

A influência da precipitação na variabilidade da qualidade da água do rio Parnaíba**The influence of precipitation on the water quality variability of the Parnaiba River**

DOI:10.34117/bjdv5n9-204

Recebimento dos originais: 14/08/2019

Aceitação para publicação: 27/09/2019

Rafael Diego Barbosa Soares

Doutorando em Desenvolvimento e Meio Ambiente

Instituição: Universidade Federal do Piauí – UFPI

Endereço: Q. 19, C.09, Setor B, Bairro: Mocambinho I, CEP: 64010-230, Teresina-PI, Brasil

E-mail: rdiego001@gmail.com

Ronne Wesley Lopes da Cruz

Graduando em Engenharia Civil

Instituição: Universidade Federal do Piauí – UFPI

E-mail: ronnewlc@gmail.com

Carlos Ernando da Silva

Doutor e Professor do Departamento de Recursos Hídricos, Geotecnia e Saneamento Ambiental/CT

Instituição: Universidade Federal do Piauí – UFPI

E-mail: carloernando@ufpi.edu.br

RESUMO

Os recursos hídricos no Brasil sofrem processos de degradação, principalmente nas grandes cidades, devido ao lançamento de cargas poluidoras acima da capacidade de assimilação, como ocorre na cidade de Teresina, que apresenta baixa taxa de esgotamento sanitário. Este estudo teve como objetivo avaliar a influência da precipitação pluviométrica na qualidade da água de um trecho do rio Parnaíba. Foram estabelecidos sete pontos de coleta de água, durante sete anos de monitoramento. Analisaram-se os aspectos desses pontos frente à Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) 357/2005 e do Índice de Qualidade da Água (IQA), por meio das variáveis temperatura da água, pH, turbidez, *E. coli*, DBO, OD, nitrato, fósforo total e sólidos totais e condutividade elétrica. Os resultados foram avaliados obedecendo o regime de precipitação (seco e chuvoso) da área. A qualidade da água variou com diferença significativa, apresentando as melhores condições do IQA no período seco. As principais variáveis que contribuíram para a redução do IQA foram *E. coli* e turbidez, estando associadas à precipitação pluviométrica e à poluição difusa.

Palavras-chave: Manancial; Poluição hídrica; Sazonalidade; Urbanização.**ABSTRACT**

Water resources in Brazil are undergoing intense degradation processes, especially in large cities, due to the introduction of pollution loads above the capacity of assimilation, as occurs in the city of Teresina, which presents a low rate of sanitary sewage. This study aimed to evaluate the influence of rainfall on the water quality of a section of the Parnaíba River. Seven points of water collection were established during seven years of monitoring. The aspects of these points were analyzed according to the Resolution of the National Council for the Environment (CONAMA) 357/2005 and the Water Quality Index (IQA) by means of the variables water temperature, pH, turbidity, E. coli, BOD, OD, nitrate, total phosphorus and total solids and electrical conductivity. The results were evaluated based on the precipitation regime (dry and rainy) of the area. The water quality varied with a significant difference presenting the best IQA conditions in the dry period. The main variables that contributed to the reduction of IQA were E. coli and turbidity being associated with rainfall and diffuse pollution.

Key words: Wellspring; Water pollution; Seasonality; Urbanization.

1. INTRODUÇÃO

A água é um recurso natural básico para todas as formas de vida e para ser considerada segura não deve conter nenhuma substância nociva ou microrganismos vivos em concentrações que causem danos. As águas superficiais vêm sofrendo a ação de processos de poluição, com o recebimento de uma grande quantidade de contaminantes de fontes variadas. Esse recurso foi de extrema importância para o surgimento das civilizações, e hoje é utilizada principalmente para o abastecimento humano e em atividades como agricultura e indústria, estando sujeito a condicionantes específicos de qualidade.

A qualidade da água tem um papel fundamental tanto para a ecologia dos ecossistemas, quanto para a saúde pública, sendo fundamental para o desenvolvimento humano, social e econômico. A degradação da qualidade da água é provocada principalmente por poluição, que pode ser proveniente de fontes pontuais e difusas, sendo considerada um problema mundial. As fontes difusas de poluentes estão associadas principalmente com a produção agrícola, com a descarga industrial e com os esgotos domésticos. Além disso, fatores naturais como a intensidade de chuvas, tipos de vegetação e solo podem aumentar as dificuldades na gestão dos recursos hídricos.

A influência do uso do solo é essencial para determinar a relação entre os poluentes de fontes difusas e a qualidade da água, podendo impactar nas variáveis físico-químicas da água, como observado no estudo de Menezes et al. (2016), na bacia do rio Vermelho, em Minas Gerais. Tal estudo indicou que as fontes de poluição, no período chuvoso, se dão principalmente por escoamento superficial e, no período seco, por lançamento de esgotos na área urbana. Nas áreas urbanas, a ocupação populacional correlaciona-se com a piora na qualidade das águas superficiais, fato que pode ser agravado de acordo com a sazonalidade (CORNELLI et al., 2016).

No Brasil, a água é utilizada principalmente para a irrigação, abastecimento humano e animal, indústria, geração de energia, mineração, aquicultura, navegação, turismo e lazer, e a demanda por uso é crescente, com um aumento estimado de aproximadamente 80% no total retirado de água, nas últimas duas décadas, sendo previsto até 2030 um aumento de 24% (ANA, 2018). Dessa forma, o aumento da demanda, associado a baixos investimentos de infraestrutura hídrica, pode agravar a situação e

conduzir a períodos de crise hídrica e escassez, como verificado em diversas regiões do País nos últimos anos.

Para prevenção e controle do declínio da qualidade da água de rios, sendo importante coletar informações confiáveis para uma gestão eficaz, isso já foi realizado por muitos países e regiões. As variações altamente heterogêneas da qualidade da água nos rios devem ser analisadas em escala espacial e temporal, através de monitoramentos, como em estudos realizados por Medeiros, Silva e Lins (2018), na bacia hidrográfica do rio Longá e Piazza et al. (2017), nas águas superficiais dos mananciais de abastecimento de Blumenau-SC.

De acordo com Pinheiro et al. (2014), as informações de avaliações da qualidade da água são importantes para que os gestores implementem medidas de proteção para melhorar as condições dos corpos d'água, sendo uma ferramenta de apoio a tomada de decisão. Nesse sentido, na região Nordeste, ainda há pouca informação sobre a qualidade da água, sendo importante realizar um monitoramento contínuo, visto que o lançamento de efluentes sem tratamento pode agravar consideravelmente a situação, fato que pode ser observado nos estudos de Gomes, Souza e Crispim (2016), Fontenelle, Neto e Fonseca (2015).

Conforme PiauÍ (2010), o Estado do PiauÍ apresenta uma grande insuficiência de monitoramento dos recursos hídricos, fato que pode se agravar, uma vez que o rio Parnaíba, principal manancial de abastecimento, vem sofrendo com o processo de poluição. Isso confirma o estudo de Marçal e Silva (2017), que avaliaram o impacto do lançamento do efluente da Estação de Tratamento de Esgoto Pirajá (ETE-Pirajá) no rio e concluíram que a poluição difusa é mais significativa para a redução da qualidade da água, podendo assim gerar dificuldade para uma gestão eficiente dos recursos hídricos locais. Associada à importância desse rio, como manancial de abastecimento da população do PiauÍ, especialmente das cidades de Teresina e Timon, este estudo visa avaliar a qualidade da água do rio Parnaíba, através de um monitoramento, obedecendo o regime sazonal de chuvas da região.

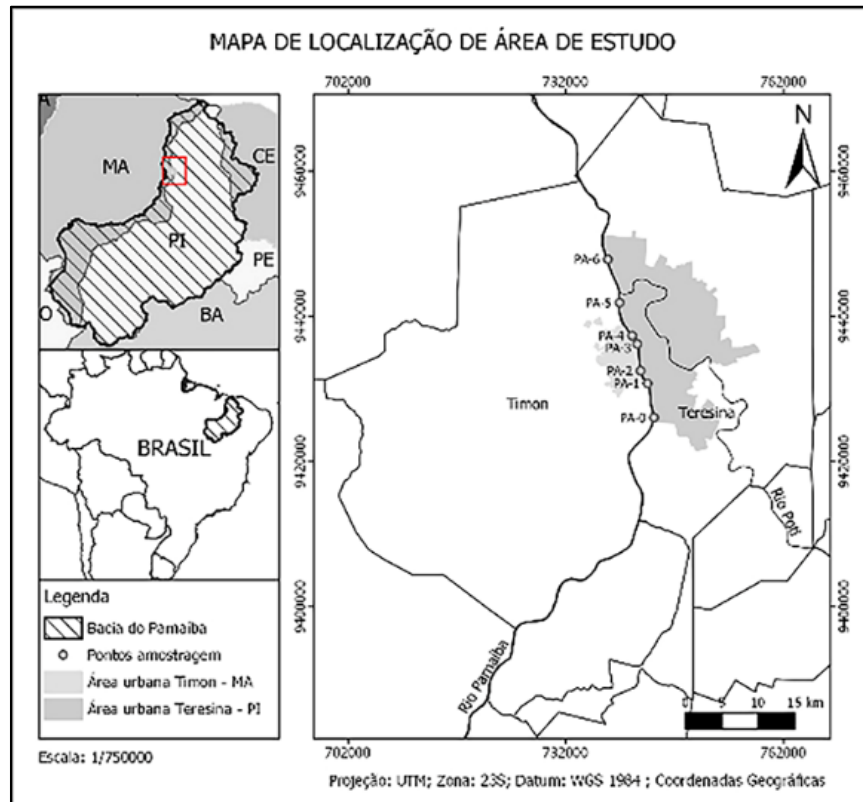
2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O estudo foi realizado ao longo do percurso do rio Parnaíba, que é um divisor geográfico entre as cidades de Teresina-PI e Timon-MA (Figura 1). A cidade de Teresina-PI possui uma população estimada em 861.442 habitantes e densidade demográfica de 618,86 hab./km², enquanto a cidade de Timon possui uma estimativa populacional de 167.973 habitantes e densidade populacional de 95,18 hab./km² (IBGE, 2018). A área apresenta clima quente o ano inteiro, com temperatura média de 26,7°C e regime pluviométrico caracterizado por períodos chuvosos de verão/outono e seco de inverno/primavera e por uma precipitação média de 1.338 mm anuais e cobertura vegetal predominante de cerrado e mata de palmeiras, com base nos dados da Secretaria Municipal de Meio Ambiente e Recursos Naturais (SEMA) (PIAUÍ, 2012). De acordo com o Instituto Trata Brasil (2018), a cidade de

Teresina possui uma das piores coberturas de saneamento do País, estando na posição 84º no ranking do ano de 2018, possuindo 23,49% de cobertura de esgotamento sanitário. Já a cidade de Timon-MA, de acordo com o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) (2017), possui 38% de cobertura de esgotamento sanitário.

