

# **EFEITO DA URBANIZAÇÃO E DO REVESTIMENTO DA ZONA HIPORREICA NA QUALIDADE DA ÁGUA DE RIACHOS URBANOS: ESTUDO DE CASO NO MUNICÍPIO DO RECIFE – PE**

***EFFECT OF URBANIZATION AND LINING OF THE HYPORHEIC ZONE ON THE WATER QUALITY OF URBAN CREEKS: CASE STUDY IN THE MUNICIPALITY OF RECIFE – PE***

***EFFECTO DE LA URBANIZACIÓN Y REVESTIMIENTO DE LA ZONA HIPORREICA SOBRE LA CALIDAD DEL AGUA DE ARROYOS URBANOS: ESTUDIO DE CASO EN EL MUNICIPIO DE RECIFE – PE***

**José Adson Andrade de Carvalho Filho**

Universidade Federal de Pernambuco (UFPE)  
adson.carvalho@ufpe.br

**Anderson Luiz Ribeiro de Paiva**

Universidade Federal de Pernambuco (UFPE)  
anderson.paiva@ufpe.br

**Raquel Ferreira do Nascimento**

Universidade Federal de Pernambuco (UFPE)  
raquel.ferreiran@ufpe.br

**Jaime Joaquim da Silva Pereira Cabral**

Universidade de Pernambuco (UPE)  
jaime.cabral@poli.br

## **RESUMO**

A canalização e o revestimento da zona hiporreica (ZH) de riachos urbanos, que ocorre devido ao processo de urbanização desordenada, causaram prejuízos ao meio ambiente por descaracterizar o habitat natural. Para verificar esses impactos nos recursos hídricos, é possível usar indicadores físico-químicos e biológicos. Neste trabalho objetivou-se avaliar os efeitos causados pela urbanização de Recife-PE na qualidade da água de três riachos (Sítio dos Pintos, Cavouco e Parnamirim), enquadrados como Classe 2 pela resolução CONAMA n. 357/05. Foram selecionados dois pontos em cada riacho, sendo um deles com a ZH revestida e outro com a ZH natural, para coleta de amostras em dois períodos distintos (inverno e verão). Foram realizadas análises físico-químicas e biológica da água para aplicação de três indicadores de avaliação da qualidade da água (índice de conformidade ao enquadramento – ICE, índice de qualidade de água – IQA e índice de estado trófico – IET). A maioria dos parâmetros apresentou valores superiores ao limite máximo permitido pela Resolução CONAMA em pelo menos uma das amostragens, evidenciando o aporte direto de material de origem orgânica e fecal nas matrizes aquáticas. O ICE classificou as águas dos três riachos como ruim e não conforme com a resolução. O IQA classificou as águas como ruins ou péssimas, independente do período, local e tipo do leito, assim como o IET classificou como hipereutróficas. A urbanização já provou impactos inclusive nas áreas mais preservadas, o que mostra a necessidade de implantação de intervenções estruturais e não estruturais nas bacias hidrográficas dos três riachos investigados.

**PALAVRAS-CHAVE:** índice de conformidade ao enquadramento; índice de qualidade de água; índice de estado trófico.

## **ABSTRACT**

The channeling and lining of the hyporheic zone (HZ) of urban streams, resulting from unplanned urbanization processes, have caused environmental damage by altering the natural habitat. To assess these impacts on water resources, it is possible to use physical-chemical and biological indicators. This study aimed to evaluate the effects of urbanization in Recife-PE on the water quality of three streams (Sítio dos Pintos, Cavouco, and Parnamirim), classified as Class 2 according to CONAMA Resolution n. 357/05. Two points were selected in each stream, one with a lined HZ and another with a natural HZ, for sample collection in two different periods (winter and summer). Physical-chemical and biological analyses of the water were performed to apply three water quality assessment indicators (CCME water

quality index – CCME WQI, water quality index – WQI, and trophic state index – TSI). Most parameters showed values above the maximum limit allowed by CONAMA Resolution in at least one of the samplings, evidencing the direct input of organic and fecal material into the aquatic matrices. The CCME WQI classified the waters of the three streams as poor and non-compliant with the resolution. The WQI classified the waters as poor or very poor, regardless of period, location, or type of bed, as did the TSI, which classified the waters as hypereutrophic. Urbanization has already proven impacts even in the most preserved areas, highlighting the need for implementation of structural and non-structural interventions in the watersheds of the three investigated streams.

**KEYWORDS:** framework compliance index; water quality index; trophic state index.

## RESUMEN

La canalización y revestimiento de la zona hiporreica (HZ) de arroyos urbanos, que se produce debido al desordenado proceso de urbanización, provocó daños al medio ambiente al distorsionar el hábitat natural. Para verificar estos impactos sobre los recursos hídricos, es posible utilizar indicadores fisicoquímicos y biológicos. Este trabajo tuvo como objetivo evaluar los efectos causados por la urbanización de Recife-PE en la calidad del agua de tres arroyos (Sítio dos Pintos, Cavouco y Parnamirim), clasificados como Clase 2 por la resolución CONAMA n. 357/05. Se seleccionaron dos puntos en cada arroyo, uno con ZH recubierto y otro con ZH natural, para recolectar muestras en dos períodos diferentes (invierno y verano). Se realizaron análisis fisicoquímicos y biológicos del agua para aplicar tres indicadores de evaluación de la calidad del agua (índice de cumplimiento del marco – ICM, índice de calidad del agua – ICA e índice de estado trófico – IET). La mayoría de los parámetros presentaron valores superiores al límite máximo permitido por la Resolución del CONAMA en al menos una de las muestras, demostrando el aporte directo de material de origen orgánico y fecal a las matrices acuáticas. El ICM clasificó el agua de las tres quebradas como mala y no cumple con la resolución. El ICA clasificó las aguas como malas o muy pobres, independientemente de la época, localización y tipo de lecho, al igual que el IET clasificó las aguas como hipereutróficas. La urbanización ya ha tenido impactos incluso en las áreas más preservadas, lo que muestra la necesidad de implementar intervenciones estructurales y no estructurales en las cuencas de los tres arroyos investigados.

**PALABRAS CLAVE:** índice de cumplimiento del marco; índice de calidad del agua; índice de estado trófico.

## 1. INTRODUÇÃO

Dentre as ações antropogênicas que causam impactos significativos nos ecossistemas, a urbanização é considerada uma das principais. O processo de urbanização gera poluição, altera a configuração e composição do uso e ocupação do solo e o aumento das áreas de impermeabilização, ocasionando impactos nos processos hidrológicos, biológicos e químicos dos ecossistemas aquáticos (Yu *et al.*, 2013). O fato de a urbanização ocorrer de forma desordenada traz consigo diversas consequências, liberando nos ambientes aquáticos subprodutos de suas inúmeras atividades, contribuindo significativamente para a poluição destes ambientes (Williams *et al.*, 2019). Dentre estas está a falta de sistemas de saneamento básico, fazendo dos efluentes domésticos as principais fontes de degradação das matrizes aquáticas (Damasceno *et al.*, 2015).

A canalização e revestimentos dos rios e riachos urbanos causaram uma série de prejuízos ao meio ambiente por descaracterizar o habitat natural e suprimir os serviços ecossistêmicos, provocando um efeito cascata de problemas recorrentes como: ocupações irregulares das margens

e das áreas de expansão de cheias, favorecimento a ligações clandestinas de esgotos, enchentes a jusante, e o isolamento da conexão hidráulica rio-aquífero (Cometti; Cabral; Conceição, 2020).

Existem ambientes que são fundamentais para revitalização de rios e córregos, dentre eles está a zona de fundo do leito do rio, conhecida como zona hiporreica (ZH) (Binder, 2001). Localizada na interface entre o manancial superficial e o aquífero (Ward; Gooseff; Johnson, 2011), a ZH funciona como um regulador de fluxo na interação rio-aquífero (Brunke; Gonser, 1997), além de funcionar como biorreator onde ocorrem diversos processos biogeoquímicos, fornecendo um importante serviço ecossistêmico de purificação da água e servindo como barreira natural contra contaminação dos aquíferos (Lewandowski *et al.*, 2011). Nesse contexto, a conservação da ZH vem sendo considerada uma condição primária na manutenção da saúde ecológica do ecossistema do rio (Liu *et al.*, 2017), sendo amplamente discutida como um importante ambiente no processo de revitalização de rios e riachos (Herzog *et al.*, 2018). Além da ZH, pode-se destacar ainda a zona ribeirinha que é conhecida como zona ripária (ZR) (Binder, 2001). Essa área composta por vegetação florestal natural possui serviços ecológicos essenciais para o ecossistema aquático (Rosa *et al.*, 2014), sendo capaz de alterar as características físico-químicas da água e atenuar poluentes, auxiliando na qualidade do corpo hídrico (Luke *et al.*, 2019).

