba do Meio foram significativamente bem maiores. Santos (2020), que também realizou um estudo no rio Paraíba do Meio, constatou uma variação de turbidez entre 6,2 UNT a 97,5 UNT, no ano de 2013, com alguns valores também fora do padrão estabelecido pelo CONAMA.

4.2.6 Temperatura

A maior parte da superfície do planeta Terra é coberta por água e sua influência sobre o clima e sobre a os próprios ecossistemas aquáticos é necessária para a manutenção dos sistemas a eles interligados. A temperatura da água exerce grande influência na atividade biológica e crescimento de organismos, além disso, ela pode influenciar nas características físicas e químicas da biota dos corpos hídricos. Organismos tais como peixes, insetos, zooplâncton, fitoplânctons e outras espécies aquáticas necessitam de determinadas temperaturas para sobreviver. Quanto a sua influência química a temperatura pode contribuir para a alteração das taxas de reações químicas que, geralmente, são maiores com o aumento da temperatura e vice-versa (USGS, 2018). Assim, destacam-se na Tabela 11 as temperaturas médias mensais da água do rio Paraíba do Meio para os anos de 2016 e 2017.

Tabela 11. Médias mensais e anuais da Temperatura no rio Paraíba do Meio (Pilar – AL) para os anos de 2016 e 2017. Os meses em destaque representam o período mais chuvoso da região, enquanto que os demais meses, o período mais seco

Mês	Temperatura (°C)	
	2016	2017
Janeiro	29,88	28,20
Fevereiro	29,60	28,00
Março	27,06	28,90
Abril	24,04	29,60
Mai	29,72	27,00
Junho	28,63	26,00
Julho	24,15	22,00
Agosto	25,27	19,50
Setembro	24,00	24,00
Outubro	27,76	24,00
Novembro	28,94	25,00
Dezembro	29,92	27,00
Média	27,41	25,55

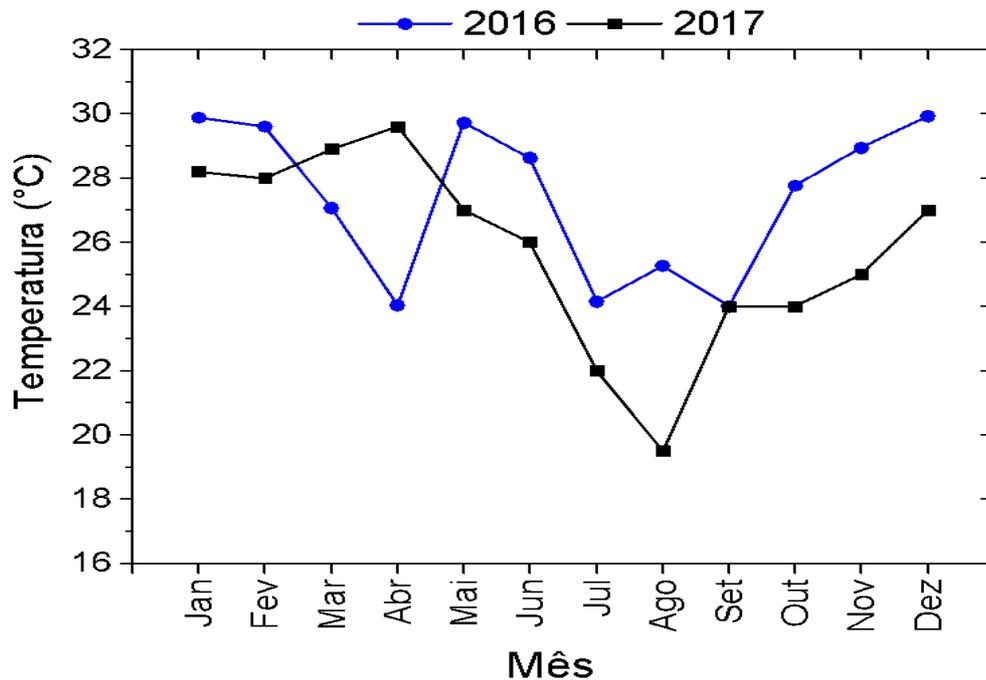
Fonte: Elaborado pela autora (2021).

Analisando as médias mensais de temperatura da superfície da água do rio Paraíba do Meio, percebe-se que em 2016 a média anual foi maior que a de 2017. Além disso, durante o período seco que vai desde setembro a fevereiro a média foi de 28,35 °C com máxima no mês de dezembro. A temperatura média para o período chuvoso foi 26,48 °C, quase 2°C a menos

que no período seco. A temperatura mínima ocorreu em setembro, fora do período chuvoso da estação de inverno da região. Em 2017 ocorreram temperaturas menores, com a mínima no mês de agosto e a máxima em abril. A mínima no mês de agosto coincide com as temperaturas mínimas do ar, que geralmente ocorrem neste mesmo período. A temperatura média para o período seco foi de 25,6 °C e para o período chuvoso foi similar, ficando em 25,5 °C.

Uma análise complementar pode ser desenvolvida através do gráfico presente na Figura 35, onde se é capaz de observar as flutuações dos valores de temperatura média mensal da superfície da água do rio Paraíba do Meio para os anos de 2016 e 2017.

Figura 35 - Variação dos níveis de temperatura do rio Paraíba do Meio (Pilar – AL) para os anos de 2016 e 2017.



Fonte: Elaborado pela autora (2021).

Percebe-se que as temperaturas do ano de 2016 não possuem uma grande amplitude em relação à média e em relação ao valor mínimo e máximo. A máxima amplitude em relação à média foi de -3,41°C que ocorreu no mês de setembro, cujo pode ser observado na Tabela 11. Contudo, quando se analisa a diferença entre a temperatura máxima e mínima vê-se que a amplitude é de 5,92 °C (entre os meses de setembro e dezembro). Diferente do ano de 2016, 2017 teve maior amplitude entre os extremos indo de 19,5 °C a 29,6 °C, ou seja, 10,1 °C de diferença (entre os meses de abril e agosto). Em relação a amplitude máxima da média o mês de abril apresentou uma diferença de 4,05 °C a mais do que a média anual. É válido destacar que, a descendência da curva do ano de 2017 provavelmente está diretamente relacionada a

diminuição dos fluxos de radiação solar devido a entrada do inverno, assim como os valores mínimos de julho, agosto e setembro em 2016.

4.2.7 Potencial Hidrogeniônico (pH)

O pH da água possui inúmeras variáveis ou parâmetros, os quais formam uma interligação essencial à manutenção da água. Entretanto, pode-se destacar, entre as importâncias do pH, que este pode determinar a solubilidade (quantidade de substâncias que podem ser dissolvida na água) e capacidade biológica da água (quantidade de substâncias que podem ser utilizada pela vida aquática). Entre essas substâncias, destacam-se os constituintes químicos como o fósforo, nitrogênio e carbono além de alguns metais pesados (USGS, 2019). Daí aparece a importância do estudo do pH em rios, os quais têm como principais substâncias dissolvidas o fósforo e o nitrogênio. A Tabela 12 apresenta os valores mensais de pH observados com base nas amostras de água do rio Paraíba do Meio para os dois anos de estudo.

Tabela 12. Médias mensais e anuais do Potencial Hidrogeniônico (pH) no rio Paraíba do Meio (Pilar – AL) para os anos de 2016 e 2017. Os meses em destaque representam o período mais chuvoso da região, enquanto que os demais meses, o período mais seco

Mês	pH	
	2016	2017
Janeiro	7,32	6,83
Fevereiro	7,14	6,92
Março	7,32	6,60
Abril	7,39	6,42
Mai	7,31	7,30
Junho	7,60	7,40
Julho	7,59	7,20
Agosto	7,33	7,60
Setembro	7,66	7,30
Outubro	7,22	7,00
Novembro	7,29	6,99
Dezembro	7,36	7,10
Média	7,38	7,06

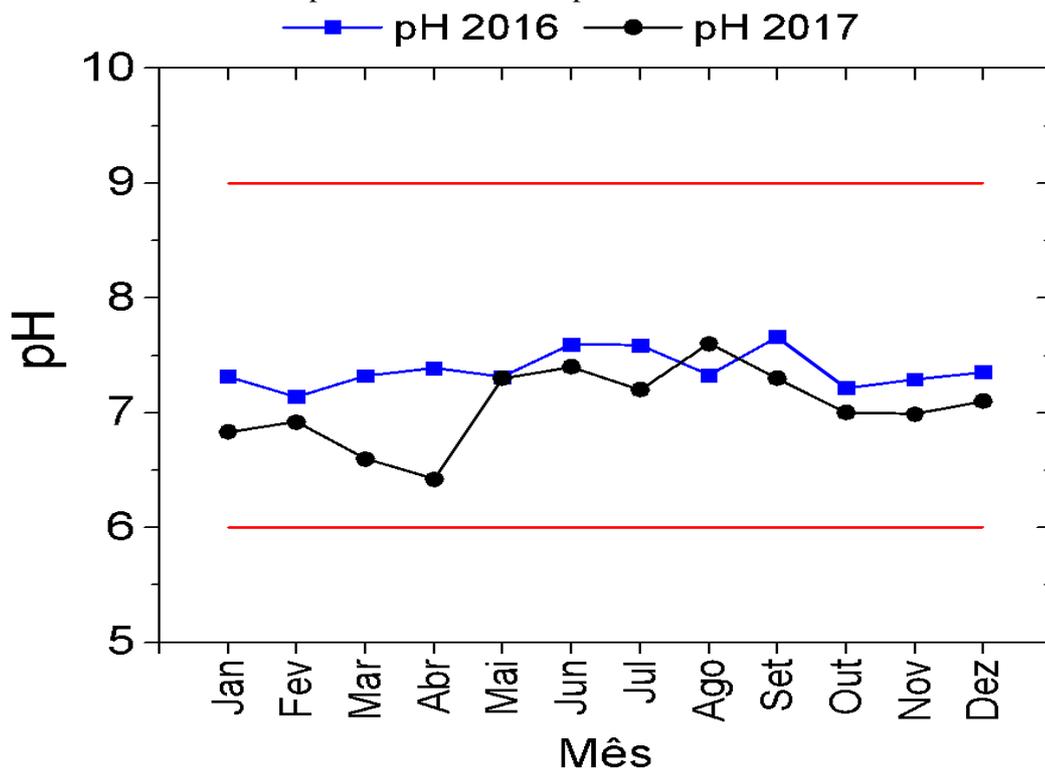
Fonte: Elaborado pela autora (2021).

O pH assim como outros parâmetros químicos da água, é influenciado por mudanças no ambiente aquático que influenciam a qualidade da água e também pela precipitação. O pH tende a não variar muito a depender do tipo de ambiente aquático, no caso do rio Paraíba do Meio este variou entre 7,14 (fevereiro) e 7,66 (setembro) no ano de 2016, com média de 7,38. Para o período seco do mesmo ano a média foi de 7,33 e para o período chuvoso foi 7,42. Em 2017 o pH variou mais e teve valor mínimo de 6,42 e máximo de 7,60 em abril e agosto,

respectivamente. Borda (2016) avaliou parâmetros físico, químicos, biológicos e ecológicos do rio Turvo afluente do rio Pardo pertence a bacia do Médio Paranapanema, as amostras foram colhidas em pontos do rio e mostraram um pH variando entre 6,5 e 7,5 praticamente a mesma amplitude que o pH do rio Paraíba do Meio, por serem rios de porte semelhante e sofrer por processos antropogênicos parecidos.

A variação mensal do pH para os anos de 2016 e 2017 além dos limites máximo e mínimos do CONAMA para os ambientes lóticos é mostrada na Figura 36.

Figura 36 - Variação dos níveis de pH da água do rio Paraíba do Meio (Pilar – AL) para os anos de 2016 e 2017. As linhas vermelhas (superior e inferior) representam o máximo e mínimo padrão de pH para rios estabelecido pelo CONAMA.



Fonte: Elaborado pela autora (2021).

O pH do rio Paraíba do Meio como destacado anteriormente, variou entre 6,4 e 7,66 durante os dois anos estudados. Essa variação situa-se dentro dos limites permitidos pela resolução de nº 357/2005 do CONAMA que varia de 6,0 a 9,0 como está destacado na figura através de listras vermelhas, fora desse limiar a água é considerada poluída e imprópria para uso. A variação máxima do pH em relação a média para 2016 ocorreu no mês de setembro (0,285) e para o ano de 2017 ocorreu em abril (- 0,635). Assim, pode-se determinar que a água rio em questão é classificada como neutra, ao menos ao longo dos anos de 2016 e 2017.

4.2.8 Condutividade Elétrica

A condutividade elétrica é frequentemente medida em sistemas hídricos sendo utilizada como um indicador do nível de mineralização da água, ou seja, serve como indicação da concentração total de íons disponíveis na água. A água pura não carrega íons de eletricidade, contudo na natureza nenhuma água é totalmente pura e passa a ter substâncias de todos os tipos dissolvidas nela. A importância do estudo da condutividade elétrica encontra-se justamente na necessidade de se saber o quanto um determinado ambiente aquático é capaz de conduzir eletricidade, sendo uma variável de medição indireta da quantidade de substâncias e quais tipos de substâncias estão dissolvidas na água (USGS, 2018b). Desta feita, a Tabela 13 mostra os valores mensais de condutividade elétrica para 2016 e 2017 e suas respectivas médias anuais para o rio Paraíba do Meio.

Tabela 13. Médias mensais e anuais da Condutividade Elétrica no rio Paraíba do Meio (Pilar – AL) para os anos de 2016 e 2017. Os meses em destaque representam o período mais chuvoso da região, enquanto que os demais meses, o período mais seco

Mês	Condutividade Elétrica ($\mu\text{S.cm}^{-1}$)	
	2016	2017
Janeiro	178,15	945,60
Fevereiro	163,15	1.288,38
Março	166,70	1.054,00
Abril	198,65	157,80
Maio	707,30	232,60
Junho	94,15	259,20
Julho	381,60	236,00
Agosto	152,30	216,20
Setembro	196,20	205,30
Outubro	176,10	169,10
Novembro	207,55	169,00
Dezembro	140,85	164,00
Média	230,23	424,77

Fonte: Elaborado pela autora (2021).