Figura 1 - Mapa de localização da área de estudo, com a indicação dos pontos de amostragem no rio Parnaíba.



Fonte: Organizado elaborado por SOARES, Rafael Diego B. 2018

O monitoramento da qualidade da água foi realizado em sete pontos ao longo do rio Parnaíba: PA-0, a montante da Estação de Tratamento de Água Sul (ETA-Sul), PA-1, na ETA-Sul e PA-2, PA-3, PA-4, PA-5 mais próximos das áreas mais urbanizadas (Figura 1). O período de monitoramento no presente estudo foi de 2011 a 2018. A tabela 1 apresenta a descrição dos pontos de coleta selecionados para o estudo, fornecendo informações de localização.

Tabela 1 - Posição geográfica dos pontos de coleta selecionados no estudo

Pontos	Localização	Coordenadas geográficas
PA-0	Atlantic City World Náutico	05°11'20 00"S 42° 47'50 60" O
PA-1	Estação de Tratamento de Águas de Teresina – ETA Sul	05°08'46 40"S 42° 48'19 98" O
PA-2	Ponte Engenheiro Antônio Noronha (Ponte velha)	05°07'50 35"S 42° 48'50 57" O
PA-3	Ponte José Sarney (Ponte da Amizade)	05°05'50 14"S 42° 49'07 20" O

PA-4	Ponte João Luís Ferreira (Ponte Metálica)	05°05'13 19"S	42° 49'29 91" O
PA-5	Avenida Boa Esperança (margem do rio)	05°02'35 80"S	42° 50'25 82" O
PA-6	Estação de Tratamento de Águas de Teresina – ETA Norte	04°59'30 97"S	42° 51'19 38" O

Fonte: Organizado elaborado por SOARES, Rafael Diego B. 2018

2.2 METODOLOGIA EXPERIMENTAL

2.2.1 Precipitação Pluviométrica

Para análise da sazonalidade da região, foi construída a série histórica de precipitação pluviométrica (1914-2017) e obtida a precipitação média mensal na cidade de Teresina, utilizando-se dados da estação 00542012 (Estação Teresina – CHESF – período de 1914 a 2017), extraídos da plataforma *on-line* HIDROWEB da Agência Nacional de Águas (ANA). Para a correção de possíveis falhas nos dados das estações, foi aplicado o coeficiente de Pearson e a regressão linear simples, de acordo com Pinto, Souza e Zavattini (2016) e Bertoni e Tucci (2009).

2.2.2 Qualidade da água

Nesse cenário, foram realizadas coletas mensais, durante os períodos de julho de 2011 a julho de 2018, nos pontos nos pontos de monitoramento PA-0 a PA-5. A partir de 2015, foi adicionado o ponto PA-6 que contempla a abrangência da área de estudo (áreas urbanas de Teresina e Timon) e a facilidade de acesso ao local, sendo selecionados para o presente estudo os parâmetros de acordo com APHA (2012), descritos na Tabela 2 e analisados no Laboratório de Saneamento Ambiental da Universidade Federal do Piauí, sendo avaliados frente aos padrões da Resolução CONAMA nº 357/2005 (CONAMA, 2005).

Tabela 2 - Metodologia da determinação das variáveis de qualidade da água

Parâmetros	Método
Temperatura da água (°C)	Filamento de mercúrio
Condutividade elétrica ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$)	Condutimétrico
Turbidez (UNT)	Turbidimétrico
Sólidos Totais ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	Gravimétrico
pH	Eletrométrico
Fósforo Total ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	Espectrofotométrico
Nitrato ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	Espectrofotométrico
Demanda Bioquímica de Oxigênio ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	Winkler/incubação

Oxigênio Dissolvido (mg. L⁻¹)

Eletrométrico

Escherichia coli (NPM.100 mL⁻¹)

Enzimático substrato definido

 Fonte: Organizado elaborado por SOARES, Rafael Diego B. 2018

Para a caracterização da qualidade da água foi aplicado o Índice de Qualidade de Água (IQA) de acordo a Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) (2017). A partir do cálculo efetuado, foi determinada a qualidade das águas, variando numa escala de 0 a 100. Os indicadores de qualidade da água, a partir do IQA, foram: Ótima ($80 \leq \text{IQA} \leq 100$), Boa ($52 \leq \text{IQA} \leq 80$), Regular ($37 \leq \text{IQA} \leq 52$), Ruim ($20 \leq \text{IQA} \leq 37$) e Péssima ($0 \leq \text{IQA} \leq 20$).

2.2.3 Análise e interpretação dos resultados

A análise dos resultados das variáveis de qualidade da água foi realizada utilizando critérios definidos a partir da sazonalidade (período seco e chuvoso), utilizando a estatística descritiva. Para testar as diferenças entre pontos e períodos sazonais, foi utilizado o teste paramétrico ANOVA, com nível de significância de 5%. A análise de variância foi aplicada às variáveis que satisfizeram as pressuposições de independência, homocedasticidade e normalidade. A suposição de igualdade de variância (homocedasticidade) requerida pela ANOVA foi verificada com o uso do teste de Levene.

Assim, nas variáveis que apresentaram diferenças entre os pontos de coleta, foi realizado o teste de Tukey. Para quantificar o grau de associação entre as variáveis da qualidade da água, os dados foram submetidos a uma análise de correlação de Spearman. Os dados também foram sumarizados através da análise de componentes principais (ACP), que permitiu sintetizar a informação contida em um grande número de variáveis, com a menor perda de informação. Como os dados são heterogêneos, a padronização foi feita através do “modo z”. As análises foram realizadas no software SPSS® 20.0.

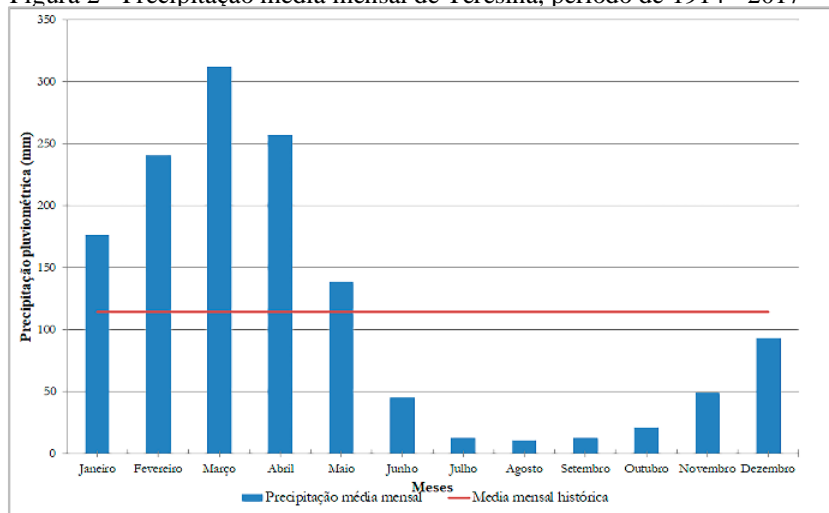
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA DA CIDADE DE TERESINA

A análise dos dados de precipitação pluviométrica é apresentada na figura 2, e mostra a média mensal de precipitação em Teresina, no valor de 106,53 mm, sendo possível observar que os meses mais chuvosos são março e abril, e o mês mais seco é agosto, cujo total médio é 10,54 mm. Contudo, apesar disso, sua distribuição é bastante irregular. O valor médio anual (linha vermelha) é apresentado como uma referência para mostrar o período chuvoso (janeiro,

fevereiro, março, abril e maio) e o período seco (de junho a dezembro). Portanto, o regime pluviométrico da região concentra 82,1% da chuva nos primeiros cinco meses do ano e 17,9% restantes nos sete meses subsequentes, o que caracteriza uma distribuição anual de chuvas bastante irregular, fato que também pode ser observado no estudo de Medeiros, Silva e Lins (2018) na bacia do rio Longá.

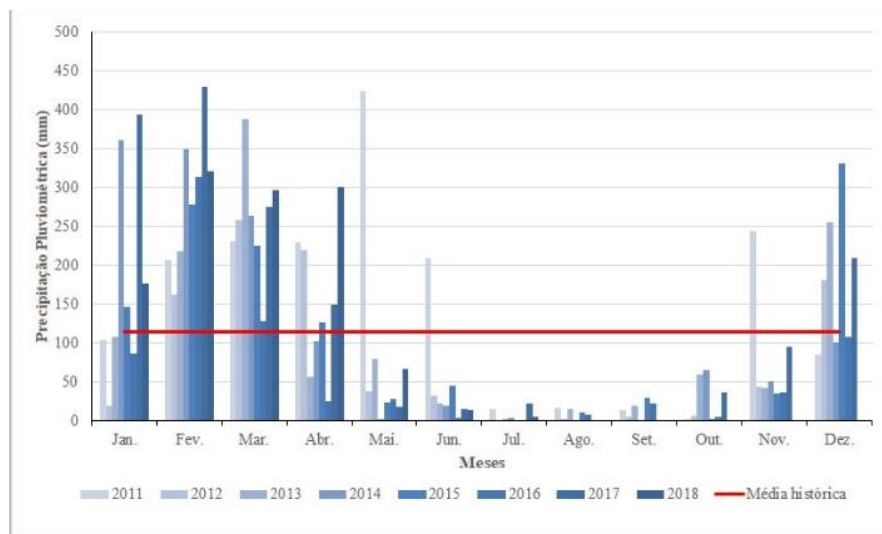
Figura 2 - Precipitação média mensal de Teresina, período de 1914 - 2017



Fonte: ANA (2017)

Na figura 3, é possível observar os valores de precipitação do período estudado e a média histórica de 103 anos, verificando-se que os meses de junho a novembro seguiram uma tendência, com os menores índices pluviométricos, fato que pode ser observado também no estudo de Silva e Oliveira (2017). No ano de 2011, o índice pluviométrico estava bem acima da média, constatando uma atipicidade para a região.