A gestão adequada dos recursos hídricos é realizada, principalmente, pelo monitoramento da qualidade das águas, permitindo identificar as mudanças por ações antrópicas e naturais e também no uso e ocupação da terra (Marmontel; Rodrigues, 2015). O Índice de Conformidade ao Enquadramento (ICE), criado originalmente em 1997 pelo Conselho Canadense de Ministros do Meio Ambiente (CCME), tem como objetivo avaliar a situação de um corpo de água em relação a metas específicas de qualidade da água. Esse índice busca sintetizar as informações coletadas das variáveis de qualidade da água observadas, a fim de mensurar a distância entre a condição atual do corpo d'água e a meta estabelecida pelo enquadramento de qualidade vigente (CCME, 2017).

O ICE já tem sido empregado no Brasil por entidades responsáveis pela gestão dos recursos hídricos com o propósito de avaliar sua aplicabilidade e realizar comparações com outros indicadores previamente adotados. Como exemplo, o Instituto Mineiro de Gestão de Águas (IGAM) que aplica o ICE pela flexibilidade na escolha dos parâmetros a serem avaliados, com a finalidade de representar os elementos de pressão identificados nas bacias hidrográficas monitoradas, empregando parâmetros específicos para cada bacia, de acordo com os usos correspondentes

(IGAM, 2015). A Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) é outro exemplo de entidade que utiliza o ICE para avaliação da qualidade hídrica dos cursos fluviais brasileiros.

O Índice de Qualidade de Água (IQA) pode ser utilizado de forma ampla, sendo útil para indicar as alterações em bacias hidrográficas no espaço e tempo; identificar parâmetros críticos que tragam risco ao meio ambiente e que devam ser monitorados para manter o controle; auxiliar em programas de monitoramento e às gestões para tomadas de decisões (Ramos, 2015).

O Índice de Estado Trófico (IET) classifica os corpos d'água em diferentes graus de trofia, avaliando a água quanto ao seu enriquecimento por nutrientes e seus possíveis efeitos relacionados ao crescimento excessivo das algas, cianobactérias e macrófitas aquáticas (CETESB, 2021). A eutrofização pode ser definida como o excesso de nutrientes e acúmulo acelerado de matéria orgânica no corpo aquático (Nixon, 2012). Esse processo leva a impactos como a perda de biodiversidade e até mudança nas funções naturais do ecossistema (Mazor *et al.*, 2022). Além do excesso de nutrientes, outro fator que pode contribuir significativamente para eutrofização das águas é a alteração das características hidrológicas do corpo hídrico (Pearl *et al.* 2011).

O IQA e o IET são importantes ferramentas na avaliação da qualidade das matrizes aquáticas (Andrietti *et al.*, 2016), servindo na identificação de distúrbios de um corpo aquático em um determinado intervalo de tempo (Sreedhar *et al.*, 2017). Estudos que permitem a avaliação das condições e das variações de ambientes aquáticos, como o monitoramento sistemático de qualidade das águas. São importantes nas tomadas de decisões para uma melhor gestão dos recursos hídricos, a fim de retratar os impactos causados pelas ações antrópicas (Lima *et al.*, 2020).

O monitoramento dos recursos hídricos por meio de indicadores físicos, químicos e biológicos pode ser comparado com os padrões estabelecidos na Resolução nº 357/2005 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), que estabelece as diretrizes para a classificação dos corpos hídricos em diferentes classes. Conforme estabelecido nesta referida resolução, o enquadramento dos corpos hídricos deve ser fundamentado nos níveis de qualidade que os mesmos deveriam apresentar a fim de atender às necessidades da população, independentemente de sua condição atual. De acordo com esta resolução, as águas doces são classificadas em cinco categorias: classe especial, classe 1, classe 2, classe 3 e classe 4, cada uma destinada a diferentes usos. É importante ressaltar que quanto maior o número da classe, menos nobres são os usos previstos para o corpo d'água (CONAMA, 2005).

A bacia hidrográfica do rio Capibaribe não possui um enquadramento dos corpos de água em classes de usos predominantes. Portanto, de acordo com o Artigo 42 da Resolução CONAMA 357/05, todos os corpos d'água superficiais presentes na bacia são classificados como rios de Classe 2 (Pernambuco, 2011). Esses corpos d'água são considerados adequados para serem utilizados no abastecimento de água para consumo humano após passarem por tratamento convencional; destinados à recreação com contato primário; à irrigação de hortaliças, plantas e áreas de lazer onde o público possa ter contato direto; bem como à proteção das comunidades aquáticas em terras indígenas. Caso a qualidade da água em um corpo hídrico não esteja em conformidade com os usos predominantes pretendidos, devem ser estabelecidas metas obrigatórias, intermediárias e finais para a melhoria da qualidade da água, a fim de alcançar os respectivos enquadramentos. Isso exclui parâmetros que excedam os limites propostos pela legislação devido às condições naturais do ambiente (CONAMA, 2005).

Nesse contexto, este trabalho objetiva avaliar os impactos causados pela urbanização da cidade do Recife-PE na qualidade da água dos riachos Sítio dos Pintos, Cavouco e Parnamirim, gerando subsídios para a elaboração de estratégias e soluções para a melhoria da qualidade da água nesses locais por parte das autoridades competentes.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 Área de estudo

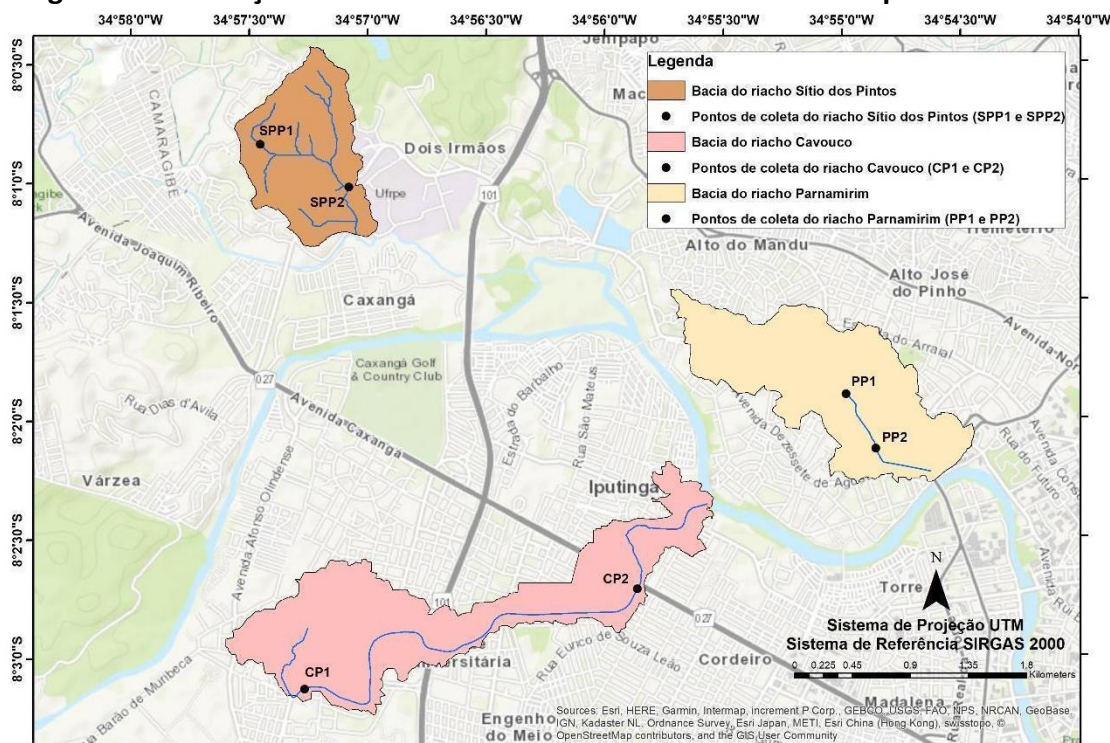
Analisou-se três riachos localizados na malha urbana da cidade do Recife-PE, ambos contidos na bacia do rio Capibaribe, sendo eles: riacho Sítio dos Pintos, riacho Cavouco e riacho Parnamirim. O riacho Sítio dos Pintos deságua no rio Camaragibe que por sua vez é afluente do rio Capibaribe, o riacho Cavouco é afluente da margem direita do baixo Capibaribe e o riacho Parnamirim é afluente da margem esquerda do baixo Capibaribe. Foram selecionados dois pontos em cada riacho para realização das coletas das amostras (Figura 1), sendo um deles com a ZH revestida e o outro com a ZH não revestida (natural) (Tabela 1).

**Tabela 1: Localização dos pontos de estudo e condições da cobertura das zonas ripária e hiporreica**

Riacho	Ponto	Descrição	Coordenadas geográficas		Zona ripária	Zona hiporreica
			Latitude	Longitude		
Sítio dos Pintos	SPP1	montante	-8,0140 S	-34,9575 W	Revestido	Revestido
	SPP2	jusante	-8,0170 S	-34,9513 W	Não Revestido	Não Revestido
Cavouco	CP1	montante	-8,0522 S	-34,9546 W	Não Revestido	Não Revestido
	CP2	jusante	-8,0453 S	-34,9311 W	Revestido	Revestido
Parnamirim	PP1	montante	-8,0316 S	-34,9164 W	Revestido	Não revestido
	PP2	jusante	-8,0355 S	-34,9144 W	Revestido	Revestido

Fonte: Autoria própria, 2022.