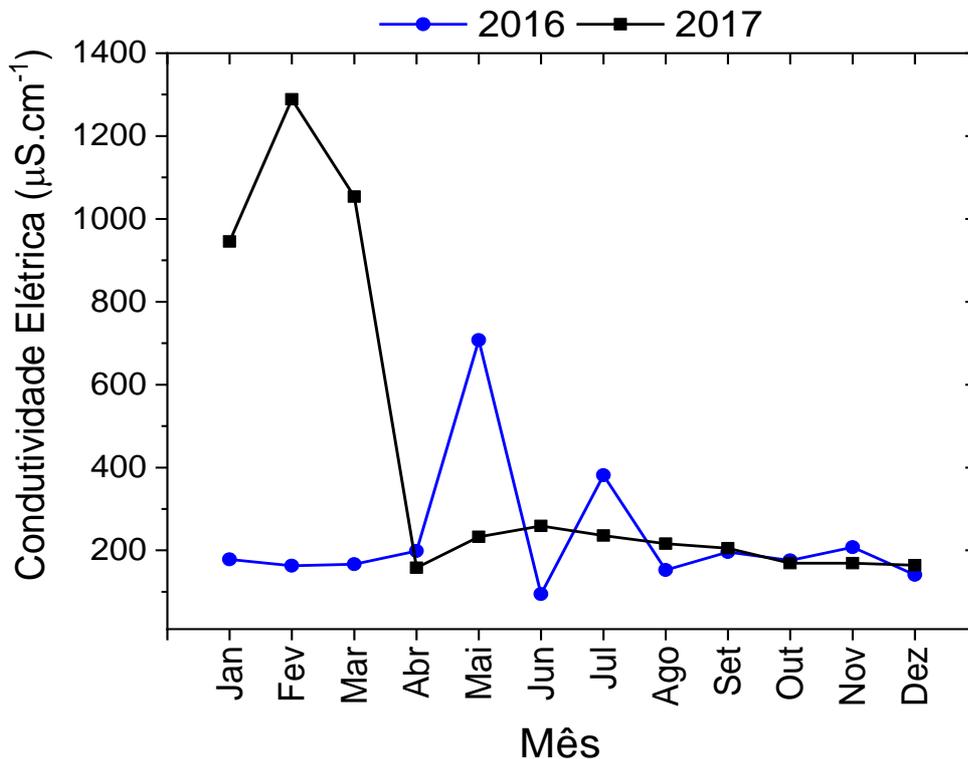
A condutividade elétrica como observada na tabela é medida em microsiemens por centímetro ($\mu\text{S.cm}^{-1}$). Não existe um padrão definido de condutividade elétrica para água doce, contudo de acordo com o Mary River Catchment Coordinating Committee (MRCCC) com sede na Austrália a condutividade elétrica padrão para águas doces pode variar entre 0 e $1.500 \mu\text{S.cm}^{-1}$ e valores típicos da água do mar possuem valores por volta de $50.000 \mu\text{S.cm}^{-1}$ (MRCCC, 2013). Entre 0 e $800 \mu\text{S.cm}^{-1}$ a água é considerada boa para o uso e consumo humano, de 800 até $2.500 \mu\text{S.cm}^{-1}$ ela pode ser consumida com atenção e ainda utilizada para algumas atividades, acima de $2.500 \mu\text{S.cm}^{-1}$ o consumo não é mais recomendado, contudo

atinge-se o limiar para utilização na agropecuária aos $6.000 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$.

Com isso, é possível observar que, em 2016 a condutividade elétrica máxima ocorreu no mês de maio e está dentro dos padrões de boa qualidade o valor mínimo foi em junho. A média do período seco foi $177 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ e do período chuvoso $283,45 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ demonstrando que existe uma possível relação entre o aumento da precipitação pluvial e a condutividade elétrica da água. No ano de 2017, o máximo ocorreu em fevereiro e o mínimo em abril, o valor máximo deste ano excedeu o primeiro limiar de condutividade para boa qualidade no consumo e uso, contudo ainda assim está dentro do limiar para águas doces. A média para o período seco foi $490,23 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ e para o período chuvoso $359,30 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$, destacando-se que a baixa quantidade de chuvas no início do ano pode ter acarretado no aumento da condutividade elétrica, aumento este bem maior do que o causado pelo aumento da precipitação.

Os valores mensais da condutividade elétrica da água do rio Paraíba do Meio estão dispostos para análise gráfica na Figura 37 através dos quais é possível tomar algumas conclusões.

Figura 37 - Variação dos níveis de condutividade elétrica do rio Paraíba do Meio (Pilar – AL) para os anos de 2016 e 2017.



Fonte: Elaborado pela autora (2021).

Percebe-se o contraste existente entre as curvas da condutividade de 2016 e 2017. A curva de 2016 tem padrão mais irregular no meio do ano, durante o período chuvoso, entre os meses de abril e agosto, enquanto que no ano de 2017 percebe-se os elevados valores nos três

primeiros meses do ano, antes do início das grandes chuvas que ocorreram na região durante o ano, após março o padrão da condutividade elétrica é mais homogêneo e sem muitas alterações. Ressalta-se que a vazão e precipitação são variáveis passíveis de modificação da condutividade elétrica, contudo existem diversos outros fenômenos que podem estar relacionados com tais mudanças, como é o caso de alterações no entorno do ambiente (construções, desabamentos, etc) e despejo de dejetos sólidos e líquidos provenientes das zonas urbanas, industriais e agrícolas, todos estes processos podem alterar a quantidade de substâncias dissolvidas e, por sua vez, alterar quantidade de íons na água.

4.2.9 Totais de Sólidos em Suspensão (TSS)

No que diz respeito a qualidade da água de um determinado ecossistema aquático, os Totais Sólidos em Suspensão (TSS) se constituem como um importante parâmetro. Santos (2020) ressalta que o TSS são pequenas partículas sólidas que se mantêm em suspensão na lâmina d'água de um determinado ecossistema aquático. Na Tabela 14 são demonstradas as médias mensais e anuais do TSS referentes a seção do rio Paraíba do Meio em estudo, para os anos de 2016 e 2017.

Tabela 14. Médias mensais e anuais dos Totais de Sólidos em Suspensão (TSS) no rio Paraíba do Meio (Pilar – AL) para os anos de 2016 e 2017. Os meses em destaque representam o período mais chuvoso da região, enquanto que os demais meses, o período mais seco

Mês	TSS (mg. L ⁻¹)	
	2016	2017
Janeiro	25,00	3,08
Fevereiro	9,33	48,80
Março	13,00	42,00
Abril	47,33	9,40
Mai	41,80	45,33
Junho	17,62	43,00
Julho	21,96	21,60
Agosto	5,86	52,50
Setembro	12,67	16,00
Outubro	31,17	22,40
Novembro	47,13	16,00
Dezembro	33,55	22,40
Média	25,54	28,54

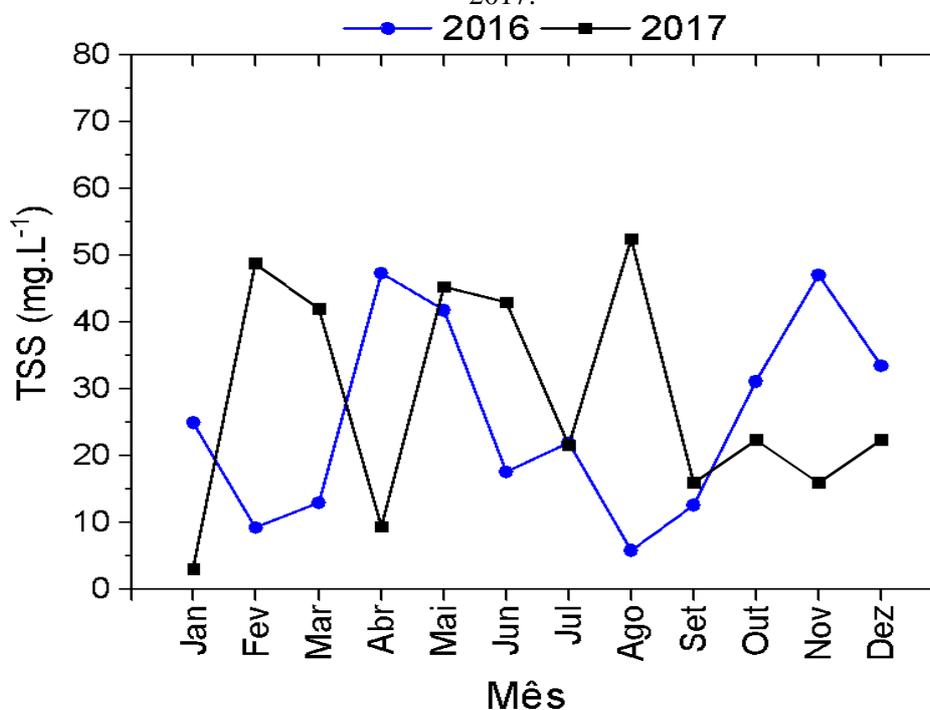
Fonte: Elaborado pela autora (2021).

No ano de 2016, as médias mensais de TSS na seção do rio Paraíba do Meio em estudo variaram entre 5,86 mg.L⁻¹ (agosto) e 47,33 mg.L⁻¹ (abril) e em 2017 essa variação ficou entre 3,08 mg.L⁻¹ (janeiro) e 52,50 mg.L⁻¹ (agosto). Observa-se que no período mais chuvoso da região (março a agosto), a média de TSS foi de 24,60 mg.L⁻¹ em 2016 e de 35,64 mg.L⁻¹ em

2017, sendo a média anual maior no ano de 2017 (28,54 mg.L⁻¹). Comparando-se com estes dados, destaca-se o trabalho de Santos (2020), o qual encontrou uma variação de Sólidos Totais em Suspensão no rio Paraíba do Meio no ano de 2013, de 11,13 mg.L⁻¹ (maio) a 70,00 mg.L⁻¹ (julho).

A Figura 38 demonstra as variações dos níveis mensais de TSS na seção do rio Paraíba do Meio em estudo para os anos de 2016 e 2017.

Figura 38 - Variação dos níveis de TSS do rio Paraíba do Meio (Pilar – AL) para os anos de 2016 e 2017.



Fonte: Elaborado pela autora (2021).

Analisando a Figura 38, observa-se que não existe uma variação muito significativa do TSS entre os dois anos, embora tenha apresentado algumas oscilações ao longo dos meses. Os meses que apresentaram médias mensais de TSS em 2016 maiores que 40 mg.L⁻¹ foram abril, maio e novembro, enquanto que em 2017 as médias mais elevadas que esse valor foram nos meses de fevereiro, março, maio, junho e agosto.

4.3 Avaliação do Índice do Estado Trófico no rio Paraíba do Meio – Alagoas (2016 – 2017)

A avaliação dos níveis de trófia de ecossistemas aquáticos é um dos parâmetros necessários para a determinação da qualidade da água, pois está diretamente relacionado com a concentração de nutrientes e biomassa de algas e microorganismos. A avaliação primordial tem como base a análise das concentrações de fósforo total (PT), nutriente diretamente ligado ao níveis de biomassa presentes na água, e clorofila *a* (CL) que indica a concentração de algas

e fitoplactôns que, por sua vez, contribuem para o processo de eutrofização da água (LAMPARELLI, 2004). Assim, a Tabela 15 foi construída no intuito de apresentar as concentrações médias PT e da CL ao longo dos meses dos anos cuja pesquisa foi realizada.

Tabela 15. Concentrações mensais do fósforo total e da clorofila *a* do rio Paraíba do Meio (Pilar – AL) para os anos de 2016 e 2017. Os meses em destaque representam o período mais chuvoso da região, enquanto que os demais meses, o período mais seco

Mês	2016		2017	
	Fósforo total µg.L ⁻¹ P.HPO ₄₂ ⁻	Clorofila <i>a</i> µg.L ⁻¹	Fósforo total µg.L ⁻¹ P.HPO ₄₂ ⁻	Clorofila <i>a</i> µg.L ⁻¹
Jan	97,08	6,41	47,37	2,29
Fev	67,80	8,24	23,08	81,47
Mar	167,97	6,41	102,03	10,98
Abr	124,82	8,24	53,44	4,39
Mai	124,82	2,75	95,96	3,56
Jun	94,00	1,62	126,32	4,01
Jul	112,49	3,30	126,32	9,18
Ago	117,11	4,49	129,36	10,69
Set	120,20	4,58	111,14	7,48
Out	84,75	1,83	97,48	6,68
Nov	123,28	3,23	69,53	6,42
Dez	101,71	1,83	201,6	10,69

Fonte: Elaborado pela autora (2021).

