

Composição e variação espacial das características dos esgotos sanitários em Maceió/AL

Composition and spatial variation of sewage characteristics in Maceió/AL

Tássio Leite Soares¹ , Nélia Henriques Callado¹ ,
Daisy Lira Oliveira Cavalcanti¹ , Maria Raphaella dos Santos Vasconcelos¹ 

¹Universidade Federal de Alagoas – UFAL, Maceió, AL, Brasil. E-mails: tassio.soares@ctec.ufal.br, ncallado@ctec.ufal.br, daisy.oliveira@ctec.ufal.br, vasconcelos.raphaella@gmail.com

Como citar: Soares, T. L., Callado, N. H., Cavalcanti, D L. O., & Vasconcelos, M. R. S. (2023). Composição e variação espacial das características dos esgotos sanitários em Maceió/AL. *Revista de Gestão de Água da América Latina*, 20, e28. <https://doi.org/10.21168/rega.v20e28>

RESUMO: Os aspectos qualitativos dos esgotos sanitários são importantes para o controle sanitário urbano principalmente quando a cobertura de rede de esgotos ainda é parcial, com lançamentos irregulares de esgotos em canais urbanos. Maceió/AL é constituída de uma planície costeira lagunar e marítima (zona baixa, ZB), e tabuleiros (zona alta, ZA), e sua cobertura por rede coletora de esgotos ainda está em expansão. O objetivo deste trabalho foi a caracterizar o esgoto bruto da rede coletora e as águas de canais urbanos visando avaliar sua variação espacial. Foram feitas coletas quinzenais em amostras simples na rede coletora e nos principais canais de drenagem, e realizadas análises físico-químicas e microbiológicas no período entre novembro/2021 e janeiro/2023. Os resultados mostraram que os esgotos da ZA da cidade, onde predominam uma população de baixa renda, apresentam constituintes típicos de esgotos de alta concentração, os da ZB, onde predomina população de alta renda, apresentam composição típicas de esgotos de média concentração, possivelmente devido a infiltração na rede, mas com resultado positivo de vírus totais em 100% do tempo. As águas dos canais urbanos apresentam características de esgotos fracos, com presença de vírus totais entre 20%, 40% e 60% do tempo, em função da cobertura de rede de esgoto na sua área de drenagem.

Palavras-chave: Poluição Difusa; Esgotos Sanitários; Qualidade da Água; Vigilância Sanitária.

ABSTRACT: The qualitative aspects of sanitary sewage are important for urban health control, especially when sewage network coverage is still partial, with irregular sewage discharges into urban channels. Maceió/AL is made up of a lagoon and maritime coastal plain (lower zone, ZB), and tablelands (upper zone, ZA), and its sewage collection network coverage is still expanding. The aim of this study was to characterize the raw sewage from the collection network and the water from urban canals in order to assess its spatial variation. Simple samples were collected every fortnight from the collection network and the main drainage channels, and physical-chemical and microbiological analyses were carried out between November/2021 and January/2023. The results showed that sewage from the city's ZA, where there is a predominantly low-income population, has constituents typical of high-concentration sewage, while sewage from the ZB, where there is a predominantly high-income population, has constituents typical of medium-concentration sewage, possibly due to infiltration into the network, but with positive results for total viruses 100% of the time. The waters of the urban canals have the characteristics of weak sewage, with the presence of total viruses between 20%, 40% and 60% of the time, depending on the coverage of the sewage network in their drainage area.

Keywords: Diffuse Pollution; Sanitary Sewers; Water Quality; Sanitary Surveillance.

INTRODUÇÃO

O crescimento demográfico desordenado dos centros urbanos, aliado a má gestão do uso e ocupação do solo, expansão do setor industrial e a baixa cobertura de coleta e tratamento de esgoto são os principais responsáveis pelo decaimento da qualidade dos ecossistemas aquáticos e propagação de doenças de veiculação hídrica (Menezes et al., 2016; Silva & Ferreira, 2017; Rodríguez-Guerra & Martínez, 2020; Marañón et al., 2020). A urbanização tende a expandir as áreas de baixa permeabilidade nas bacias hidrográficas, causando aumento no volume escoado superficialmente e

Recebido: Maio 23, 2023. Revisado: Agosto 27, 2023. Aceito: Dezembro 22, 2023.



Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

arraste de sedimentos as galerias pluviais, como consequência ocorrem alterações nas características físico-químicas e microbiológicas dos corpos d'água receptores, sendo os rios urbanos os mais afetados por este fenômeno (Bega et al., 2021).

Para que o esgoto sanitário não tenha impacto negativo no ambiente e na saúde pública é necessário que ele passe por um processo de tratamento e que o sistema de esgotamento sanitário tenha um efetivo controle operacional, o qual só pode ser alcançado através de um adequado programa de monitoramento. Monitoramento esse que envolve a qualidade do esgoto bruto, do sistema de tratamento e do esgoto tratado, e pode ser usado inclusive para a vigilância ambiental de patógenos de interesse. O uso do monitoramento do esgoto para tal fim é denominado como vigilância epidemiológica baseada em esgotos (em inglês: *Wastewater-Based Epidemiology*, ou *WBE*), também utilizado como monitoramento do consumo de drogas, fármacos, hábitos alimentares, exposição da população a contaminantes e monitoramento de outros biomarcadores

Atualmente, o cenário brasileiro de esgotamento sanitário é deficitário e caminha a passos lentos para a universalização do acesso. De acordo com dados levantados pelo SNIS (Sistema Nacional de Informação Sobre Saneamento), o Brasil possui 54,1% do esgoto coletado, ou seja, apenas um pouco mais da metade da população tem acesso ao serviço – aproximadamente 105 milhões de pessoas – e desta porcentagem apenas 49,1% do esgoto recebe tratamento adequado (Sistema Nacional de Informação sobre Saneamento, 2021).

No estado de Alagoas o panorama é ainda mais preocupante, segundo informações divulgadas pelo Ministério do Desenvolvimento Regional em 2021, apenas 22,35% da população tinha acesso à coleta de esgoto, onde 20% destes recebem tratamento, enquanto a capital Maceió apresenta 47,1% de esgotamento sanitário adequado (Sistema Nacional de Informação sobre Saneamento, 2021). Logo, mais da metade da população ainda não tem acesso aos serviços de coleta e tratamento do seu esgoto, dispondo de forma inadequada seus desejos na superfície dos solos, galerias de águas pluviais e nos corpos d'água causando grandes impactos nos ecossistemas que a longo prazo podem ser irreversíveis (Messias, 2020).

A cidade de Maceió está inserida neste contexto, sua cobertura da rede coletora de esgotos ainda está em expansão, e seus canais urbanos recebem contribuições difusas de esgotos sanitários clandestinos em todo o seu percurso (Silva et al., 2017; Vidal, 2012). Como visto, a cobertura de rede de esgotos nas cidades brasileiras não é total, existindo localidades que utilizam soluções individuais ou simplesmente jogam seus dejetos *in natura* nos mananciais e canais urbanos de drenagem, os transformando em unidades de sistema unitário onde o esgoto é carreado junto a água da chuva de escoamento.