Figura 3 - Total de chuvas (jan./11 a jul./18) e média histórica mensal de chuvas (1914 a 2017), em Teresina-PI



Fonte: ANA (2017)

3.2 ANÁLISE DA QUALIDADE DA ÁGUA DO RIO PARNAÍBA

No rio Parnaíba há variação da temperatura da água nos pontos de amostragem, durante os períodos seco e chuvoso. Os valores médios e o desvio padrão estão demonstrados na tabela 3 e figura 4.

Tabela 3 - Resultados do parâmetro temperatura nos sete pontos amostrais, sazonalmente, no rio Parnaíba

Temperatura				
Pontos	Teste-t	Valor p*	Média ± DP	
			Período Seco	Período Chuvoso
PA-0	1,96	0,05	28,81 ± 1,17	28,31 ± 1,08
PA-1	1,37	0,17	29,30 ± 1,10	28,96 ± 1,15
PA-2	1,28	0,20	29,65 ± 1,17	29,32 ± 1,17
PA-3	1,53	0,12	30,10 ± 1,18	29,66 ± 1,39
PA-4	1,84	0,06	30,22 ± 1,12	29,71 ± 1,42
PA-5	1,29	0,19	30,02 ± 1,41	29,65 ± 1,14
PA-6	1,95	0,05	31,05 ± 0,97	30,32 ± 1,16

* Teste *t* de Student; DP: Desvio Padrão

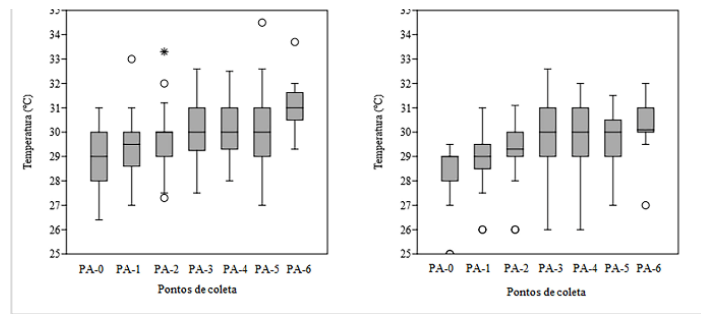
Fone: Pesquisa direta

O teste *t* demonstrou diferenças sazonais significativas, de temperatura, apenas nos pontos PA-0 e PA-6 ($p \leq 0,05$). O teste estatístico indicou a existência de diferenças significativas da temperatura, entre os pontos no período seco ($H=62,25$ e $p < 0,05$) e chuvoso ($H=46,29$ e $p < 0,05$), oscilando no período seco com máxima de $34,5^\circ\text{C}$ e no período chuvoso na faixa de $32,6^\circ\text{C}$. Esses valores são específicos para a região, que apresenta altas temperaturas e baixos índices pluviométricos.

Nesse cenário, a temperatura mais elevada encontra-se no mês de julho, caracterizado por apresentar baixa quantidade de chuvas durante o ano. No entanto, essa variável apresenta uma menor relação com o índice de qualidade da água, como afirma o estudo de Soares et al. (2016) no baixo curso do rio Itapecuru, Maranhão.

A temperatura da água superficial de rios indica a relação de fatores como clima, altitude, mata ciliar e contribuição de águas subterrâneas e efluentes. Comparando as variações de temperatura da água nos dois períodos, observa-se que este parâmetro sofreu influência da sazonalidade. A resolução CONAMA 357/05 não estabelece um valor de temperatura para classificação do rio.

Figura 4 - Variação sazonal da variável Temperatura: (A) período seco e (B) período chuvoso



Fonte: Pesquisa direta

Os valores médios e o desvio padrão, de oxigênio dissolvido, registrados no período seco e chuvoso são demonstrados na tabela 4 e figura 5.

Tabela 4 - Resultados do parâmetro oxigênio dissolvido nos sete pontos amostrais, sazonalmente, no rio Parnaíba

Oxigênio Dissolvido				
Média ± DP				
Pontos	Teste-t	Valor p*	Período Seco	Período Chuvoso
PA-0	1,47	0,47	7,22 ± 0,68	6,96 ± 0,92
PA-1	2,00	0,04	7,15 ± 0,65	6,84 ± 0,79
PA-2	2,25	0,02	7,02 ± 0,69	6,67 ± 0,71
PA-3	2,84	0,00	6,92 ± 0,59	6,54 ± 0,61
PA-4	2,48	0,01	6,97 ± 0,84	6,56 ± 0,58
PA-5	2,91	0,00	6,87 ± 0,62	6,47 ± 0,61
PA-6	0,34	0,73	7,09 ± 0,81	6,98 ± 1,06

* Teste *t* de Student; DP: Desvio Padrão

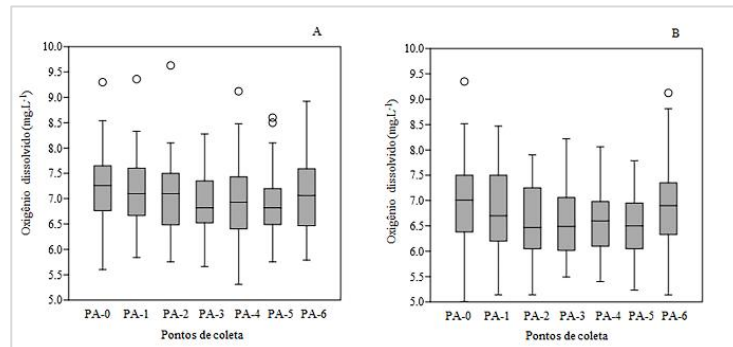
Fonte: Pesquisa direta

O teste *t* demonstrou diferenças sazonais significativas de oxigênio dissolvido em todos os pontos ($p < 0,05$), com exceção dos pontos PA-0 e PA-6 ($p > 0,05$). No período chuvoso, para o oxigênio dissolvido foram detectadas diferenças significativas (ANOVA: $F=2,33$; $p < 0,05$) no ponto PA-5 em relação ao PA-0, com medianas variando entre 6,47 mg. L⁻¹ no PA-2 a 7,01 mg. L⁻¹ no ponto PA-0.

No período seco não houve diferenças significativas entre os pontos ($H=10,90$; $p=0,09$), no entanto, as medianas variaram de 6,82 mg L⁻¹ no ponto PA-5 a 7,26 mg L⁻¹ no PA-0, respectivamente (Figura 5). A oscilação do oxigênio para valores menores pode ter ocorrido devido ao aumento de

compostos orgânicos e nutrientes, podendo haver uma demanda maior por oxigênio na água pelos microrganismos aeróbios, alterando a qualidade da água, como afirma Godefroid (2018). A mediana entre os pontos, nos períodos seco e chuvoso, sempre esteve acima dos limites exigidos pela legislação ambiental (CONAMA, 2005) para rios classe 2 ($5,0 \text{ mg L}^{-1}$). Tal fato também é observado nos estudos de Medeiros, Silva e Lins (2018), em que menores valores para oxigênio dissolvido foram observados, nas áreas mais urbanizadas, na bacia do rio Longá-PI.

Figura 5 - Variação sazonal da variável Oxigênio Dissolvido: (A) período seco e (B) período chuvoso



Fonte: Pesquisa direta

Nessa perspectiva, as variações dos níveis de oxigênio dissolvido na água dependem do processo de fotossíntese, da respiração e da decomposição da matéria orgânica no meio aquático. Esses processos dependem da intensidade de luz e da temperatura, que variam diariamente em regiões tropicais. Salienta-se que concentrações de oxigênio dissolvido abaixo de $5,0 \text{ mg L}^{-1}$ ameaçam o funcionamento da sobrevivência da comunidade biológica aquática.

Verifica-se, portanto, que os valores referentes à Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) tiveram uma maior variação nas áreas mais urbanizadas (PA-2, PA-3, PA-4 e PA-5), mostram-se com os valores mais elevados no período seco, em que o rio tem uma menor vazão e uma diminuição das chuvas. Nesse período, a maior mediana foi de $1,82 \text{ mg L}^{-1}$ no ponto PA-5, com concentrações variando entre $0,22 \text{ mg L}^{-1}$ até $8,42 \text{ mg L}^{-1}$. No período chuvoso, apresentou maior mediana no ponto PA-5, com valor de $1,77 \text{ mg L}^{-1}$, com valores mínimo de $0,43 \text{ mg L}^{-1}$ e máximo de $5,75 \text{ mg L}^{-1}$ (Figura 6). Os valores médios e desvio padrão de $\text{DBO}_{5,20}$ registrados nos períodos seco e chuvoso estão demonstrados na tabela 5.

Tabela 5 - Resultados do parâmetro demanda bioquímica de oxigênio nos sete pontos amostrais, sazonalmente, no rio Parnaíba

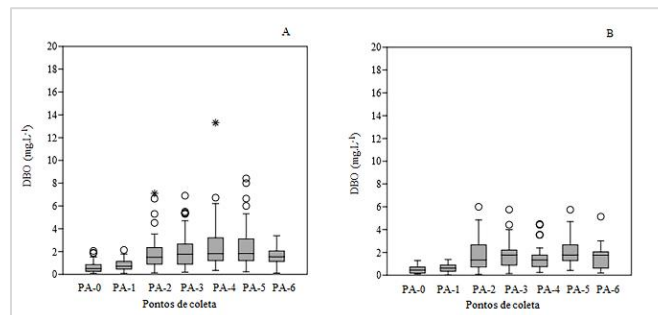
Demanda Bioquímica de Oxigênio				
Pontos	Teste-t	Valor p*	Média ± DP	
			Período Seco	Período Chuvoso
PA-0	1,47	0,14	0,62 ± 0,50	0,48 ± 0,29
PA-1	1,69	0,09	0,81 ± 0,46	0,64 ± 0,38
PA-2	0,45	0,65	1,86 ± 1,48	1,72 ± 1,40
PA-3	1,19	0,23	2,15 ± 1,59	1,76 ± 1,25
PA-4	2,24	0,02	2,54 ± 2,18	1,62 ± 1,22
PA-5	1,42	0,15	2,48 ± 1,94	1,94 ± 1,26
PA-6	0,04	0,96	1,63 ± 0,79	1,65 ± 1,24

* Teste *t* de Student; DP: Desvio Padrão

Fonte: Pesquisa direta

O teste *t* demonstrou diferença sazonal significativa de DBO_{5,20} apenas no ponto PA-4 ($p < 0,05$). No período chuvoso, para DBO, foram detectadas diferenças significativas entre os pontos PA-2, PA-3, PA-4, PA-5 e PA-6 em relação aos pontos PA-0 e PA-1 (ANOVA: $F=10,03$; $p < 0,05$).

