

## SOLUÇÕES BASEADAS NA NATUREZA: Implantação e análise da eficiência do jardim biofiltrante do riacho Pajeú, Sobral/CE

NATURE-BASED SOLUTIONS: Implementation and analysis of the efficiency of the biofiltering garden of the Pajeú stream, Sobral/CE

Kemmison Luiz Paula Sousa<sup>1</sup>  
Simone Ferreira Diniz<sup>2</sup>  
Kelvy Maria de Vasconcelos Moreira<sup>3</sup>  
Ursula Priscila Santana Nobrega<sup>4</sup>  
Cícera Sarah Moura<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Universidade Estadual Vale do Acaraú (UVA). E-mail: kemmison@hotmail.com

<sup>2</sup> Universidade Estadual Vale do Acaraú (UVA). E-mail: dinfersim@hotmail.com

<sup>3</sup> Universidade Estadual Vale do Acaraú (UVA). E-mail: kelvyamoreira@gmail.com

<sup>4</sup> Universidade Estadual Vale do Acaraú (UVA). E-mail: ursulanobrega@sobral.ce.gov.br

<sup>5</sup> Universidade Federal do Ceará (UFC). E-mail: sarah.mourafarias@gmail.com

**RESUMO:** Como estratégia para mitigar ações negativas decorrentes da urbanização desordenada e alcançar o desenvolvimento sustentável, a cidade de Sobral, Ceará tem investido em abordagens ecoeficientes para solucionar problemas urbanos. O riacho Pajeú apresenta alto índice de poluição devido à ocupação de seu leito a montante do Parque da Cidade. Como medida mitigatória, a Prefeitura de Sobral implantou um sistema de tratamento de baixo custo e natural, por meio de processo biológico, o sistema de alagados naturais que utilizam os microrganismos presentes nas raízes de plantas macrófitas para filtrar os poluentes dos efluentes, por meio de processos biológicos, químicos e físicos.

**Palavras-chave:** Saneamento ambiental. Lançamento de efluentes. Águas servidas.

**ABSTRACT:** As a strategy to mitigate negative actions resulting from disorderly urbanization and achieve sustainable development, the city of Sobral, Ceará has invested in eco-efficient approaches to solve urban problems. The Pajeú stream has a high level of pollution due to the occupation of its bed upstream of the City Park. As a mitigating measure, the Sobral City Hall implemented a low-cost and natural treatment system, through a biological process, the system of natural wetlands that use the microorganisms present in the roots of macrophyte plants to filter pollutants from effluents, through biological, chemical and physical processes.

**Keywords:** Environmental sanitation. Effluent discharge. Wastewater.

**Sumário:** Introdução – 1 Jardins biofiltrante – 2 Material e método – 3 Resultados e discussão – Considerações – Referências.

### INTRODUÇÃO

As soluções baseadas na natureza (SBN), conhecidas como infraestruturas verdes, têm se difundido como abordagens eficientes para adaptar as cidades à crise do clima e mitigar os desastres. Projetos como jardins de chuva, parques lineares, restauração de encostas e agricultura urbana, ajudam a tornar as cidades mais resilientes diante de eventos climáticos extremos, enquanto geram benefícios adicionais para a sociedade, a economia e o meio ambiente (WRI Brasil, 2022).

As SBN são políticas públicas que devem ser executadas para melhorar o ambiente, porém, a maioria das gestões municipais não conhece esse conceito.

Entretanto seria de grande valia para ajudar os municípios a iniciarem novos ciclos de adaptação baseada em ecossistemas saudáveis, com inclusão social e redução de vulnerabilidades (WRI Brasil, 2022).

As infraestruturas verdes mantêm processos ecológicos naturais, asseguram a qualidade do ar e dos recursos hídricos e contribuem com a saúde e a qualidade de vida das comunidades. Estas infraestruturas buscam imitar a natureza por meio da adoção de engenharia suave, trabalhando com a paisagem e se aproveitando dela para dar soluções multifuncionais e sustentáveis de longo prazo (Solera; et al, 2020).

As infraestruturas verdes adotam os princípios da multifuncionalidade, como a capacidade de responder, de forma simultânea, às múltiplas funções e benefícios atribuídos aos espaços verdes, atuando em diferentes escalas, a depender da sua aplicação. Essas infraestruturas abrangem soluções diversas em diferentes escalas de aplicação e tem capacidade de promover espaços verdes multifuncionais e se interage com a infraestrutura cinza, que são intervenções com base na engenharia convencional, dessa forma, tem a capacidade de agregar múltiplos serviços ambientais à infraestrutura cinza (Solera; et al, 2020).

## 1 JARDINS BIOFILTRANTE

Jardim biofiltrante é uma técnica ecologicamente correta de tratamento da água de esgotos e, alternativa, denominada sistema de alagados naturais (SAN) se utiliza das raízes de plantas macrófitas, ou melhor, dos microrganismos presentes nelas e no ambiente para filtrar os poluentes do efluente por meio de processos biológicos, químicos e físicos. Este entendimento foi obtido pelos humanos por meio de processos que naturalmente ocorrem em áreas molhadas, quer sejam brejos, alagados, igarapés ou mangues. Já os sistemas alagados construídos (SAC) são áreas escavadas em terreno natural e/ou sobre aterros.

A área escavada é revestida ou impermeabilizada por uma geomembrana, sendo protegida por uma manta geotêxtil conhecida como bidim e, em seguida, é preenchida por substrato poroso, formando um tanque onde as espécies vegetais são introduzidas. A principal característica do meio poroso é possuir superfície de grande contato, característica desejável para que ocorra grande fixação de biofilme ao substrato e para que a cinética química seja a maior possível.

Os substratos mais comuns utilizados em SAC são: resíduos da indústria cerâmica (telhas e tijolos), resíduos de alvenaria reciclados, seixos rolados, argilas expandidas e britas de basalto. Neste sistema a água servida ou fluente que chega até ele percorre toda sua extensão composta pelo substrato poroso muito lentamente (fluxo lântico), garantindo tempo adequado para o desenvolvimento de diversos tipos de microrganismos (aeróbicos e anaeróbicos) junto às raízes das plantas, onde acontece a transformação dos elementos orgânicos e inorgânicos existentes no efluente (Hidrobotânica, 2018).

Nesta ação, as plantas retiram do meio os elementos químicos transformados em minerais pelos microrganismos, com o propósito de manterem sua estrutura física, e ainda devolvem ao meio aquático oxigênio que responderá por parcela significativa da oxidação dos elementos que contaminam as águas. As plantas utilizadas nos jardins biofiltrantes do riacho Pajeú são plantas da família das macrófitas. São macrófitas aquáticas, espécies vegetais que se adaptaram a viver em ambientes aquáticos e têm como característica a capacidade de translocarem boa quantidade de oxigênio das folhas para as raízes, em sua maioria, as macrófitas dispõem de espécies de canais vazios, nominados de aerênquimas (Hidrobotânica, 2018).