**Figura 1: Localização da área de estudo na cidade do Recife-PE e pontos de coleta**



Fonte: Autoria própria, 2022.

Nos pontos onde a ZH não é revestida, verificou-se uma ZR mais preservada, com exceção do riacho Parnamirim. No caso do riacho Cavouco, no ponto revestido (CP2), os taludes das margens são inclinados e recobertos com gramado e algumas árvores (Figura 2). Isso possibilita uma seção transversal maior em dias de chuvas intensas e impede a ocupação por moradias irregulares.

A região do baixo Capibaribe, onde os riachos estão contidos, é caracterizada por um grande aporte de águas residuais. O volume de águas residuais domésticos e industriais que entram no baixo Capibaribe, na porção final do rio, é comparável com toda a vazão do rio durante a estação seca (Schettini *et al.*, 2016). Ademais, a cidade do Recife possui apenas 44,01% de seu

esgoto coletado, ocupando o ranking das 20 piores cidades do Brasil em saneamento básico (SNIS, 2022). E não é diferente na bacia hidrográfica dos riachos estudados. A partir da Lei Federal nº. 14.026, de 15 de julho de 2020, que determina a disposição final ambientalmente correta dos esgotos sanitários (Brasil, 2020), a bacia do riacho Parnamirim apresenta 89% de seu esgoto com disposição adequada, seguido do riacho Cavouco com 79% e logo em sequência, o caso mais preocupante, que é a bacia do riacho Sítio dos Pintos que apresenta apenas 40% de seu esgoto com destinação considerada ambientalmente correta (IBGE, 2011).

**Figura 2: Situação dos pontos de coleta durante o período de estudo**



**Fonte:** Autoria própria, 2022. SPP1: ponto 1 do Sítio dos Pintos; SPP2: ponto 2 do Sítio dos Pintos; CP1: ponto 1 do Cavouco; CP2: ponto 2 do Cavouco; PP1: ponto 1 do Parnamirim; PP2: ponto 2 do Parnamirim.

Outro fator característico das bacias dos riachos estudados, que traz consequências para qualidade da água, é o uso e ocupação do solo, devido ao fato de as três bacias terem sua cobertura predominada por infraestrutura urbana. Em dados obtidos através do Mapbiomas, no ano de 2020, a bacia do riacho Parnamirim possuía 98,8% de seu território ocupado pela urbanização, seguido da bacia do riacho Cavouco com 95,7%, e em seguida, a bacia do riacho Sítio dos Pintos com 56,7% (MAPBIOMAS, 2023).

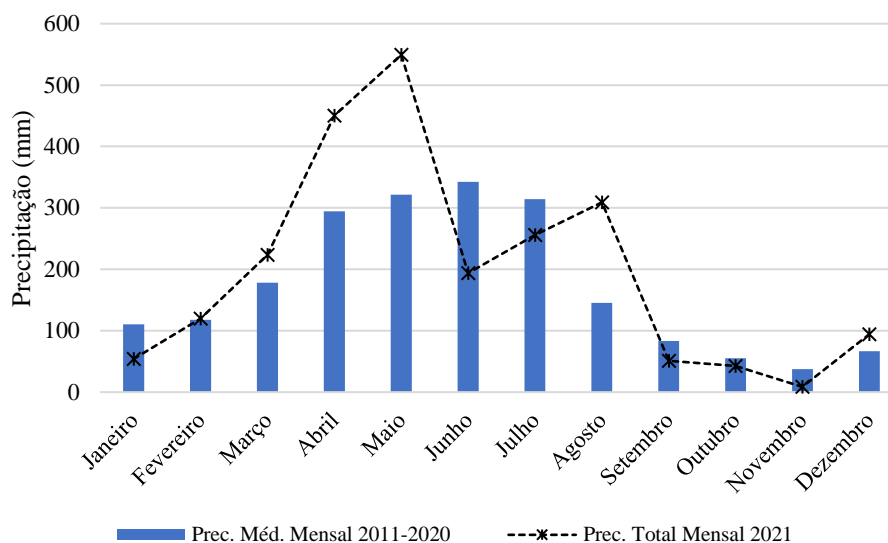
O fato de as bacias dos riachos serem caracterizadas por uma forte urbanização, reflete de forma significativa nos riachos em si, pois eles sofreram processos de canalização trazendo uma série de problemas ambientais. O riacho Parnamirim tem 62,9% de sua extensão canalizada, enquanto o riacho Cavouco e Sítio dos Pintos apresentam 70,9% e 8,82% respectivamente (EMLURB, 2016).

## 2.2 Pluviometria

Obtiveram-se dados pluviométricos do posto pluviométrico Várzea-30, zona oeste da cidade do Recife, fornecidos pela Agência Pernambucana de Águas e Climas (APAC, 2022), com a finalidade de definição dos períodos de coleta. A partir dos dados obtidos, montou-se uma série histórica da média total mensal dos dez anos anteriores ao ano da coleta (2011 - 2020) e a média mensal do ano de 2021, ano que foi realizada a pesquisa (Figura 3). Pode-se observar o período chuvoso (março a agosto) e o período seco (outubro a dezembro). Além disso, observou-se que o mês em que houve o maior total precipitado no ano de 2021 diferiu da série histórica analisada, sendo maio o mês com a maior taxa de precipitação média (549,4 mm) em 2021, enquanto o mês mais chuvoso da série histórica (2011- 2020) foi junho, com precipitação média de 342,23 mm.



**Figura 3: Histórico da precipitação mensal média do período 2011 a 2020 e total mensal de 2021 em Recife - PE**



Fonte: APAC, 2022.

### 2.3 Metodologia de coleta

A partir dos dados pluviométricos analisados foram definidas duas campanhas a serem realizadas em cada ponto: uma no mês de junho, que apresentou a maior taxa de precipitação média da série histórica (342,23 mm), período considerado inverno; e outra no mês de novembro, que apresentou a menor taxa média de precipitação da série histórica (37,67 mm), período consideração verão, ambas no ano de 2022.

As amostras foram coletadas em recipientes de polietileno esterilizados. Para os parâmetros físico-químicos, foram utilizados recipientes de 2 L. Já para as análises bacteriológicas, foram utilizados recipientes de 500mL. Após realizada a coleta, as amostras foram encaminhadas para o laboratório onde foram realizadas as análises físico-químicas (oxigênio dissolvido - OD, potencial hidrogeniônico - pH, demanda bioquímica de oxigênio - DBO, temperatura, nitrogênio total, fósforo total, turbidez e sólidos totais) e bacteriológicas (coliformes termotolerantes), seguindo a metodologia descrita no Standard Methods (APHA, 2017) (Tabela 2).

**Tabela 2: Parâmetros de qualidade de água analisados, métodos utilizados para os ensaios analíticos e os valores máximos permitidos pela Resolução CONAMA 357/05 para rios Classe 2**

Parâmetro	Unidades	Método	VMP CONAMA 357 Classe 2
Oxigênio dissolvido (OD)	% de saturação	Potenciométrico	≥ 5,0
Coliformes termotolerantes	NMP/100 mL	Tubos múltiplos	1000
Potencial hidrogeniônico (pH)	-	Potenciométrico	6,0 a 9,0
Demanda bioquímica de oxigênio (DBO <sub>5,20</sub> )	mg.L <sup>-1</sup> O <sub>2</sub>	DBO <sub>5,20</sub>	≥ 5,0
Temperatura da água (desvio)	°C	Potenciométrico	-
Nitrogênio total	mg.L <sup>-1</sup> N	Espectrofotométrico	3,7 - pH ≤ 7,5
			2,0 - 7,5 < pH ≤ 8,0
			1,0 - 8,0 < pH ≤ 8,5
Fósforo total	mg.L <sup>-1</sup> P	Espectrofotométrico	0,5 - pH > 8,5
			Lêntico 0,03
			Intermediário 0,05
			Lótico 0,1
Turbidez	uT	Turbidímetro de bancada	≤ 100
Sólidos totais	mg.L <sup>-1</sup>	Potenciométrico	500

Fonte: Autoria própria, 2023.

#### 2.4 Índice de Conformidade ao Enquadramento (ICE)

O ICE foi calculado a partir da metodologia proposta pelo Canadian Council of Ministers of the Environment (CCME) (CCME, 2017) (Equação 1):

$$ICE = 100 - \frac{\sqrt{F1^2 + F2^2 + F3^2}}{1,732} \quad (1)$$

Em que:

ICE: índice de conformidade ao enquadramento;

F1: refere-se à abrangência: representa a porcentagem de variáveis em que há alguma desconformidade no período sob estudo;

F2: refere-se à frequência: representa a porcentagem de observações em desconformidade com o limite legal;

F3: refere-se a amplitude: representa o quão afastado o valor observado do parâmetro de qualidade da água está do valor legislado.