Figura 6 - Variação sazonal da Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO): (A) período seco e (B) período chuvoso



Fonte: Pesquisa direta

Nesse contexto, os valores encontrados para DBO_{5,20} começaram a diminuir com o período chuvoso e aumentaram com a aproximação do período de diminuição das chuvas. No que diz respeito à variação espacial, a figura 6 mostra que para a variável DBO, os pontos PA-2, PA-3, PA-4 e PA-5 foram os mais representativos, e apresentaram os piores resultados com valores máximos de 7,10 mg L⁻¹, 6,90 mg L⁻¹, 13,30 mg L⁻¹ e 8,40 mg L⁻¹, respectivamente, estando com esses valores acima do recomendado pela Resolução CONAMA n°357/05 de 5 mg.L⁻¹. Esses valores de DBO podem ser ocasionados em decorrência do lançamento de efluentes sem tratamento nas áreas mais urbanizadas das cidades de Teresina-PI e Timon-MA, corroborando com os estudos de Martins et al. (2017), que

analisaram a qualidade da água do rio Setúbal, em Minas Gerais. Os valores médios e desvios *E. coli* registrados no período seco e chuvoso estão demonstrados na tabela 6 e figura 7.

Tabela 6 - Resultados do parâmetro *E. coli* nos sete pontos amostrais, sazonalmente, no rio Parnaíba

		<i>E. coli</i>		
		Média ± DP		
Pontos	Teste-t	Valor p*	Período Seco	Período Chuvoso
PA-0	1,33	0,18	163,56 ± 426,40	292,15 ± 445,11
PA-1	0,74	0,45	968,26 ± 1578,80	1279,51 ± 2248,19
PA-2	1,32	0,18	290,42 ± 1155,02	996,78 ± 3483,22
PA-3	0,01	0,98	409,81 ± 526,89	408,26 ± 393,42
PA-4	0,93	0,35	934,71 ± 1166,87	732,46 ± 601,49
PA-5	0,17	0,87	1714,36 ± 2091,51	1629,08 ± 2242,9
PA-6	3,98	0,00	246,88 ± 199,93	1032,75 ± 809,89

* Teste *t* de Student; DP: Desvio Padrão

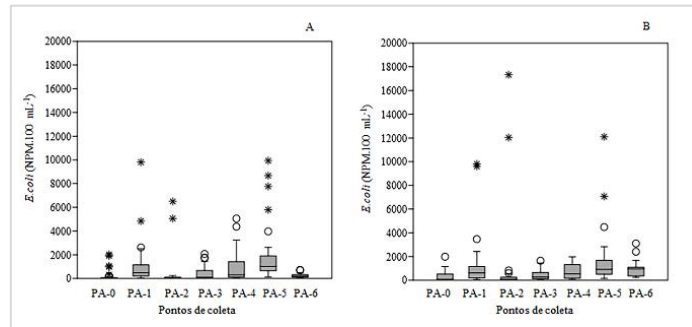
Fonte: Pesquisa direta

Assim, o teste *t* demonstrou diferença sazonal significativa de *E. coli* apenas no ponto PA-6 ($p < 0,05$). No período chuvoso para *E. coli* foram detectadas diferenças significativas (ANOVA: $F=2,14$; $p < 0,05$) no PA-5 em relação ao ponto PA-0. No período seco foi detectado diferenças significativas (ANOVA: $F=9,14$; $p < 0,05$) nos pontos PA-1, PA-4, PA-5 em relação à PA-0; PA-5 em relação à PA-2, PA-3 e PA-4; PA-6 em relação à PA-5.

A figura 7 abaixo ilustra os *boxplot* da distribuição sazonal, construídos a partir dos dados obtidos nas análises da variável *E. coli*. A figura 7A, apresenta a variação da contagem de células de *Escherichia coli*. Entre as coletas realizadas, observa-se que os valores mais elevados ocorreram no período chuvoso nos pontos PA-2 e PA-5, a mediana no PA-2 foi de 73,00 NPM 100 mL⁻¹, com densidade máxima de 17.329 NPM 100 mL⁻¹. No PA-5 a mediana foi de 913,80 NPM 100 mL⁻¹ com densidades variando de 145,8 NPM 100 mL⁻¹ e máxima de 12.098 NPM 100 mL⁻¹. De acordo com os dados apresentados, o período chuvoso apresentou os maiores valores na densidade, corroborando com a afirmação de Sterk et al. (2016), que explica a influência dos fatores climáticos sobre a precipitação, fato que aumenta o escoamento superficial, influenciando no aumento da densidade de *E. coli*, permitindo afirmar que esses altos níveis de microrganismos fecais são umas das principais causas de poluição em águas superficiais. Dessa forma, salienta-se que esses elevados níveis representam uma grande preocupação para a saúde pública, sendo necessário um monitoramento frequente (JOVANOVIC et al., 2017).

Em todos os pontos houve valores maiores que o limite de 1.000 NPM 100 mL⁻¹, que é o valor recomendado pela legislação para rios classe 2, e coincidindo com o período chuvoso, pode ser ocasionado pelas fontes pontuais de lançamento de esgotos sanitários, fato observado de forma semelhante no estudo de Medeiros, da Silva e Lins (2018).

Figura 7 - Variação sazonal de *E. coli*: (A) período seco e (B) período chuvoso



Fonte: Pesquisa direta

Os valores médios e desvio-padrão de turbidez registrados no período seco e chuvoso estão demonstrados na tabela 7 e figura 8.

Tabela 7 - Resultados do parâmetro turbidez nos sete pontos amostrais, sazonalmente, no rio Parnaíba

Turbidez				
Pontos	Teste-t	Valor p*	Média ± DP	
			Período Seco	Período Chuvoso
PA-0	2,61	0,01	34,45 ± 73,41	75,29 ± 66,60
PA-1	3,32	0,00	33,54 ± 67,11	85,16 ± 74,07
PA-2	3,10	0,00	32,42 ± 67,13	80,23 ± 73,04
PA-3	3,08	0,00	34,74 ± 70,69	83,81 ± 73,35
PA-4	2,97	0,00	34,45 ± 71,08	80,94 ± 69,81
PA-5	2,83	0,00	34,76 ± 67,52	77,30 ± 67,98
PA-6	3,87	0,00	17,92 ± 8,22	83,29 ± 71,25

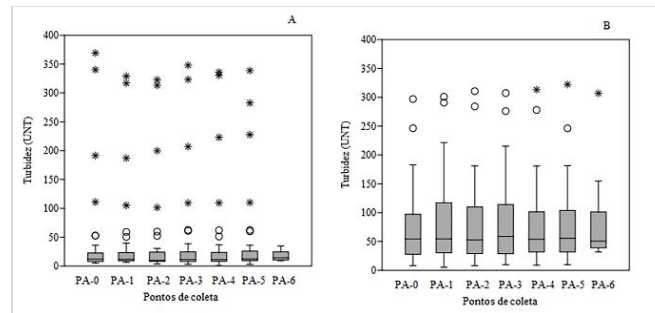
* Teste *t* de Student; DP: Desvio Padrão

Fonte: Pesquisa direta

O teste *t* demonstrou diferenças sazonais significativas de turbidez em todos os pontos ($p < 0,05$). No período seco, para a turbidez, não foram detectadas diferenças significativas entre os pontos ($H=5,08$ e $p=0,53$). No período chuvoso, também não foram observadas diferenças significativas entre os pontos ($H=0,88$ e $p=0,98$), mas apresentaram-se alterações ao longo do estudo, coincidindo com o período de aumento da precipitação, como no mês de fevereiro de 2014, que apresenta turbidez mais

elevada com valor de 369,25 UNT (Figura 8). As alterações na turbidez podem ser provocadas principalmente por partículas de solo, que podem espalhar a luz e fazer a água parecer turva ou escura (SURIYAMPOLA, CACÉRES, MARTINS, 2018).

Figura 8 - Variação sazonal da variável turbidez: (A) período seco e (B) período chuvoso



Fonte: Pesquisa direta

Os valores médios e o desvio-padrão registrados no período seco e chuvoso estão demonstrados na tabela 8. O teste t evidenciou diferenças sazonais significativas em pH no ponto PA-0 ($p < 0,05$). Nos períodos chuvoso ($H=2,61$; $p > 0,05$) e seco ($H=24,35$; $p > 0,05$) não houve diferenças significativas entre os pontos. O pH (Potencial hidrogeniônico) dá uma indicação da condição de acidez, neutralidade ou alcalinidade da água, variando na faixa de 0 a 14.

Tabela 8 - Resultados do parâmetro pH nos sete pontos amostrais, sazonalmente, no rio Parnaíba

		pH		
		Média \pm DP		
Pontos	Teste-t	Valor p*	Período Seco	Período Chuvoso
PA-0	2,15	0,03	7,67 \pm 0,52	7,40 \pm 0,60
PA-1	1,65	0,10	7,46 \pm 0,48	7,27 \pm 0,55
PA-2	0,47	0,63	7,32 \pm 0,43	7,27 \pm 0,50
PA-3	0,14	0,88	7,28 \pm 0,45	7,27 \pm 0,49
PA-4	0,04	0,96	7,30 \pm 0,44	7,30 \pm 0,60
PA-5	0,58	0,55	7,26 \pm 0,47	7,33 \pm 0,56
PA-6	0,76	0,45	7,28 \pm 0,42	7,16 \pm 0,48

* Teste t de Student; DP: Desvio Padrão

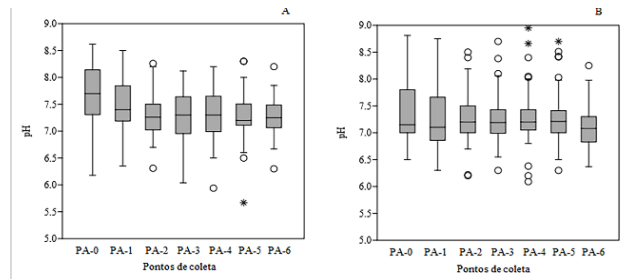
Fonte: Pesquisa direta

De acordo com a Figura 9, o rio Parnaíba apresentou maior mediana no período seco no ponto PA-0, com valor 7,70 e menor mediana no ponto PA-6, com valor 7,08 no período chuvoso, respectivamente, com máxima de 8,95 no período chuvoso no ponto PA-4, coincidindo com a maior pluviosidade durante o período de coleta de dados e mínimo 5,67 no ponto PA-5 no mês de dezembro

de 2015, no período chuvoso, confirmando com outros estudos realizados em ambientes lóticos que podem ser encontrados valores ácidos no período chuvoso, como afirma Damasceno et al. (2015) e Medeiros, Silva e Lins (2018).