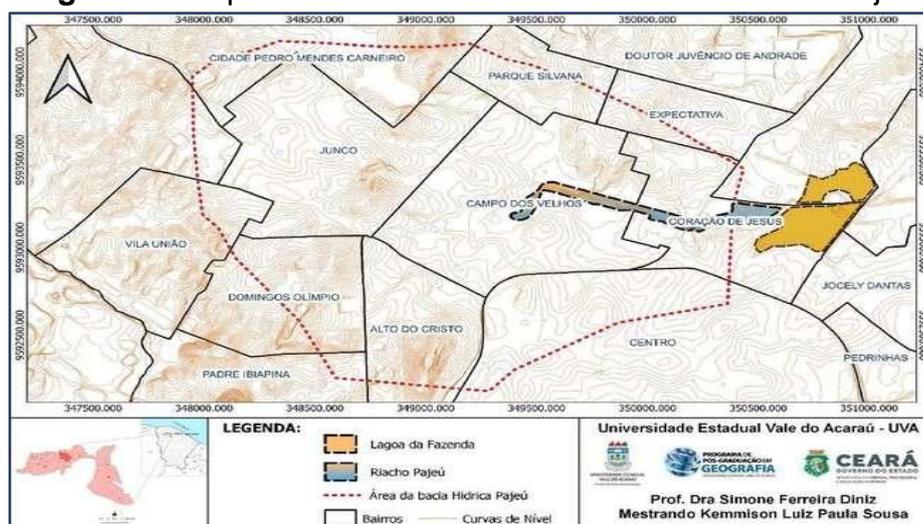
## 2 MATERIAL E MÉTODO

O riacho Pajeú é um curso d'água urbano que cruza considerável parte da sede urbana do município de Sobral/CE. A calha canalizada do riacho tem início nas proximidades do bairro Cidade Dr. José Euclides (Terrenos Novos), em seguida, cruza os bairros do Junco e Campo dos Velhos. O riacho recebe contribuição de águas vindo da microbacia do bairro Alto do Cristo. Observa-se, também, que praticamente toda a área que o riacho corta está tomada pela urbanização de forma desorganizada e sua calha está canalizada por galerias, com predominância nos bairros Junco e Campo dos Velhos. A calha não canalizada do riacho tem início na avenida Dr. Arimateia Monte e Silva, no Parque da Cidade, corta o parque Pajeú e espraia na Lagoa da Fazenda, desaguando no rio Acaraú.

Embora o riacho Pajeú corte apenas três bairros (Junco, Campo dos Velhos e Coração de Jesus), o que se observa é que pelo menos 11 bairros da sede do município de Sobral estão inseridos dentro da microbacia do riacho. Os 11 bairros

inseridos na microbacia hídrica do Pajeú têm alta ocupação populacional, sendo eles: Junco, Domingos Olímpio, Padre Ibiapina, Alto do Cristo, Campo dos Velhos, Parque Silvana, Alto da Expectativa, Alto da Brasília, José Euclides, Vila União e Centro, como pode ser visto pelo tracejado em vermelho no mapa da Figura 1.

**Figura 1 - Mapeamento da microbacia hídrica do riacho Pajeú**



Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

Dos 11 bairros que sofre influência do riacho Pajeú, com exceção de algumas áreas dos bairros Domingos Olímpio, Padre Ibiapina e Alto do Cristo, possuem sistema de coleta de esgotos e os direcionam para estações elevatórias e, posteriormente, para estações de tratamento. Entretanto, é possível inferir a existência de contribuições clandestinas de esgoto para as galerias de águas pluviais que alimentam o riacho Pajeú, pelo fato de sempre ter efluente chegando ao riacho, mesmo fora do período de chuvas.

O riacho Pajeú tem regime intermitente, portanto, naturalmente só deveria escoar águas no seu leito no período chuvoso, porém o que se observa é que a partir do Parque da Cidade (parte não canalizada) ele se torna um riacho perene com águas cinzas. Nesta perspectiva, os Parques da Cidade e Pajeú são exemplos concretos de planejamento integrado gerando soluções com benefícios múltiplos. A área foi requalificada para atender as demandas ambientais de lazer, educação, esporte, mobilidade e saúde.

A requalificação foi implantada no final do ano de 2019, denominado de jardins biofiltrantes, classificado como SBN e tem como objetivo fazer o tratamento

das águas do riacho que recebem grande carga de esgoto doméstico *in natura*. Esta forma de tratar o esgoto ocorre natural e sustentavelmente. Com uma extensão de 1,55 km e uma área construída de 12.000 m<sup>2</sup>, a principal função do sistema é o tratamento de águas servidas que desaguam no riacho Pajeú por meio de processos de biofitorremediação. Para isso, o sistema é composto por dois subsistemas que operam conjuntamente, o SAN e o SAC.

Antes da infraestrutura dos subsistemas há barramento das águas por meio de uma caixa de areia. Posteriormente, um gabião implantado na caixa de areia faz o tratamento preliminar para separar ou impedir que materiais maiores, como sacolas plásticas e garrafas pet, obstruam a tubulação que capta as águas que chegam ao riacho pela galeria situada na Avenida Dr. José Arimateia Monte e Silva. Além de reter a água e alguns resíduos, o barramento serve para elevar o nível da água, que é encaminhada por tubulação para os SAC, por gravidade. Estes funcionam em linha, operando cada um individualmente (Sobral, 2022).

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Enquanto o sistema que representam os SAN é baseado no espraçamento do fluxo d'água, o tempo de detenção hidráulica interfere no tratamento da água, pois é necessário que o local tenha condições adequadas para tratamento de efluente adequado (Hidrobotânica, 2018). A efetivação dos procedimentos dos jardins biofiltrantes podem ser verificadas no canal do riacho Pajeú (Figura 2).

**Figura 2** - Alimentação dos SAC: (A) Caixa de areia; (B) Tubulação de transporte



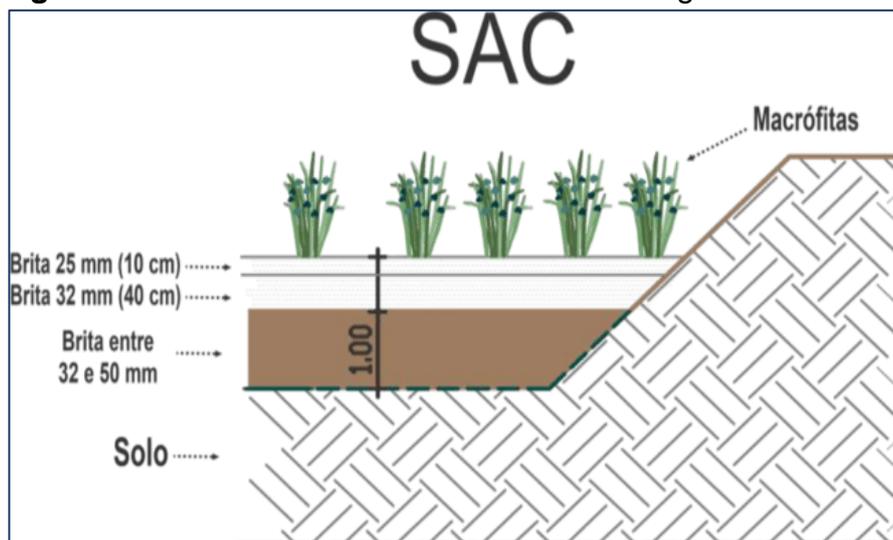
Fonte: Secretaria da Infraestrutura de Sobral/CE (2021).

As águas do canal do riacho Pajeú, captadas na caixa de areia no trecho em que o riacho deixa de ser canalizado (início do Parque da Cidade, na Avenida

Dr. Arimateia Monte e Silva) são direcionadas para a alimentação dos SAC por duas tubulações de PVC ocre com diâmetro de 250mm. Para os SAC do riacho Pajeú foram usadas britas de origem granítica, comumente encontradas na região, com diâmetro comercial de 25mm e 32mm, resultando em porosidade de aproximadamente 45%.