Para Metcalf & Eddy (2003) os avanços tecnológicos têm contribuído com as alterações das características dos esgotos, proporcionam à inserção de compostos de difícil degradação, os quais raramente são tratados e removidos por processos convencionais. Para atuar na prevenção da poluição, é necessário avaliar os impactos de qualquer novo composto e verificar se este pode ser tratado de forma eficaz com a tecnologia existente, isso indicará se ele poderá ser utilizado ou não. Portanto caracterizar os esgotos e identificar os diversos poluentes presentes é fundamental para avaliar a eficiência dos sistemas e realizar estudos relacionados a métodos de tratamento que possibilitem a remoção desses contaminantes.

Ademais, o cenário de pouca infraestrutura no saneamento básico e nas condições sanitárias afeta a população em aspectos como saúde e meio ambiente, aumentando a vulnerabilidade social da população. Diversos estudos têm utilizado a caracterização das águas residuárias e dos corpos hídricos que recebem esgoto bruto, com intuito de transformar as informações a respeito das características dos constituintes do esgoto em dados concretos, e assim encontrar soluções adequadas de tratamento e destinação (Merbouh et al., 2022; Pereira et al., 2021; Agoro et al., 2018).

O presente artigo tem como objetivo preencher a lacuna existente de dados sobre o sistema de esgotamento sanitário de Maceió, no que diz respeito a caracterização físico-química e bacteriológica, podendo ser utilizado como ferramenta de controle e mapeamento da variação espacial e temporal da qualidade dos efluentes e das águas dos canais urbanos, observando as condições socioeconômicas.

MATERIAL E MÉTODOS

Área de estudo

A área de estudo é o município de Maceió capital do estado Alagoas (Figura 1), ocupa uma área de 509,32 km² de extensão territorial e densidade demográfica de 1.854,10 hab./km² (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2021). De acordo com o último censo a capital alagoana possuía

932.748 habitantes, atualmente possui uma população de 1.031.597 de acordo com os dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2012, 2021). Quanto à topografia, Maceió se apresenta de duas formas bem definidas: a parcela baixa da cidade próxima ao mar a lagoa Mundaú, com altitudes de 1 a 20 metros, e a zona alta da cidade com altitude variando entre 20 e 180 metros (Silva & Ferreira, 2017).

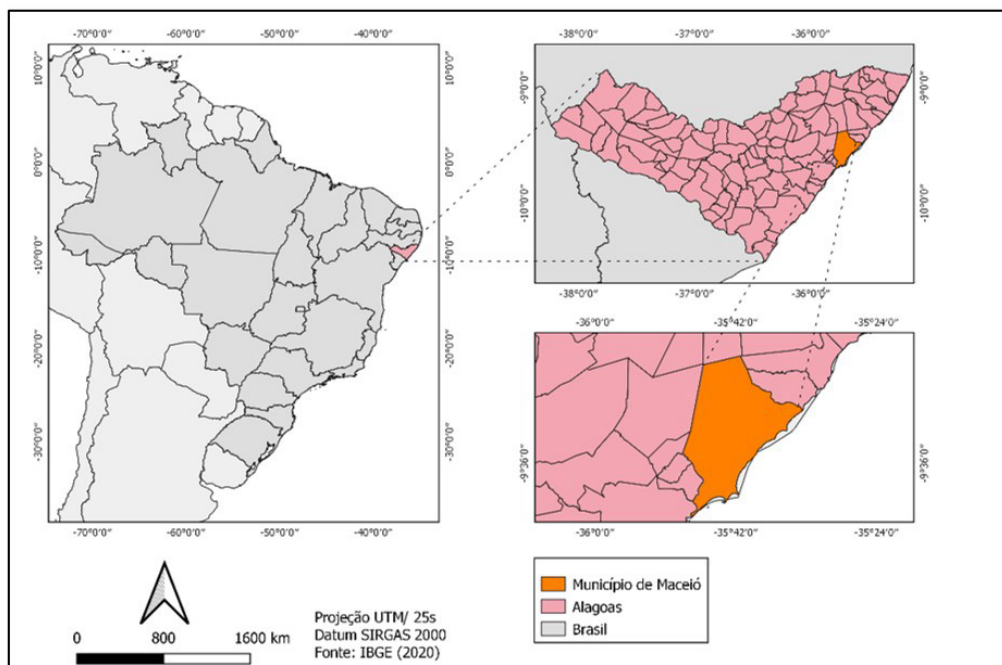


Figura 1 - Mapa da cidade de Maceió – AL

Pontos de monitoramento

O monitoramento foi apenas qualitativo, não envolvendo medições de vazão, sendo realizado em estações de tratamento de esgotos centralizadas (ETEC) e estações elevatórias de esgotos (EE) do sistema público de esgotamento sanitário, e estações compactas descentralizadas (ETECD) de conjuntos habitacionais. Foram coletadas, também, amostras em canais urbanos em regiões com cobertura parcial e/ou sem cobertura de esgoto, já que estes canais, além das águas de escoamento superficial, recebem as contribuições difusas de esgotos ao longo de suas bacias. Assim, foram definidos 12 pontos de coleta: 4 na zona alta (ZA) da cidade e 4 na zona baixa (ZB) e 4 em canais urbanos.

As coletadas foram realizadas com auxílio de baldes plásticos, realizadas sempre as quartas-feiras, no intervalo entre 9:00 h e 12:00 h, no período de dez/21 a jun/23, totalizando, para as análises físico-químicas e bacteriológicas 11 coletas nos 4 pontos da ZA e nos 4 canais urbanos, e 7 coletas nos 4 pontos da ZB. Para a pesquisa de vírus totais foram feitas coletas mensais nos 12 pontos em estudo no período de set/22 a jan/23, totalizando 5 coletas em cada ponto.

As coletas foram pontuais, sempre no poço de sucção das EEs e ETEs cujo tempo de detenção propicia a equalização do esgoto, já que não foi possível fazer amostragem composta. Nos canais as coletas pontuais foram feitas a fio d'água. Após a coleta as amostras foram transferidas para garrafas plásticas de 2 L e preservadas sob gelo em caixas térmicas e transportadas ao Laboratório de Saneamento Ambiental (LSA) da Universidade Federal de Alagoas, Campus A. C. Simões (CACS) onde foram armazenadas e retiradas alíquotas para realização das análises.

A condição socioeconômicas da população contribuinte para cada ponto de coleta foi levantada por Soares (2022), tendo como base a renda familiar publicada pela ABEP - Associação Brasileira de Empresas de Pesquisas (2021), referente ao ano de 2020 e tomando como referência o valor do salário-mínimo do Sistema IBGE (ABEP, 2021) de Recuperação Automática - SIDRA ajustados para o ano do 2020 (ano do estrato socioeconômico), o qual verificou que a população da ZA possui estrato social baixo variando de C2 a B2, enquanto a da ZB é alto variando de C1 a A.