Essa acidez pode causar potencial corrosividade e agressividade nas tubulações e peças das estações de tratamento de água, podendo ainda afetar a vida aquática, como peixes e microrganismos, conforme explica Sperling (2017). No período seco, verifica-se que todos os valores observados estão dentro do intervalo de 6 a 9, conforme descrito na legislação ambiental para rios classe 2, fato que foi visualizado no estudo de Medeiros, Silva e Lins (2018) na bacia hidrográfica do rio Longá.

Figura 9 - Variação sazonal da variável pH: (A) período seco e (B) período chuvoso



Fonte: Pesquisa direta

Os valores médios e o desvio-padrão da condutividade elétrica, registrados nos períodos seco e chuvoso, estão demonstrados na tabela 9.

Tabela 9 - Resultados do parâmetro condutividade elétrica nos sete pontos amostrais, sazonalmente, no rio Parnaíba

		Condutividade elétrica		
		Média ± DP		
Pontos	Teste-t	Valor p*	Período Seco	Período Chuvoso
PA-0	0,76	0,44	45,93 ± 38,39	51,76 ± 28,14
PA-1	2,88	0,00	36,44 ± 10,03	44,90 ± 16,75
PA-2	2,51	0,01	32,77 ± 8,72	43,65 ± 28,52
PA-3	2,32	0,02	34,66 ± 9,87	41,00 ± 15,06
PA-4	2,67	0,00	34,10 ± 8,86	41,22 ± 15,44
PA-5	2,75	0,00	35,65 ± 8,86	45,71 ± 23,34
PA-6	2,75	0,00	51,10 ± 16,11	75,04 ± 32,40

* Teste *t* de Student; DP: Desvio Padrão

Fonte: Pesquisa direta

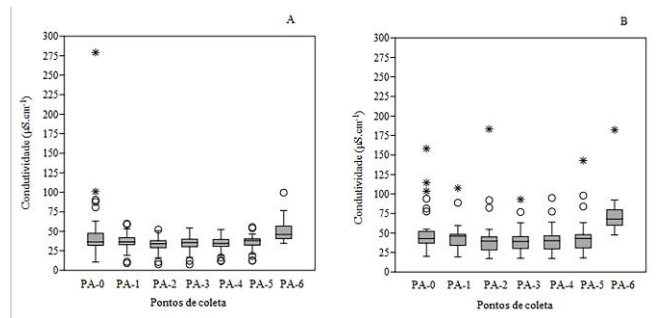
O teste *t* demonstrou diferenças sazonais significativas na condutividade elétrica em todos os pontos, com exceção do PA-0. No período seco, houve diferenças significativas entre os pontos

(ANOVA: $F=4,81$; $p<0,05$). Nos pontos PA-2, PA-3 e PA-4 em relação à PA-0 e PA-6 em relação à PA-1, PA-2, PA-3, PA-4 e PA-5.

A condutividade elétrica, como mostra a figura 10, apresentou a maior média no ponto PA-6, no período chuvoso, com valor de $75,04 \mu\text{S cm}^{-1}$. De acordo com Esteves (2011), a condutividade elétrica depende da composição iônica dos corpos d'água e pode ser influenciada pelo volume de chuvas, com alta pluviosidade e predominância de rochas sedimentares. Nesse sentido a composição iônica da água pode ser determinada pela composição das rochas, mas o uso do solo também pode modificar diretamente a composição da água refletindo-se na condutividade elétrica (ESTEVES, 2011; SPERLING, 2017).

Os valores mais elevados de condutividade elétrica podem ter relações com as contribuições de lançamento de efluentes domésticos sem tratamento ao longo da área urbana da cidade. Fato semelhante foi observado por Medeiros, Silva e Lins (2018) estudando a qualidade da água de áreas urbanas da bacia hidrográfica do rio Longá.

Figura 10 - Variação sazonal da variável condutividade: (A) período seco e (B) período chuvoso



Fonte: Pesquisa direta

Conforme os dados, pode-se observar que houve aumentos pontuais da condutividade elétrica, independente da sazonalidade, fato que pode ser explicado pelo lançamento de efluentes (ESTEVES, 2011). Em vários estudos realizados em rios, foram encontrados valores mais baixos de condutividade elétrica, no período seco, assim como Marmontel e Rodrigues (2015) e Piratoba et al. (2017), mostrando um comportamento similar aos deste estudo, encontrando os maiores teores no período chuvoso. Para essa variável, não existe um padrão na legislação, porém de acordo com Sperling (2017), as águas naturais apresentam teores de condutividade elétrica na faixa de 10 a $100 \mu\text{S cm}^{-1}$, sendo que em ambientes poluídos podem chegar a $1.000 \mu\text{S cm}^{-1}$. Os valores médios e o desvio-padrão dos sólidos totais registrados nos períodos seco e chuvoso estão demonstrados na tabela 10.

Tabela 10 - Resultados do parâmetro sólidos totais nos sete pontos amostrais, sazonalmente, no rio Parnaíba

Sólidos totais				
Pontos	Teste-t	Valor p*	Média ± DP	
			Período Seco	Período Chuvoso
PA-0	0,82	0,41	179,59 ± 340,09	130,85 ± 101,70
PA-1	0,03	0,96	132,24 ± 141,41	131,14 ± 103,34
PA-2	0,46	0,64	200,61 ± 602,19	152,62 ± 130,40
PA-3	0,65	0,51	107,55 ± 103,49	121,42 ± 84,09
PA-4	0,41	0,68	136,12 ± 144,96	124,57 ± 94,03
PA-5	1,91	0,05	93,46 ± 67,90	131,14 ± 112,06
PA-6	0,40	0,68	82,22 ± 61,62	90,66 ± 57,00

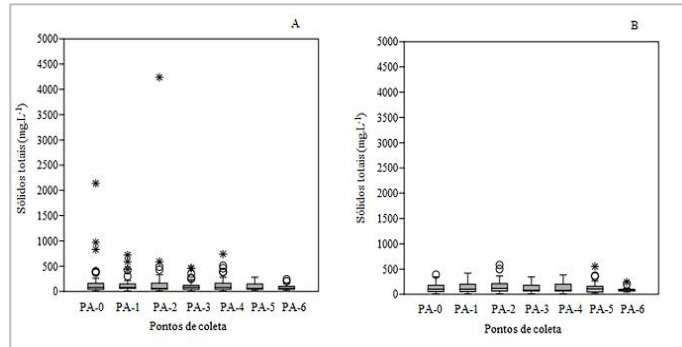
* Teste *t* de Student; DP: Desvio Padrão

Fonte: Pesquisa direta

O teste *t* demonstrou diferenças sazonais significativas nos sólidos totais apenas no ponto PA-5 ($p < 0,05$). Nos períodos seco ($H=0,94$ e $p > 0,05$) e chuvoso ($H=3,12$ e $p=0,90$), não foram detectadas diferenças significativas. Os sólidos totais, de acordo com o recomendado pela resolução CONAMA 357/2005, devem ser encontrados em valores de até 500 mgL^{-1} para rios Classe II, apresentando mediana de 80 mg L^{-1} nos pontos PA-0, PA-1, PA-3 e PA-4 no período seco e 120 mgL^{-1} no ponto PA-2 no período chuvoso, respectivamente (Figura 11).

Dessa forma, os resultados obtidos mostram que PA-2 tem o valor médio mais elevado no período seco, sendo possível concluir que atividades na área podem estar impactando os corpos receptores, corroborando com o estudo de Piratoba et al. (2017). Os teores médios de sólidos totais obtidos foram menores que 500 mgL^{-1} , confirmando o estudo de Hagemann e Gastalina (2016), Menezes et al. (2016) e Medeiros, Silva e Lins (2018), que analisaram a qualidade da água de rios urbanos. Outro aspecto importante que pode influenciar gerando impacto direto no corpo hídrico, com o aumento dos sólidos totais, são os prejuízos às plantações (irrigação) e o aumento dos gastos no tratamento da água retirada do manancial (SPERLING, 2017).

Figura 11 - Variação sazonal da variável sólidos totais: (A) período seco e (B) período chuvoso



Fonte: Pesquisa direta

O fósforo foi quantificado por meio do íon fosfato encontrado nas amostras e os valores médios e desvio-padrão nos períodos seco e chuvoso estão demonstrados na tabela 11.

Tabela 11 - Resultados do parâmetro fósforo total nos sete pontos amostrais, sazonalmente, no rio Parnaíba

Fósforo total				
Pontos	Teste-t	Valor p*	Média ± DP	
			Período Seco	Período Chuvoso
PA-0	0,48	0,62	0,05 ± 0,08	0,07 ± 0,13
PA-1	0,13	0,89	0,05 ± 0,10	0,05 ± 0,09
PA-2	0,8	0,42	0,04 ± 0,08	0,06 ± 0,12
PA-3	0,82	0,41	0,04 ± 0,10	0,07 ± 0,12
PA-4	0,62	0,53	0,04 ± 0,10	0,06 ± 0,11
PA-5	0,35	0,72	0,07 ± 0,14	0,06 ± 0,11
PA-6	0,81	0,42	0,03 ± 0,04	0,04 ± 0,04

* Teste *t* de Student; DP: Desvio Padrão

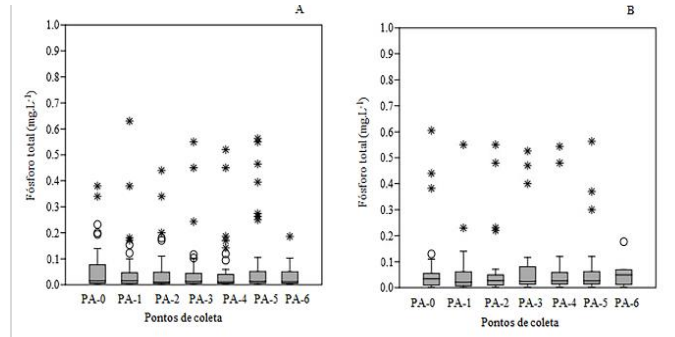
Fonte: Pesquisa direta

O teste *t* demonstrou não ocorrer diferença sazonal significativa de fósforo total ($p > 0,05$). Os pontos mostraram-se com pouca variação e não apresentaram diferenças estatisticamente significativas no período seco ($H=2,12$ e $p=0,90$), nem no período chuvoso ($H=1,94$ e $p=0,92$). De acordo com os resultados observados no período chuvoso, o fósforo total expressou a maior mediana no ponto PA-6, com valor $0,049 \text{ mg L}^{-1}$ e, no período seco nos pontos PA-0 e PA-1, com valor de $0,015 \text{ mg L}^{-1}$ (Figura 12).