A espessura de cada lastro da camada do meio poroso varia entre os SAC, ficando em média de 50cm, sendo os 40cm inferiores preenchidos com a brita de diâmetro comercial igual a 32mm e os 10cm superiores preenchidos com a brita de diâmetro de 25mm. Um substrato de cerca de 1m de altura composto por brita entre 32 e 50mm de diâmetro que foi aplicado junto a todas as chegadas de efluentes nos SAC. A Figura 3 apresenta um detalhamento do SAC.

**Figura 3** - Detalhe do substrato do Sistema Alagado Construído



**Fonte:** Elaborado pelos autores (2024).

A Figura 4 apresenta a sequência de execução de um SAC, no riacho Pajeú, inicialmente, na base da infraestrutura, ocorre a aplicação da geomembrana (4-A), posteriormente é aplicado a manta geotêxtil bidim (4-B), em seguida é introduzida a brita, em seus variados diâmetros (4-C) e após ocorre a plantação de macrófitas (4-D).

**Figura 4** - Sistema alagado construído no riacho Pajeú: (A) Geomembrana; (B) Geotêxtil; (C) Substrato; (D) Macrófitas



Fonte: A, B e C - Secretaria da Infraestrutura (2021); D -Acervo dos autores (2022).

Ao total são 14 SAC localizados no Parque da Cidade, alimentados tanto pela margem esquerda, como pela margem direita, que transportam suas águas já com parte do processo de filtragem concluído para um SAC denominado receptor, também, localizado no Parque da Cidade. O SAC receptor, por sua vez, encaminha as águas pré-filtradas para mais cinco SAC localizados no Parque Pajeú, a fim de concluir o processo de filtragem das águas, as devolvendo para o riacho tratadas, limpas e sem odor. Para melhor entendimento, a Figura 5 mostra o esquema do funcionamento dos jardins biofiltrantes.

**Figura 5** - Jardins biofiltrantes do riacho Pajeú



Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

Para operação e manutenção dos jardins biofiltrantes do riacho Pajeú foi elaborado um Manual de operação com o intuito de tornar as informações mais acessíveis, representando diferenças entre o projeto e a prática, demonstrando, também, a viabilidade de construir jardins biofiltrante em outros locais. Para a elaboração do manual foram realizadas diversas pesquisas *in loco*, bibliográficas, monitoramento diário do Parque da Cidade e Parque Pajeú e georreferenciamento da área e dos tanques, com o intuito de descrever o mais detalhado possível o manual para que outras organizações possam aderir.

Um dado importante para a manutenção e funcionamento dos SAC é o desassoreamento (limpeza) das caixas de areia e a cada três meses são realizadas podas na vegetação, tanto a realização da limpeza, como as podas são feitas de forma manual, utilizando ferramentas simples, como enxadas, facão e foice, como mostra a Figura 6.

**Figura 6** - Sistema alagado construído no riacho Pajeú: (A) Desassoreamento da caixa de areia; (B) Poda da vegetação



**Fonte:** Agência Municipal do Meio Ambiente de Sobral (2022).

Para analisar a eficiência técnica dos jardins biofiltrantes mediante os parâmetros de qualidade da água foi planejado um sistema de coletas e análise, seguindo um calendário predefinido (Plano de Manutenção, 2022). Neste artigo serão considerados para análises os dados coletados em 2021, 2022 e 2023.

Após as coletas realizadas pela equipe técnica, as amostras dos três anos analisados foram enviadas ao Laboratório de Análises Químicas e Microbiológicas LTDA (QUALITEC), responsável pela verificação dos parâmetros físico-químicos, como: Demanda Biológica de Oxigênio (DBO), Demanda Química de Oxigênio (DQO), Fósforo Total, Nitrogênio Total, Oxigênio Dissolvido pH, Turbidez e Coliformes Totais.

Considera-se, também, que a coleta do ponto 01, correspondente Caixa de Areia (ponto que recebe os efluentes sem o tratamento) é referência para a análise das demais amostras. O material coletado se refere ao segundo semestre do ano de 2021, segundo semestre de 2022 e primeiro de 2023. Para as amostras colhidas no ano de 2021, no mês de julho, foram obtidos os resultados expressos nas Tabelas 1, 2 e 3.

**Tabela 1 - Amostras do ponto 01: Caixa de Areia (julho/2021)**

ANÁLISE FÍSICO-QUÍMICO		LOCAL DA COLETA CAIXA DE AREIA (PERÍODO JULHO/2021)			
	ANALITO	RESULTADO	MÉTODO	LEGISLAÇÃO	UNIDADE
1	DBO	133,04	SMEWW. 4500 B. 4-137 Método Iodométrico	Até 5 mg/L O <sub>2</sub>	mg/L
2	DQO	673,14	Oxidante Dicromato	-	mg/L
3	FÓSFORO TOTAL	5,29	Espectrofotômetro	Até 0,030 mg/L, em ambientes léticos e até 0,050 mg/L, em ambientes intermediários, com tempo de residência entre 2 e 40 dias, e tributários diretos de ambiente lético.	mg/L
4	NITROGÊNIO TOTAL	13,42	Persulfato/Brucina	-	mg/L
5	OXIGÊNIO DISSOLVIDO	0,00	SMEWW. 4500 B. 4-137 Método Iodométrico	> 5 mg/L O <sub>2</sub>	mg/L O <sub>2</sub>
6	PH	7,33	Eletrométrico	-	-
7	TURBIDEZ	168	Nefelométrico	Até 100	NTU
8	Coliformes Totais	5117	Membrana Filtrante	-	UFC/ 100 ML

Fonte: QUALITEC (2021).

**Tabela 2 - Amostras do ponto 02: Ponto final do tratamento (julho/2021)**

ANÁLISE FÍSICO-QUÍMICO		LOCAL DA COLETA SAC FINAL (PERÍODO JULHO/2021)			
	ANALITO	RESULTADO	MÉTODO	LEGISLAÇÃO	UNIDADE
1	DBO	90,86	SMEWW. 4500 B. 4-137 Método Iodométrico	Até 5 mg/L O <sub>2</sub>	mg/L
2	DQO	490,8	Oxidante Dicromato	-	mg/L
3	FÓSFORO TOTAL	3,16	Espectrofotômetro	Até 0,030 mg/L, em ambientes léticos e até 0,050 mg/L, em ambientes intermediários, com tempo de residência entre 2 e 40 dias, e tributários diretos de ambiente lético.	mg/L
4	NITROGÊNIO TOTAL	0,00	Persulfato/Brucina	-	mg/L
5	OXIGÊNIO DISSOLVIDO	3,24	SMEWW. 4500 B. 4-137 Método Iodométrico	> 5 mg/L O <sub>2</sub>	mg/L O <sub>2</sub>
6	PH	7,56	Eletrométrico	Entre 6,0 e 9,0	-
7	TURBIDEZ	6,75	Nefelométrico	Até 100	NTU
8	Coliformes Totais	3200	Membrana Filtrante	-	UFC/ 100 ML

Fonte: QUALITEC (2021).