O Quadro 1 apresenta os bairros/região de abrangência desses pontos e seu georreferenciamento em unidade de graus decimais, e a Figura 2 mostra a espacialização dos pontos de coleta, e os dados de precipitação durante o período de coleta estão apresentados na Figura 3.

Quadro 1 - Pontos de monitoramento da rede de esgoto e dos canais urbanos de Maceió.

Descrição	Ponto de coleta	Bairro	Latitude	Longitude
Zona Alta 01 (ETE Centralizada)	ETE do Benedito Bentes	Bairros da zona alta 2 bairros	-9.541076	-35.715177
Zona Alta 02 (ETE setorizada)	ETE do conj. hab. Maceió 1	Bairro Cidade Universitária	-9.527152	-35.778736
Zona Alta 03 (ETE setorizada)	ETE do conj. Hab. Parque dos Caetés	Bairro Benedito Bentes	-9.566010	-35.700747
Zona Alta 04 (EE setorizada)	EE Conj. Hab. José Tenório	Bairro Serraria	-9,60434	-35,719951
Zona Baixa 01 (ETE Centralizada)	ETE Emissário submarino	Bairros da zona baixa 11 bairros	-9,674444	-35,751463
Zona Baixa 02 (EE setorizada)	EE Praça Lions	B. Mangabeiras e Ponta Verde	-9,662467	-35,709218
Zona Baixa 03 (EE setorizada)	EE Castelo Branco	Bairro Jatiúca	-9,652125	-35,712931
Zona Baixa 04 (EE setorizada)	EE Levada	Bairro Levada	- 9,660306	-35,746188
Zona Central (sem cobertura RE)	Canal do Jacintinho	Bacia do Pau D'Arco 2 bairros	-9.648032	-35.726509
Zona Baixa Lagunar (cobert. parcial Rede)	Canal da Levada	Bacia da Levada 1 bairro	- 9,660306	35,7461883
Zona Baixa Marít.1 (cobertura parcial RE)	Canal das Águas Férreas	Bacia das Águas Férreas - 3 bairros	-	-
Zona Baixa Marít. 2 (cobertura parcial RE)	Canal do Salgadinho	Bacia do Reginaldo 18 bairros	-9.666804	-35.729439

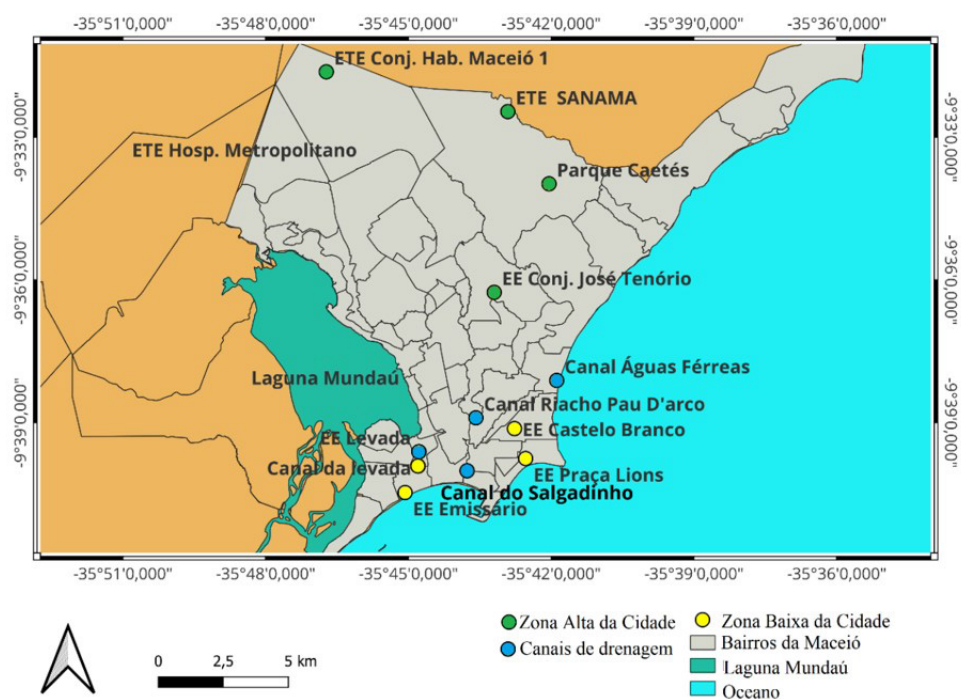


Figura 2 - Localização dos Pontos de coletas

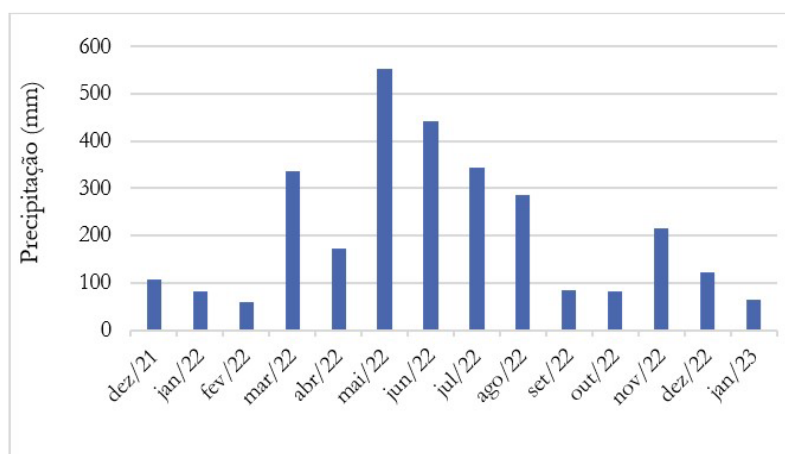


Figura 3 - Precipitação média mensal em Maceió, durante o período de coleta.

Os parâmetros físico-químicos utilizados para caracterizar os esgotos e as águas dos canais urbanos foram: cor aparente, turbidez, sólidos totais, fixos e voláteis, pH, alcalinidade, cloreto, sulfato, DBO_{5,20}, DQO, fósforo, N-total, N-amoniaco, manganês e ferro (Quadro 2). As análises foram realizadas segundo o manual do LPB - Laboratório de Processos Biológicos (2021), Métodos Analíticos Aplicados de Processos Biológicos de Tratamento de Águas Residuárias da Escola de Engenharia de São Carlos – EESC da Universidade de São Paulo - USP. As exceções foram a DBO_{5,20} que se utilizou ensaios aeróbios com sensores respirométricos, a turbidez o método nefelométrico segundo APHA (American Public Health Association, 2017), e o manganês pelo método colorimétrico do persulfato (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1996).

Quadro 2 - Métodos utilizados na caracterização físico-química.