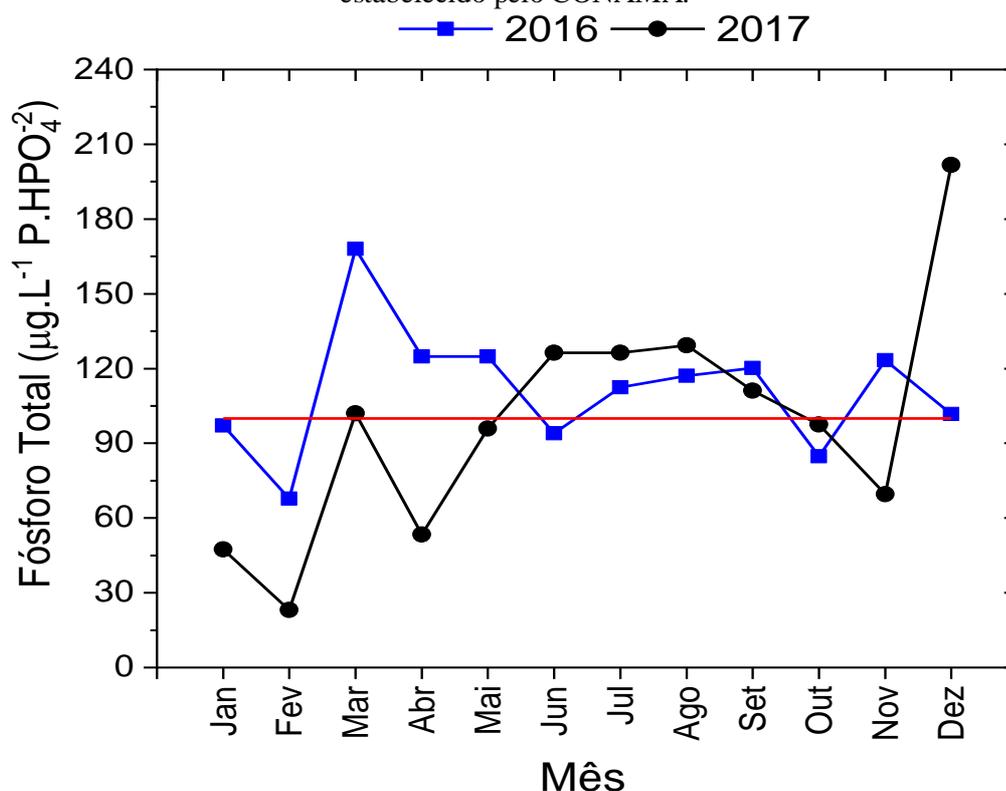
O fósforo total mensal no ano de 2016 não teve variações consideráveis se comparado com o ano de 2017. A diferença entre os meses de fevereiro e março demonstra a amplitude máxima da concentração de fósforo total que ocorreu durante o ano (100,17 µg.L⁻¹), enquanto que em 2017 a variação máxima foi de 106,28 µg.L⁻¹. A concentração média para 2016 foi de 111,34 µg.L⁻¹ e para 2017 foi 98,64 µg.L⁻¹. As concentrações de clorofila *a* também não apresentaram variações significativas em 2016, variando de 1,83 µg.L⁻¹ a 8,24 µg.L⁻¹, com concentração média mensal de 4,41 µg.L⁻¹. Em 2017 a clorofila *a* variou de 2,29 µg.L⁻¹ a 81,47 µg.L⁻¹, bem maior se comparada com o ano anterior. A média mensal da clorofila *a* para este ano foi 13,15 µg.L⁻¹, quase 3 vezes maior do que em 2016. Observa-se valores significativos de fósforo total no período mais chuvoso da região (março a agosto), com médias de 124 µg.L⁻¹ em 2016 e 106 µg.L⁻¹ em 2017.

4.3.1 Fósforo Total

No que diz respeito o Fósforo Total, este é determinado por meio do “somatório de todas as formas de fósforo encontrados no meio aquático” (MEDEIROS et al., 2003). Dentre as formas de fósforo que podem ser encontradas em um determinado ecossistema aquático, destaca-se o fósforo total dissolvido, como o ortofosfato, os colóides orgânicos e os

polifosfatos, o fósforo inorgânico particulado, tanto mineral como adsorvidos a agregados inorgânicos, e o orgânico particulado, seja adsorvido a agregados orgânicos ou de composição de organismos. A Figura 39 demonstra a variação das concentrações mensais de fósforo total registradas no rio Paraíba do Meio (Pilar – AL) para os anos hidrológicos de 2016 e 2017.

Figura 39 - Variação das concentrações mensais de fósforo total do rio Paraíba do Meio (Pilar – AL) para os anos de 2016 e 2017. A linha vermelha representa o nível máximo de fósforo total para rios estabelecido pelo CONAMA.



Fonte: Elaborado pela autora (2021).

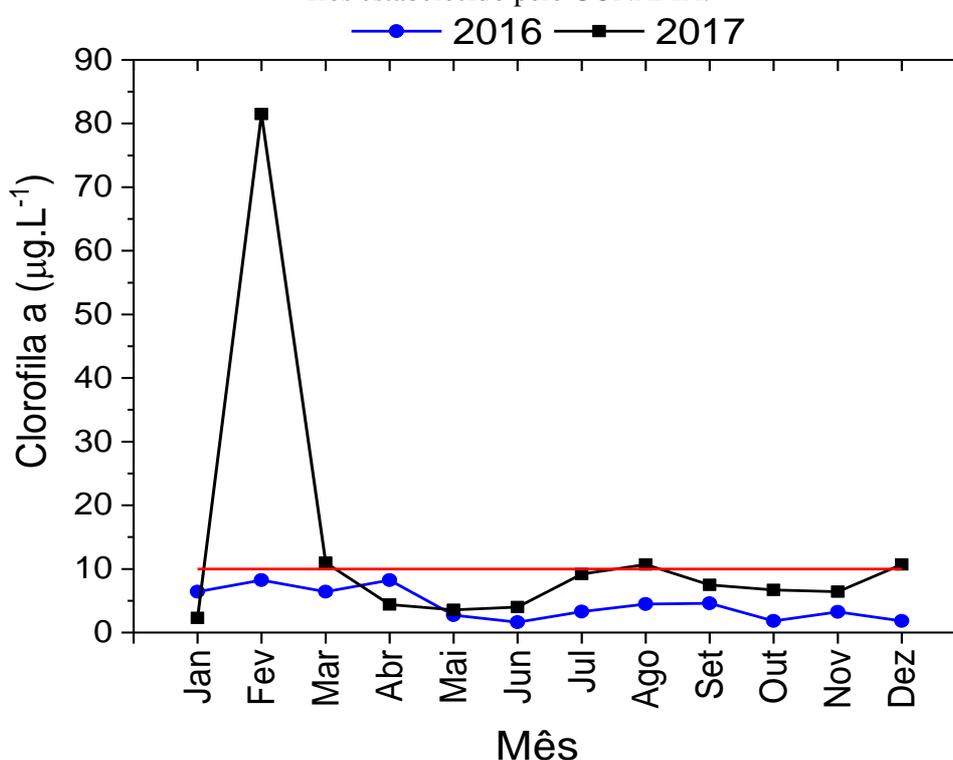
De acordo com a Resolução do CONAMA, os valores de fósforo total registrados em um ambiente lótico e tributários de ambiente intermediário não pode ultrapassar $0,1 \text{ mg.L}^{-1} \text{ P}$ ou $100 \text{ µg.L}^{-1} \text{ P}$. Dessa forma, observou-se que em uma quantidade significativa dos meses, tanto do ano de 2016 como do ano de 2017, as concentrações de fósforo total registradas estiveram fora do padrão estabelecido pela resolução supracitada, uma vez que os níveis maiores que esse padrão variaram entre $101,71 \text{ µg.L}^{-1}$ (dezembro) e $167,97 \text{ µg.L}^{-1}$ (março) em 2016, e entre $102,03 \text{ µg.L}^{-1}$ (março) e $201,60 \text{ µg.L}^{-1}$ em 2017. Os meses que apresentaram valores dentro do padrão foram janeiro, fevereiro, junho e outubro de 2016 (variação entre $84,75 \text{ µg.L}^{-1}$ e $97,08 \text{ µg.L}^{-1}$), e janeiro, fevereiro, abril, maio, outubro e novembro de 2017 (variação entre $23,08 \text{ µg.L}^{-1}$ e $97,48 \text{ µg.L}^{-1}$). Santos (2020) também encontrou valores de fósforo total mensal fora do padrão do CONAMA, com variação entre $50,08 \text{ µg.L}^{-1}$ (setembro) e $249,64 \text{ µg.L}^{-1}$ (maio) para o mesmo rio no ano de 2013.

Os valores que ultrapassaram o valor máximo padrão, sugerem que possa ter ocorrido a contribuição de fósforo para o enriquecimento de nutrientes que conseqüentemente leva ao desenvolvimento do processo de eutrofização artificial, além do acúmulo de sedimentos particulados. Além disso, tais valores também indicam a alta concentração de efluentes domésticos e/ou industriais que foram diretamente lançados no leito do rio, atividade esta considerada como muito comum nas cidades que são drenadas pela bacia hidrográfica do rio Paraíba do Meio. Maia, Carvalho e Carvalho (2015) encontraram valores de Fósforo Total, referentes ao rio São José do Dourados, no estado de São Paulo, inferiores aos que foram encontrados aqui, variando entre $0,27 \mu\text{g.L}^{-1}$ em fevereiro de 2010, e $7,79 \mu\text{g.L}^{-1}$ em novembro de 2010, em um dos pontos amostrados.

4.3.2 Clorofila *a*

Caracterizada como o principal indicador de estado trófico em ecossistemas aquáticos, a clorofila *a* é o tipo mais abundante dentre os tipos de clorofila e sua concentração na água está diretamente relacionada com o quantitativo de algas presentes na água. Dessa forma, a Figura 40 apresenta a variação das concentrações mensais de clorofila *a* da seção em estudo do rio Paraíba do Meio registradas nos anos de 2016 e 2017.

Figura 40 - Variação das concentrações mensais de clorofila *a* do rio Paraíba do Meio (Pilar – AL) para os anos de 2016 e 2017. A linha vermelha representa o nível máximo padrão de clorofila *a* para rios estabelecido pelo CONAMA.



Fonte: Elaborado pela autora (2021).

De acordo com o Art. 14 da seção II da Resolução n° 357/2005 do CONAMA, os níveis de concentração de clorofila *a* em um ecossistema aquático de água doce não pode ultrapassar o valor máximo de 10 $\mu\text{g.L}^{-1}$. Dessa forma, de acordo com as concentrações mensais de clorofila *a* registradas no ano de 2016, não houve nenhum registro que ultrapassou o valor máximo padrão estabelecido, uma vez que a variação dos níveis de clorofila *a* foi entre 1,62 $\mu\text{g.L}^{-1}$ (junho) e 8,24 $\mu\text{g.L}^{-1}$ (fevereiro). Entretanto, as concentrações mensais de clorofila *a* obtidas no ano de 2017 foram mais significativas, e em alguns dos meses os seus valores ultrapassaram o valor máximo padrão, sendo o valor mais expressivo registrado no mês de fevereiro (81,47 $\mu\text{g.L}^{-1}$) e o menor em maio (3,56 $\mu\text{g.L}^{-1}$), indicando a presença de fósforo total nas suas células e a influência algal nos seus níveis mais elevados.

Maia, Carvalho e Carvalho (2015) encontraram valores de clorofila *a* bem elevados no rio São José do Dourados (SP), principalmente no mês de março de 2010, com um valor máximo de 18,30 $\mu\text{g.L}^{-1}$ e um valor mínimo de 0,11 $\mu\text{g.L}^{-1}$ em fevereiro de 2010. Santos (2020), com base nos resultados obtidos em seu trabalho, também no rio Paraíba do Meio no ano hidrológico de 2013, verificou uma variação de Clorofila *a* entre 0,39 $\mu\text{g.L}^{-1}$ (setembro) e 54,06 $\mu\text{g.L}^{-1}$ (fevereiro), valores também dentro dos padrões estabelecidos pelo CONAMA.

4.3.3 Índice do Estado Trófico (IET) no rio Paraíba do Meio

Considerando os valores disponíveis de clorofila *a* e fósforo total referentes à seção do rio Paraíba do Meio em estudo para os anos de 2016 e 2017, foi determinado o Índice do Estado Trófico (IET) de acordo com o método desenvolvido por Carlson (1977), modificado por Lamparelli (2004) para ambientes lóticos (rios). Assim, foi realizado o cálculo do IET (CL) (Equação 15) e do IET (PT) (Equação 16) e determinado o Estado Trófico (ET) para cada variável, e em seguida fez-se a média entre os dois IETs para cada mês (Equação 17), para obter o IET médio, assim como o ET médio, conforme a classificação utilizada pela CETESB (ver Quadro 6). Tais resultados estão expressos na Tabela 16 para o ano de 2016, e na Tabela 17 para o ano de 2017, as quais foram coloridas conforme o quadro mencionado.

Tabela 16. Índice do Estado Trófico (IET) para as concentrações mensais do fósforo total e clorofila *a*, média mensal e classificação do estado trófico da água avaliadas na seção do rio Paraíba do Meio em estudo (Pilar – AL) para o ano de 2016

Mês	Fósforo total (PT)		Clorofila <i>a</i> (CL)		Média	
	IET	ET	IET	ET	IET	ET
Jan	50	Oligotrófico	79	Hipereutrófico	65	Supereutrófico
Fev	48	Oligotrófico	82	Hipereutrófico	65	Supereutrófico
Mar	53	Mesotrófico	79	Hipereutrófico	66	Supereutrófico
Abr	51	Oligotrófico	82	Hipereutrófico	66	Supereutrófico
Mai	51	Oligotrófico	72	Hipereutrófico	62	Eutrófico
Jun	50	Oligotrófico	67	Hipereutrófico	59	Mesotrófico
Jul	51	Oligotrófico	74	Hipereutrófico	62	Eutrófico
Ago	51	Oligotrófico	76	Hipereutrófico	64	Supereutrófico
Set	51	Oligotrófico	76	Hipereutrófico	64	Supereutrófico
Out	49	Oligotrófico	68	Hipereutrófico	59	Mesotrófico
Nov	51	Oligotrófico	73	Hipereutrófico	62	Eutrófico
Dez	50	Oligotrófico	68	Hipereutrófico	59	Eutrófico

Fonte: Elaborado pela autora (2021).

Analisando os resultados obtidos para o IET (PT) nos meses do ano de 2016 na seção do rio em estudo, observou-se que este variou entre 49 (outubro) e 53 (março). Assim, de acordo com o critério estabelecido na classificação para rios considerada pela CETESB, os valores de IET (PT) para praticamente todos os meses deste ano classificou o ET como oligotrófico (critério $47 < \text{IET} \leq 52$), com exceção do mês de maio que apresentou IET (PT) dentro critério $52 < \text{IET} \leq 59$, em que o ET é classificado como mesotrófico. Por outro lado, os resultados mensais de IET (CL) nesse ano foram todos estabelecidos dentro do critério $\text{IET} > 67$, em que o ET é classificado como hipereutrófico, uma vez que seus dados variaram entre 67 (junho) e 82 (fevereiro e abril). Dessa forma, o IET médio em 2016 variou entre 59 e 66.