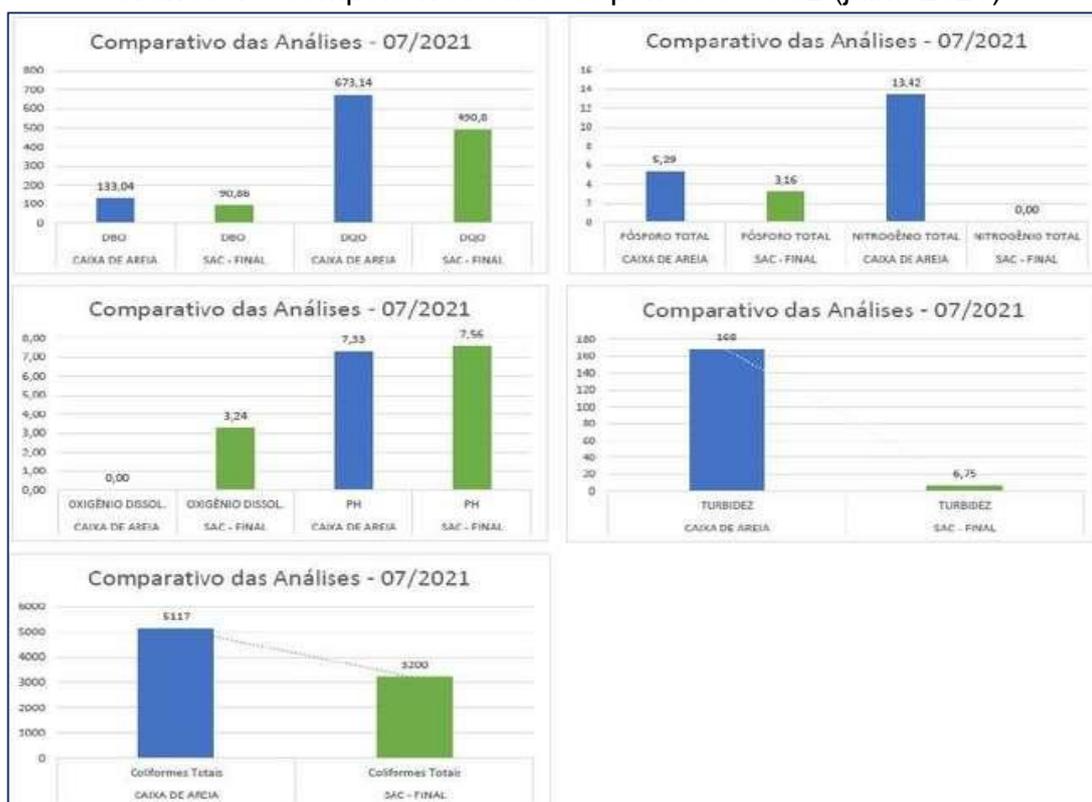
**Tabela 3 - Amostras do ponto 03: Leito do riacho Pajeú (julho/2021)**

ANÁLISE FÍSICO-QUÍMICO		LOCAL DA COLETA F SAN (PERÍODO JULHO/2021)			
	ANALITO	RESULTADO	MÉTODO	LEGISLAÇÃO	UNIDADE
1	DBO	136,29	SMEWW. 4500 B. 4-137 Método Iodométrico	Até 5 mg/L O <sub>2</sub>	mg/L
2	DQO	817,33	Oxidante Dicromato	-	mg/L
3	FÓSFORO TOTAL	11,00	Espectrofotômetro	Até 0,030 mg/L, em ambientes léticos e até 0,050 mg/L, em ambientes intermediários, com tempo de residência entre 2 e 40 dias, e tributários diretos de ambiente lético.	mg/L
4	NITROGÊNIO TOTAL	0,00	Persulfato/Brucina	-	mg/L
5	OXIGÊNIO DISSOLVIDO	0,13	SMEWW. 4500 B. 4-137 Método Iodométrico	> 5 mg/L O <sub>2</sub>	mg/L O <sub>2</sub>
6	PH	7,71	Eletrométrico	Entre 6,0 e 9,0	-
7	TURBIDEZ	31,11	Nefelométrico	Até 100	NTU
8	Coliformes Totais	3696	Membrana Filtrante	-	UFC/ 100 ML

Fonte: QUALITEC (2021).

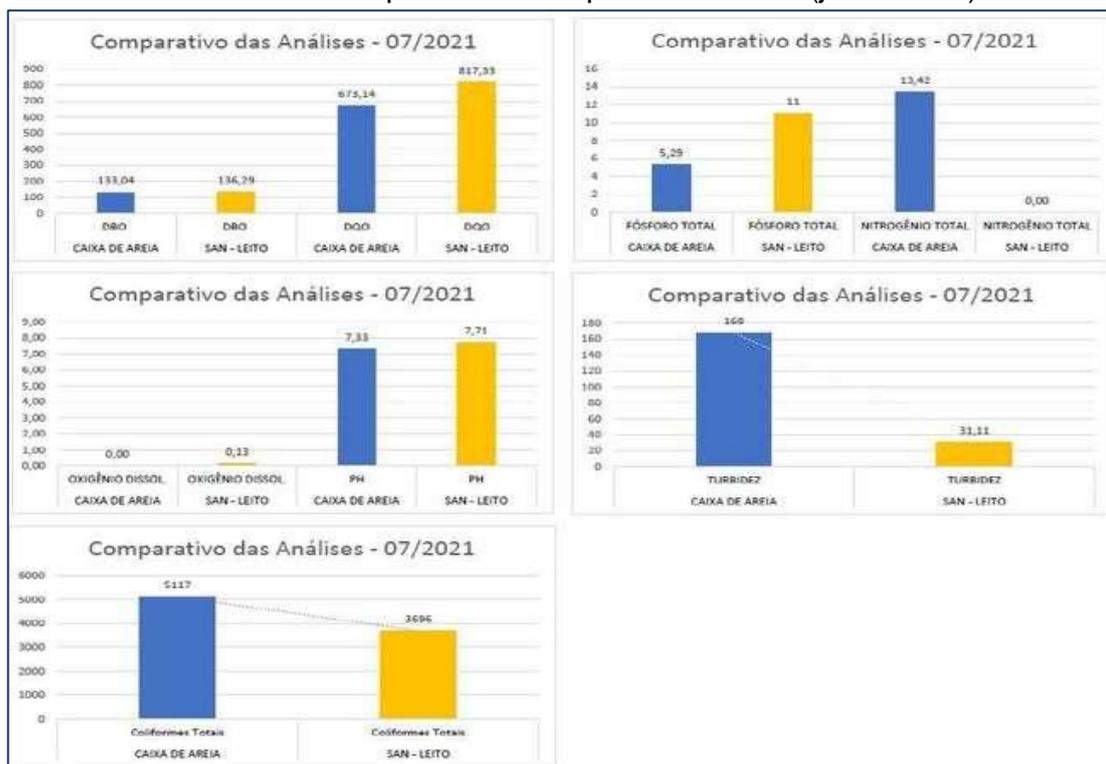
Diante dos resultados apresentados nas Tabelas 1, 2 e 3, análises comparativas poderão ser realizadas entre os pontos, como por exemplo entre os pontos 01 (caixa de areia) e 02 (ponto final de tratamento). O Gráfico 1 expõe um compêndio desta comparação contemplando cada parâmetro analisado.

**Gráfico 1 - Comparativos entre os pontos 01 e 02 (julho/2021)**



Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

Analisando o Gráfico 1 é possível observar que houve redução significativa dos parâmetros indicativos de presença de poluentes na água, de 31,70% para DBO; 27,10% para DQO e 40,26% para fósforo total. A ausência para nitrogênio total; 95,98% para turbidez e 37,50% para coliformes totais e melhora significativa para os parâmetros que ajudam na purificação da água (presença de 3,24 mg/L de oxigênio dissolvido e aumento de 3,14% para pH). O Gráfico 2 expõe o compêndio da comparação dos resultados entre os pontos 01 (caixa de areia) e 03 (leito do riacho).