Parâmetros	Método
Cor (UC)	Espectrofotométrico (LPB)
Turbidez (UNT)	Nefelométrico (APHA)
Sólidos Totais, fixos e voláteis (mg/L)	Gravimétrico (LPB)
DQO (mgO ₂ /L)	Espectrofotométrico (LPB)
DBO _{5,20} (mgO ₂ /L)	Respirométrico (APHA)
Nitrogênio total (mg.N/L)	Titulométrico (LPB)
N-Amoniaco, (mg.N/L)	Titulométrico (LPB)
Fósforo total (mg.P/L)	Espectrofotométrico - ácido ascórbico (LPB)
pH	Potenciométrico (LPB)
Alcalinidade (mg/L)	Titulométrico (LPB)
Sulfatos (mg/L)	Turbidimétrico (LPB)
Cloretos (mg/L)	Argentométrico - método de Mohr (LPB)
Ferro, (mg/L)	Espectrofotométrico - fenantrolina (LPB)
Manganês (mg/L)	Colorimétrico - persulfato (ABNT)

A caracterização bacteriológica foi feita por teste quantitativo de *E-coli*. com filtração em membranas, usando como meio de cultura CHROMOCULT® Coliform Agar. Já a pesquisa de vírus totais foi feita a extração do RNA viral por meio do kit EasyPure DNA/RNA viral (Transgen Biotech®), adaptado para amostras de esgoto, onde uma etapa anterior à extração com o kit foi realizada, macerando a membrana eletronegativa com 300 µL de solução tampão PBS (tampão fosfato salino) e 300 µL de solução de NaOH 1mM, adicionadas de *beads*, para liberação das partículas virais (Ilkner et al., 2012). Desse volume foram utilizados 200 µL para extração do RNA viral, segundo o protocolo do kit mencionado, e o RNA de cada amostra, ao final da extração, foi recuperado em 20 µL de água ultrapura. As amostras foram submetidas à eletroforese em gel de agarose 1,2%, para a verificação da recuperação das partículas virais, através da visualização de bandas fluorescentes (migração de partículas de RNA) obtidas em corridas eletroforéticas. As amostras foram aplicadas no gel com tampão de corrida no

volume de 3 µL (1 µL da amostra + 2 µL do tampão de corrida) e as condições da corrida em gel foram 80v, 400 mA por 15 minutos, em cuba eletroforética, com tampão TAE (Tris-Acetato-EDTA). Após o tempo de corrida, o gel foi visualizado em fotodocumentador Gel Doc XR+ (Bio-Rad®).

Padrões de referência

Os resultados dos esgotos brutos foram avaliados tendo como base a tipologia (Tabela 1) apresentada por Metcalf & Eddy (2016) e Jordão & Pessôa (2017), para esgotos de alta, média e baixa concentração. As águas dos canais urbanos foram avaliadas com base nas Resoluções do CONAMA 357/2005 (Brasil, 2005) e 274/2000 (Brasil, 2000).

Tabela 1 - Faixas de valores típicos de esgotos sanitários.

Constituinte	Concentração					
	Baixa		Média		Alta	
Sólidos Totais (mg/L)	537		806		1612	
Sólidos totais fixos (mg/L)	253		379		758	
Sólidos totais voláteis (mg/L)	251		377		753	
Alcalinidade (mg/L)	200		100		50	
DBO _{5,20} (mg/L)	133	100*	200	200*	400	400*
DQO (mg/L)	339	200*	508	400*	1016	800*
N-total (mg/L)	23	20*	35	40*	69	10*
N-Amônia (mg/L)	14	10*	20	20*	41	50*
Fósforo total (mg/L)	3,7	5*	5,6	10*	11	20*
Cloretos (mg/L)	39		59		118	
Sulfatos (mg/L)	24		36		72	
Coli-Fecal (NMP/100 mL)	10 ³ - 10 ⁵		10 ⁴ - 10 ⁶		10 ⁵ - 10 ⁸	

Fonte: Adaptado de Metcalf & Eddy (2016), *Jordão & Pessôa (2017).

Tratamento dos dados

Para entender a distribuição dos valores dos parâmetros físico-químicos e bacteriológico dos esgotos e água dos canais urbanos da cidade de Maceió, foi aplicado aos dados tratamento estatístico básico, pelo cálculo da média aritmética e desvio padrão utilizando o software Microsoft Excel®, organizados e demonstrados através de gráficos para uma melhor análise e interpretação de resultados. Estas análises foram feitas considerando as características dos esgotos compiladas em três grupos: da zona alta (40 dados de cada parâmetro), zona baixa (28 dados de cada parâmetro), e canais urbanos (40 dados de cada parâmetro). Os dados de vírus totais, embora não sejam específicos para COVID-19, foram comparados com os dados de ocorrência de casos confirmados de COVID-19 da Secretaria Municipal de saúde de Maceió referentes ao período de coleta em estudo.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Caracterização físico-química dos esgotos brutos da rede coletora

Os valores da média aritmética (MA) e o desvio padrão (DP) dos dados do esgoto bruto da ZA e ZB estão apresentados na Tabela 2 e os gráficos comparativos das variáveis físicas estudadas estão apresentados nas Figuras 3 a 5. Vale salientar que a ZA da cidade predomina uma população de classe socioeconômica mais baixa, enquanto a ZB, predomina uma população de classe socioeconômica mais alta, devido à proximidade com a orla marítima, área nobre da cidade, em ambas existem atividades comerciais e residenciais.

As características físicas dos esgotos sanitários da rede coletora da parte alta da cidade, apresentam valor médio de cor de 292,4 ± 112,2 UC maior que na zona baixa 206,7 ± 8,6 UC. Esse mesmo comportamento foi encontrado para a turbidez com valor de 127,5 ± 27,2 UNT na zona alta (ZA) e de 65,74 ± 2,8 UNT para região baixa (ZB).

A concentração média de ST, SFT e SVT da ZA foram 864±30 mg/L, 407±72 mg/L e 439±43 mg/L onde a relação SFT/ST e SVT/ST foram 0,48 e 0,52, respectivamente, indicando um leve predomínio de matéria orgânica. Enquanto o ZB apresentou os valores 712 mg/L para ST, 349,6 mg/L de SFT e 362,1 mg/L para SVT e a uma relação SFT/ST igual a 0,49 para quantificação da fração inorgânica e SVT/ST igual a 0,51, para os compostos orgânicos uma relação de equilíbrio entre os materiais inerte e os biodegradáveis. Estes valores são típicos de esgoto de média concentração. De forma geral, verifica-se que os maiores valores de sólidos foram observados nos esgotos da zona alta da cidade que sofre menor interferência de possíveis infiltrações do lençol freático.

Tabela 2 - Valores médios e desvio padrão dos esgotos da zona alta e baixa.