Tabela 17. Índice do Estado Trófico (IET) para as concentrações mensais do fósforo total e clorofila *a*, média mensal e classificação do estado trófico da água avaliadas na seção do rio Paraíba do Meio em estudo (Pilar – AL) para o ano de 2017

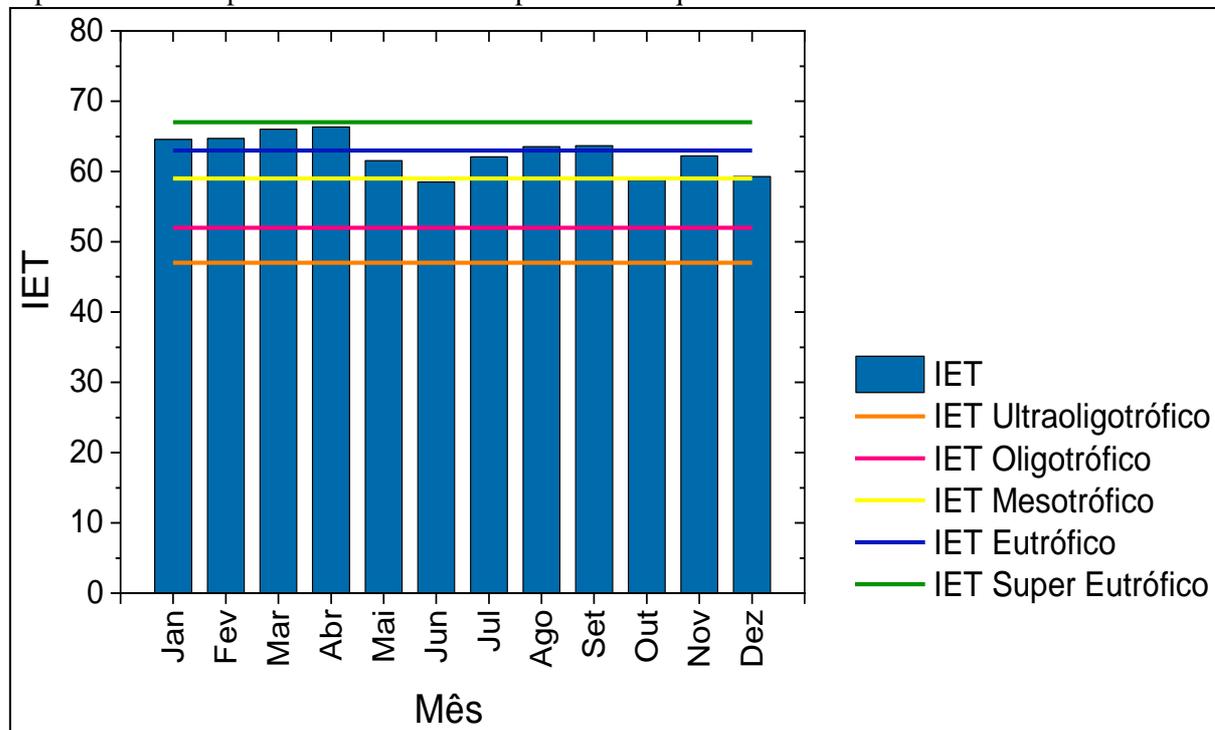
Mês	Fósforo total (PT)		Clorofila <i>a</i> (CL)		Média	
	IET	ET	IET	ET	IET	ET
Jan	46	Ultraoligotrófico	70	Hipereutrófico	58	Mesotrófico
Fev	42	Ultraoligotrófico	101	Hipereutrófico	72	Hipereutrófico
Mar	50	Oligotrófico	84	Hipereutrófico	67	Hipereutrófico
Abr	47	Ultraoligotrófico	76	Hipereutrófico	61	Eutrófico
Mai	50	Oligotrófico	74	Hipereutrófico	62	Eutrófico
Jun	51	Oligotrófico	75	Hipereutrófico	63	Supereutrófico
Jul	51	Oligotrófico	82	Hipereutrófico	67	Supereutrófico
Ago	51	Oligotrófico	84	Hipereutrófico	68	Hipereutrófico
Set	51	Oligotrófico	81	Hipereutrófico	66	Supereutrófico
Out	50	Oligotrófico	80	Hipereutrófico	65	Supereutrófico
Nov	48	Oligotrófico	79	Hipereutrófico	64	Supereutrófico
Dez	54	Mesotrófico	84	Hipereutrófico	69	Hipereutrófico

Fonte: Elaborado pela autora (2021).

No ano de 2017, os resultados de IET (PT) obtidos em seus meses variaram entre 45 (fevereiro – ET ultraoligotrófico) e 54 (dezembro – ET mesotrófico), sendo que a maioria dos meses, março e de maio a novembro, apresentaram valores de IET (PT) dentro do critério $47 < IET \leq 52$, em que o ET (PT) é classificado como oligotrófico. Entretanto, os valores de IET (CL) em todo o ano estiveram dentro do critério $IET > 67$, variando entre 70 (janeiro) e 101 (fevereiro), em que o ET é classificado como hipereutrófico, demonstrando alta concentração de CL na água do rio. Assim, o IET médio neste ano variou entre 58 (janeiro) e 72 (fevereiro), apresentando uma variação de ET significativa entre mesotrófico, eutrófico, supereutrófico e hipereutrófico ao longo do ano.

Considerando as classificações do Índice do Estado Trófico obtidas na seção do rio Paraíba do Meio em estudo, foram elaboradas as Figuras 41 e 42 que demonstram a variação mensal do IET médio para o ano hidrológico de 2016 e 2017.

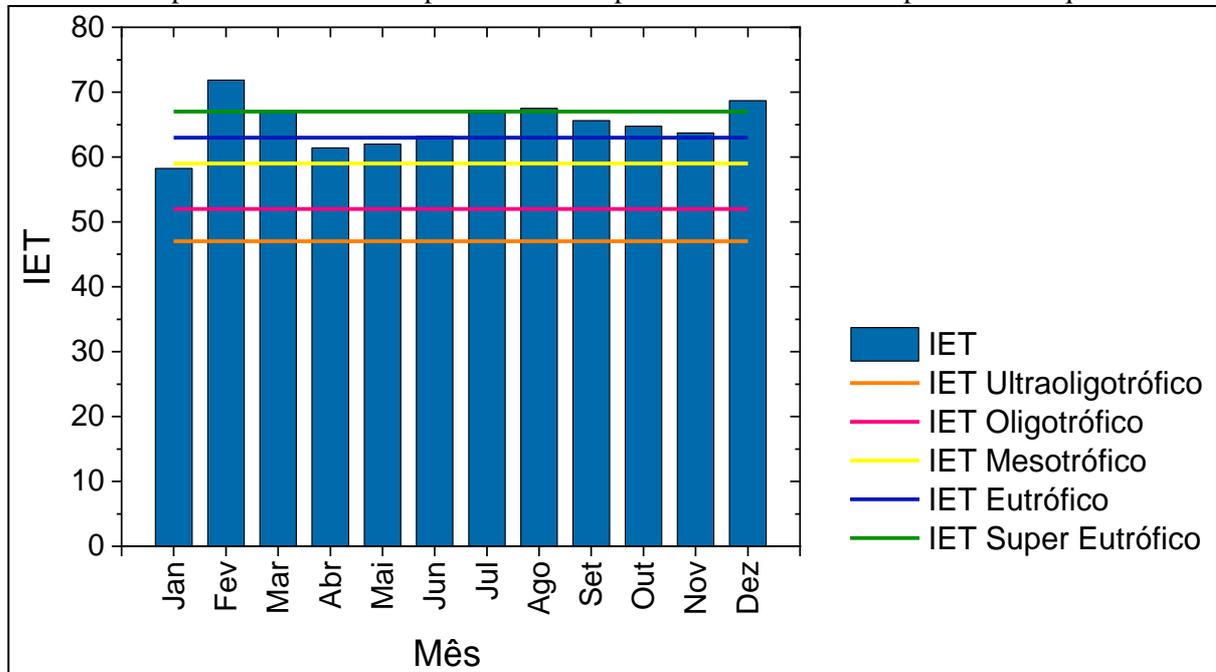
Figura 41 - Variação mensal do Índice do Estado Trófico (IET) médio avaliado na seção do rio Paraíba do Meio (Pilar – AL) para o ano hidrológico de 2016. As linhas retas representam o limite superior da classe para cada estado trófico presentes no quadro 6.



Fonte: Elaborado pela autora (2021).

A variação do IET no decorrer do ano de 2016 expressou-se de forma mediana, com variações maiores entre os meses de maio, junho e outubro e os meses de abril e março. Os quatro primeiros meses do ano juntamente com os meses de agosto e setembro, isto é, seis meses, atingiram classificação de ET dentro do critério $63 < \text{IET} \leq 67$, classificado como supereutrófica. Os meses maio, julho e novembro foram classificados como eutróficos (critério $59 < \text{IET} \leq 63$) e os meses de junho, outubro e dezembro foram classificados como mesotróficos (critério $52 < \text{IET} \leq 59$). Dessa forma, o IET médio anual foi de aproximadamente 63, indicando que o rio Paraíba do Meio, na seção em estudo, no ano de 2016 pode ser classificado como eutrófico, com ocorrência da queda na concentração de oxigênio dissolvido e aumento na concentração de nutrientes, demonstrando uma probabilidade significativa da existência do processo de eutrofização.

Figura 42 - Variação mensal do Índice do Estado Trófico (IET) total (fósforo total e clorofila *a*) avaliado na seção do rio Paraíba do Meio em estudo (Pilar – AL) para o ano hidrológico de 2017. As linhas retas representam o limite superior da classe para cada estado trófico presentes no quadro 6.



Fonte: Elaborado pela autora (2021).

Ao longo do ano hidrológico de 2017, a variação do IET foi considerável, uma vez que as maiores variações ocorreram entre os meses de fevereiro, março, agosto e dezembro, os quais foram classificados dentro do critério $IET > 67$, sendo o ET hipereutrófico (ET não demonstrado no gráfico, pois está acima da classificação supereutrófica). Os meses de maio, junho, setembro, outubro e novembro também apresentaram IET médio significativamente elevado, variando dentro do critério $63 < iet \leq 67$, em que o ET é classificado como supereutrófico. Os meses abril e maio foram classificados como eutróficos (critério $59 < IET \leq 63$) e o mês de janeiro foi classificado como mesotrófico. O IET médio anual foi de aproximadamente 65 (critério $63 < IET \leq 67$), que classifica o ET médio anual como supereutrófico na seção do rio em estudo, no ano de 2017, indicando um ambiente com alta produtividade em relação às condições naturais com ocorrência de florações de água e indícios do processo de eutrofização.

Saad et al. (2013), em seu estudo realizado no Ribeirão Tanque Grande, Guarulhos (SP), no período de agosto de 2011 a julho de 2012, no qual analisaram o fósforo total (PT) e calcularam o IET (PT), constataram um aumento das condições da eutrofização, de maneira que passou do estágio ultraoligotrófico a hipereutrófico, conforme classificação do IET. Gomes e Paula (2019) determinaram e avaliaram o índice de estado trófico em um rio urbano localizado no estado do Ceará (mar/2015 a mar/2016), pelo mesmo método aqui utilizado, no

qual o IET foi obtido através do IET médio do PT e CL, e constataram a predominância dos estados tróficos mesotrófico e hipereutrófico (valores do IET obtidos acima de 52) na maior parte dos pontos e meses analisados, diferente do que foi encontrado no presente trabalho, em que predominou-se os estados tróficos supereutrófico e eutrófico, indicando que a zona urbana possui relevante influência nas alterações dos estados tróficos do rio.

4.4 O processo de urbanização e a bacia hidrográfica do rio Paraíba do Meio

Desde o início de sua existência, a sociedade tem buscado o aperfeiçoamento de seus instrumentos e técnicas, através do trabalho, no objetivo de estabelecer com a natureza uma relação capaz de transformá-la e atender as suas necessidades. Ao longo dos anos, tal atitude vem ocorrendo de forma cada vez mais acelerada, o que tem provocado diversos problemas ambientais, muitos deles irreversíveis. Destaca-se que aproximadamente 55% da população do mundo vive em áreas urbanas, e com projeções para até o ano de 2050, essa proporção tende a aumentar para cerca de 70%. O crescimento urbano no Brasil é uma realidade, e “ao chegar em seus contornos periféricos, ocorre massiva retirada da vegetação natural para ocupação antrópica com expansão de impermeabilização e pavimentação, acarretando danos permanentes ao sistema ambiental” (SANTOS et al., 2021, p. 2). Associado a esses problemas, tem-se também a elevação do fluxo da vazão e a diminuição da infiltração de água no solo, que conseqüentemente provoca as inundações e as enchentes, assim como potencializa os processos erosivos que levam às mudanças hidrológicas e sedimentológicas, afetando a qualidade de vida da população urbana (KANG; MARSTON, 2006).

Santos et al. (2021) ressaltam que uma das principais conseqüências proveniente do processo de urbanização, assim como da retirada da vegetação nativa, são as mudanças climáticas. Além disso, tal processo em conjunto com as modificações dos regimes pluviais ocasiona o aumento dos eventos de chuva, que também é intensificado pelas transformações do solo nas superfícies impermeáveis, proporcionando riscos de erosão hídrica e inundação urbana (SHIKANGALAH et al., 2016). Considerando esses fatores, destacam-se as bacias hidrográficas que estão inseridas nos grandes centros urbanos, não só em âmbito nacional, mas também mundial, onde o número de pessoas que vivem em suas proximidades é significativo, sobretudo a população ribeirinha que vive às margens de rios e que sobrevivem diretamente da pesca, agricultura e criação de animais, havendo também a presença de, além das casas de palafitas, pequenas estruturas como escolas e igrejas, estando exposta aos riscos de cheias e inundações.