**Gráfico 2 - Comparativos dos pontos 01 e 03 (julho/2021)**

Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

Avaliando o Gráfico 2, percebe-se que, enquanto os parâmetros nitrogênio, turbidez e coliformes fecais apresentaram redução em seus índices (ausência de nitrogênio, 81,48% e 27,77%, respectivamente), os parâmetros DBO, DQO e Fósforo total tiveram aumento (2,44%; 21,40% e 107,94%, respectivamente). Também, constata-se leve presença de oxigênio dissolvido (0,13 mg/L) e aumento de pH (5,20%), que são indicativos de boa qualidade da água.

Analisando os resultados entre SAC (Gráfico 1) e SAN (Gráfico 2) para o mês de julho de 2021 percebe-se que a eficiência na redução dos agentes poluidores da água foi maior para o SAC, neste período. Porém, reconhecendo que uma SBN não faz uso de aparatos tecnológicos ou produtos químicos que possibilitem a rapidez na obtenção de resultados positivos, entende-se que o processo de limpeza dos corpos hídricos está acontecendo, mesmo que paulatinamente. Dando continuidade à verificação da eficiência dos Jardins Biofiltrantes, as Tabelas 4, 5 e 6 apresentam os resultados das análises realizadas em outubro de 2022.

**Tabela 4 - Amostras do ponto 01: Caixa de Areia (outubro/2022)**

ANÁLISE FÍSICO-QUÍMICO		LOCAL DA COLETA CAIXA DE AREIA (PERÍODO OUTUBRO/2022)			
	ANALITO	RESULTADO	MÉTODO	LEGISLAÇÃO	UNIDADE
1	DBO 5 dias à 20 °C	194,5	SMEWW. 4500 B. 4-137 Método Iodométrico	Até 5 mg/L O <sub>2</sub>	mg/L
2	DQO	612,7	Oxidante Dicromato	-	mg/L
3	FÓSFORO TOTAL	22,00	Espectrofotômetro	Até 0,030 mg/L, em ambientes lenticos e até 0,050 mg/L, em ambientes intermediários, com tempo de residência entre 2 e 40 dias, e tributários diretos de ambiente lenticos.	mg/L
4	NITROGÊNIO TOTAL	20,00	Persulfato/Brucina	-	mg/L
5	OXIGÊNIO DISSOLVIDO	0,38	SMEWW. 4500 B. 4-137 Método Iodométrico	> 5 mg/L O <sub>2</sub>	mg/L O <sub>2</sub>
6	PH	6,13	Eletrométrico	Entre 6,0 e 9,0	-
7	TURBIDEZ	44,2	Nefelométrico	Até 100	NTU
8	Coliformes Totais	2002	Membrana Filtrante		UFC/ 100 ML

Fonte: QUALITEC (2022).

**Tabela 5 - Amostras do ponto 02: Ponto final de tratamento (outubro/2022)**

ANÁLISE FÍSICO-QUÍMICO		LOCAL DA COLETA SAC FINAL (PERÍODO OUTUBRO/2022)			
	ANALITO	RESULTADO	MÉTODO	LEGISLAÇÃO	UNIDADE
1	DBO 5 dias à 20 °C	179,89	SMEWW. 4500 B. 4-137 Método Iodométrico	Até 5 mg/L O <sub>2</sub>	mg/L
2	DQO	539,20	Oxidante Dicromato	-	mg/L
3	FÓSFORO TOTAL	12,00	Espectrofotômetro	Até 0,030 mg/L, em ambientes lenticos e até 0,050 mg/L, em ambientes intermediários, com tempo de residência entre 2 e 40 dias, e tributários diretos de ambiente lenticos.	mg/L
4	NITROGÊNIO TOTAL	3,60	Persulfato/Brucina	-	mg/L
5	OXIGÊNIO DISSOLVIDO	0,67	SMEWW. 4500 B. 4-137 Método Iodométrico	> 5 mg/L O <sub>2</sub>	mg/L O <sub>2</sub>
6	PH	6,08	Eletrométrico	Entre 6,0 e 9,0	-
7	TURBIDEZ	1,05	Nefelométrico	Até 100	NTU
8	Coliformes Totais	1548	Membrana Filtrante		UFC/ 100 ML

Fonte: QUALITEC (2022).

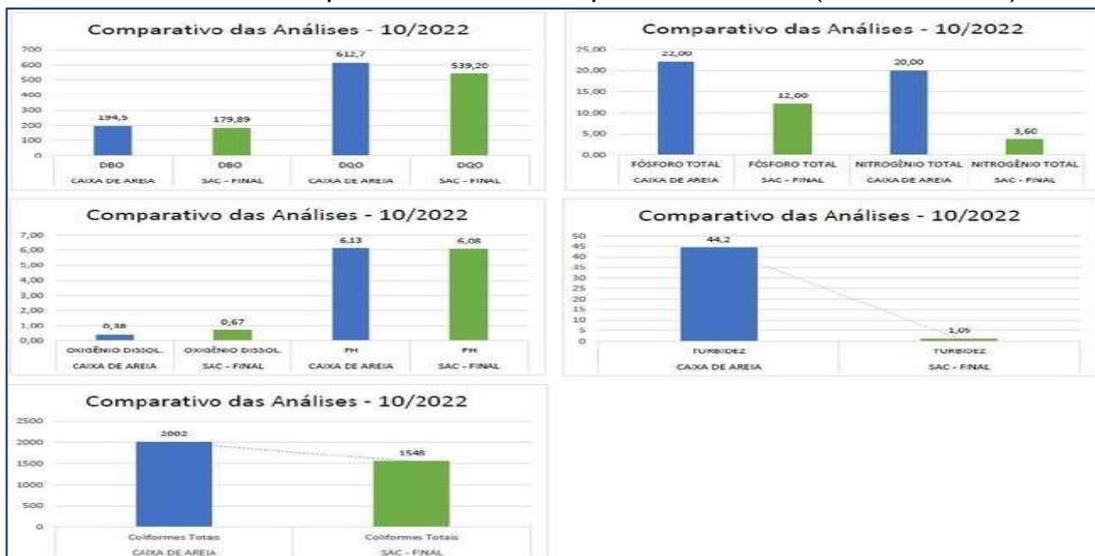
**Tabela 6 - Amostras do ponto 03: Leito do riacho Pajeú (outubro/2022)**

ANÁLISE FÍSICO-QUÍMICO		LOCAL DA COLETA F SAN (PERÍODO OUTUBRO/2022)			
	ANALITO	RESULTADO	MÉTODO	LEGISLAÇÃO	UNIDADE
1	DBO	261,66	SMEWW. 4500 B. 4-137 Método Iodométrico	Até 5 mg/L O <sub>2</sub>	mg/L
2	DQO	812,00	Oxidante Dicromato	-	mg/L
3	FÓSFORO TOTAL	15,00	Espectrofotômetro	Até 0,030 mg/L, em ambientes lenticos e até 0,050 mg/L, em ambientes intermediários, com tempo de residência entre 2 e 40 dias, e tributários diretos de ambiente lenticos.	mg/L
4	NITROGÊNIO TOTAL	16,00	Persulfato/Brucina	-	mg/L
5	OXIGÊNIO DISSOLVIDO	0,48	SMEWW. 4500 B. 4-137 Método Iodométrico	> 5 mg/L O <sub>2</sub>	mg/L O <sub>2</sub>
6	PH	6,35	Eletrométrico	Entre 6,0 e 9,0	-
7	TURBIDEZ	27,00	Nefelométrico	Até 100	NTU
8	Coliformes Totais	548	Membrana Filtrante		UFC/ 100 ML

Fonte: QUALITEC (2022).