Parâmetros	Zona alta		Zona baixa	
	MÉDIA	DP	MÉDIA	DP
Cor (UC)	306,4	±101,6	206,7	±8,6
Turbidez (UNT)	128,5	±55,2	65,7	±2,8
Sólidos Totais (mg/L)	846,1	±30,2	711,7	±19,7
Sólidos totais Fixos (mg/L)	406,7	±72,3	349,6	±40,3
Sólidos totais Voláteis (mg/L)	439,4	±43,7	362,1	±15,7
DQO (mgO ₂ /L)	730,8	±25,7	429,3	±68,4
DBO _{5,20} (mgO ₂ /L)	289,3	±36,7	195,8	±35,8
DBO/DQO	0,39	±0,04	0,5	±0,12
Nitrogênio total (mg.N/L)	46,8	±4,2	33,9	±6,3
N-Amoniacal (mg.N/L)	32,2	±3,4	17,3	±3,8
Fósforo total, mg.P/L	6,01	±3,77	7,90	±3,31
pH	7,21	±0,08	7,2	±0,20
Alcalinidade (mg/L)	229,6	±54,1	171,3	±43,8
Sulfatos (mg/L)	59,1	±6,68	60,3	±12,08
Cloretos (mg/L)	226,9	±144,6	250,0	±119,9
Ferro (mg/L)	1,72	±0,17	1,60	±0,52
Manganês (mg/L)	1,00	±0,14	1,10	±2,15

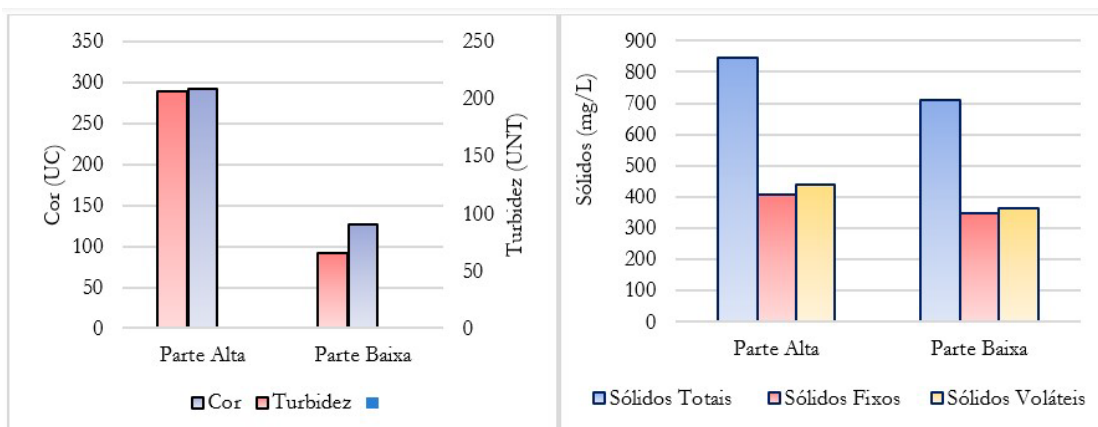


Figura 3 - Gráfico de Cor, turbidez e sólidos nas zonas alta e baixa

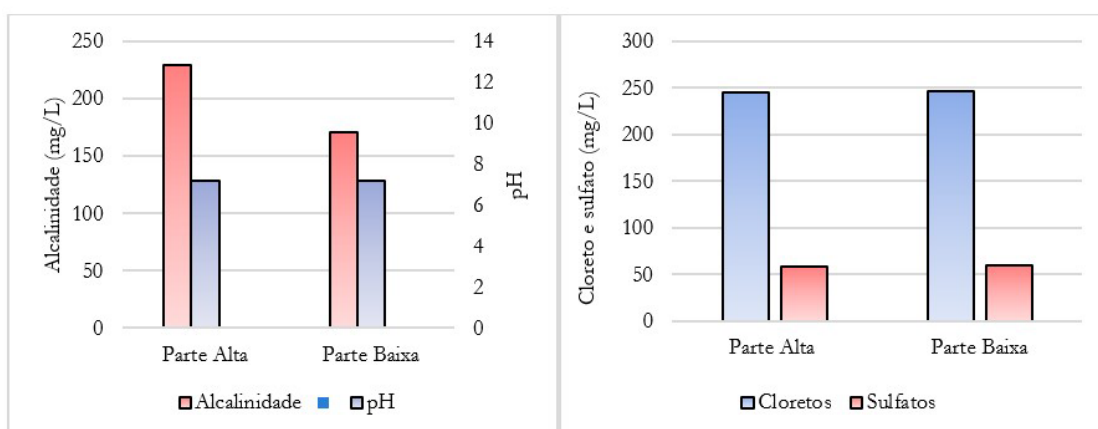


Figura 4 - Gráfico de alcalinidade, pH, cloretos e sulfatos nas zonas alta e baixa de Maceió.

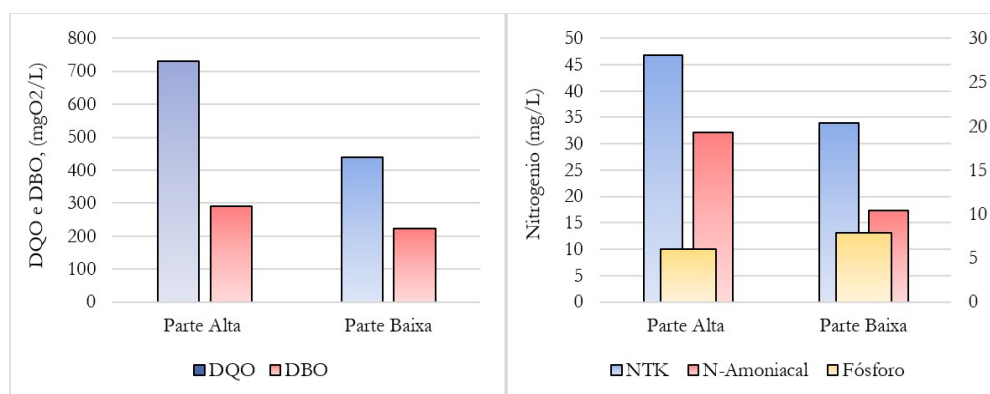


Figura 5 - Gráfico de matéria orgânica e nutrientes nas zonas alta e baixa de Maceió.

A presença dos íons de sulfato e cloretos, estão relacionados aos sólidos dissolvidos detectados, enquanto o pH está relacionado a alcalinidade que profere a capacidade de água para neutralizar os ácidos e resistência a mudanças do pH (capacidade tampão), portanto, foram analisados em conjunto. Vale ressaltar que a alcalinidade pode ocorrer devido a presença de ácidos fracos, carbonatos, bicarbonatos e hidróxidos. Os ácidos fracos possuem pouca capacidade de tamponamento e, neste caso, o pH pode ser manter na faixa alcalina, mas com pouca capacidade tampão.

As concentrações médias de sulfato para as ZA e ZB são semelhantes, em torno de 60 mg/L, típicos de esgoto doméstico de concentração moderada a forte (Metcalf & Eddy, 2016), e podem estar relacionadas ao uso de produtos de limpeza e a qualidade da água de abastecimento quando coagulada com emprego de sulfato de alumínio, como é o caso.