Nessa variável, os valores tendem a crescer a partir do início do período chuvoso, comprovando assim que o rio Parnaíba pode receber a influência dos municípios que apresentam lançamento de produtos fosfatados, provavelmente oriundos de produtos utilizados na agricultura, um dos fatores que pode ter interferido nos valores encontrados, podendo afirmar que tem uma origem difusa, possivelmente pela lixiviação do solo pelas águas das chuvas, confirmando com os dados de Medeiros,

Silva e Lins (2018). Esses dados comprovam a necessidade de se avaliar esse composto, que é de suma importância para o desenvolvimento de microrganismos.

Figura 12 - Variação sazonal de Fósforo total: (A) período seco e (B) período chuvoso



Fonte: Pesquisa direta

Os valores médios e o desvio-padrão de nitrato registrados nos períodos seco e chuvoso estão demonstrados na tabela 12.

Tabela 12 - Resultados do parâmetro nitrato nos sete pontos amostrais, sazonalmente, no rio Parnaíba

Nitrato				
Pontos	Teste-t	Valor p*	Média ± DP	
			Período Seco	Período Chuvoso
PA-0	0,74	0,45	0,06 ± 0,07	0,05 ± 0,03
PA-1	0,29	0,77	0,07 ± 0,07	0,06 ± 0,04
PA-2	0,4	0,68	0,05 ± 0,06	0,06 ± 0,05
PA-3	0,86	0,39	0,07 ± 0,07	0,06 ± 0,05
PA-4	0,96	0,33	0,05 ± 0,05	0,06 ± 0,05
PA-5	0,87	0,38	0,06 ± 0,09	0,08 ± 0,08
PA-6	1,24	0,22	0,06 ± 0,05	0,08 ± 0,03

* Teste *t* de Student; DP: Desvio Padrão

Fonte: Pesquisa direta

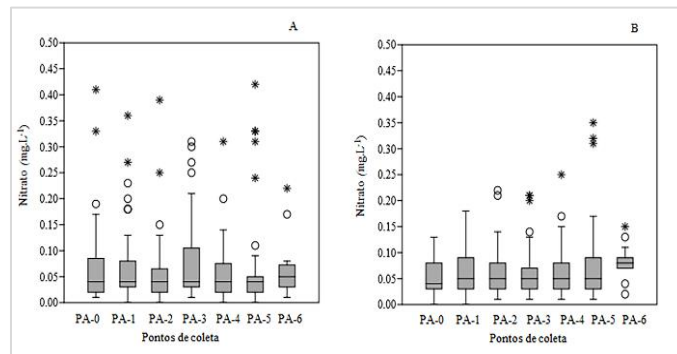
O teste *t* demonstrou que não ocorre diferença sazonal de nitrato entre os pontos de coleta ($p > 0,05$). Nos períodos seco ($H=6,62$; $p=0,34$) e chuvoso ($H=9,68$; $p > 0,05$), não foram detectadas diferenças significativas e a concentração do íon nitrato apresentou os maiores valores de medianas, no período chuvoso, no ponto PA-6 ($0,08 \text{ mgL}^{-1}$) (Figura 13).

Assim, observa-se que houve um leve aumento na concentração de nitrato na água, fato que não pode representar uma ameaça à saúde humana e animal, mas pode fornecer informações sobre o estágio da poluição, sendo associada a uma poluição mais remota, que influencia no processo de eutrofização

em sistemas aquáticos ameaçando peixes, biodiversidade, estética e economia (PRAKASA RAO et al., 2017).

Em todas as amostras coletadas, os resultados foram inferiores a 10 mg L^{-1} , valor definido pela Resolução CONAMA 357/2005 para rios de classe 2, mostrando que, mesmo havendo um aumento da concentração do íon nitrato, o rio Parnaíba encontra-se em conformidade com a legislação brasileira.

Figura 13 - Variação sazonal da variável nitrato: (A) período seco e (B) período chuvoso



Fonte: Pesquisa direta

Os valores médios e o desvio-padrão do Índice de Qualidade da Água (IQA) registrados nos períodos seco e chuvoso estão demonstrados na tabela 13.

Tabela 13 - Resultados do Índice de Qualidade da Água (IQA) nos sete pontos amostrais, sazonalmente, no rio Parnaíba

		IQA		
		Média ± DP		
Pontos	Teste-t	Valor p*	Período Seco	Período Chuvoso
PA-0	7,82	0,0001	83,42 ± 5,59	70,33 ± 9,67
PA-1	5,50	0,0001	75,12 ± 6,24	66,24 ± 8,53
PA-2	7,45	0,0001	82,58 ± 6,82	68,08 ± 10,98
PA-3	6,68	0,0001	78,52 ± 7,61	66,51 ± 8,80
PA-4	5,46	0,0001	74,36 ± 7,14	65,05 ± 8,42
PA-5	5,56	0,0001	71,26 ± 5,29	62,91 ± 8,44
PA-6	6,31	0,0001	78,40 ± 2,93	66,74 ± 7,17

* Teste *t* de Student; DP: Desvio Padrão

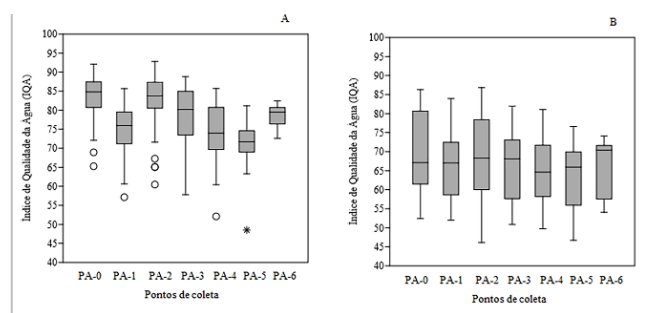
Fonte: Pesquisa direta

O IQA classificou as águas do trecho monitorado como de qualidade “boa” em todos os pontos, no período chuvoso, e com qualidade “boa e ótima”, no período seco, fato também observado em um estudo do rio Tapajós, no estado do Pará, realizado por Batalha et al. (2014).

O teste t mostrou que houve diferença significativa em todos os pontos ($p < 0,05$). No período seco, para o IQA, foram detectadas diferenças significativas (ANOVA: $F=23,52$; $p < 0,05$) nos pontos PA-1, PA-3, PA-4, PA-5 e PA-6 em relação ao PA-0. No período chuvoso, não foram encontradas diferenças significativas entre os pontos ($H=0,88$ e $p > 0,05$).

Os resultados demonstram uma piora na qualidade da água dos pontos mais próximos de áreas mais urbanizadas, de Teresina e Timon, no período chuvoso, fato que pode estar relacionado aos aumentos de *E. coli* e turbidez, corroborando com o estudo de Kolm, Siqueira e Machado (2016), que também compararam o Índice de qualidade com a sazonalidade.

Figura 14 - Variação sazonal do Índice de Qualidade da Água (IQA), no período seco (A) e chuvoso (B)



Fonte: Pesquisa direta

Considerando todos os resultados reportados, foi observado que o impacto da ocupação urbana é a principal causa de alterações na qualidade da água, nos pontos localizados à jusante da ETA-Sul, apresentando diferenças significativas na maioria dos parâmetros. Nesse sentido, ressalta-se uma maior vulnerabilidade no ponto PA-6 (ETA-Norte) que recebe contribuição do rio Poti, em estado de eutrofização, agravando assim a qualidade do manancial.

Com a avaliação do impacto urbano, observa-se que a qualidade da água foi pior nos pontos próximos aos centros urbanos de Teresina - PI e Timon - MA. De maneira geral, considerando o cenário brasileiro, em que os rios localizados em grandes centros urbanos estão totalmente degradados, o rio Parnaíba tem água considerada de boa qualidade e está de acordo com as legislações ambientais vigentes.

3.3 CORRELAÇÕES ENTRE AS VARIÁVEIS AMBIENTAIS

Os resultados das análises preliminares, que visaram testar se os dados são adequados à AF/ACP, possibilitaram o emprego de tal metodologia. Ao testar a hipótese de que a matriz de correlação é uma matriz identidade, teste de esfericidade de Bartlett ($p \approx 0,000$), foi descartada a hipótese nula, verificando a existência de correlações significativas entre as variáveis.

Outro teste utilizado foi o índice de adequação da amostra (KMO), que segundo Hair et al. (2009), quantifica o grau de intercorrelação entre as variáveis. O resultado encontrado foi $KMO = 0,615$, o que permite a aplicação da análise.

Informações relevantes sobre a dinâmica das variáveis pode ser obtida através da matriz de correlação. Os parâmetros limnológicos que possuíam maior número de correlações (Tabela 14) tiveram maior importância na composição das componentes principais (CPs).

Os dados apresentados para a DBO indicam que a qualidade da água do rio Parnaíba na área urbana das cidades de Teresina e Timon deteriorou no período seco, apresentando uma correlação significativa positiva com a variável fósforo total ($\rho=0,176$). Já a variável de *E. coli*, apresentou correlação positiva com turbidez, DBO, fósforo total, sólidos totais e nitrato e correlação negativa com oxigênio dissolvido e com o IQA (Tabela 14).