Os resultados apresentados nas Tabelas 4, 5 e 6, são passíveis de análises comparativas, neste sentido, a comparação entre os pontos 01 (caixa de areia) e 02 (ponto final de tratamento) estão expostas no Gráfico 3, onde é possível verificar que a redução dos poluentes continuou ocorrendo no SAC e que os parâmetros turbidez e coliformes totais apresentaram reduções mais significativas, sendo 97,62% e 22,68%, respectivamente.

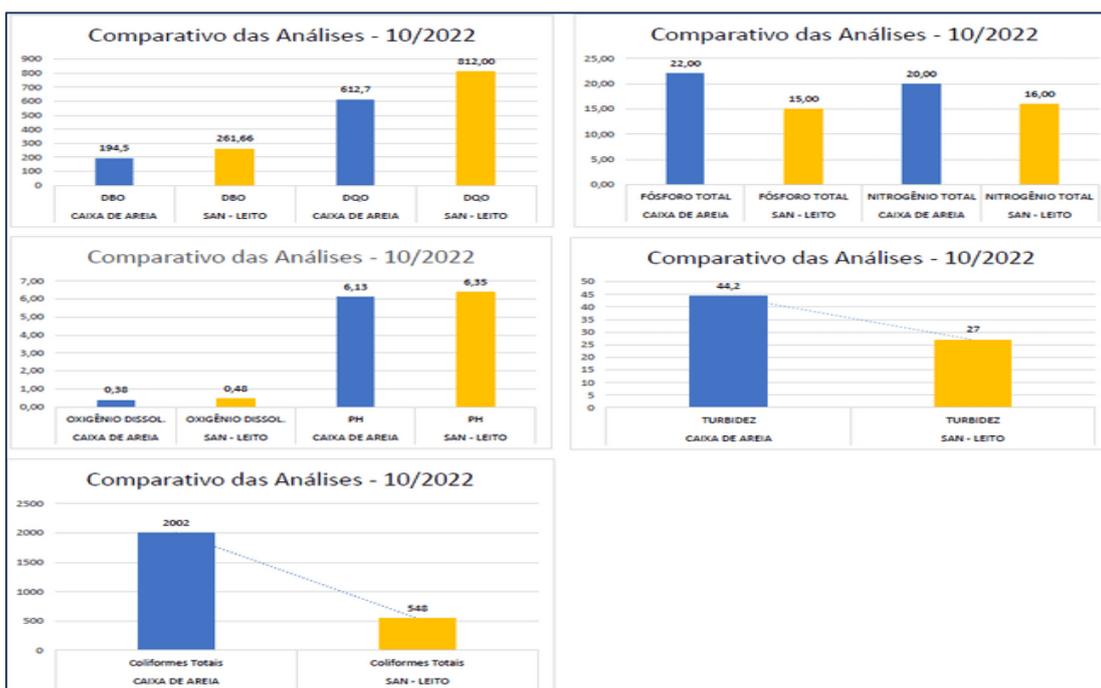
**Gráfico 3 - Comparativos entre os pontos 01 e 02 (outubro/2022)**



Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

Embora a presença de oxigênio dissolvido no SAC não tenha se mantido tão significativa quanto verificado no Gráfico 1, o fato de haver este índice já indica que as macrófitas estão contribuindo com a despoluição natural. Enquanto, o Gráfico 4 apresenta o compêndio da comparação dos resultados entre os pontos 01 (caixa de areia) e 03 (leito do riacho) para outubro de 2022.

**Gráfico 4 - Comparativos dos pontos 01 e 03 (outubro/2022)**



Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

Para as amostras de outubro de 2022, o comparativo das análises do ponto 01 com o ponto 03 apresentado no Gráfico 4 indica que a redução dos agentes poluentes no riacho continua sendo garantida pelo SAN, porém há taxas menores se comparado ao SAC, assim como foi verificado em julho de 2021. Fato constatado porque embora a DBO e a DQO tenham aumentado cerca de 30%, os demais parâmetros que indicam poluição reduziram, com destaque para a expressiva redução de coliformes totais (cerca de 73%). Por fim, como análise representativa do ano de 2023, as Tabelas 7, 8 e 9 apresentam os resultados das amostras das coletas realizadas no mês de março.

**Tabela 7 - Amostras do ponto 01: Caixa de Areia (março/2023)**

ANÁLISE FÍSICO-QUÍMICO		LOCAL DA COLETA CAIXA DE AREIA (PERÍODO MARÇO/2023)			
	ANALITO	RESULTADO	MÉTODO	LEGISLAÇÃO	UNIDADE
1	DBO 5 dias à 20 °C	182,00	SMEWW. 4500 B. 4-137 Método Iodométrico	Até 5 mg/L O <sub>2</sub>	mg/L
2	DQO	701,30	Oxidante Dicromato	-	mg/L
3	FÓSFORO TOTAL	17,00	Espectrofotômetro	Até 0,030 mg/L, em ambientes lênticos e até 0,050 mg/L, em ambientes intermediários, com tempo de residência entre 2 e 40 dias, e tributários diretos de ambiente lêntico.	mg/L
4	NITROGÊNIO TOTAL	14,00	Persulfato/Brucina	-	mg/L
5	OXIGÊNIO DISSOLVIDO	1,00	SMEWW. 4500 B. 4-137 Método Iodométrico	> 5 mg/L O <sub>2</sub>	mg/L O <sub>2</sub>
6	PH	8,15	Eletrométrico	Entre 6,0 e 9,0	-
7	TURBIDEZ	0,49	Nefelométrico	Até 100	NTU
8	Coliformes Totais	1009	Membrana Filtrante	-	UFC/ 100 ML

Fonte: QUALITEC (2023).

**Tabela 8 - Amostras do ponto 02: Ponto final de tratamento (março/2023)**

ANÁLISE FÍSICO-QUÍMICO		LOCAL DA COLETA SAC FINAL (PERÍODO MARÇO/2023)			
	ANALITO	RESULTADO	MÉTODO	LEGISLAÇÃO	UNIDADE
1	DBO 5 dias à 20 °C	215,00	SMEWW. 4500 B. 4-137 Método Iodométrico	Até 5 mg/L O <sub>2</sub>	mg/L
2	DQO	714,00	Oxidante Dicromato	-	mg/L
3	FÓSFORO TOTAL	15,00	Espectrofotômetro	Até 0,030 mg/L, em ambientes lênticos e até 0,050 mg/L, em ambientes intermediários, com tempo de residência entre 2 e 40 dias, e tributários diretos de ambiente lêntico.	mg/L
4	NITROGÊNIO TOTAL	1,60	Persulfato/Brucina	-	mg/L
5	OXIGÊNIO DISSOLVIDO	2,00	SMEWW. 4500 B. 4-137 Método Iodométrico	> 5 mg/L O <sub>2</sub>	mg/L O <sub>2</sub>
6	PH	7,59	Eletrométrico	Entre 6,0 e 9,0	-
7	TURBIDEZ	43,80	Nefelométrico	Até 100	NTU
8	Coliformes Totais	3856	Membrana Filtrante	-	UFC/ 100 ML

Fonte: QUALITEC (2023).