No Brasil, o processo de urbanização e a sua expansão ocorreram de maneira desordenada e com planejamento ineficiente, o que levou às ocupações irregulares nas proximidades da bacia do rio Paraíba do Meio, a qual ao longo de seu percurso sofre com intensas transformações oriundas das atividades provocadas pela população urbana que vive nas cidades que abrangem a sua área, às margens de seus rios, principalmente em função dos usos que esta faz de seus recursos hídricos para as mais diversas finalidades. Essa relação histórica entre a sociedade e a bacia do rio Paraíba do Meio gerou diversas implicações socioambientais e econômicas, e sem o devido gerenciamento, intensificou ainda mais estes problemas, ao longo dos anos, provocando o processo de degradação ambiental, afetando a qualidade de suas águas e outros problemas ambientais (SANTOS; MEDEIROS; SANTOS, 2018). Diante desse contexto, Sorensen e Mobini (2017) ressaltam a importância de se analisar individualmente as características das bacias hidrográficas, assim como investigar a área urbana onde os eventos ocorrem.

Nesse sentido, Christofolletti (1974) salienta que a compreensão dos elementos referentes a uma determinada bacia hidrográfica, bem como a drenagem, o tipo de solo e de relevo, são fundamentais para se compreender a dinâmica ambiental, levando em consideração que todos os elementos ocorridos vão refletir de forma direta ou indireta nos rios, o que torna indispensável entender que cada bacia hidrográfica possui padrões específicos e que a análise dos eventos de precipitações e inundações, por exemplo, deve acontecer de maneira independente (GLASER et al., 2010). O Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Paraíba do Meio (PDRH), que também está direcionado às bacias dos rios Remédios e Sumaúma, o qual possui como objetivo o aproveitamento integrado das águas superficiais e subterrâneas dessas bacias, destaca a necessidade do gerenciamento integrado dos recursos hídricos dessas bacias, envolvendo não só a participação dos estados de Alagoas e Pernambuco, mas também dos municípios e da sociedade civil, “de modo a viabilizar o aproveitamento múltiplo, controle, conservação, proteção e recuperação desses recursos em condições de disponibilizá-los para todos os usos em padrões de qualidade satisfatórios” (COTEC, 2001, p.1).

4.4.1 O crescimento urbano e os recursos hídricos do rio Paraíba do Meio – Alagoas

Através da permanente conversão do uso do solo, assim como do consumo dos recursos naturais, a dinâmica do crescimento urbano acontece em um processo que gera alterações na cidade e na paisagem natural de maneira sincronizada. É mediante esse processo de expansão urbana que ocorrem as transformações no ciclo hidrológico natural, sobretudo

por meio das modificações na geomorfologia das bacias hidrográficas e no aumento da superfície impermeável do solo, fatores esses que junto aos impactos causados pelos despejos sanitários que não são tratados, bem como pelos assentamentos humanos nos locais que são ambientalmente frágeis, alteram a hidrografia, os recursos hídricos e outros atributos naturais relacionados. Em função desse crescimento urbano e as conseqüentes alterações hidrológicas nas bacias hidrográficas, a análise das suscetibilidades, vulnerabilidade e riscos associados evidencia que os diferentes níveis de degradação e os diversos impactos estão atrelados ao uso do solo que é imposto pelas atividades urbanas no âmbito das bacias hidrográficas, o qual não se limita à impermeabilização do solo, mas também ao contexto topográfico que é selecionado para ser ocupado, bem como a utilização e ocupação do solo que é realizado nas Áreas de Preservação Permanente (APPs) (SANTOS et al., 2021).

Essa transformação da paisagem natural está atrelada, também, a um recurso de relevância social, econômica, ambiental, que no presente estudo refere-se aos recursos hídricos do rio Paraíba Meio (SANTOS, 2020). A evolução da demanda de recursos hídricos ocorre em função de dois grupos de fatores, o crescimento econômico e demográfico e a eficácia do gerenciamento do uso e controle dos recursos hídricos, de maneira que quanto maior for o crescimento econômico ou quanto maior for a população, maior será a demanda de recursos hídricos, bem como quanto mais eficaz for o gerenciamento dos recursos hídricos, menores serão as perdas e os desperdícios de água. É importante ressaltar que a tendência é que no decorrer dos próximos anos diversas mudanças irão ocorrer, tanto no contexto da população e da economia como no contexto do uso e controle dos recursos hídricos da área do rio Paraíba do Meio, que muitas vezes são influenciadas pelas transformações no ambiente no qual ela está inserida, seja ele estadual, regional, nacional ou internacional, uma vez que os prognósticos são naturalmente imprecisos (COTEC, 2001).

A demanda dos recursos hídricos do rio Paraíba do Meio não é modificada apenas em função dos índices sociais e econômicos, mas também pelo uso e controle desses recursos, embora estes sejam influenciados pelos primeiros. No que diz respeito as condições atuais da qualidade da água deste rio, tanto na área que está situada no estado de Pernambuco, como em toda zona canavieira localizada no estado de Alagoas, estas já não são mais satisfatórias, por efeito da poluição desenfreada provocada pela população, o que tem acarretado em incalculáveis prejuízos, uma vez que tem reduzido a sua oferta para determinados fins, embora a água esteja disponível. Além disso, é importante ressaltar que as enchentes que ocorrem mediante os efeitos da urbanização não estão associadas apenas ao aumento da superfície impermeável, mas também devido às ocupações de áreas de inundação ribeirinha,

assim como de áreas onde ocorrem cheias naturais (COTEC, 2001). Dessa forma, a COTEC (2001, p. 11) afirma que

Infelizmente, a situação atual tende a persistir ou a piorar, se não forem tomadas as providências necessárias para melhor controle das fontes poluidoras, com algum progresso no tratamento dos esgotos domésticos e industriais. Dessa forma em decorrência da falta de saneamento em todas as cidades ribeirinhas e do lançamento de efluentes provenientes da indústria sucroalcooleira, além dos resíduos decorrentes das atividades agrícolas, a poluição será um entrave cada vez maior ao aproveitamento dos recursos hídricos pelos usuários situados a jusante dos pontos de lançamento dos efluentes (COTEC, 2001, p. 11).

Santos (2004, p. 24) destaca que a paisagem e o espaço são continuamente alterados, de maneira que as transformações provocadas pela sociedade possam ser acompanhadas, uma vez que “a forma é alterada, renovada, suprimida para dar lugar à outra forma que atenda às necessidades novas da estrutura social”. Dessa forma, conforme a sociedade vem passando por diversas mudanças ao longo dos anos, outros processos inerentes a ela também acabam sofrendo alterações, como a economia, as relações políticas e as relações sociais. No processo de apropriação e uso do rio Paraíba do Meio, no estado de Alagoas, a sociedade foi transformando a paisagem para atender às suas necessidades, mas isso aconteceu e permanece acontecendo de forma desequilibrada e sem a devida preocupação com a degradação ambiental e os demais problemas ambientais (SANTOS, 2020).

4.4.2 Atividades/implicações socioambientais e econômicas e uso do rio Paraíba do Meio - Alagoas

Diante do contexto da expansão urbana e da demanda pelo uso dos recursos hídricos, como outrora especificado, diversas atividades socioambientais e econômicas são desenvolvidas no entorno das bacias hidrográficas em todo o mundo, sobretudo daquelas localizadas em áreas mais urbanas, com a alta presença populacional vivendo às suas margens, nas cidades situadas ao longo do seu perímetro territorial. Tais atividades, na maioria das vezes desenvolvidas de maneira desordenada e sem o devido gerenciamento, acabam gerando diversas implicações que afetam não só o meio ambiental e o equilíbrio ecológico de um determinado ecossistema aquático, mas também interfere negativamente na economia/renda da população que faz a utilização direta ou indireta desses recursos para diferentes finalidades (COTEC, 2001).

Conforme Santos, Medeiros e Santos (2018), dentre as principais atividades socioambientais e econômicas que são configuradas no entorno do rio Paraíba do Meio, as quais também são desenvolvidas ao longo de toda a sua bacia hidrográfica, destacam-se a pesca, que atualmente se encontra mais escassa, a retirada de areia do leito do rio para

construção civil, as atividades agrícolas baseadas na produção mercantil simples, como o plantio de macaxeira, batata, cana-de-açúcar, alface, coentro, milho, feijão, entre outras, a pecuária simples, além da instalação de bombas de água para irrigação de atividade de agricultura nas proximidades da planície de inundação do rio. Essas atividades, associadas ao crescimento populacional junto à ocupação irregular às margens do rio e o consequente desmatamento da mata ciliar, contribuem significativamente para a geração de efeitos negativos que propiciam a degradação dos recursos hídricos.

Apesar do rio Paraíba do Meio possuir um Plano Diretor de seus recursos hídricos, este não tem muito efeito prático, uma vez que muitos de seus municípios, tanto alagoanos como pernambucanos, como Viçosa (AL), Cajueiro (AL), sobretudo Atalaia (AL) e Pilar (AL) (municípios onde está situada a seção do rio onde foram coletados os dados trabalhados na presente pesquisa), assim como Bom Conselho (PE), Caetés (PE) e Garanhuns (PE), os quais possuem uma taxa significativa de população ribeirinha no entorno do rio, influenciam diretamente na alteração da qualidade da água. Com base nos resultados obtidos nesta pesquisa, em que constatou-se alterações em alguns parâmetros físico-químicos fora dos padrões estabelecidos pelo CONAMA, indica-se a introdução e a descarga de substâncias por meio de efluentes domésticos e industriais despejados diretamente no rio (SANTOS; MEDEIROS; SANTOS, 2018). Ao todo, são 22 municípios que contribuem diretamente com esses valores, os quais abrangem uma população total de aproximadamente 624.014, com saneamento básico de 36,77%, com base no último censo (IBGE, 2021).

O desmatamento da mata ciliar é um dos principais problemas encontrados no rio Paraíba do Meio, o que tem proporcionado o aumento dos processos erosivos fluviais, uma vez que sua importância está diretamente atrelada à proteção de sua nascente e margens e à manutenção do equilíbrio natural e preservação da qualidade hídrica, além de que, conforme Código Florestal (Lei nº 12.651/2012), é proibida a sua retirada por ser caracterizada como uma Área de Proteção Permanente (APP) (MORAIS; SAIS, 2016; SANTOS; MEDEIROS; SANTOS, 2018). Além disso, destaca-se a poluição por esgotos domésticos das cidades e por resíduos sólidos ou industriais e “a depender da natureza da atividade antrópica, os poluentes podem variar em termos de componentes químicos, físico-químicos e bacteriológicos, tanto quanto mais diversificada for a atividade econômica da população” (COTEC, 2001, p. 45).

É comum a retirada das matas ciliares e de encosta para o plantio da cana-de-açúcar, agricultura de subsistência, fruticultura e a criação de gado ao longo do rio Paraíba do Meio, provocando o escoamento superficial e a diminuição da infiltração do solo, e consequentemente os processos de erosão e o carreamento de resíduos sólidos para o interior

do rio. Quanto a atividade que envolve a substituição da vegetação nativa pelo cultivo da cana-de-açúcar nas áreas mais planas e com declividade baixa, tem provocado o processo de desnudação através da renovação cíclica dos canaviais, antes e após as primeiras chuvas, arrastando fertilizantes, herbicidas e pesticidas para a água do rio (COTEC, 2001). Entretanto, tal desmatamento não ocorre apenas em função das atividades agrícolas, pois também há a “destruição da floresta nativa para produção de lenha, carvão e material de construção contribuem para acelerar os impactos sobre a fauna”, levando ao comprometimento da recarga dos mananciais e o assoreamento do rio (COTEC, 2001, p. 59).

A coleta de lixo se dá de forma irregular na área do rio em estudo. Os efluentes dos esgotos domésticos são ricos em nutrientes, os quais junto aos efluentes agrícolas e industriais contribuem para a contaminação da água do rio, tornando-a inviável para os abastecimentos públicos, bem como o uso inadequado do solo e o uso indiscriminado de fertilizantes e defensivos químicos na agricultura. O uso dessas substâncias tóxicas vem prejudicando de forma cada vez mais intensa a qualidade da água do rio, além de outras fontes de poluição, como as rodovias que drenam substâncias tóxicas dos escapamentos de veículos, chorumes de caminhões de lixo e os matadouros e vazadouros a céu aberto (lixões) (COTEC, 2001). Há ainda o déficit quanto ao Sistema de Esgotamento Sanitário Adequado, sem o devido tratamento e disposição de esgoto estruturado (doméstico, industrial ou pluvial) para atender a comunidade. Esses índices socioeconômicos também são característicos de uma população desinformada e carente que vive na área que abrange a área em estudo. Santos, Medeiros e Santos (2018, p. 55) salienta que os moradores do entorno do rio Paraíba do Meio jogam lixo orgânico e inorgânico direto no rio e em suas margens, de modo que

“Os orgânicos entram em processo de decomposição e influem muito na contaminação do rio, por exemplo, restos mortais de animais. Os inorgânicos quando não são levados em épocas de enchentes pelas águas do rio, permanecem visivelmente, pois para se decompor demoram anos, tais como plásticos, pneus, dentre outros” (SANTOS; MEDEIROS; SANTOS, 2018, p.55).