O cloreto é um dos principais ânions encontrados nos esgotos, visto que o cloreto de sódio (NaCl) está presente nos alimentos, na urina, e na água salina/salobra, caso existam infiltrações na rede coletora em uma zona costeira, como é o caso da ZB da cidade, e estes valores podem sofrer alterações significativas. Os valores de cloreto observados foram de 227 mg/L (ZA) e 250 mg/L (ZB), valores estes acima da faixa reportada por Metcalf & Eddy (2016) para esgotos domésticos, que varia de 39 mg/L a 118 mg/L; mas dentro dos limites para água doce segundo a Resolução CONAMA nº 357/2005 (Brasil, 2005) (250 mg/L). Os maiores valores da ZB podem estar associados a salinidade das águas salobras do lençol freático nessa região, uma vez que a rede da ZB é antiga, e já existem relatos de que há infiltração na rede coletora, assim como também do lançamento de água de rebaixamento do subsolo de edifícios que são constantemente bombeadas na rede de esgoto. A presença de cloretos merece atenção, pois concentrações excessivas de sais podem retardar ou até mesmos inviabilizar os processos biológicos de tratamento.

O pH em ambas as regiões (alta e baixa), foram em torno de pH 7,21, correspondente a neutralidade (Figura 4), dentro da faixa típica de esgotos sanitários (de 6,7 a 8,0), e adequado para o tratamento biológico. Nessa faixa de pH a amônia na forma de íon de amônio NH_4^+ (ionizada) predomina sobre a amônia livre NH_3 (não ionizada), observação importante devido as consequências ambientais, já que a amônia livre é tóxica para o meio ambiente.

O esgoto da ZA apresentou maior alcalinidade total em relação a ZB, 230 mg. CaCO_3 /L e 171 mg. CaCO_3 /L, respectivamente. Para a para faixa de pH observado (< 8,3) essa alcalinidade é devida a presença de bicarbonatos e típicos de esgotos predominantemente doméstico, na faixa 100 a 250 mg. CaCO_3 /L (von Sperling, 2005), mas no caso de esgotos, pode também ser devida a ácidos fracos, o que resulta em pouca capacidade tampão.

Os metais estudados envolveram Ferro (Fe) e Manganês (Mn) e verificou-se que suas concentrações foram 1,72 mg/L (ZA) e 1,6 mg/L (ZB) para Fe, e 1,0 mg/L (ZA) e 1,1 mg/L (ZB) para Mn. De acordo com a CONAMA 430/2011 (Brasil, 2011) essas concentrações não são relevantes.

Comparando a DQO média do esgoto bruto (438 mg/L, típico de esgoto moderado) da ZB da cidade com o da ZA (730 mg/L, típico de esgoto concentrado), verifica-se que o esgoto da ZA apresenta valor médio consideravelmente maior (47%) que o da ZB.

Quanto a $\text{DBO}_{5,20}$ o esgoto da ZA apresentou valor médio de 289 mgO_2 /L, enquanto os da ZB o valor médio foi de 222 mgO_2 /L, ambos valores classificados como de média concentração de acordo com a literatura (Metcalf & Eddy, 2016). A $\text{DBO}_{5,20}$ da zona alta registrou valores 35% maiores que os da zona baixa.

Os menores valores de DQO e $\text{DBO}_{5,20}$ acompanhados da maior concentração de cloretos da zona baixa podem estar associados ao aporte de outras águas, como pluviais e águas naturais, que podem

estar sendo lançadas na rede coletora e contribuindo na diluição dos esgotos, mas as visitas de campo sugerem que a infiltração de água salobra do lençol freático na rede de esgoto dessa região, é que mais contribui para diluir os esgotos, já que a rede é antiga, longa, está assentada abaixo do nível do lençol freático e esse padrão se repetiu tanto nas coletas em períodos de chuva quanto de estiagem.

Valores semelhantes foram encontrados por Silva (2022), no esgoto bruto das ETEs de conjuntos habitacionais em Maceió, no primeiro caso a DBO_{5,20} encontrada foi de 700 mg/L em uma ETE localizada em uma região onde o lençol freático não tem interferência na rede de esgotos, e no segundo caso a ETE está localizada em região baixa com um lençol freático alto, e apresentou uma concentração menor de DBO_{5,20} de 251 mg/L, mesmo tendo uma população contribuinte de classe social mais elevada.

Quanto a biodegradabilidade do esgoto bruto referente a zona alta e baixa da cidade obteve-se uma pequena variação na relação DBO_{5,20} / DQO de 0,42 para zona alta e 0,51 para a zona baixa, indicando que os esgotos da zona alta apresentam biodegradabilidade menor (42%) que a da zona baixa (51%).

Com relação a presença de nitrogênio, a concentração de N-NTK na ZA apresentou valor de 46,8 mgN/L e na ZB de 33,9 mgN/L. Para o N-amoniaco a ZA também apresentou maior concentração em relação a ZB, 32 mgN/L e 17 mgN/L respectivamente, enquadrando-os, segundo Metcalf & Eddy (2016), como de média a alta concentração para ZA, e de baixa a média na ZB.

Inversamente, a presença de fósforo no esgoto da zona baixa da cidade (7,91 mgP/L) apresentou um valor maior que o da zona alta (6,01 mgP/L), mas ambos valores são considerados típicos de esgoto de média concentração. A uma maior concentração de fósforo nos esgotos da zona baixa, mesmo com a provável diluição dos esgotos na ZB devido a infiltração, pode estar associada ao maior consumo de produtos de limpeza utilizados pela população local de estrato socioeconômico mais elevado.

De maneira geral, as características dos esgotos afluentes as EEs e ETEs da zona alta da cidade, onde predominam uma população de baixa renda e a rede coletora que não sofre influência do lençol freático, apresentam composição típicas de esgotos de alta concentração, enquanto os da zona baixa, onde predomina população de alta renda e sofre influência do lençol freático, apresentam composição típicas de esgotos de média concentração. Esses dados sugerem que essas características são mais influenciadas por infiltrações na rede que pelas características socioeconômicas, visto que a zona baixa da cidade é região litorânea onde o lençol freático é alto e, já existem relatos de que ocorre infiltração e contribuição da água de rebaixamento nos subsolos de edifícios e de manutenções de piscinas, comuns nas edificações dessa região, que são lançadas nas redes coletoras.

Caracterização físico-química das águas dos canais urbanos

Os valores da média aritmética (MA) e o desvio padrão (DP) dos dados levantados entre nov/21 e jun/22, dos quatro canais urbanos de drenagem inseridos nas bacias urbanas de relevante interesse socioambiental, que recebem esgotos de bairros desprovidos ou parcialmente providos de rede coletora, estão apresentados na Tabela 3, e os gráficos comparativos dos parâmetros físico-químicos, das águas dos quatro canais urbanos, estão ilustrados nos gráficos das Figura 6 a Figura 8.