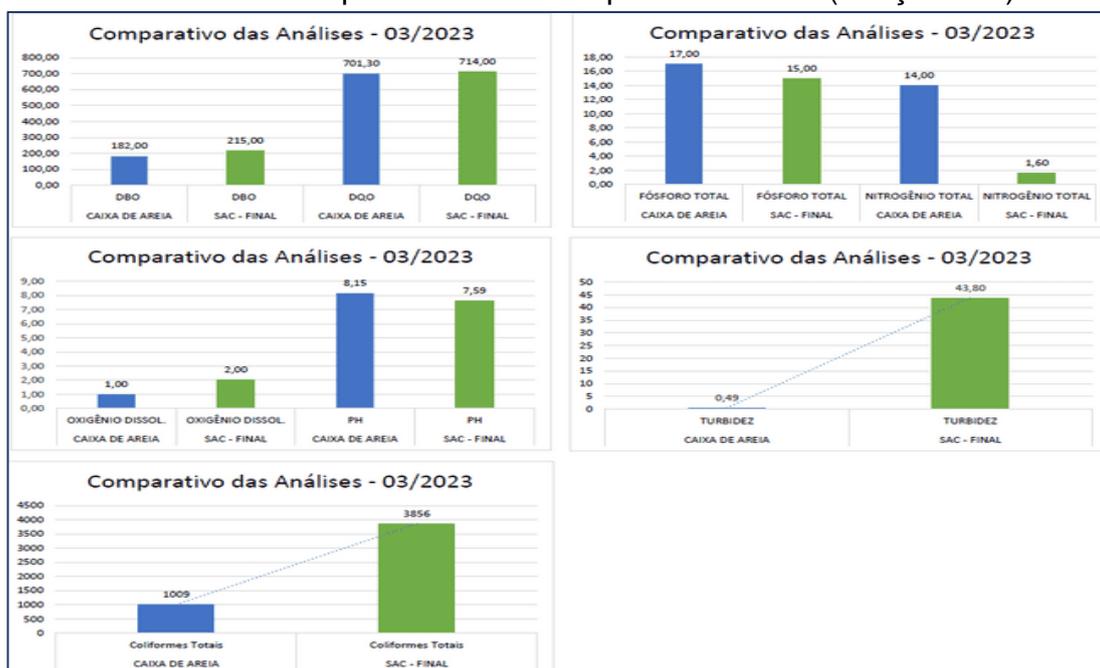
**Tabela 9 - Amostras do ponto 03: Leito do riacho Pajeú (março/2023)**

ANÁLISE FÍSICO-QUÍMICO		LOCAL DA COLETA F SAN (PERÍODO MARÇO/2023)			
	ANALITO	RESULTADO	MÉTODO	LEGISLAÇÃO	UNIDADE
1	DBO	215,00	SMEWW. 4500 B. 4-137 Método Iodométrico	Até 5 mg/L O <sub>2</sub>	mg/L
2	DQO	622,8	Oxidante Dicromato	-	mg/L
3	FÓSFORO TOTAL	13,00	Espectrofotômetro	Até 0,030 mg/L, em ambientes lênticos e até 0,050 mg/L, em ambientes intermediários, com tempo de residência entre 2 e 40 dias, e tributários diretos de ambiente lêntico.	mg/L
4	NITROGÊNIO TOTAL	12,00	Persulfato/Brucina	-	mg/L
5	OXIGÊNIO DISSOLVIDO	0,80	SMEWW. 4500 B. 4-137 Método Iodométrico	> 5 mg/L O <sub>2</sub>	mg/L O <sub>2</sub>
6	PH	7,37	Eletrométrico	Entre 6,0 e 9,0	-
7	TURBIDEZ	0,88	Nefelométrico	Até 100	NTU
8	Coliformes Totais	825	Membrana Filtrante	-	UFC/ 100 ML

Fonte: QUALITEC (2023).

Analisando as Tabelas 7 a 9, em uma análise geral, percebe-se que a eficiência apresentada pelo SAC e pelo SAN nas análises de julho/2021 e outubro/2022 não se manteve em março/2023. Os parâmetros que apresentavam constante melhora, tiveram desempenho bem abaixo do esperado. Também, os resultados da amostra do SAN foram melhores do que os resultados do SAC para o mês de março de 2023. Para melhor compreensão, elaborou-se o Gráfico 5 do comparativo das análises entre os pontos 01 e 02.

**Gráfico 5 - Comparativos entre os pontos 01 e 02 (março/2023)**



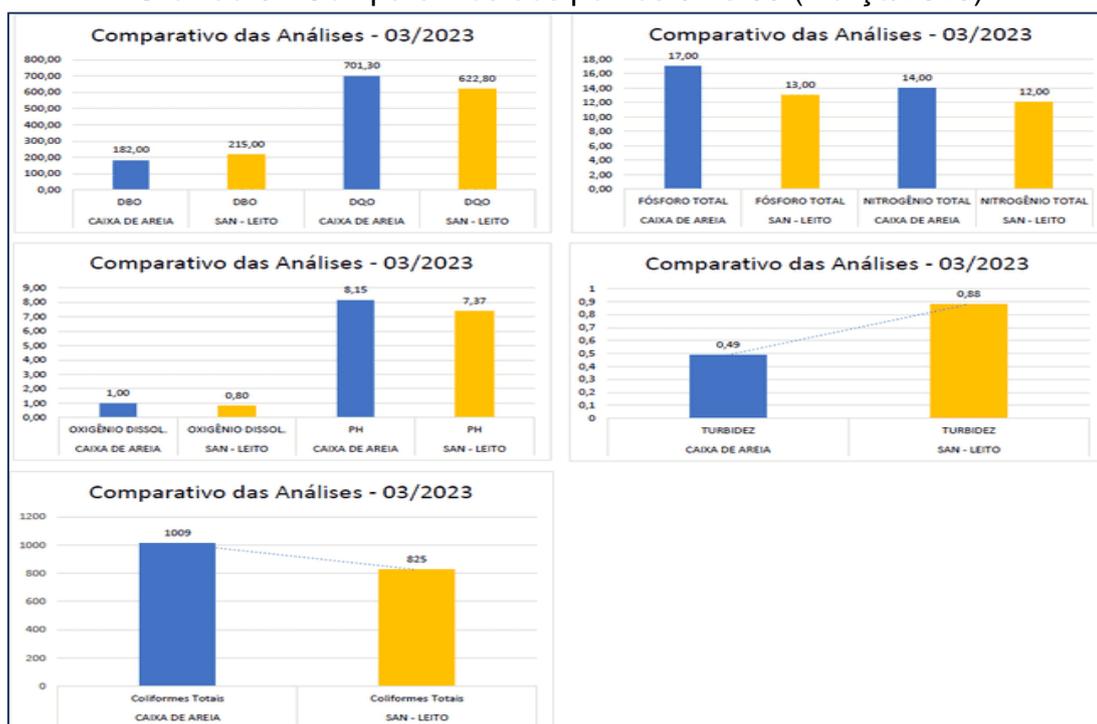
Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

Observa-se, pelo Gráfico 5, que a amostra do SAC final, coletada em março de 2023, apresentou aumento expressivo em alguns indicadores de poluentes como turbidez e coliformes totais, na ordem de 90 vezes e três vezes mais, respectivamente, em comparação a caixa de areia. Ao mesmo tempo, o teor de oxigênio dissolvido duplicou e o pH praticamente não alterou (leve redução de 6,8%).