Tabela 14 - Matriz de correlação das variáveis limnológicas do rio Parnaíba

	Temperatura	OD	DBO	Sólidos totais	Condutividade	Turbidez	Nitrato	Fósforo total	<i>E. coli</i>	pH	IQA
Temperatura	1,000										
OD	0,043	1,000									
DBO	0,035	-	1,000								
		0,061									
Sólidos totais	-	0,028	0,137	1,000							
	0,104										
Condutividade	-	0,136	-	-	1,000						
	0,062		0,127	0,037							
Turbidez	-	-	0,141	0,155	0,066	1,000					
	0,328	0,203									
Nitrato	-	0,020	0,052	0,110	0,019	0,297	1,000				
	0,088										
Fósforo total	-	-	0,176	0,095	-	-	0,012	1,000			
	0,024	0,146			0,144	0,064					
<i>E. coli</i>	-	-	0,137	0,070	-	0,225	0,056	0,092	1,000		
	0,048	0,127			0,049						
pH	-	0,161	-	0,101	0,024	-	0,061	0,123	-	1,000	
	0,056		0,057			0,171			0,026		
IQA	0,139	0,275	-	-	-	-	-	-	-	0,068	1,000
			0,191	0,135	0,100	0,542	0,178	0,098	0,325		

A variável turbidez correlacionou-se positivamente com *E. coli*, condutividade, sólidos totais e DBO, e negativamente com temperatura, OD e IQA, mostrando que a alta turbidez da água pode favorecer a proliferação de bactérias e reduzir a quantidade de oxigênio dissolvido. Isso acontece devido à ocorrência da redução da quantidade de luz para a fotossíntese de algas e plantas aquáticas, como evidenciado no estudo de Suriyampola, Cacéres, Martins (2018).

As quatro primeiras componentes explicaram cerca de 53,91% da variância total dos dados. Embora não exista um critério sobre o número de fatores que devem ser extraídos na análise, o critério de Kaiser (1958) sugere a extração dos fatores com autovalor acima de um.

A tabela 14 apresenta a matriz de pesos fatoriais que indica a contribuição que cada variável possui na componente principal. Esse valor deve ser maior que o valor absoluto de 0,5 e deve corresponder a uma única componente. Assim, o parâmetro turbidez apresentou valor maior que 0,5, na primeira componente, esta explicou cerca de 20,28% da variância total dos dados e teve como variáveis mais expressivas a turbidez cujo valor foi de 0,789 e *E. coli*, com valor de 0,501. Isso se justifica pelo fato de a turbidez estar relacionada à presença de material orgânico na água, condição também observada por Souza e Nunes (2017) e Amorim et al. (2017).

Nesse cenário, a segunda componente explicou cerca de 12,76% da variância dos dados, sendo a condutividade e o fósforo total as variáveis mais significativas, fato também observado por Oliveira, Oliveira e Lima (2018), e pode ter origem principalmente por despejos domésticos contribuindo para a proliferação de organismos fitoplanctônicos.

Tabela 15 - Matriz de pesos fatoriais das variáveis de qualidade da água nas três componentes principais

Variáveis	Matriz(a)			
	Componente Principal (CP)			
	1	2	3	4
Turbidez	0,789	-0,312	-0,095	0,032
IQA	-0,783	0,060	0,089	0,005
<i>E. coli</i>	0,501	0,183	-0,053	0,040
Nitrato	0,384	-0,256	0,319	0,276
Condutividade	-0,007	-0,628	0,015	0,018
Fósforo total	0,180	0,606	0,322	-0,332
pH	-0,156	0,012	0,728	-0,278
Sólidos totais	0,311	0,065	0,537	0,205
OD	-0,417	-0,325	0,438	0,414
Temperatura	-0,372	0,355	-0,221	0,532

DBO	0,362	0,454	0,105	0,487
Autovalor	2,231	1,404	1,295	1,001
% Variância Explicada	20,282	12,762	11,769	9,097
% Variância Acumulada	20,282	33,044	44,813	53,910

Nota: A coloração cinza destaca o peso de cada variável para aquela Componente Principal (CP)

A componente 3 explicou 11,76% da variância total dos dados e apresentou como variáveis mais representativas o pH e os sólidos totais que estão relacionados com a precipitação e com o uso e ocupação do solo da bacia, os quais contribuem com aporte de partículas no rio. Esse resultado reforça a importância desse parâmetro, que é relevante para a indicação da qualidade da água, contribuindo para o equilíbrio da vida aquática.

A componente 4 representou 9,09% da variância dos dados e teve como variável mais importante a temperatura, que se correlacionou diretamente com a DBO, OD, nitrato, *E. coli* e turbidez, fato que pode estar relacionado principalmente ao aumento da carga orgânica no rio Parnaíba.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

De forma geral, o estudo mostrou que a qualidade da água do rio Parnaíba pode ser considerada de nível bom, mesmo existindo uma intensa ocupação humana no entorno das cidades de Teresina e Timon e lançamento de dejetos no rio. Nesse sentido, as variações sazonais influenciam nos parâmetros de qualidade da água. A turbidez e *E. coli* foram os fatores que mais contribuíram para a queda do índice de qualidade da água durante o estudo.

Os melhores níveis do IQA foram constatados no PA-0 e PA-1, e por meio de análise estatística, foi evidenciado que existem diferenças significativas entre os pontos de amostragem. Assim, os principais fatores ambientais que contribuíram para a redução do IQA, nos pontos de amostragem situados na jusante dos pontos PA-0 e PA-1, provavelmente estão associadas ao lançamento de efluentes domésticos das cidades de Teresina e Timon e aos processos erosivos na área de influência dos pontos de monitoramento.

Para evidenciar detalhada da qualidade da água do rio Parnaíba, por meio de IQA, recomenda-se a adaptação dos pesos ou estrados de qualificação do índice utilizado ou a construção de um IQA específico para esse recurso hídrico, onde sejam incorporadas outras variáveis-chave da dinâmica desse ambiente.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi realizado durante uma bolsa de estudos financiada pela CAPES - Agência Federal Brasileira de Apoio e Avaliação da Educação de Pós-Graduação do Ministério da Educação do Brasil (MEC).

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2018**: informe anual. Brasília: ANA, 2018. Disponível em: <http://arquivos.ana.gov.br/portal/publicacao/Conjuntura2018.pdf> . Acesso em: 20 fev. 2019.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. **Standard Methods For the Examination of Water and Wastewater**. 22nd edition. Washington DC, USA: APHA; AWWA; WEF, 2012

AMORIM, D. G.; CAVALCANTE, P. R. S.; SOARES, L. S.; AMORIM, P. E. C. Enquadramento e avaliação do índice de qualidade da água dos igarapés Rabo de Porco e Precuá, localizados na área da Refinaria Premium I, município de Bacabeira (MA). **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 22, n. 2, p. 251-259, 2017. DOI: 101590/S1413-41522016131212. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/esa/2016nahead/1809-4457-esa-S1413-41522016131212.pdf>. Acesso em: 04 fev. 2019.

BATALHA, S. S. A., MARTORANO, L. G., BIASE, A. G., MORALES, G. P., PONTES, A. N., SANTOS, L. S. Condições físico-químicas e biológicas em águas superficiais do Rio Tapajós e a conservação de Floresta Nacional na Amazônia, Brasil. **Revista Ambiente e Água**, Taubaté, v. 9, n. 4, p. 647-663, out./dez. 2014. DOI: <https://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.1304>. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1980-993X2014000400008&lng=pt&nrm=iso&tlng=pt. Acesso em: 15 abr. 2019.

BERTONI, J. C.; TUCCI, C. E. M. Precipitação. In: TUCCI, C. E. M.; SILVEIRA, A. L. L. (EDS.). **Hidrologia**: ciência e aplicação. Porto Alegre: ABRH, 2009.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Qualidade das Águas Superficiais do Estado de São Paulo, 2017**. São Paulo, SP: CETESB, 2017. 371 p. Disponível em: <http://aguasinteriores.cetesb.sp.gov.br/publicacoes-e-relatorios/>. Acesso em: 8 abr. 2019.

CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE. Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. **Diário oficial [da] União**, Brasília, n. 53, 18 mar. 2005, p. 58-63.

CORNELLI, R.; SCHNEIDER, V. E.; BORTOLIN, T. A.; CEMIN, G.; SANTOS, G. M. Análise da Influência do Uso e Ocupação do Solo na Qualidade da Água de Duas Sub-Bacias Hidrográficas do Município de Caxias do Sul. **Scientia cum Industria**, [S. l.], v. 4, n. 1, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.18226/23185279.v4iss1p1>. Disponível em: <http://www.uces.br/etc/revistas/index.php/scientiacumindustria/article/download/3768/pdf/551>. Acesso em: 20 fev. 2019.

DAMASCENO, M. C. S.; RIBEIRO, H. M. C.; TAKIYAMA, L. R.; PAULA, M. T. Avaliação sazonal da qualidade das águas superficiais do rio Amazonas na orla da cidade de Macapá, Amapá, Brasil. **Revista Ambiente & Água**, [S. l.], v. 10, n. 3, p. 598-613, 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.4136/ambiente.1606>. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1980-993X2015000300598&lng=pt&nrm=iso&tlng=pt. Acesso em: 15 fev. 2019.

DURIGON, M., OLIVEIRA, M. A., WOLFF, D. B., VESTENA CASSOL, A. P., FERREIRA DA SILVA, J. A urbanização compromete a qualidade da água da bacia hidrográfica dos rios Vacai e Vacai-Mirim em Santa Maria, RS. **Ciência e Natura**, Santa Maria, v. 37, n. 3. Disponível em: <https://www.redalyc.org/html/4675/467546194007/>. Acesso em: 12 jan. 2019.

ESTEVES, F. A. **Fundamentos de Limnologia**. 3. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2011. 826p.

FONTENELLE, T. H.; NETO, J. A. B.; FONSECA, E. M. Water quality along the Alagoas State Coast, Northeast Brazil: advocacy for the coastal management. **Jornal of Integrated Coastal Zone Management**, [S. l.], v. 15, n. 4, p. 559-567, 2015. DOI: 10.5894/rgci562. Available in: 10.5894/rgci562. Acesso em: 17 fev. 2019.

GODEFROID, R. S. Análise Microbiológica da Água do Rio Bacacheri, Curitiba-PR. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 23, n. 5, set./out. 2018. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/esa/v23n5/1809-4457-esa-23-05-933.pdf>. Acesso em: 10 fev. 2019.