Santos (2020) constatou que dentre os municípios pernambucanos que percorrem o rio Paraíba do Meio, que são os que se localizam mais a montante, apenas quatro possuem a partir de 50% de Esgotamento Sanitário Adequado, como Bom Conselho, Terezinha, Garanhuns e Lagoa do Ouro, enquanto que os demais municípios não foi realizado nem cerca de 50% de Esgotamento Sanitário, indicando o despejo de uma quantidade significativa de efluentes diretamente no rio. Por outro lado, o mesmo autor verificou que a situação de Esgotamento Sanitário nos municípios alagoanos ao longo do rio em estudo, situados mais a jusante, é a mais deficitária do conjunto de toda bacia hidrográfica, sobretudo porque há uma

preocupação ineficiente “por parte do poder público estadual e municipal no sentido de dar uma estruturação adequada, necessária e de direito a população, principalmente no que se refere ao melhor gerenciamento e preservação dos recursos hídricos” (SANTOS, 2020, p. 60).

Além dos problemas ambientais já mencionados, ainda ocorrem outros provocados por enchentes e assoreamentos no rio Paraíba do Meio. No que diz respeito as enchentes, estas possuem causas e consequências semelhantes as de outros rios do Nordeste do Brasil, sendo provocadas por altos níveis de precipitação com escoamento superficial de alta velocidade, por conta da topografia íngreme nas partes altas, bem como do embasamento cristalino aflorante no alto e médio vale, além da retirada de vegetação natural nas nascentes, margens e encostas. Mediante esses fatores, o nível da água do rio se eleva rapidamente, causando inundações nas cidades situadas nas zonas baixas do vale. Tal situação é ainda mais agravante em razão do rio desaguar na laguna Manguaba, que está altamente assoreada e apresenta um pequeno gradiente hidráulico, o que acaba dificultando o escoamento das águas para o oceano, sobretudo quando as enchentes ocorrem em período de maré alta (COTEC, 2001).

Quanto ao assoreamento, este vem ocorrendo no leito do rio em função da redução da lâmina de água do rio Paraíba do Meio, uma vez que os processos erosivos por conta da retirada da mata ciliar tornaram a área de drenagem do rio maior. A retirada dos sedimentos de areia nos bancos que se formam ao longo do curso do rio é comum pela população, a qual, na maioria das situações, é utilizada para aproveitamento na construção civil, constituindo-se como uma atividade econômica que contribui para a renda de muitas famílias ribeirinhas (COTEC, 2001). Entretanto, segundo Santos, Medeiros e Santos (2018, p. 61), essa retirada inapropriada dos sedimentos, tem provocado uma "alteração no regime natural de concentração de nutrientes e sedimentos que, por sua vez, influi no Complexo Lagunar Mundaú-Manguaba em Alagoas”, mas por se tratar de uma fonte de renda, quando esses bancos de areia acabam, o processo de dragagem continua, levando ao desequilíbrio do fluxo e transporte de sedimentos do rio, principalmente por ocorrer sem supervisão técnica, afetando diretamente a biodiversidade aquática (SANTOS; MEDEIROS, SANTOS, 2018).

5 CONCLUSÃO

Analisando o padrão de precipitação e vazão no decorrer dos anos de 1988-2017 no rio Paraíba do Meio, a influência dos volumes de chuva na vazão estão estritamente relacionados, com valores de correlação elevados. Para os anos de 2016 e 2017 a precipitação e vazão também seguiram correlacionadas, principalmente no ano de 2017, apesar de que a variação

da precipitação neste ano foi maior devido aos altos volumes de chuvas ocorridos no período chuvoso. A precipitação e a vazão atuam modificando as concentrações de nutrientes que por sua vez, afeta o comportamento da carga dos nutrientes em um rio. Assim, notou-se que a concentração de fosfato orto e das formas do nitrogênio inorgânico dissolvido (nitrito, nitrato e amônio) durante os anos de 2016 e 2017 foram, em parte, alteradas pela vazão do rio, pois quando houve maior ou menor vazão foi possível notar o aumento e a diminuição da concentração e, por consequência, da carga desses nutrientes no rio, suas concentrações tiveram valores razoáveis ao longo dos anos. Uma análise mais detalhada faz-se necessária para uma conclusão mais precisa acerca do comportamento da água do rio, como a inclusão de mais pontos e períodos de recolhimento das amostras e utilização de outras ferramentas estatísticas comparativas.

Os parâmetros como salinidade, temperatura, condutividade elétrica e pH não foram significativamente alterados pelos níveis de precipitação e vazão, enquanto que o oxigênio dissolvido, turbidez e TSS foram diretamente afetados pelas condições de vazão do rio. Em relação aos padrões do CONAMA, somente o fósforo total, turbidez e oxigênio dissolvido ultrapassaram em boa parte dos meses os limiares definidos, os demais parâmetros permaneceram abaixo dos limiares na grande maioria do tempo. O fósforo total e a clorofila *a*, parâmetros considerados para o cálculo do IET, tiveram valores elevados, principalmente a clorofila *a* que, se analisada independentemente, mostraria que o rio Paraíba do Meio seria classificado com um estado trófico hipereutrófico. Contudo, ao analisar o IET obtido por ambos os parâmetros, pode-se classificar o rio em duas principais zonas de estado trófico: eutrófico e supereutrófico, ainda com alguns meses com condições mesotróficas e hipereutróficas. Assim, pode-se dizer que o rio Paraíba do Meio sofre com o processo de eutrofização e que está estritamente relacionado com o processo de urbanização em seu entorno.

Decerto, devido ao crescimento populacional desordenado, grandes impactos socioambientais e econômicos foram e permanecem sendo configurados ao longo dos anos em todo o mundo, afetando diretamente os recursos naturais, sobretudo os recursos hídricos, em função da grande demanda pelo uso destes por parte da população em geral. As bacias hidrográficas sofrem significativamente com esses usos e os seus efeitos, como é o caso da bacia do rio Paraíba do Meio, que conforme o presente estudo pode-se concluir que o seu curso principal está altamente degradado, sobretudo nas áreas mais urbanizadas e com a presença de populações ribeirinhas vivendo às suas margens, sendo a retirada da mata ciliar, o assoreamento, o lançamento em grandes quantidades de efluentes domésticos e industriais

ao longo do rio e o déficit no sistema de esgotamento sanitário adequado os principais problemas encontrados na região.

Nesse sentido, faz-se necessária uma maior atuação por parte dos órgãos competentes quanto ao gerenciamento dos recursos hídricos do rio Paraíba do Meio, de modo a proporcionar a mitigação dos problemas e o acesso a água de qualidade, estabelecendo uma forma mais equilibrada do uso e apropriação desses recursos, reduzindo o consumo desnecessário, com projetos que tenham aplicabilidade prática, os quais podem ser ligados a educação ambiental e ao desenvolvimento sustentável, que viabilizem a diminuição dos altos índices de poluição na área e norteiem a relação da população local com o rio, para que as próximas gerações também possam ter esse acesso.

Dentre as principais ações que podem ser consideradas para a mitigação e/ou solução destes problemas, destaca-se a Educação Ambiental, por meio da qual a sociedade pode ser conscientizada, promovendo mudança no seu comportamento quanto ao meio ambiente e ao uso dos recursos hídricos, de modo que a poluição dos ambientes aquáticos seja evitada, além de promover a conservação e o desenvolvimento sustentável. Destaca-se também o tratamento de água, o qual possibilita a retirada direta do excesso de nutrientes dissolvidos da água, com o tempo de ação relativamente curto e alta eficiência, embora seja de uma ação de alto custo e mão de obra extensiva. Além disso, a biomanipulação que proporciona a retirada indireta do excesso de nutrientes da água, com alta eficácia e baixo custo, mas que requer um grande reconhecimento bioquímico, com tempo de ação relativamente longo.

REFERÊNCIAS

ADUAN, R. E.; VILELA, M. F.; REIS JÚNIOR, F. B. **Os grandes ciclos biogeoquímicos do planeta**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2004.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA. **Manual de procedimentos técnicos e administrativos de outorga de direito de uso de recursos hídricos da agência nacional de águas**. Brasília, 2013. Disponível em:< <https://www.ana.gov.br/todos-os-documentos-do-portal/documentos-sre/manual-de-outorga.pdf>>. Acesso em: 20 de jul. 2021.

ALCÂNTARA, E. H. Mudanças climáticas, incertezas hidrológicas e vazão fluvial: o caso do estuário do rio Anil. **Caminhos de Geografia**, Uberlândia, v. 8, n. 12, p. 158-173, jun. 2004.

ALLAN, R. P. Human influence on rainfall. **Nature**, [s. l], p. 378-382, 2011.

ALVIM, R. B. **Dinâmica do nitrogênio e fósforo em águas fluviais de uma bacia hidrográfica com diferentes usos do solo no sudeste do Brasil**. 2016. Tese (Doutorado em Geociências - Geoquímica Ambiental) - Universidade federal Fluminense, Niterói.

ANA, Agência Nacional de Águas - **Portal da Qualidade das Águas**. 2021. Disponível em: <http://pnqa.ana.gov.br/default.aspx>. Acesso em: 18 jul. 2021.

ASHMORE, P. Towards a sociogeomorphology of rivers. **Geomorphology** **251**, p.149-156. 2015.

BALDWIN, D. S. Organic phosphorus in the aquatic environment. **Environmental Chemistry**, v. 10, n. 6, p. 439-454, 2013.

BARBOSA, D. S.; ESPÍNOLA, E. L. G. **Algumas Teorias Ecológicas Aplicadas a Sistemas Lóticos**. In: BRIGANTE, J.; ESPÍNOLA, E. L. G. *Limnologia Fluvial: Um Estudo no Rio Mogi-Guaçu*. São Carlos - SP, Rima, 255p, 2003.

BARRETO, L. V. et al. Eutrofização em rios brasileiros. **Enciclopédia biosfera**, v.9, n.16, p. 2165 - 2179, 2013.

BAYER, D.M; REIS, N.M.C.; BAYER, F.M. Modelagem e Previsão de Vazões Médias Mensais do Rio Pútrido Utilizando Modelos de Séries Temporais. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 17, n.2, p. 229-239, 2012.

BORDA, A. A. **Avaliação dos parâmetros físicos, químicos, biológicos e ecológicos do curso d'água do rio turvo (SP)**. 2016. 79 f. Dissertação (Mestrado em engenharia civil e ambiental) – Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Bauru, 2016.

BOUWER, L. M. Observed and projected impacts from extreme weather events: implications for loss and damage. In: MECHLER, R. et al. (Eds). **Loss and Damage from Climate Change. Climate Risk Management, Policy and Governance** New York: Springer, p. 63–82, 2019.

BOUWMAN, A. F. et al. Nutrient dynamics, transfer and retention along the aquatic continuum from land to ocean: towards integration of ecological and biogeochemical models. **Biogeosciences**, v.10, p. 1-23, 2013.

BRANCO, J. C. Variação morfológica dos ecossistemas de planície de Maré na foz do rio cachoeira, Paraná. **Caminhos de Geografia**, Uberlândia, v. 9, n. 25, p. 12-23, mar. 2008.

BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Plano de Ações e Gestão Integrada do Complexo Estuarino-Lagunar Mundaú/Manguaba (CELMM)**. 2005.

BRIERLEY, G. J. et al. The use of the river styles framework as a tool to ‘work with nature’ in managing rivers in Brazil: examples from the macaé catchment. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v.20, n.4, p. 751-771, 2019.

BULHÕES, L. E. L.; SANTOS, J. P. O.; CARTAXO, P. H. A.; ESPINOSA, D. J. L.; SANTOS, A. S. Avaliação da qualidade da água do rio São Francisco na área urbana de um município do Sertão Alagoano. In: CONGRESSO TÉCNICO CIENTÍFICO DA ENGENHARIA E DA AGRONOMIA, 2., 2018, Maceió. **Anais [...]**. Maceió: [S. N.], 2018. p. 1-5.

CALLENDER, E.; HAMMOND, D. E. Nutrient Exchange across the Sediment water

Interface in the Potomac River Estuary. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 15, n. 4, p. 395 – 413, 1982.

CANFIELD, D. E. et al. Trophic State Classification of Lakes with Aquatic Macrophytes. **Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences**, v. 40, n. 10, p. 1713 – 1718, 1983.

CARLSON, R. E. A trophic state index for lakes. **Limnology and Oceanography**, v. 22, n. 2, p. 361-369, 1977.

CARMOUZE, J. P. **O metabolismo dos ecossistemas aquáticos** – Fundamentos teóricos, métodos de estudo e análises químicas, 1. ed. São Paulo: Editora FAPESP, 253 p. 1994.

CARPENTER, S. R. Eutrophication of aquatic ecosystems: Bistability and soil phosphorus. **National Academy Of Sciences**, Madison, v. 102, n. 9, p. 10002-10005, 2005.

CARVALHO, T. M. Técnicas de medição de vazão por meios convencionais e não convencionais. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife-PE, v. 1, n. 1, p. 73-85, ago. 2008.

CARVALHO, T. S. LEMES, L. P. OLIVEIRA, D. S. Gestão de Recursos Hídricos na CEDEA de Itaocara – RJ. **Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento**. ed. 10, Vol. 10, pp. 31-45. 2020.

CENTRO DE PREVISÃO DO TEMPO E ESTUDOS CLIMÁTICOS –CPTEC. **Boletim Técnico**. Disponível em: <<http://tempo.cptec.inpe.br/boletimtecnico/pt>>. Acesso em: 21 de fev. 2020.

CETESB. **Companhia Ambiental do Estado de São Paulo**. 2014. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/>. Acesso em: 10 jul. 2021.

CETESB. **Relatório de Qualidade das Águas Interiores do Estado de São Paulo**. 2020. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/publicacoes-e-relatorios/>. Acesso em: 15 jul. 2021.

CHEN, C.; JAN, S.; KUO, T.; LI, S. Nutrient flux and transport by the Kuroshio east of Taiwan. **Journal of Marine Systems**, v. 167, p. 43-54, 2017.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. São Paulo: Ed. Edgard Blucher. 1974. 149 p.

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

CONAMA. **Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005**. Disponível em: https://www.icmbio.gov.br/cepsul/images/stories/legislacao/Resolucao/2005/res_conama_357_2005_classificacao_corpos_agua_rtfcd_a_altrd_res_393_2007_397_2008_410_2009_430_2011.pdf. Acesso em: 20 jul. 2021.