Dos parâmetros analisados, a temperatura não possui classificação proposta pela Resolução CONAMA 357/05 (CONAMA, 2005), não entrando no cálculo de ICE. Com isso, foram utilizados os

demais parâmetros analisados. Com base nos valores calculados de ICE, que variam de 0 a 100, determinou-se a categoria de qualidade e do enquadramento da água (Tabela 3).

**Tabela 3: Classificação do Índice de Conformidade ao Enquadramento (ICE)**

Ponderação	Categoria
$95 < ICE \leq 100$	Excelente
$80 < ICE \leq 95$	Bom
$65 < ICE \leq 80$	Mediano
$45 < ICE \leq 65$	Marginal
$ICE \leq 45$	Ruim

Fonte: CCME, 2017.

Também baseado nos dados resultantes do ICE, empregou-se o modelo classificatório proposto por Amaro (2009), para avaliar a aderência ao enquadramento atualmente em vigor ou determinar se há conformidade com o enquadramento de valor legal. Com esse propósito, definiu-se uma categorização em três classes para os valores do ICE, indicando se o corpo hídrico está em conformidade, afastado ou não conforme com os critérios de enquadramento (Tabela 4).

**Tabela 4: Faixas de classificação do ICE**

Categorias	Ponderação	Descrição
Conforme	$80 \leq ICE \leq 100$	A maioria ou todas as medições estão dentro dos padrões de qualidade da água no período de monitoramento.
Afastado	$45 \leq ICE < 80$	As observações estão frequentemente em desacordo com os padrões de qualidade da água.
Não conforme	$ICE < 45$	A maioria ou a totalidade das observações está violando os limites da classe de enquadramento correspondente ao trecho do rio naquele período de monitoramento.

Fonte: Adaptado por Amaro, 2009.

## 2.5 Índice de Qualidade de Água (IQA)

A partir das análises de qualidade de água, calculou-se o IQA utilizando a metodologia proposta pela Companhia de Tecnologia e Saneamento Ambiental de São Paulo (CETESB), que utiliza, desde 1975, uma versão adaptada do IQA proposto pela *National Sanitation Foundation* (NSF) dos Estados Unidos (CETESB, 2021).

O IQA é calculado pela ponderação dos parâmetros de qualidade de água que correspondem às variáveis que integram o índice (Equação 2).

$$IQA = \prod_{i=1}^n q_i^{w_i} \quad (2)$$

Em que:

IQA: índice de qualidade das águas;

$q_i$ : qualidade do  $i$ -ésimo parâmetro, obtido da respectiva “curva média de variação de qualidade”, em função de sua concentração ou medida;

$w_i$ : peso correspondente ao  $i$ -ésimo parâmetro, atribuído em função da sua importância para a conformação global de qualidade;

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

Com base nos valores obtidos a partir do cálculo de IQA pode-se determinar os índices de qualidade de água bruta que é indicado em uma escala que varia entre 0 e 100 (Tabela 5).

**Tabela 5: Classificação do Índice de Qualidade de Água (IQA)**

Ponderação	Categoria
$79 < IQA \leq 100$	Ótima
$51 < IQA \leq 79$	Boa
$36 < IQA \leq 51$	Aceitável
$19 < IQA \leq 36$	Ruim
$IQA \leq 19$	Péssima

Fonte: CETESB, 2021.

## 2.6 Índice de Estado Trófico (IET)

Para o cálculo do IET, aplicou-se o modelo matemático proposto por Lamparelli (2004), para ambientes lóticos (Equação 3).

$$IET = 10 \times \left[ 6 - \left( \frac{0,42 - 0,36 \times \ln(P)}{\ln 2} \right) \right] - 20 \quad (3)$$

Em que:

IET: índice de estado trófico;

$P$ : concentração de fósforo total,  $\text{mg.L}^{-1}$ ;

$\ln$ : logaritmo natural.

Para a interpretação do estado trófico dos corpos aquáticos, foram utilizados os limites apresentados na Tabela 6.

**Tabela 6: Classificação do Índice de Estado Trófico (IET)**

Ponderação	Categoria
IET ≤ 47	Ultraoligotrófico
47 < IET ≤ 52	Oligotrófico
52 < IET ≤ 59	Mesotrófico
59 < IET ≤ 63	Eutrófico
63 < IET ≤ 67	Supereutrófico
IET > 67	Hipereutrófico

Fonte: Lamparelli, 2004.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Análise físico-química da água

Os resultados obtidos das análises de monitoramento qualitativo da água apresentaram uma depreciação da qualidade em todos os pontos e períodos estudados. As baixas concentrações de OD e as altas concentrações de fósforo total e coliformes termotolerantes deixam evidente o aporte direto de material de origem orgânica e fecal nas matrizes aquáticas dos riachos estudados (Tabela 7).

**Tabela 7: Resultados das análises físico-químicas e bacteriológicas**

Ponto	Período	OD	T	pH	DBO	N total	P total	Turbidez	STD	Coli. termot.
		mg.L <sup>-1</sup>	°C	-	mg.L <sup>-1</sup>	mg.L <sup>-1</sup>	mg.L <sup>-1</sup>	UNT	mg.L <sup>-1</sup>	NPM/100mL
SPP1	Inverno	1,17	25,4	8,40	18,75	84	2,16	44,70	278	2E+07
	Verão	0,55	29,0	7,43	72,00	88	2,40	45,00	240	2E+08
SPP2	Inverno	0,36	24,4	7,24	3,16	64	0,60	8,41	176	2E+07
	Verão	0,19	27,8	7,33	23,90	67	0,70	8,71	177	5E+07
PC1	Inverno	0,21	26,4	7,82	19,31	146	2,72	66,20	318	2E+07
	Verão	0,32	32,0	7,97	20,60	163	5,20	13,20	416	2E+08
PC2	Inverno	0,48	27,9	7,70	7,73	48	1,91	22,80	367	9E+06
	Verão	0,35	31,9	7,90	38,00	79	3,30	9,11	360	3E+08
PP1	Inverno	0,53	26,2	7,53	1,97	11	1,53	48,80	354	220000
	Verão	0,21	31,4	7,84	161,60	192	7,10	143,00	412	2E+10
PP2	Inverno	0,87	27,8	7,79	7,22	108	1,90	23,00	338	2E+07
	Verão	0,19	32,1	7,64	75,00	175	6,50	20,70	422	9E+09

Fonte: Autoria própria, 2022. SPP1: ponto 1 do Sítio dos Pintos; SPP2: ponto 2 do Sítio dos Pintos; PC1: ponto 1 do Cavouco; PC2: ponto 2 do Cavouco; PP1: ponto 1 do Parnamirim; PP2: ponto 2 do Parnamirim; OD: oxigênio dissolvido; T: temperatura; DBO: demanda bioquímica de oxigênio; N: nitrogênio; P: fósforo; STD: sólidos totais dissolvidos.

Os valores encontrados de pH e temperatura nos três riachos, para todos os pontos e períodos estudados, não apresentaram grandes variações. Para a temperatura, o maior valor

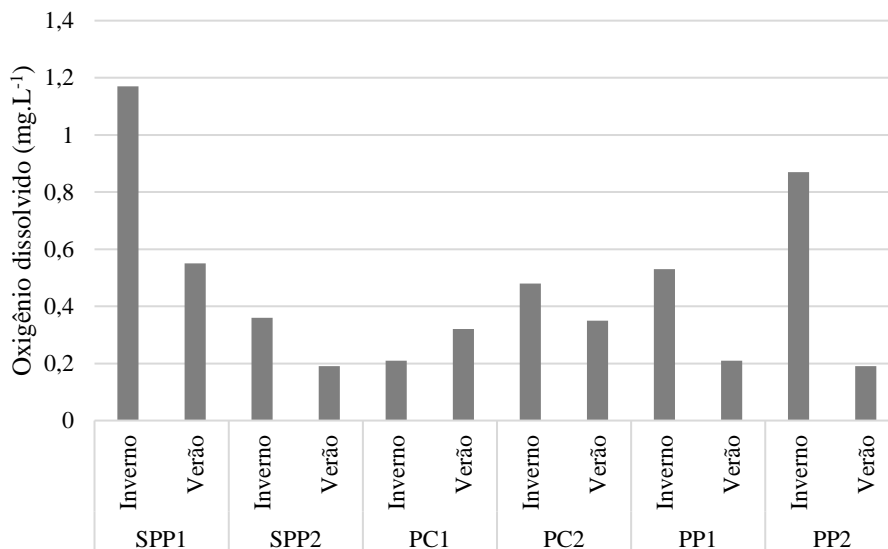
encontrado foi no riacho Parnamirim, no ponto PP2, durante o período de verão, que apresentou 32,1°C; já a menor temperatura observada foi no riacho Sítio dos Pintos, no ponto SPP2, durante o período de inverno (24,4°C). O ponto SPP2 possui sua zona ripária conservada e esses ambientes são caracterizados por apresentar função ecológicas como a manutenção do microclima (Gouveia; Selva, 2021).