Tabela 3 - Caracterização das águas dos canais urbanos de Maceió.

Parâmetros	ÁGUAS FÉRREAS		PAU D'ARCO		REGINALDO		LEVADA	
	MA	DP	MA	DP	MA	DP	MA	DP
Cor (UC)	126,6	±82,7	134,8	±27,7	131,6	±31,2	63,8	±16,4
Turbidez (UT)	43,5	±53,6	27,6	±5,1	29,8	±13,0	16,4	±21,5
Sól. Totais (mg/L)	605,5	±269,4	833,8	±669,4	621,2	±246,1	472,7	±287,7
Sól. Fixos (mg/L)	322,2	±201,7	461,0	±291,5	418,7	±261,2	277,0	±195,1
Sól. Voláteis (mg/L)	283,2	±152,3	372,7	±432,6	202,5	±118,0	195,7	±165,1
DQO (mgO ₂ /L)	378,0	±182,8	430,0	±220,1	322,2	±108,7	374,0	±217,9
DBO _{5,20} (mgO ₂ /L)	165,7	±53,0	184,9	±48,0	123,9	±23,8	146,0	±2,7
DBO/DQO	0,530	±0,367	0,556	±0,302	0,294	±0,2	1,943	±2,7
N-NTK (mg/L)	22,6	±7,4	24,2	±12,8	23,6	±7,9	18,4	±14,1
N-Amon (mg/L)	12,8	±4,8	13,1	±8,9	11,4	±7,5	11,8	±13,3
Fósforo total (mg/L)	3,6	±3,0	3,9	±3,6	4,2	±2,8	3,6	±2,2
pH	7,5	±0,4	7,5	±0,3	7,4	±0,4	7,3	±0,3
Alcalinidade (mg/L)	160,6	±85,7	171,7	±107,9	171,0	±105,8	151,0	±89,7
Sulfatos (mg/L)	50,5	±16,7	40,0	±18,5	44,1	±23,5	35,4	±20,4
Cloretos (mg/L)	373,3	±233,8	438,2	±445,9	338,1	±270,6	260,0	±319,5
Ferro (mg/L)	1,1	±1,2	1,5	±1,4	1,4	±1,1	0,3	±0,5
Manganês (mg/L)	0,2	±0,3	0,6	±0,7	0,7	±0,7	0,1	±0,2

O Canal das águas Férreas (AF) é o curso d'água principal da bacia de mesmo nome, com área de 3,6 km², que desemboca na orla marítima de Cruz das Almas e drena parcialmente os bairros de Jacintinho, Cruz das Almas e Sítio São Jorge, todos com predomínio de população de baixa renda.

O canal do Pau D'Arco (PD) é conhecido como canal do Jacintinho, pois corta esse bairro e recebe seus efluentes. O canal do Jacintinho é o riacho principal da sub-bacia do Pau D'Arco, e desemboca no trecho intermediário da bacia do riacho Reginaldo.

O riacho Reginaldo (REG) é o curso principal da BH de mesmo nome, totalmente inserida dentro da área urbana da cidade de Maceió, envolvendo 30% da população distribuída em 18 bairros, nasce no bairro Santa Lucia, recebe contribuição de 3 sub-bacias riacho Gulandim, riacho do Sapo e riacho Pau D'Arco (PD), e desemboca na praia da Avenida onde recebe o nome de Salgadinho.

O canal da Levada (LEV) drena o escoamento superficial do bairro que recebe o mesmo nome e está inserido na bacia de drenagem Lagunar, é considerada uma bacia pequena em relação as demais, toda via recebe contribuição do escoamento superficial dos seus bairros vizinhos.

Pimentel (2009) cita que esses corpos d'água urbanos possuem características semelhantes quanto a sua ocupação e nível de degradação ambiental e as características das águas desses mananciais variam quali-quantitativamente de acordo com as intercorrências ao longo de cada bacia, tais como lançamentos clandestinos tanto de resíduos sólidos e de esgoto doméstico, índices de precipitação em períodos secos e chuvosos onde a chuva dilui suas águas, entre outros. Durante as visitas de campo na realização do trabalho verificou-se visualmente que todos eles estão bastante degradados, com lançamento de esgotos e lixo nos riachos pela população que habita as bacias, principalmente as que vivem ou trabalham as margens do leito do riacho. Esse uso e ocupação do solo pode se refletir nos parâmetros de qualidade da água os canais de drenagem.

Para o Riacho das Águas Férreas a cor aparente apresentou um valor médio de 126,6 UC e a turbidez 43,5 NTU, para as águas do canal Pau D'Arco a cor aparente 134,8 UT e 27,6 NTU, para o Canal do Reginaldo e Canal da Levada foram 131,6 UC, 29,8 NTU e 63,8± 16,4 UC e 16,4 NTU, todos valores plotados no gráfico da Figura 6.

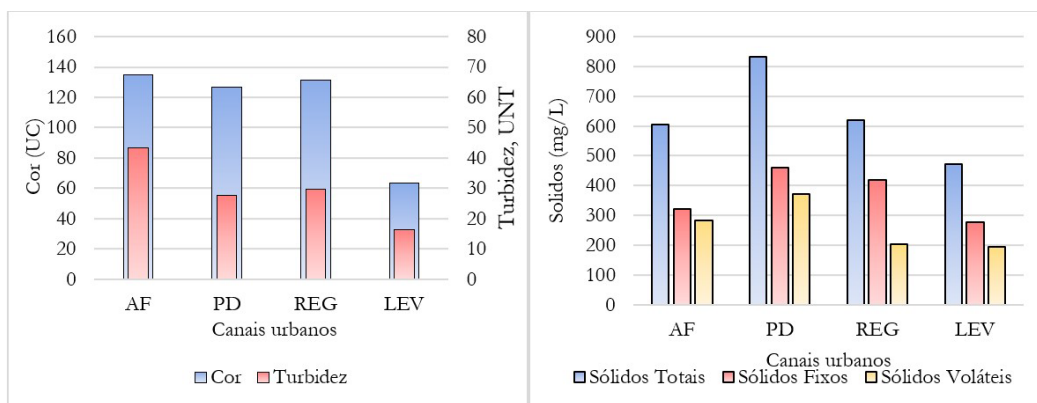


Figura 6 - Parâmetros físicos (Cor, Turbidez e série de sólidos nos canais de drenagem urbana)