Esta magnitude na diferença dos resultados entre caixa de areia e SAC torna duvidosa a qualidade da amostra do SAC, uma vez que o efluente na caixa de areia é praticamente esgoto *in natura* e o que se tem observado, das análises dos anos anteriores, é que o SAC possui certa eficiência, mesmo que lentamente.

Assim, três hipóteses podem ser levantadas: (1) provavelmente pode ter ocorrido algum equívoco no procedimento de coleta, que é bastante minucioso, podendo ter provocado poluição externa na amostra; (2) alguma interferência do período chuvoso e (3) falta de manutenção do SAC na época da coleta ou pode ter ocorrido duas ou três simultaneamente. Analisou-se, também, o comparativo dos resultados das amostras dos pontos 01 e 03 como demonstrado no Gráfico 6.

**Gráfico 6 - Comparativos dos pontos 01 e 03 (março/2023)**



Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

O Gráfico 6 apresenta resultados mais coerentes quando se compara com os Gráficos 2 e 4, representativos do SAN nos anos 2021 e 2022, respectivamente. Porém, ao se comparar o Gráfico 6 com o Gráfico 5, que é representativo do SAC, em 2023, percebe-se que o SAN apresentou eficiência superior ao SAC, em 2023, estando de encontro ao que se discutiu para os anos de 2021 e 2022. Este fato reforça a teoria de que a amostra do SAC em março de 2023 possui alguma incongruência, não sendo representativa da realidade. Por fim, é preciso pontuar algumas observações realizadas ao longo da pesquisa, que possuem caráter visível e sensorial:

- No ano de 2023 houve queda na eficiência dos jardins biofiltrantes. Provavelmente devido à ausência de manutenção nos meses que antecederam as análises das amostras coletadas em março de 2023. Porém, é relevante destacar que não se teve acesso a análises realizadas após essas constatações;
- Foi observado que no ponto 03 (no leito do Riacho Pajeú) houve aumento considerável dos indicadores, demonstrando que possivelmente haja a necessidade de mais plantio no SAN, nas margens e no leito do riacho;
- Outro ponto observado é que a jusante do ponto 01 (na área que recebe os efluentes sem o tratamento) e de alguns SAN e a montante do ponto 02 (Ponto final do tratamento) foram encontradas algumas contribuições de esgoto clandestino que não havia sido considerado no projeto inicial de implantação dos jardins biofiltrantes. Fato esse que pode contribuir para a baixa eficiência nas amostras do ponto 03 (no leito do Riacho Pajeú);
- Verificou-se que as águas tratadas oriundas do ponto 02 (Ponto final do tratamento) não são armazenadas, mas, devolvidas ao curso natural do riacho (portanto, ao ponto 03). Assim, as águas que receberam os devidos tratamentos naturais acabam sendo misturadas com as águas que têm qualidade reduzida. Assim, infere-se que não houve planejamento para esta situação, ao ponto de tratar uma porção das águas oriundas de efluentes e, posteriormente, lançá-las no mesmo 'efluente'.

Apesar das particularidades mencionadas que possam necessitar de ajustes, é possível observar algumas melhorias, como diminuição de fortes odores, característicos de efluentes; redução da turbidez da água coletada para análise, tanto na caixa de areia, ponto final do tratamento como; presença de macrófitas com a exuberância das flores que brotam delas e o retorno da fauna ao ambiente, a exemplo de alguns répteis e aves.

## CONSIDERAÇÕES

Os jardins biofiltrantes são soluções que se baseiam nas dinâmicas da natureza e visam resolver desafios ambientais, sociais e econômicos por meio de ações inspiradas em processos naturais. Ressalta-se que as SBN é uma política pública que está em plena expansão no Brasil, já sendo explorada em quatro, das cinco regiões do país, em municípios dos estados de Minas Gerais, São Paulo, Rio

De Janeiro, Ceará, Pernambuco, Bahia, Goiás, Paraná e Santa Catarina. Mesmo sendo uma metodologia recente, entende-se que as experiências de sucesso logo estimularão número maior de implantações destas soluções sustentáveis.

No estado do Ceará, duas cidades (Sobral e Fortaleza) têm implantado as SBN como estratégia de *design* urbano, de gestão de recursos hídricos e de conservação da biodiversidade. A implantação de jardins biofiltrantes, em Sobral foi pioneira no estado e é a primeira experiência do Brasil, considerando a implantação em um corpo hídrico urbano, procurando integrar processos e padrões naturais para promover o desenvolvimento sustentável, agindo como um agente redutor de danos.

Torna importante comentar que, embora as análises ainda não tenham apresentado resultados que atendam aos parâmetros exigidos na legislação, o sistema de tratamento por meio de jardins biofiltrantes se utilizando de sistemas construídos ou alagados, que faz parte das SBN, que tem como principal função a redução dos danos causados a natureza pela ação do homem e pela ausência de infraestruturas de saneamento.

## REFERÊNCIAS

AMA. Agência Municipal do Meio Ambiente de Sobral. **AMA apresenta projeto de implantação dos Jardins Biofiltrantes**. 2022. Disponível em: <https://www.sobral.ce.gov.br/informes/principais/ama-apresenta-projeto-de-implantacao-dos-jardins-biofiltrantes?highlight=WyJqYXJkaW5zIl0>. Acesso em: 21 mai. 2022.

HIDROBOTÂNICA. **Descritivo do Polimento de águas difusas do riacho Pajeú (Parques da Cidade e Pajeú) através de sistemas de alagados construídos (SAC's) e sistemas de alagados naturais (SAN's) - Revisão 04**. Miracatú, São Paulo, 2018.

PLANO DE MANUTENÇÃO. **Plano de manutenção e plantio dos jardins biofiltrante do riacho Pajeú**, Sobral, 2022.

SEINFRA. **Secretaria da Infraestrutura de Sobral/CE**. 2021. Disponível em: <https://seinfra.sobral.ce.gov.br/> Acesso em: 20 jun. 2023.

SOBRAL. Prefeitura Municipal de Sobral. **Jardins biofiltrantes dos parques da Cidade e Pajeú começam a apresentar resultados**. Disponível em: <https://www.sobral.ce.gov.br/informes/principais/jardins-biofiltrantes-dos-parques-da-cidade-e-pajeu-comecam-a-apresentar-resultados>. Acesso em: 22 mai. 2022.

SOLERA, M. L; et al. **Guia Metodológico para Implantação de Infraestrutura Verde**. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo; Fundação de Apoio ao Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 2020. Disponível em: <https://ipt.br/noticia/1630-guia-para-infraestrutura-verde.htm>. Acesso em: 20 mar. 2023.

WRI BRASIL. **Soluções baseadas na natureza para adaptação em cidades: o que são e por que implementá-las**, 2022. Disponível em: <https://www.wribrasil.org.br/noticias/solucoes-baseadas-na-natureza-para-adaptacao-em-cidades-o-que-sao-e-por-que-implementa-las#:~:text=O%20que%20s%C3%A3o%20solu%C3%A7%C3%B5es%20baseadas%20na%20natureza&text=Em%20meio%20urbano%2C%20alguns%20exemplos,rios%20e%20restaura%C3%A7%C3%A3o%20de%20encostas>. Acesso em: 20 mar. 2023.