Já o pH variou entre 7,24 e 8,40, o que corrobora com os estudos em riachos urbanos como o de Gouveia e Selva (2021), que observaram valores para o pH entre 7,6 e 8,0 em um estudo realizado também no riacho Parnamirim. Cometti, Cabral e Conceição (2020), no riacho Cavouco, observaram valores para o pH semelhante, variando entre 6,75 e 7,50.

Os sólidos totais dissolvidos (STD) englobam todas as matérias presentes na água, com exceção dos gases dissolvidos (APHA, 2017). Esses materiais sólidos referem-se a matéria que sobram na água após processos evaporação (CETESB, 2021), suas altas concentrações aumentam a turbidez, dificultando a penetração de luz no corpo aquático, o que prejudica a fotossíntese realizada pelos seres autotróficos e conseqüentemente reduz a concentração de oxigênio dissolvido (OD) na água, tendo como resultado um corpo aquático eutrofizado (Lima *et al.*, 2020). Os valores de STD variaram entre 176 e 422 mg.L<sup>-1</sup>, em que o menor valor foi encontrado no ponto SPP2, no período de inverno, e o maior, no ponto PP2, durante o verão.

As concentrações de OD apresentaram níveis baixos, próximo a zero, apenas o ponto SPP1 durante o inverno apresentou valores de OD acima de 1,00 mg.L<sup>-1</sup> (Figura 4). Alves *et al.* (2021) encontraram baixas concentrações (< 0,5 mg.L<sup>-1</sup>) de OD em um estudo realizado no baixo rio Capibaribe na região urbana da cidade do Recife, Brasil. Assim como observado no presente estudo, Cometti *et al.* (2019) encontraram baixas concentrações de OD no riacho Parnamirim (< 0,5 mg.L<sup>-1</sup>). Cometti, Cabral e Conceição (2020), em um estudo ao longo do riacho Cavouco, também observaram baixas concentrações de OD, sendo a concentração mínima encontrada de 0,5 mg.L<sup>-1</sup>. As baixas concentrações de OD em matrizes aquáticas pode ser indicativo de processo de eutrofização no ambiente (Noriega, 2005).

**Figura 4: Comportamento da concentração de oxigênio dissolvido para os pontos e períodos coletados**



**Fonte:** Autoria própria, 2023. SPP1: ponto 1 do Sítio dos Pintos; SPP2: ponto 2 do Sítio dos Pintos; CP1: ponto 1 do Cavouco; CP2: ponto 2 do Cavouco; PP1: ponto 1 do Parnamirim; PP2: ponto 2 do Parnamirim.

As matrizes aquáticas localizadas em áreas urbanas comumente têm suas águas utilizadas como corpo receptor de efluentes domésticos e industriais (Tan *et al.*, 2018). Essas águas residuárias, por carregarem grandes quantidades de poluentes que estimulam o consumo de oxigênio, fazem com que a demanda bioquímica de oxigênio (DBO) aumente e, como consequência, o OD do corpo hídrico atinja níveis próximo a zero (Wang; Liu; Lu, 2012). Níveis de OD baixos impactam os animais aquáticos e afetam microrganismos aeróbios que têm funções regulatórias no processo de decomposição e degradação de matéria orgânica e participam do processo de autodepuração dos corpos hídricos (Liu *et al.*, 2016).

A DBO é um indicador da quantidade de OD necessário para que organismos aeróbios consiga decompor a matéria orgânica presente na água (Li; Liu, 2019). Altos valores de DBO foram encontrados nos riachos analisados como era esperado, visto que estes sofrem com despejo de carga orgânica oriunda de efluentes domésticos. No ponto PP1, no período de verão, a DBO chegou a atingir 161,60 mg.L<sup>-1</sup>. Cometti *et al.* (2019) também observaram altos valores de DBO no riacho Parnamirim durante o período seco, encontrando valor máximo de 144 mg.L<sup>-1</sup>, já no período chuvoso foram encontrados valores máximos de 80 mg.L<sup>-1</sup>.

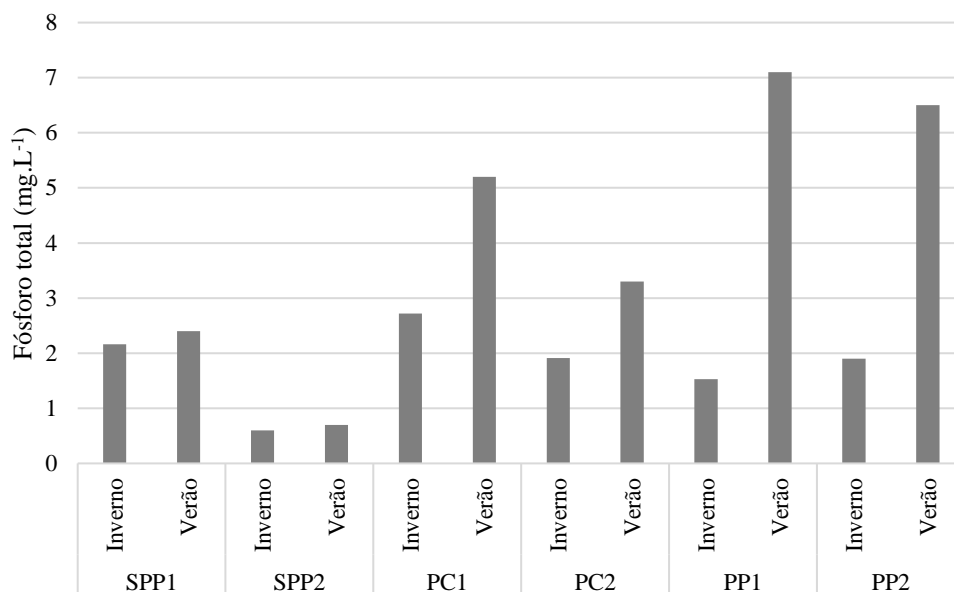
Em águas naturais, o nitrogênio e o fósforo têm como principal origem as descargas de esgoto doméstico, através de matéria orgânica fecal e de detergentes de uso doméstico (CETESB, 2021). Segundo Jordão e Pessoa (2014), às concentrações típicas encontradas para o nitrogênio

total presentes no esgoto bruto variam entre 20 e 85 mg.L<sup>-1</sup>. Entretanto, todos os riachos apresentaram valores acima dos valores típicos para esgoto bruto, o que evidencia o alto grau de poluição desses corpos d'água advindo dessas fontes. Essas altas concentrações observadas, principalmente no riacho Parnamirim, podem ser explicadas pelo alto grau de urbanização que as bacias hidrográficas dos riachos se encontram, visto que o nitrogênio que se acumula nas superfícies impermeáveis, resultante principalmente do descarte inadequado dos resíduos sólidos urbanos, são lixiviados para o corpo d'água através do escoamento superficial (Zhang *et al.*, 2017). Em um estudo realizado por Santos (2020), em um trecho do rio Ipojuca, localizado na área urbana da cidade de Caruaru-PE, foram encontrados valores máximos de nitrogênio acima dos típicos para esgoto bruto em águas naturais (>90 mg.L<sup>-1</sup>), corroborando com o presente estudo.

Despejos excessivos de carga orgânica contendo fósforo nos ambientes aquáticos influenciam significativamente no equilíbrio do ecossistema (Abreu; Cunha, 2017). Esse contaminante é considerado o principal poluente causador da eutrofização (Von Sperling, 2014). O bom controle da inserção da carga de fósforo sozinho, já é considerado suficiente para controlar a eutrofização (Schindler; Hecky, 2008; Schindler *et al.*, 2012). O esgoto doméstico apresenta concentrações de fósforo que variam entre 4 e 12 mg.L<sup>-1</sup> (Von Sperling, 2014). Nesse estudo, três amostras apresentam valores compatíveis com as concentrações de esgoto doméstico, sendo elas os pontos PC1 (5,20 mg.L<sup>-1</sup>), PP2 (6,50 mg.L<sup>-1</sup>) e PP1 (7,10 mg.L<sup>-1</sup>), todos durante o período de verão (Figura 5), o que pode ser um indício de que a água dos riachos é predominantemente composta por esgotos domésticos.



**Figura 5: Comportamento da concentração do fósforo total para os pontos e períodos coletados**



**Fonte:** Autoria própria, 2023. SPP1: ponto 1 do Sítio dos Pintos; SPP2: ponto 2 do Sítio dos Pintos; CP1: ponto 1 do Cavouco; CP2: ponto 2 do Cavouco; PP1: ponto 1 do Parnamirim; PP2: ponto 2 do Parnamirim.

Apesar de ser um dos pontos com a ZH não canalizada, o ponto PP1, na estação do verão, foi o ponto que apresentou um dos maiores graus de deterioração. A nascente do riacho Parnamirim se encontra obstruída por infraestrutura urbana (Cometti *et al.*, 2019). Segundo Gouveia e Selva (2021), durante o período de estiagem, a montante do riacho Parnamirim não apresenta lâmina d'água. Isso pode explicar o alto grau de deterioração da água observada no ponto PP1 durante o verão, porque pode ter ocorrido de a água que percorria no leito do riacho ser decorrente de esgoto doméstico. Além da maior concentração de fósforo (7,10 mg.L<sup>-1</sup>), o ponto PP1 na estação de verão apresentou as maiores concentrações para os parâmetros de DBO (161,60 mg.L<sup>-1</sup>), nitrogênio total (192 mg.L<sup>-1</sup>), turbidez (143 UNT) e coliformes (2E+10 NPM/100mL).