GOMES, W. K. A. M.; SOUZA, R. F.; CRISPIM, M. C. Avaliação espacial e temporal da qualidade da água em rio de área costeira do Nordeste brasileiro. **Geo Temas**, Pau dos Ferros, Rio Grande do

Norte, v. 6, n. 2, p. 03-14, jul./dez. 2016. Disponível em: <http://periodicos.uern.br/index.php/geotemas/article/view/1650/1254>. Acesso em: 10 jan. 2019.

HAGEMANN, S. E.; GASTALDINI, M. do C. C. Variação da qualidade da água de chuva com a precipitação: aplicação à cidade de Santa Maria - RS. *RBRH*, Porto Alegre, v. 21, n. 3, p. 525-536, set. 2016. DOI: 10.1590/2318-0331.011615010. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S2318-03312016000300525&lng=en&nrm=iso&tlng=pt Acesso em: 20 jan. 2019.

HAIR JUNIOR, J. F.; BLAC, W. C.; BABIN, B. J.; ANDERSON, R. E.; TATHAM, R. L. **Análise multivariada de dados**. 6. ed. Porto Alegre: Bookman, 2009. 688p.

HIDROWEB. **Séries Históricas de Estações**. Disponível em: http://www.snirh.gov.br/hidroweb/publico/medicoes_historicas_abas.jsf. Acesso em: 10 set. 2018.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Panorama das cidades**. 2018. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/>. Acesso em: 20 mar., 2019.

INSTITUTO TRATA BRASIL. **Ranking do saneamento**. São Paulo: GO Associados, 2018. Disponível em: <http://www.tratabrasil.org.br/images/estudos/itb/ranking-2018/realatorio-completo.pdf>. Acesso em 10 jan. 2018.

JOVANOVIC, D.; HATHAWAY, J., COLEMAN, R.; DELETIC, A.; MCCARTHY, D. T. Conceptual modelling of E. coli in urban stormwater drains, creek sand rivers. **Journal of Hydrology**, [S. l.], v. 555, 129–140, dec. 2017. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2017.10.022. Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S002216941730687X>. Acesso em: 20 jan. 2019.

KAISER, H. F. The varimax criterion for analytic rotation in fator analysis. **Psychometrika**, [S. l.], v. 23, n. 3, p. 187-200, set. 1958. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF02289233>. Available at: <https://link.springer.com/article/10.1007%2FBF02289233>. Access in: 23 jan. 2019.

KOLM, H. E.; SIQUEIRA, A.; MACHADO, E. C. Influência da Pluviosidade na Qualidade da Água de Dois Sangradouros do Litoral do Paraná, Brasil. **Brazilian Journal of Aquatic Science and Technology**, Itajaí, v. 20 n. 2, p. 1-11, 2016.

MARÇAL, D. A.; SILVA, C. E. Avaliação do impacto do efluente da estação de tratamento de esgoto ETE-Pirajá sobre o Rio Parnaíba, Teresina (PI). **Eng. Sanit. Ambient.**, Rio de Janeiro, v. 22, n. 4, p. 761-772, 2017. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-41522017000400761&lng=en&nrm=iso. Acesso em: 8 jan., 2019

MARMONTEL, C. V. F.; RODRIGUES, V. A. Parâmetros Indicativos para qualidade da água em nascentes com diferentes coberturas de terra e conservação da vegetação ciliar. **Floresta e Ambiente**, v. 22, n. 2, p. 171-181, 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/2179-8087.082014>. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2179-80872015000200171&lng=pt&tlng=pt. Acesso em:

MARTINS, G. L. A., DA COSTA, A. S. V., BARROS, A. R.; RAMALHO, F. M. G. Qualidade da água do rio Setúbal em Jenipapo de Minas-MG após construção de barragem. **Ambiente & Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, Taubaté, v. 12, n. 6, p. 1025-1039, nov./dec. 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.1981> Disponível em: <https://www.redalyc.org/pdf/928/92853780012.pdf>. Acesso em: 1 jan. 2019.

MEDEIROS, W. M. V.; SILVA, C. E. da; LINS, R. P. M. Avaliação sazonal e espacial da qualidade das águas superficiais da bacia hidrográfica do rio Longá, Piauí, Brasil. **Rev. Ambient. Água**, Taubaté, v. 13, n. 2, e2054, 7 maio 2018. DOI: <https://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.2054>. Available at: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1980-993X2018000200315&lng=en&nrm=iso&tlng=pt.

MENEZES, J. P. C.; BITTENCOURT, R. P.; FARIAS, M. S.; BELLO, I. P.; FIA, R.; OLIVEIRA, L. F. C. Relação entre padrões de uso e ocupação do solo e qualidade da água em uma bacia hidrográfica urbana. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 21, n. 3, p. 519-534, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-41522016145405>. Available at: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-41522016000300519&lng=pt&tlng=pt. Acesso em: 13 jan. 2019.

OLIVEIRA, L. F.; OLIVEIRA, B. O. S.; LIMA, L. B. Avaliação da qualidade da água de três córregos na área urbana de Humaitá-AM. **Revista de Ciências Ambientais**, Canoas, v. 12, n. 3, p. 25-33, 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.18316/rca.v12i3.3606>. Disponível em: <https://revistas.unilasalle.edu.br/index.php/Rbca/article/view/3606>. Acesso em: 21 jan. 2018.

PIAUÍ. Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos - SEMAR. **Plano Estadual de Recursos Hídricos do Piauí- Relatório Síntese**. Teresina: SEMAR, 2010. 179 p.

PIAUÍ. Secretaria Municipal de Meio Ambiente e Recursos Naturais. **Plano de Controle Ambiental da Cidade de Timon**. Teresina: SEMA, 2012.

PIAZZA, G. A.; GROTT, S.; GOULART, J.; KAUFMANN, V. Caracterização espaço-temporal da qualidade das águas superficiais dos mananciais de abastecimento de Blumenau/SC. **Revista de Gestão de Água da América Latina**, Porto Alegre, v. 14. e8, jan./dez. 2017. DOI: <https://doi.org/10.21168/reg.v14n1.p8-8>. Disponível em: 21 jan. 2018.

PINHEIRO, A.; SCHOEN, C.; SCHULTZ, J.; HEINZ, K. G. H; PINHEIRO, I. G.; DESCHAMPS, F. C. Relação entre o uso do solo e a qualidade da água em bacia hidrográfica rural no Bioma Mata Atlântica. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 19, n. 3, p.127-139, 2014. DOI: <https://doi.org/10.21168/rbrh.v19n3.p127-139>. Disponível em: <https://www.abrh.org.br/SGCv3/index.php?PUB=1&ID=168&SUMARIO=4788>. Acesso em: 13 mar. 2019.

PINTO, P. H. P.; SOUZA, L. B. e; ZAVATTINI, J. A. A correção de falhas e seleção de classes para interpolação de dados pluviométricos. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CLIMATOLOGIA GEOGRÁFICA VARIABILIDADE E SUSCETIBILIDADE CLIMÁTICA, 12., 2016, Goiânia. **Anais...** Goiânia: Abclima, 2016. p. 13-19.

PIRATOBA, A. R. A; RIBEIRO, H. C. M; MORALES, G. P.; GONÇALVES e GOLÇALVES, W. Caracterização de parâmetros da qualidade da água na área portuária de Barbacena, PA, Brasil. **Rev. Ambiente & Água**. v. 12, n. 13, p. 435-456, 2017. DOI: <https://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.1910>. Acesso em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1980-993X2017000300435&lng=en&nrm=iso&tlng=pt. Acesso em: 12 mar. 2019.

PRAKASA RAO, E. V. S.; PUTTANNA, K.; SOORYANARAYANA, K. R.; BISWAS, A. K.; ARUNKUMAR, J. S. Assessment of Nitrate Threat to Water Quality in India. **The Indian Nitrogen Assessment**, [S. l.]. p. 323–333, 2017. DOI: <https://dx.doi.org/10.1016/b978-0-12-811836-8.00021-5>. Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128118368000215?via%3Dihub>. Acesso em: 10 jan. 2019.

SILVA, C. B.; OLIVEIRA, L. F. C. Relação intensidade-duração-frequência de chuvas extremas na região Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Climatologia**, ano 13, v. 20, jan./ jun. 2017. DOI:

<http://dx.doi.org/10.5380/abclima.v20i0.49286>. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/revistaabclima/article/view/49286/32690>, Acesso em: 12 dez. 2018.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO. **Série Histórica**. 2017. Disponível em: <http://www.snis.gov.br>. Acesso em: 07 fev. 2018.

SOARES, L. S., CASTRO, A. C. L. de., LOPES, W. G. R.; AZEVEDO, J. W. de J.; PORTO, H. L. R. Índice de qualidade de água do baixo curso do rio Itapecuru, estado do Maranhão, Brasil. **Revista ESPACIOS**, [S. l.], v. 37, n. 14, 2016. Disponível em: <http://www.revistaespacios.com/a16v37n14/16371406.html>. Acesso em: 21 jan. 2018.

SOUZA, H. Y. S.; NUNES, M. R. S. Estudo comparativo da qualidade da água de Igarapés na região do Alto Juruá. **South American Journal of Basic Education, Technical and Technological**, [S. l.], v. 4, n. 1, p. 150 – 156, 2017. Disponível em: <http://200.129.173.132/revista/index.php/SAJEBTT/article/viewFile/1097/812>. Acesso em: 21 dez. 2018.

SPERLING, M. V. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgoto**. 4. ed. Belo Horizonte: UFMG, 2017.

STERK, A.; MAN, H.; SCHIJVEN, J. F.; NIJS, T.; HUSMAN, A. M. de R. Climate change impact on infection risks during bathing downstream of sewage emissions from CSOs or WWTPs. **Water Research**, [S. l.], v. 105, p. 11–21, 15 nov. 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.watres.2016.08.053>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0043135416306534?via%3Dihub>. Acesso em: 20 dez. 2018.

SURIYAMPOLA, P. S.; CACÉRES, J.; MARTINS, E. P. Effects of short-term turbidity on sensory preference and behaviour of adult fish. **Animal Behaviour**, [S. l.], v. 146, p. 105–111, 2018. DOI: <https://doi:10.1016/j.anbehav.2018.10.014>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0003347218303154>. Acesso em 04 de fev. 20.