CONSULTORIA TÉCNICA – COTEC. **Plano Diretor da Região Hidrográfica do Rio Paraíba do Meio – PDRH**. Recife: COTEC, v. 1, 169 p., 2001.

COSTA, J. A. et al. Eutrophication in aquatic ecosystems: a scientometric study. **Acta**

Limnologica Brasiliensia, Campinas, v. 30, n. 2, p. 1-11, 2018.

COTOVICZ JÚNIOR, L. C. et al., Comparação de Modelos e Índices para Avaliação do Estado Trófico do Complexo Estuarino-Lagunar Mundaú-Manguaba, (AL), **Geochimica Brasiliensis**, Ouro Preto, v. 26, n.1, p. 7-18, 2012.

DANELON, J.R.B.; NETTO, F.M.L; RODRIGUES, S.C. Análise do nível de fósforo total, nitrogênio amoniacal e cloretos nas águas do córrego terra branca no município de Uberlândia (MG), **Revista Geonorte**, v.1, n.4, p.412 – 421, 2012.

DANESHGAR, S. et al. The Potential Phosphorus Crisis: Resource Conservation and Possible Escape Technologies: A Review. **Resources**, v. 7, n. 2, p. 37 – 59, 2018.

DAVIS, W. M. The Geographical Cycle. **The Geographical Journal** 14, p. 481-504. 1899.

DELLAGUSTINA, A. **Determinação das concentrações de Nitrogênio e fósforo dissolvidos em Diferentes locais do rio Itajaí-Açu**. 2000. Dissertação (Mestrado em química analítica) - Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina.

DELLAMATRICE, P M.; MONTEIRO, R. T. R.. Principais aspectos da poluição de rios brasileiros por pesticidas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande/PB, v. 18, n. 12, p. 1297-1301, 2014.

DUCROTOY, J. Indications of Change in the Marine Flora of the North Sea in the 1990s. **Marine Pollution Bulletin**, v. 38, n. 8, p. 646-654, 1999.

ECYCLE. **Água e Saneamento**. 2020. Disponível em: <https://www.ecycle.com.br/importancia-da-agua/>. Acesso em: 10 maio 2021.

EICHENBERGER, A.M.R. SOUZA, T.S. NASCIMENTO, P.S. Tendência e correlação da vazão e da precipitação pluviométrica no município de Balança –BA. **Geofronter**, Campo Grande, v. 6, p. 1-20, 2020.

EOS. **O que são Recursos Hídricos?** 2021. Disponível em: <https://www.eosconsultores.com.br/o-que-sao-os-recursos-hidricos/>. Acesso em: 10 jun. 2021.

ERASSI, P. M. B. et al. Características da precipitação pluvial e a erosividade das chuvas na vertente paranaense da bacia hidrográfica do rio Itararé. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, v. 31, p. 118-131, 2016.

ESTEVES, F. A. **Fundamentos de Limnologia**. 2. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 601 p., 1998.

FOWLER, S.; ROUSH, R.; WISE, J. **Concepts of Biology**.1 ed. Houston: OpenStax, 2013. Disponível em:< <https://openstax.org/details/books/concepts-biology>>. Acesso em: 10 abr. 2021.

GALLOWAY, J. N. et al., The Nitrogen Cascade. **BioScience**, v. 53, n. 4, p. 341-356, 2003.

GAMA, W. M. **Impactos das mudanças climáticas na resposta hidrológica da bacia hidrográfica do rio Paraíba do Meio (AL/PE)**. 112 p. Dissertação (Mestrado em Oceanografia Química) – Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2011.

GASPAR, F. L. **Análise da concentração de fósforo em sedimentos dos rios Botafogo e Carrapicho, no sistema estuarino do Canal de Santa Cruz, Itamaracá, PE**. 2009. 79 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Oceanografia, Departamento de Oceanografia, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2009.

GHIRARDI, A. G.. **Plano Nacional de Recursos Hídricos**. 2003. Disponível em: http://www.agg.ufba.br/rec_hidrico.htm. Acesso em: 5 mai. 2021.

GOMES, A. A. S.; MEDEIROS, P. R. P.; LIMA, A. C. C. Estimativa do fluxo de material em suspensão do Rio Paraíba do Meio (AL), **Regne**, v.2, 8p., 2016.

GOMES, Francisco Bruno Monte; PAULA, Davis Pereira de. DETERMINAÇÃO E AVALIAÇÃO DO ÍNDICE DE ESTADO TRÓFICO (IET) EM RIO URBANO LOCALIZADO NO ESTADO DO CEARÁ, BRASIL. **Revista da Casa da Geografia de Sobral**, Sobral, v. 21, n. 2, p. 730-744, set. 2019.

GOMES, M. A. F. et al. **Nutrientes Vegetais no Meio Ambiente: ciclos bioquímicos, fertilizantes e corretivos**. Jaguariúna: EMPRAPA, 2008.

GOVERNO DO ESTADO DE PERNAMBUCO. **Plano Estadual de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Mundaú**. Recife-PE, 1999.

GRACE, J. **Carbon cycle**. Encyclopedia of Biodiversity, v. 1, p. 609-629, 2001.

HEJZLAR, J. et al. Nitrogen and phosphorus retention in surface waters: an inter-comparison of predictions by catchment models of different complexity. **Journal of Environmental Monitoring**, v.11, p. 584–593, 2009.

HENDERSON-SELLER, B.; MARKLAND, H. R. **Decaying Lakes—The Origins and Control of Cultural Eutrophication**. Wiley: New York, 1987, 153p.

HOWARTH, R. et al. Coupled biogeochemical cycles: Eutrophication and hypoxia in temperate estuaries and coastal marine ecosystems. **Frontiers in Ecology and the Environment**, v. 9, n. 1, p. 18-26, 2011.

HU, M. et al. Remote Estimation of Trophic State Index for Inland Waters Using Landsat-8 OLI Imagery. **Remote Sensing**, v. 13, n. 10, p. 1988 – 2009, 2021.

HYNES, H. B. N. **The ecology of running waters**. Liverpool: University Press, 1970, 555 p. IBGE. Diretoria de Pesquisas - DPE - Coordenação de População e Indicadores Sociais. 2021.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **IBGE Cidades**. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/>. Acesso em: 17 de mar. 2022

IBGE. **Estimativas da população residente no Brasil e unidades da federação**. 2021. Disponível em:

https://ftp.ibge.gov.br/Estimativas_de_Populacao/Estimativas_2020/estimativa_dou_2020.pdf
. Acesso em: 10 jul. 2021.

INSTITUTO INTERNACIONAL DE ECOLOGIA (IIE). **Lagos e Reservatórios Qualidade da Água: O Impacto da Eutrofização**. RiMa, São Paulo, v.3, 28p., 2000.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA – INMET. Gráficos climatológicos. Disponível em: <https://clima.inmet.gov.br/GraficosClimatologicos>. Acesso em: 20 de jan. 2022.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA – INMET. **Normais climatológicas do Brasil**. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/normais>. Acesso em: 20 de jul. de 2021.

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. **Climate Change 2013: The Physical Science Basis**. Cambridge: Cambridge University Press, 2013. 1535 p.

ISTVÁNOVICS, V. Eutrophication of Lakes and Reservoirs. In: LIKENS, G.; TOCKNER, K. (eds.). **Encyclopedia of Inland Waters**, Cambridge: Academic Press, 2009. p. 157-165.

Kang, R. S., & Marston, R. A. (2006). Geomorphic effects of rural-to-urban land use conversion on three streams in the Central Redbed Plains of Oklahoma. *Geomorphology*, 79(3-4), 488-506.

KITSIOU, D.; KARYDIS, M. Coastal marine eutrophication assessment: A review on data analysis. **Environmental International**, v.37, n. 4, p. 778-801, 2011.

KLOTZ, M.G. STEIN, L.Y. Nitrifier genomics and evolution of the nitrogen cycle. **FEMS Microbiol Lett**, v. 278, n.2, p. 146-156, 2008.

KRATZER, C. R.; BREZONIK, P. L. Carlson-type trophic state index for nitrogen in Florida lakes. **Water Resources Bulletin**, v. 17, n. 4, p. 713-715, 1981.

LAMPARELLI, M. C. **Grau de trofia em corpos d'água do estado de São Paulo: avaliação dos métodos de monitoramento**. São Paulo : USP/ Departamento de Ecologia, 2004. 235 f. Tese de doutorado, Universidade de São Paulo, 2004.

LEITE, T. C. **Hidroquímica do baixo rio Paraíba do Sul antes e após o aporte de seus principais afluentes: rio Pomba e rio Dois Rios**. 2016. 106 f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Ecologia e Recursos Naturais, Centro de Biociência e Biotecnologia, Universidade Estadual do Norte Fluminense – Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, 2016.

LIMA, A. K. F. G. **Consumo e Sustentabilidade: Em busca de novos paradigmas numa sociedade pós-industrial**. In: Anais do XIX Encontro Nacional do CONPEDI (Fortaleza/CE). Florianópolis: Fundação Boiteux, 2010.

LOO, Y. Y.; BILLA, L.; SINGH, A. Effect of climate change on seasonal monsoon in Asia and its impact on the variability of monsoon rainfall in Southeast Asia. **Geoscience Frontiers**, v.6, n.6, p.817-823, 2015.

MACIE, O. A. A.; FREITAS, E. D. Características da estação chuvosa em Moçambique e probabilidade de ocorrência de períodos secos. **Cuenca e Nature**, v.38, p.232-239, 2016.

MAIA, A. A. D.; CARVALHO, S. L.; CARVALHO, F. T. Comparação de dois índices de determinação do grau de trofia nas águas do Baixo Rio São José dos Dourados, São Paulo, Brasil. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Sorocaba, v. 20, n. 4, p. 613-622, fev. 2015.

MANSOR, M. T. C. **Potencial de poluição de águas superficiais por fontes não pontuais de fósforo na bacia hidrográfica do ribeirão do pinhal, Limeira-SP**. 2005. 171 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2005.

MARENGO, J. A. et al. Changing Trends in Rainfall Extremes in the Metropolitan Area of São Paulo: Causes and Impacts. *Frontiers In Climate*, São Paulo, v. 2, n. 3, p. 1-12, 2020.
Marine Pollution Bulletin, v. 38, n. 8, p. 646-654, 1999.

MARTINS, M. H. R. B. et al. (Coords.). **Relatório de Qualidade das águas interiores no estado de São Paulo 2019**, São Paulo: CETESB, 336 p., 2020.

MARY RIVER CATCHMENT COORDINATING COMMITTEE – MRCCC. **Water quality standards**. 2013. Disponível em: <https://mrccc.org.au/wp-content/uploads/2013/10/Water-Quality-Salinity-Standards.pdf>. Acesso em: 02 de dez. 2021.

MAZZINI, P.L.F.; SCHETTINI, C. A. F. Avaliação de metodologias de interpolação espacial aplicadas a dados hidrográficos costeiros quase-sinóticos. **Brazilian Journal of Aquatic Science and Technology**, v.13, n.1, p. 53-64, 2009.

MCCLUNEY, K. E.; SABO, J. L. Water availability directly determines per capita consumption at two trophic levels. **Ecology**, v.90, n. 6, p. 1463-1469, 2009.

MEDEIROS, P. R. P. et al. Aporte de material em suspensão no baixo rio São Francisco (SE/AL), em diferentes condições hidrológicas. **Braz. J. Aquat. Sci. Technol.** v. 15, n. 1, p. 45 - 53, 2011a.

MEDEIROS, P. R. P. et al. Aporte fluvial e dispersão de matéria particulada em suspensão na zona costeira do rio São Francisco (SE/AL), **Geochimica Brasiliensis**, v. 21, n.2, p. 212 - 231, 2007.

MEDEIROS, P. R. P. et al. **Determinação da carga de nutrientes do Rio São Francisco na região de sua foz**. 1. ed. Maceió: Agência Nacional das Águas, 2003. 59 p.

MEDEIROS, P. R. P.; KNOPPERS, B. A.; CAVALCANTE, G. H.; SOUZA, W. F. L. Changes in nutrient loads (N, P and Si) in the São Francisco estuary after the construction of dams. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v.54, n.2, p. 387-397. ISSN 1516-8913, 2011b.

MENDONÇA, F. Aquecimento global e suas manifestações regionais e locais. **Revista Brasileira de Climatologia**, n.2, p. 71–86, 2007.

MENEZES, J. P.C. **Influência do uso e ocupação da terra na qualidade da água subterrânea e sua adequação para consumo humano e uso na agricultura**. 2012. 83 p. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal), Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Espírito Santo. Alegrete-ES, 2012.

MILLIMAN, J. D. Flux and Fate of Fluvial Sediment and Water in Coastal Seas. In: MANTOURA, R. F. C.; MARTIN, J.M.; WOLLAST, R. (Ed). **Ocean Margin Processes in Global Change**. Chichester: John Willey and Sons Ltd, p. 69-89, 1991.

MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO REGIONAL. **Quantidade de água**. 2021. Disponível em: <https://www.ana.gov.br/aguas-no-brasil/panorama-das-aguas/quantidade-da-agua>. Acesso em: 18 jul. 2021.

MORAES, D. S. L; JORDÃO, B. Q. Degradação de recursos hídricos e seus efeitos sobre a saúde humana. **Revista Saúde Pública**, v. 36, n. 3, p. 370 - 374, 2002.

MORAIS, R. S.; SAIS, A. C. Caracterização e diagnóstico ambiental das áreas de preservação permanente da calha principal do manancial de abastecimento da cidade de Teófilo Otoni, MG. *Revista Geonorte*, Manaus, v. 7, n. 27, p. 1-17, 2016.

MU, D. et al. Nutrient fluxes across sediment-water interface in Bohai Bay Coastal Zone, China. **Marine Pollution Bulletin**, v. 114, n. 2, p. 705-714, 2017.