Os coliformes são indicadores de material de origem fecal nos ambientes aquáticos diretamente ligados a entrada de esgotos domésticos nos cursos d'água (Amorim *et al.*, 2017), esses organismos podem determinar de forma indireta a potencialidade de um corpo hídrico transmitir doenças (Li; Liu, 2019). Amorim *et al.* (2017), em um estudo realizado nos igarapés Rabo de Porco e Pecuá, no Maranhão, encontraram concentrações elevadas de coliformes (24.000 NPM/100mL). Essas altas concentrações foram atribuídas ao aporte direto de material de origem fecal nas matrizes aquáticas, o que ocorre de forma similar nos três riachos estudados.

Durante os dois períodos de monitoramento e as diferentes seções fluviais dos riachos analisados, a maioria das observações estão infringindo os limites estabelecidos pela classificação de enquadramento CONAMA 357/05 (CONAMA, 2005) para rios Classe 2. Dos parâmetros analisados que apresentam classificação de valor máximo permitido determinado pela referida Resolução, o OD, nitrogênio total, fósforo total e os coliformes termotolerantes, nos diferentes períodos e pontos analisados, estavam em desacordo com a resolução vigente para rios Classe 2. A DBO apresentou apenas duas amostras (SPP2 inverno e PP1 inverno) dentro dos padrões exigidos, já a turbidez apresentou apenas uma (PP1 verão) em desconformidade com a Resolução. O pH e o STD estavam com todas as amostragens dentro do exigido pela Resolução para rios Classe 2. Calazans *et al.* (2018), em um monitoramento qualitativo da bacia do rio das Velhas (Brasil), observaram violação dos parâmetros analisados em relação aos padrões exigidos pela legislação para o manancial. Dentre os parâmetros que são considerados mais críticos pelos autores estão o fósforo e coliformes termotolerantes, indicando que o lançamento de esgoto doméstico sem tratamento é a principal fonte contaminante das águas superficiais do rio das Velhas.

#### 4.2 Avaliação dos índices de conformidade

Com base nos valores calculados de ICE, a categoria de qualidade e do enquadramento da água em todas as amostras foi classificada como ruim (Tabela 8). Aplicando a classificação proposta por Amaro (2009), todos os pontos estudados, independente do período, foram classificados como não conformes. Em um estudo sazonal realizado no açude da Macela em Itabaiana (Brasil), Barbosa *et al.* (2019) observaram não conformidade das águas analisadas tanto para o período de chuva quanto para o período seco. Como justificativa, os autores apontaram os riachos tributários vindos de regiões urbanas, que sofrem com ações antrópicas, como principais fontes poluidoras.

Já no período de verão, todos os pontos estudados obtiveram classificação como péssimos (Tabela 6). Assim como Lima *et al.* (2020), que observaram no reservatório Pereira de Miranda, Ceará (Brasil), durante o período seco, houve uma maior deterioração da água. Matrizes aquáticas que cortam grandes centros urbanos tendem a apresentar grau de trofia elevado, principalmente em regiões com altas densidades populacionais (Maia *et al.*, 2015).

**Tabela 8: Classificações do ICE dos riachos Sítio dos Pintos, Cavouco e Parnamirim**

Ponto	Período	ICE	Classificação	Classificação Amaro (2009)
SPP1	Inverno	23	Ruim	Não conforme
	Verão	23	Ruim	Não conforme
SPP2	Inverno	29	Ruim	Não conforme
	Verão	23	Ruim	Não conforme
PC1	Inverno	23	Ruim	Não conforme
	Verão	23	Ruim	Não conforme
PC2	Inverno	23	Ruim	Não conforme
	Verão	23	Ruim	Não conforme
PP1	Inverno	38	Ruim	Não conforme
	Verão	16	Ruim	Não conforme
PP2	Inverno	23	Ruim	Não conforme
	Verão	23	Ruim	Não conforme

**Fonte:** Autoria própria, 2023. SPP1: ponto 1 do Sítio dos Pintos; SPP2: ponto 2 do Sítio dos Pintos; CP1: ponto 1 do Cavouco; CP2: ponto 2 do Cavouco; PP1: ponto 1 do Parnamirim; PP2: ponto 2 do Parnamirim.

Para os resultados do IQA, observou-se pouca diferença entre os pontos estudados (Tabela 9). No período de inverno, os pontos SPP2, CP2 e PP1 foram classificados como ruins, enquanto os pontos SPP1, CP1 e PP2 foram classificados como péssimos. Quando comparamos os pontos com ZH não canalizada com os pontos com ZH canalizada, observamos que, no período do inverno, nos riachos Sítio dos Pintos e Parnamirim para os pontos não canalizados, ambos foram classificados como ruim, apresentando uma deterioração menor do que nos pontos com a ZH canalizada, que foram classificados como péssimo. Em contrapartida, no riacho do Cavouco, o ponto que apresentou maior deterioração foi o ponto com a ZH não canalizada, o ponto que fica a montante. Esse evento pode ter ocorrido, pelo fato de o riacho Cavouco ser caracterizado por ter as margens de montante ocupadas por ocupações irregulares e, conseqüentemente, sofrer com despejo inadequado de águas residuais.

**Tabela 9: Classificação do IQA dos riachos Sítio dos Pintos, Cavouco e Parnamirim**

Pontos	Inverno		Verão	
	IQA	Classificação	IQA	Classificação
SPP1	15	Péssimo	11	Péssimo
SPP2	21	Ruim	17	Péssimo
CP1	11	Péssimo	12	Péssimo
CP2	24	Ruim	11	Péssimo
PP1	24	Ruim	8	Péssimo
PP2	17	Péssimo	10	Péssimo

**Fonte:** Autoria própria, 2023. SPP1: ponto 1 do Sítio dos Pintos; SPP2: ponto 2 do Sítio dos Pintos; CP1: ponto 1 do Cavouco; CP2: ponto 2 do Cavouco; PP1: ponto 1 do Parnamirim; PP2: ponto 2 do Parnamirim.

Os altos índices de fósforo que apontavam possível eutrofização das águas analisadas foram confirmadas pelo nível trófico encontrado após aplicação da metodologia de IET, em que todos os pontos e períodos de coletadas estavam classificados na categoria de hipereutrófico (Tabela 10).

**Tabela 10: Classificação do IET dos riachos Sítio dos Pintos, Cavouco e Parnamirim**

Pontos	Inverno		Verão	
	IET	Classificação	IET	Classificação
SPP1	73,82	Hipereutrófico	74,36	Hipereutrófico
SPP2	67,16	Hipereutrófico	67,97	Hipereutrófico
CP1	75,01	Hipereutrófico	78,38	Hipereutrófico
CP2	73,18	Hipereutrófico	76,02	Hipereutrófico
PP1	72,03	Hipereutrófico	80,00	Hipereutrófico
PP2	73,15	Hipereutrófico	79,54	Hipereutrófico

**Fonte:** Autoria própria, 2023. SPP1: ponto 1 do Sítio dos Pintos; SPP2: ponto 2 do Sítio dos Pintos; CP1: ponto 1 do Cavouco; CP2: ponto 2 do Cavouco; PP1: ponto 1 do Parnamirim; PP2: ponto 2 do Parnamirim.

Em um estudo realizado no rio Capibaribe, Alves *et al.* (2021) avaliaram o IET em pontos na cidade do Recife em períodos diferentes (maio e agosto). Como resultado, a classificação de trofia das águas foi dada como hipereutrófica para ambos os pontos nos dois períodos analisados, o que se assemelha com o presente estudo.

Apesar da turbulência causada pelo fluxo hidrodinâmico em riachos minimizar a anoxia (Dodds, 2006), altos níveis de carga de matéria orgânica externa causam problemas consideráveis nesses sistemas, resultando na eutrofização do corpo aquático (Wurtsbaugh *et al.*, 2019). É o que provavelmente ocorre nos riachos estudados, pois nas bacias hidrográficas dos três riachos, mais da metade do sistema de esgotamento sanitário utilizado é dito como ambientalmente incorreto, sendo parte deles despejados diretamente no corpo d'água (IBGE, 2011).

A classificação do IQA variou entre ruim e péssimo, já a classificação do IET foi apresentada como hipereutrófica para todos os riachos, em seus diferentes pontos e períodos. Isso comprova um nível alto de deterioração que as águas dos riachos estudados se encontram. IQA e IET apesar de possuírem conceitos e metodologias diferentes, ambos os índices comungam quanto a sua ideia de classificação de qualidade de um corpo d'água (Lima *et al.*, 2020).

## 5. CONCLUSÃO

Observou-se grande deterioração das águas dos três riachos em todos os pontos e períodos analisados. As baixas concentrações de oxigênio dissolvido e as altas concentrações de nitrogênio

total, fósforo total e coliformes termotolerantes evidenciaram o aporte direto de material de origem orgânica e fecal nas matrizes aquáticas, destacando a necessidade de implementação de projetos de expansão da cobertura de saneamento básico e a ênfase na fiscalização das fontes responsáveis pelos efluentes despejados no corpo hídrico.

Dos oito parâmetros analisados que estão citados na portaria vigente, constatou-se que seis deles apresentaram valores, em pelo menos uma das amostragens, superiores ao limite máximo permitido pela Resolução CONAMA 357/05 para rios classificados como Classe 2 (CONAMA, 2005). Os resultados do ICE classificaram as águas dos três riachos como ruim e não conforme com a resolução, concluindo que os parâmetros de qualidade de água analisados frequentemente não atendem aos padrões estabelecidos pelo enquadramento. A falta de conformidade desses valores com o limite máximo estabelecido pela resolução pode limitar o uso dessa água para as atividades previstas para essa classe.

Para todos os pontos analisados, o índice de qualidade de água (IQA) resultou em águas classificadas com ruins ou péssimas, independente do período (inverno ou verão), local (a montante ou a jusante) e tipo do leito (natural ou impermeabilizado). Da mesma forma, em ambos os períodos, todos os pontos foram classificados como hipereutróficos, por meio do índice de estado trófico (IET). Dessa forma, percebe-se que a urbanização já provocou impactos, inclusive nas áreas mais preservadas dos riachos, com a zona hiporreica preservada, causando eutrofização do corpo d'água, não sendo possível observar grandes diferenças na qualidade da água entre os pontos canalizados e os pontos com a zona hiporreica preservada. Os resultados das análises evidenciaram o alto grau de deterioração em que se encontram as águas dos três riachos, tendo como principal fonte poluidora o despejo inadequado de esgotos domésticos nos corpos d'água. O baixo percentual de coleta de esgoto na região se apresenta como um fator direto e influente na degradação dessas matrizes aquáticas.

É visível a necessidade de intervenções tanto estruturais quanto não estruturais nas bacias hidrográficas dos três córregos investigados, tais como: desapropriação de assentamentos irregulares situados nas margens dos córregos, investimentos destinados ao aprimoramento da coleta e tratamento de águas residuais sanitárias, restauração da zona ripária e as Áreas de Preservação Permanente (APPs), regularização dos taludes e da zona hiporreica, e implementação de campanhas educativas direcionadas à população. É essencial a utilização do ICE por parte das autoridades gestoras dos corpos hídricos urbanos da cidade do Recife, visando identificar os

elementos de pressão nas bacias monitoradas com o intuito de analisar os cursos d'água dentro dos critérios estabelecidos pela resolução vigente e definir, por fim, a classificação real de cada curso fluvial limitando seus usos ao exigido pela legislação. O trabalho evidenciou a péssima situação destes corpos hídricos, sendo necessário ações e cobranças por parte da sociedade aos órgãos gestores responsáveis pela atenção ao meio ambiente e corpos hídricos locais.

## REFERÊNCIAS

- ABREU, C. H. M.; CUNHA, A. C. Qualidade da água e índice trófico em rio de ecossistema tropical sob impacto ambiental. **Engenharia Sanitária Ambiental**, v. 22, n. 1, p. 45-56, 2017.
- ALVES, R. N.; MARIZ JR, C. F.; DE MELO ALVES, M. K.; CAVALCANTI, M. G. N.; DE MELO, T. J. B.; DE ARRUDA-SANTOS, R. H.; CARVALHO, P. S. Contamination and Toxicity of Surface Waters Along Rural and Urban Regions of the Capibaribe River in Tropical Northeastern Brazil. **Environmental Toxicology and Chemistry**, v. 40, n. 11, p. 3063-3077, 2021.
- AMARO, C. A. **Proposta de um índice para avaliação de conformidade da qualidade dos corpos hídricos ao enquadramento. Dissertação.** 2009. 224p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidráulica e Sanitária) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.
- 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.
- ANDRIETTI, G.; FREIRE, R.; AMARAL, A.G.; ALMEIDA, F. T.; BONGIOVANI, M. C.; SCHNEIDER, R. M. Índices de qualidade da água e de estado trófico do rio Caiabi, MT. **Rev. Ambient. Água**, v. 11, n. 1, p. 162-175, 2016.
- APAC - Agência Pernambucana de Águas e Clima. **Dados pluviométricos no Estado de Pernambuco.** Recife: APAC, 2022. Disponível em: <http://www.apac.pe.gov.br/meteorologia/monitoramento-pluvio.php>. Acesso em: 01 mai 2022. Base de dados.
- BARBOSA, A. G.; SANTOS, K. M. S.; MICHELAN, D. C. D. G. S. Avaliação da sazonalidade da qualidade da água do açude da Macela em Itabaiana/SE. **Scientia cum industria**, v. 7, n. 3, p. 24-31, 2019.
- BINDER, W. **Rios e córregos: preservar-conservar-renaturalizar.** 3. ed. Rio de Janeiro: SEMADS, 2001. 42p.
- BRASIL. Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020. Atualiza o marco legal do saneamento básico. Brasília, 15 de julho de 2020. **Diário Oficial da União: Seção 1**, Brasília, DF, 16 jul. 2020.

BRUNKE, M.; GONSER, T. The ecological significance of exchange processes between rivers and groundwater. **Freshw. Biol**, v. 37, p. 1-33, 1997.

CALAZANS, G.M., PINTO, C.C., DA COSTA, E.P.; PERINI, A. F; OLIVEIRA, S. C. Using multivariate techniques as a strategy to guide optimization projects for the surface water quality network monitoring in the Velhas river basin, Brazil. **Environ Monit Assess** v. 190, p. 1-15, 2018.

CCME - Canadian Council of Ministers of the Environment. **Canadian water quality guidelines for the protection of aquatic life: CCME Water Quality User's Manual 2017 UPDATE**. Winnipeg, 2017. Disponível em: <https://ccme.ca/en/res/wqimanualen.pdf>. Acesso em: 10 mai 2022. Base de dados.

CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Qualidade das águas interiores no estado de São Paulo 2020**. São Paulo, 2021. Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/wp-content/uploads/sites/12/2021/09/Relatorio-Qualidade-das-Aguas-Interiores-no-Estado-de-Sao-Paulo-2020.pdf>> Acesso em: 04 mai 2022. Base de dados.

COMETTI, J. L. S.; CABRAL, J. J. S. P.; CONCEIÇÃO, T. M. Water quality and prospects for revitalization of an urban stream in Recife, Brazil. **Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais**, v. 11, n. 5, p. 284-294, 2020.

COMETTI, J. L. S.; CABRAL, J. J. S. P.; SANTOS, F. P.; CONCEICAO, T. M. Avaliação temporal (2016-2017) e espacial do Índice de Qualidade da Água dos riachos do Cavouco e Parnamirim, Recife-PE. In: Editora Poisson. (Org.). **Sustentabilidade e Responsabilidade Social em Foco**. Belo Horizonte: Editora Poisson, 2019. cap. 2. p. 12-27.

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente. Ministério do Meio Ambiente. Resolução CONAMA nº 357/2005. 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, DF, 17 de mar. 2005.

DAMASCENO, M. D. C. S.; RIBEIRO, H. M. C.; TAKIYAMA, L. R.; PAULA, M. T. D. Avaliação sazonal da qualidade das águas superficiais do Rio Amazonas na orla da cidade de Macapá, Amapá, Brasil. **Ambiente & Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, v. 10, n. 3, p. 598-613, 2015.

DODDS, W. K. Eutrophication and trophic state in rivers and streams. **Limnology and Oceanography**, v. 51, p. 671-680, 2006.

EMLURB - Empresa de Manutenção e Limpeza Urbana. **Plano Diretor de Drenagem e Manejo das Águas Urbanas do Recife: Relatório do diagnóstico do sistema de drenagem existente**. Recife: ABF Engenharia LTDA, 333p, 2016. Base de dados.

GOUVEIA, R. L.; SELVA, V. S. F. Governança ambiental na revitalização dos riachos urbanos na Cidade do Recife, Pernambuco, Brasil. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 12, p. e146101220197, 2021.

HERZOG S. P.; HIGGINS C. P.; SINGHA K.; MCCRAY J. E. Performance of engineered streambeds for inducing hyporheic transient storage and attenuation of resazurin. **Environmental Science and Technology**, v. 52, p. 10627-10636, 2018.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Base de informação do Censo Demográfico 2010: resultados da Sinopse por setor censitário**. Rio de Janeiro, 2011. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/> Acesso em: 10 abr 2022. Base de dados.

IGAM - Instituto Mineiro de Gestão de Águas. **Monitoramento da qualidade das águas superficiais no estado de Minas Gerais**. Belo Horizonte: IGAM, 2015. Disponível em: <http://repositorioigam.meioambiente.mg.gov.br/>. Acesso em: 13 abr 2022. Base de dados.