NEPOMUCENO, A. **Modelo para simulação de nitrogênio e fósforo em sistemas de recursos hídricos, aplicação em região do alto curso do rio piranhas-PB**. 2018. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande.

NERY, J. T. et al. Análise da precipitação Pluvial na Bacia do Paranapanema. *Revista Brasileira de Climatologia*, Curitiba/Paraná, v. 5, p. 103-118, set. 2009.

NEWMAN, J. **Eutrophication in rivers: an ecological perspective**. Centre for Ecology and Hydrology, 2005.

NGATIA, L. et al. Nitrogen and Phosphorus Eutrophication in Marine Ecosystems. In: Fouzia, H.B. **Marine Ecosystems, Monitoring of Marine Pollution**. [S.I.]: IntechOpen, 2019.

PAERL, H. W. et al. Atmospheric deposition of nitrogen in coastal waters: biogeochemical and ecological implications. In: Valigura, R.A. et al. (eds). **Nitrogen Loading in Coastal Water Bodies: An Atmospheric Perspective**. Coleção Coastal and Estuarine Studies, v. 57, Washington, D.C: American Geophysical Union, p. 11-52, 2001.

PALHARES, J. C. P. et al. **Medição da Vazão em Rios pelo Método do Flutuador**: Comunicado Técnico. Concórdia: EMBRAPA, 2007.

PEREIRA, R. A.; ANGELOCCI, R. L.; SENTELHAS, P. C. **Agrometeorologia: fundamentos e aplicações práticas**. Guaíba: Agropecuária. 487p. 2002.

PERTUSSATTI, C. A. **Veranicos no Estado do Mato Grosso: análise da variabilidade espaço-temporal e modelagem estatística**. 101f. Dissertação (Mestrado). Curso de Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos. Universidade de Brasília. Brasília, 2013.

PINHO, E. S. et al. Avaliação do Índice de Estado Trófico como ferramenta para

monitoramento de atividades aquícolas em reservatórios continentais. **Revista Biotemas**, v. 31, n. 4, p. 23-34, 2018.

PITCAIRN, C. E. R. et al. The relationship between nitrogen deposition, species composition and foliar nitrogen concentrations in woodland flora in the vicinity of livestock farms. **Environmental Pollution**, v. 102, n. 1, p. 41 – 48, 1998.

PLANO DIRETOR DA REGIÃO HIDROGRÁFICA DO RIO PARAÍBA DO MEIO – PDRH. v. 1, p. 18- 23. 2001.

PORTO, M. F. A.; PORTO, R. L. L. Gestão de bacias hidrográficas. **Dossiê Água**, São Paulo, v. 63, n. 22, p. 43-63, 2008.

PRASAD, A. G. D.; SIDDARAJU. Carlson's Trophic State Index for the assessment of trophic status of two Lakes in Mandya district. **Advances in Applied Science Research**, v. 3, n. 5, p. 2992-2996, 2012.

RABALAIS, N. N. Nitrogen in Aquatic Ecosystems. **A Journal of the Human Environment**, v. 31, n. 2, p.102-112, 2002.

RAMOS, R. P. da. S. et al. Caracterização fisiográfica da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Meio. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA, 17. 2017, Campinas. **Anais...** Campinas: Unicamp, 2017. p. 5202-5211.

REISMANN, H.; VIEIRA, B.; RODRIGUES, T. M. **Remoção de nitrogênio e fósforo em efluentes: principais técnicas existentes, características, oportunidades e desafios para o tratamento terciário de efluentes**. Congresso ABES (Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental) FENASAN, 18p., 2017.

RICCOMINI, C. et al. Processos fluviais e lacustres e seus registros. In: TEIXEIRA, W. et al. (Org.). **Decifrando a Terra**. 2. ed. São Paulo: Companhia Editora Nacional, 2009.

RINALDI, M. et al. Classification and characterization of river morphology and hydrology to support management and restoration. **Aquatic Sciences**, n.1, v. 78, p. 1-16, 2016.

RODRIGUES, M. T. **Acoplamento do modelo hidrológico MGB ao modelo atmosférico WRF visando estimar vazão na bacia do rio Paraíba do meio – AL/PE**. Maceió, 2012. 103 f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Instituto de Ciências Atmosféricas, Universidade Federal de Alagoas.

ROSA, R. S.; MESSIAS, R. A.; AMBROZINI, B. **Importância da compressão dos ciclos biogeoquímicos para o desenvolvimento sustentável**. 2013. 56 f. Monografia (Especialização) - Curso de Química, Instituto de Química de São Carlos, Universidade Federal de São Paulo, São Carlos, 2013.

RYBAK, A. S. Freshwater macroalga, *Ulva pilifera* (Ulvaceae, Chlorophyta) as an indicator of the trophic state of waters for small water bodies. **Ecological Indicators**, v. 121, p. 106951 – 106965, 2021.

SAAD, A. R. VARGAS, R. R.; LOPES, J. C; ARRUDA, R. O. M.; QUEIROZ, W. Índice de

estado trófico da bacia hidrográfica do Ribeirão Tanque Grande, Guarulhos (SP): análise comparativa entre as zonas rural e urbana. **Geociências**, São Paulo, v. 32, n. 4, p. 611-624, 2013.

SANTANA, C. I.; MARÇAL, M. S. Identificação de Estilos Fluviais na Bacia do Rio Macabu (RJ) a Serem Aplicados na Gestão dos Recursos Hídricos. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v. 13, n. 4, p. 1886-1902, 2020.

SANTORO, A. L.; ENRICH-PRAST, A. Regulação microbiológica da disponibilidade de nitrogênio em Ecossistemas aquáticos continentais. **Oecologia Australis**, v.15, n.2, p. 213 – 235, 2011.

SANTOS, E. O.; MEDEIROS, P. R. P.; SANTOS, C. J. S. Implicações socioambientais do processo de apropriação e uso do rio Paraíba do Veio em Viçosa (AL). **Revista Geonorte**, Manaus, v. 9, n. 32, p. 45-66, 2018.

SANTOS, H. G. et al. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed. Brasília: Embrapa, 2018. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1107206/sistema-brasileiro-de-classificacao-de-solos>. Acesso em: 10 jul. 2021.

SANTOS, K. A.; FORMIGA, K. T. M.; BRAGA, V. S.; FARIA, K. M. S. Mudanças morfológicas na bacia hidrográfica do Córrego Barreiro ao longo do processo de urbanização, Goiânia – GO. **Revista Brasileira de Gestão Urbana**. 2021.

SANTOS, M. Pensando o espaço do homem. São Paulo: Edusp, 2004.

SCHLESINGER, W. H. **Biogeochemistry: an analysis of global change**. 2 ed. San Diego: Academic Press, 1997. 588 p.

SHIKANGALAH, R. N., JELTSCH, F., BLAUM, N., MUELLER, E. N. A review on urban soil water erosion. **JSHSS**, [s. I.], v.5, n. 1, 2016.

SILLMANN, J. et al. Climate extremes indices in the CMIP5 multimodal ensemble: part 1. Model evaluation in the present climate. **J. Geophys. Res. Atmos.**, p. 1716–1733, 2013.

SILVA JÚNIOR, O. P.; CARVALHO, S. L.; PINHEIRO, J. H. P. A. Avaliação das concentrações de nitrogênio e fósforo na água do Córrego das Marrecas, município de Dracena – SP. **Revista Científica**, [s. I], v. 10, n. 19, p. 37-49, 2017.

SILVA, J. P.; RODRIGUES, C. Revisão teórica dos sistemas de classificação de canais fluviais aluviais. Rio de Janeiro: **Anais...** Geomorfologia Fluvial, 2012.

SILVA, K. **Comparação do transporte de fósforo dissolvido pelo rio São Francisco, durante os anos de 2001 e 2007**. 2012. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Geografia) - Universidade federal de Alagoas, Maceió.

SILVA, L. F., KAYANO, M. T, FERREIRA, N. J. Evolução das anomalias de temperatura da superfície do mar durante anos de El Niño nas duas fases da Oscilação multi-decadal do Pacífico. III Simpósio Internacional de Clima. 7. 2005, Fortaleza, CE. **Anais...** Fortaleza: SBMET, 2005, p. 271-286.

SILVA, W. R.; SILVA, M. R.; PIRES, T. B. O uso sustentável e a qualidade da água na produção animal. **Nutritime**, [s. l], v. 11, n. 5, p. 3617-3636, 2014.

SILVEIRA, A. L.; LOUZADA, J. A.; BELTRAME, L. F. Infiltração e Armazenamento no Solo. In: **Hidrologia: ciência e aplicação**, 2 ed. Porto Alegre: Editora da Universidade UFRGS, p.335-372, 2000.

SINSABAUGH, R. L.; ANTIBUS, R. K.; LINKINS, A. E. An Enzymatic Approach to the Analysis of Microbial Activity During Plant Litter Decomposition. **Agriculture Ecosystems & Environment**, v. 34, n. 1-4, p. 43-54, 1991.

SMITH, V. H. & SCHINDLER, D. W. **Eutrophication science: where do we go from here?** Trends in Ecology and Evolution v. 24, p. 201-207. 2009.

SÖRENSEN, J. MOBINI, S. Pluvial, urban flood mechanisms and characteristics—assessment based on insurance claims. **Journal of hydrology [S. I]**, 51-67, 2017.

SOUZA FILHO, E. E. **Aspectos da Geologia e Estratigrafia dos Depósitos Sedimentares do Rio Paraná entre Porto Primavera (MS) e Guaíra (PR)**. 1993. 234 f. Tese de doutorado – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1993.

SOUZA, W. F. et al. Otimização do método dos molinetes com ajuste do perfil hidrodinâmico para a estimação da descarga líquida em corpos hídricos usando recursos de interpolação e integração numérica. **Revista Principia**, n. 38, p. 61-68, 2018.

STRICKLAND, J. D. H. & PARSONS, T. R. A practical handbook of seawater analysis. Bulletin Fisheries Research Board of Canada, 1972.167p.

SUN, Q. et al. A review of global precipitation data sets: data sources, estimation, and intercomparisons. **Rev. Geophys.** 56, p. 79–107. 2018.

TERASSI, P. M. B.; GRAÇA, C. H.; TOMMASELLI, J. T. G. Características da precipitação pluvial e a erosividade das chuvas na vertente paranaense da bacia hidrográfica do rio Itararé. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, v. 31, n. 1, p. 118-131, 2016.

TRENBERTH, K. E. El Niño Southern Oscillation (ENSO). **Encyclopedia of Ocean Sciences (Third Edition)**, v. 6, p. 420-432, 2019.

TRINDADE, P. B. C. B. **Classificação de Estado Trófico de Reservatórios - Estudo de Caso: Reservatório de Rio Bonito (ES)**. 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória.

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

TUNDISI, J. G. **Água no Século XXI: Enfrentando a Escassez**, 2. ed. São Carlos: Editora Rima, 2005.

TUNDISI, J. G. Novas perspectivas para a gestão de recursos hídricos. **Revista USP**, São Paulo, n.70, p. 24-35, 2003.

TUNDISI, J.G. A crise da água: eutrofização e suas consequências. In. TUNDISI, J.G. **Água no século XXI: enfrentando a escassez**. 1 ed. São Carlos: Rima, 2003. 247p.

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

UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY – USGS. **Conductivity (electrical conductance) and water**. 2018b. Disponível em: <https://www.usgs.gov/special-topics/water-science-school/science/conductivity-electrical-conductance-and-water>. Acesso em: 28 de Nov. 2021.

UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY – USGS. **pH and water**. 2019. Disponível em: <https://www.usgs.gov/special-topics/water-science-school/science/ph-and-water>. Acesso em: 29 de Nov. 2021.

UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY – USGS. **Temperature and water**. 2018. Disponível em: <https://www.usgs.gov/special-topics/water-science-school/science/temperature-and-water>. Acesso em: 28 de Nov. 2021.

VANSCONCELOS, M. C. **Classificação de rios e sua relação com a comunidade com a comunidade de macroinvertebrados em riachos**. 2012. 182 f. Tese (Doutorado) - Curso de Pós-Graduação em Ecologia, Instituto de Biociências da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Porto Alegre, 2012.

VAREJÃO SILVA, M. A. **Meteorologia e Climatologia**. Versão digital 2. 436 p. 2006.

VENIZIANI JÚNIOR, J. C. T. **As relações entre precipitação, vazão e cobertura vegetal nas sub-bacias dos rios Jacaré-Pepira e Jaú**. 199 p. Tese (Doutorado em Geografia). Universidade Estadual Paulista. Rio Claro, 2018.

VIDAL, T. F.; CAPELO NETO, J. Dinâmica de nitrogênio e fósforo em reservatório na região semiárida utilizando balanço de massa. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 18, n. 4, p. 402-407, nov. 2014.

VITOUSEK, P. M. Global environmental change: an introduction. **Annual Review of Ecology and Systematics**, Palo Alto, v. 23, p. 1-14, 1992.

VOLLENWEIDER, R. A. Coastal marine eutrophication: principles and control. **Marine Coastal Eutrophication**, p. 1-20, 1992.

WALPOLE, R. E.; MYERS, R. H. **Probability & statistics for engineers & scientists**. 9. ed. New York: Macmillan, 2011.

WIT, M. J. M. Nutrient fluxes at the river basin scale. I: the PolFlow model. **Hydrological Processes**, v. 15, p. 743–759, 2001.

WU, G. et al. Decadal changes in nutrient fluxes and environmental effects in the Jiulong River Estuary. **Marine Pollution Bulletin**, v.124. n. 2, p. 871 – 877, 2017.

WU, G. et al. Riverine nutrient fluxes and environmental effects on China's estuaries. **Science**

of the Total Environment, v. 661, p. 130 – 137, 2019.

YAO, L.; YANG, G.; TIANTIAN, Y. A review of mass flux monitoring and estimation methods for biogeochemical interface processes in watersheds. **Journal of Geographical Sciences**, v. 30, n. 6, p. 881-907, 2020.