JORDÃO, E. P.; PESSÔA, C. A. (org.). **Tratamento de esgotos domésticos**. 7. ed. Rio de Janeiro: ABES, 2014. 220 p.

LAMPARELLI, M. C. **Graus de trofia em corpos de água do estado de São Paulo: avaliação dos métodos de monitoramento**. 2004. 207 p. Tese (Doutorado em Ecossistemas Terrestres e Aquáticos) - Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

LEWANDOWSKI, J.; PUTSCHEW, A.; SCHWESIG, D.; NEUMANN, C.; RADKE, M. Fate of organic micropollutants in the hyporheic zone of a eutrophic lowland stream: Results of a preliminary field study. **Science of the Total Environment**, v. 409, p. 1824-1835, 2001.

LI, D.; LIU, S. Water Quality Monitoring in Aquaculture. *In*: LI, D.; LIU, S. **Water Quality Monitoring and Management**, India: Academic Press, 2019. cap. 12, p. 303-328.

LIMA, G.R.R.; OLIVEIRA SOUZA, S.; ALENCAR, F.K.M.; ARAÚJO, A.L.; SILVA, F.J.A. O que comunicam os índices de qualidade de água e de estado trófico em um reservatório do semiárido brasileiro? **Geociências**, v. 39, p. 181-190, 2020.

LIU, B.; WANG, W. L.; HAN, R. M.; SHENG, M.; YE, L. L.; DU, X.; WU, X. T.; WANG, G. X. Dynamics of dissolved oxygen and the affecting factors in sediment of polluted urban rivers under aeration treatment. **Water, Air, & Soil Pollution**, v. 227, n. 6, p. 1-13, 2016.

LIU, Y.; DEDIEU, K.; SÁNCHEZ-PÉREZ, J. M.; MONTUELLE, B.; BUFFAN-DUBAU, E.; JULIEN, F.; AZÉMAR, F.; SAUVAGE, S.; MARMONIER, P.; YAO, J.; VERVIER, P.; GERINO, M. Role of biodiversity in the biogeochemical processes at the water-sediment interface of macroporous river bed: An experimental approach. **Ecological Engineering**, v. 103, p. 385-393, 2017.

LUKE, S. H.; SLADE, E. M.; GRAY, C. L.; ANNAMMALA, K. V.; DREWER, J.; WILLIAMSON, J.; AGAMA, A.; ATIONG, M.; MITCHELL, S.; VAIRAPPAN, C.S.; STRUEBIG, M.J. Riparian buffers in tropical agriculture: scientific support, effectiveness and directions for policy. **J. Appl. Ecol.** v. 56, n. 1, p. 85-92, 2019.

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



MAPBIOMAS. **Coleção 7 do MapBiomas de mapas anuais de cobertura e uso da terra do Brasil.**

Disponível em: <[www.mapbiomas.org](http://www.mapbiomas.org)>. Acesso em: 10 jan 2023. Base de dados.

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.

MAZOR, R. D.; SUTULA, M.; THEROUX, S.; BECK, M.; ODE, P. R. Eutrophication thresholds associated with protection of biological integrity in California wadeable streams. **Ecological Indicators**, v. 142, p. e109180, 2022.

NIXON, S. W. Coastal marine eutrophication: A definition, social causes, and future concerns. **Ophelia**, v. 41, p. 199-219, 2012.

NORIEGA, C.D.; COSTA, K.M.P.; FEITOSA, F.A.N.; MONTES, M.J.F.; GREGO, C.K.S.; SOARES, G.S.S.; SILVA, H.P. Distribuição espacial da biomassa fitoplânctônica e sua relação com os sais nutrientes, no sistema estuarino de Barra de Jangada. **Arquivos de Ciências do Mar**, v. 38, p. 5-18, 2005.

PAERL, H. W., HALL, N. S., CALANDRINO, E. S. Controlling harmful cyanobacterial blooms in a world experiencing anthropogenic and climatic-induced change. **Science of the total environment**, v. 409, p. 1739-1745, 2011.

RAMOS, M. A. G. **Avaliação da qualidade da água dos Rios Jaguari e Atibaia por meio do índice de qualidade da água-IQA e ensaios toxicológicos.** 2015. 177 p. Tese (Doutorado em Ciências Biológicas e Microbiologia Avançada) - Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2015.

ROSA, F. S.; TONELLO, K. C.; VALENTE, R. D. O. A.; LOURENÇO, R. W. Estrutura da paisagem, relevo e hidrografia de uma microbacia como suporte a um programa de pagamento por serviços ambientais relacionados à água. **Revista Ambiente & Água**, v. 9, p. 526-539, 2014.

SANTOS, R. C. L.; LIMA, Á. S.; CAVALCANTI, E. B.; MELO, C. M. D.; MARQUES, M. N. Aplicação de índices para avaliação da qualidade da água da Bacia Costeira do Sapucaia em Sergipe. **Engenharia Sanitária Ambiental**, v. 23, n. 1, p. 33-46, 2018.

SANTOS, R. M. S. **Avaliação da qualidade de água e presença de compostos emergentes em rios no semiárido pernambucano.** 2020. 181 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) - Universidade Federal de Pernambuco, Caruaru, 2020.

SCHETTINI, C. A. F.; DE MIRANDA, J. B.; VALLE-LEVINSON, A.; TRUCCOLO, E. C.; DOMINGUES, E. C. The circulation of the lower Capibaribe estuary (Brazil) and its implications for the transport of scalars. **Brazilian Journal of Oceanography**, v. 64, p. 263-276, 2016.

SCHINDLER D. W.; HECKY R. E. Reply to Howarth and Paerl: Is control of both nitrogen and phosphorus necessary? **P Natl Acad Sci.** v. 105, n. 49, p. E104-E104, 2008.

SCHINDLER D.W.; HECKY R.E.; FINDLAY D.L.; STANTON M.P.; PARKER B.R.; PATERSON M.J.; BEATY K.G.; LYNNG M.; KASIAN S.E.M. Eutrophication of lakes cannot be controlled by reducing nitrogen

input: results of a 37-year whole-ecosystem experiment. **P Natl Acad Sci.** v. 105, n. 32, p. 11254-11258, 2008.

SCOTT J.T., MARCARELLI A.M. Cyanobacteria in freshwater benthic environments. *In*: Whitton B, (org.). **Ecology of Cyanobacteria II: their diversity in space and time.** Springer, 2012. Cap. 9, p. 271–289.

SNIS - Sistema Nacional de Informação sobre Saneamento. **27º Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos – 2021.** Brasília: SNIS, 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/cidades/pt-br/aceso-a-informacao/acoes-e-programas/saneamento/snis>. Acesso em: 19 de mar 2022. Base de dados.

SREEDHAR, Y.; NAGARAJU, A. Groundwater quality around Tummalapalle area, Cuddapah District, Andhra Pradesh, India. **Applied Water Science**, v. 7, n. 7, p. 4077-4089, 2017.

TAN, P.; ZHU, D. Z.; ZHANG, Y.; ZHOU, Y. Optimization of water flushing in lowland urban river in Jiaxing, Zhejiang using dissolved oxygen as the indicator. **MATEC Web of Conferences**, v. 246, p. 02048, 2018.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos.** 4. ed. Belo Horizonte: UFMG, 2014. 458p.

WANG, J.; LIU, X. D.; LU, J. Urban River pollution control and remediation. **Procedia Environmental Sciences**, v. 13, p. 1856-1862, 2012.

WARD, A. S.; GOOSEFF, M. N.; JOHNSON, P. A. How can subsurface modifications to hydraulic conductivity be designed as stream restoration structures? Analysis of Vaux's conceptual models to enhance hyporheic Exchange. **Water Resources Research**, v. 47, n. 8, p. 1-13, 2011.

WILLIAMS, M.; KOOKANA, R. S.; MEHTA, A.; YADAV, S. K.; TAILOR, B. L.; MAHESHWARI, B. Emerging contaminants in a river receiving untreated wastewater from an Indian urban centre. **Science of the Total Environment**, v. 647, p. 1256-1265, 2019.

WURTSBAUGH, Wa. A.; PAERL, H. W.; DODDS, W. K. Nutrients, eutrophication and harmful algal blooms along the freshwater to marine continuum. **Wiley Interdisciplinary Reviews: Water**, v. 6, n. 5, p. e1373, 2019.

YU, D.; SHI, P.; LIU, Y.; XUN, B. Detecting land use-water quality relationships from the viewpoint of ecological restoration in an urban area. **Ecological Engineering**, v. 53, p. 205-216, 2013.

ZHANG, W.; SWANEY, D. P.; HONG, B.; HOWARTH, R. W.; LI, X. Influence of rapid rural-urban population migration on riverine nitrogen pollution: perspective from ammonia-nitrogen. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 24, n. 35, p. 27201-27214, 2017.

*Artigo submetido em: 03/05/2024*

*Artigo aceito em: 02/07/2024*

*Artigo publicado em: 02/09/2024*