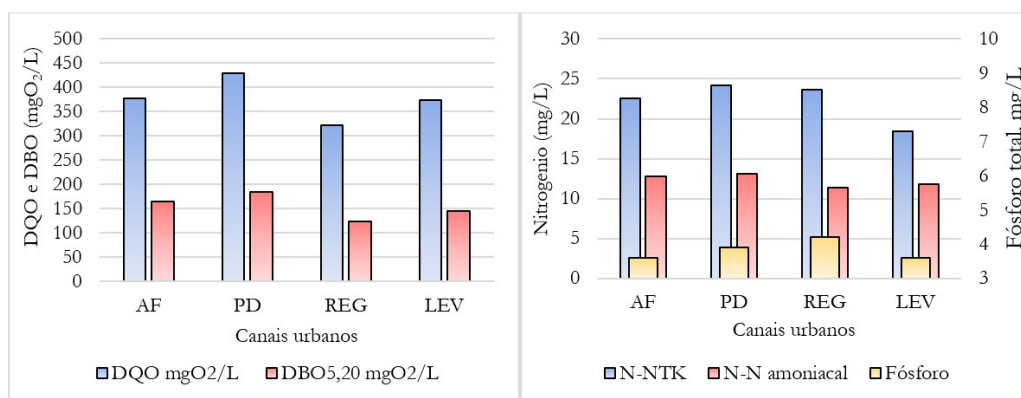


Figura 7 - Matéria orgânica e nutrientes nos canais de drenagem urbana

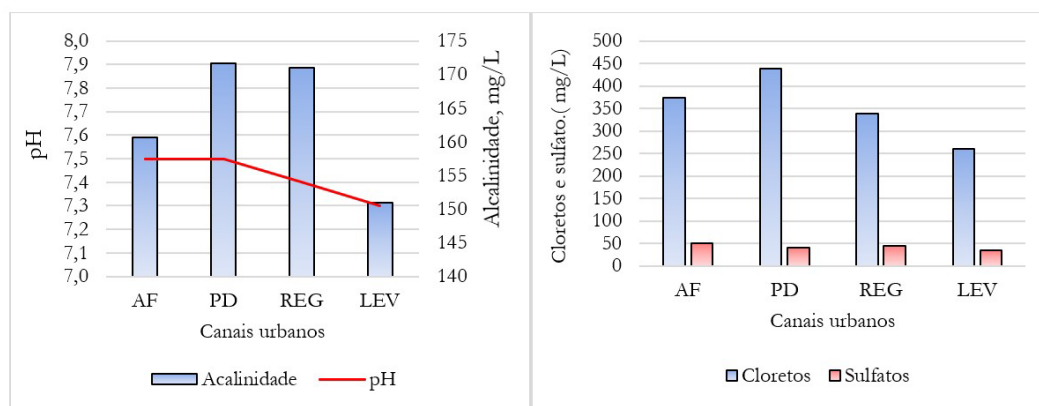


Figura 8 - Alcalinidade, pH, Cloretos e sulfatos nos canais de drenagem urbana

Legenda: AF – Riacho Águas Férreas, PD – riacho Pau D'Arco, REG – Riacho Reginaldo, LEV – Canal da Levada

O Canal da levada foi o que apresentou menor valor médio de cor 63,8 UC, sendo este o valor mais próximo ao limite de 70 UC estabelecido para rios classe 3 de acordo com a CONAMA nº 357/05. O maior valor encontrado foi de 131,6 UC para o riacho Reginaldo.

Na maior parte das amostras os valores de turbidez estavam abaixo de 40 NTU limite este de rios classe 1 de acordo com a CONAMA nº 357/05 com exceção do Canal das Águas Férreas que apresentou 43,5 NTU, porém abaixo do limite máximo estabelecido para rio classe 3 de 100 NTU. Pimentel (2009) realizou avaliação quali-quantitativa das águas do riacho Reginaldo e de alguns afluentes, para turbidez ela encontrou valores que variaram de 10 NUT a 250 NTU.

Os sólidos totais apresentados na Figura 5 para os canais Águas Férreas, Pau D'Arco, Reginaldo e Levada foram 605,5 mg/L, 833,8 mg/L, 621,2 mg/L e 472 mg/L, respectivamente. Quanto ao predomínio de sólidos fixos a relação SF/ST indicou que em todos os canais a maior fração destes sólidos são materiais inertes, com 53% para o Águas Férreas, 55% para o Pau D'Arco, 67% para o Reginaldo e 58% para o Canal da Levada.

A presença de matéria orgânica e nutrientes nas águas dos canais foram avaliadas através de análise de DQO, DBO_{5,20}, N-NTK, N-amoniacoal e fosforo total, cujos valores médios estão apresentados nas Figuras 8.

Os maiores valores de DQO (Figura 8) apresentados entre os canais foram 430 mg/L para o riacho Águas Férreas, seguido do riacho Levada e Águas Férreas com 374,5 mg/L e 146,0 mg/L, respectivamente, o canal que apresentou o menor valor foi o da Reginaldo em 322,2.

Em relação a DBO_{5,20} (Figura 7) os maiores valores médios encontrados foram no Riacho Pau D'arco e Águas Férreas 184,9 mg/L e 165,7 mg/L, seguido do Canal da Levada 146 mg/L, e o menor valor encontrado ocorreu no riacho Reginaldo. Todos os valores estão acima do permitido para rios de Classe 3, se enquadrando em rios de Classe 4 que não apresenta valores definidos para DBO_{5,20}.

Pimentel (2009), encontrou valores aproximados na avaliação dos parâmetros DBO_{5,20} e DQO para o riacho Pau D'Arco 70 mg/L e 329 mg/L respectivamente. Enquanto no Riacho do Sapo que é um rio urbano com características semelhantes aos canais estudados apresentou valores de DQO variando de 38,6 mg/L a 161,30 mg/L.

Alguns anos mais tarde Agra (2017), durante a sua caracterização físico-química do mesmo riacho do Sapo encontrou DQO de 314 mg/L na parte mais urbanizada do riacho e 125,5 mg/L na foz, e coletas em pontos ao decorrer no canal do riacho Reginaldo apresentaram DQO de variando de 183 a 567 mg/L. Já referente a DBO_{5,20} a autora observou um valor de 130 mg/L na foz do riacho.

Avaliando a biodegradabilidade da matéria orgânica nos canais através da relação DBO/DQO estes apresentaram os seguintes valores 0,44 para o riacho das águas férreas, 0,43 para o riacho Pau D'Arco, 0,38 para o Canal do Reginaldo e 0,39 para o Canal da Levada indicando que nestes dois últimos canais o teor da matéria orgânica presente é tem menor biodegradabilidade.

Os valores de DQO e DBO_{5,20} observados nesses canais urbanos são superiores aos encontrados por Pereira et al. (2021), quando analisou a qualidade do rio Pinheiros na cidade de São Paulo, um rio urbano que recebe grandes contribuições de poluição difusa por todo seu leito e lançamentos clandestinos e encontrou valores de DBO_{5,20} em variando de 38 mg/L a 124 mg/L e de DQO de 76,5 mg/L a 225,1 mg/L.

Os valores observados nos canais de Maceió estão mais próximos aos valores relatados por Kaioua et al. (2022), ao realizar estudos semelhantes em um trecho de rio que corta várias cidades no

Marrocos, o rio Cebu, considerado um dos mais poluídos do país, intensamente degradado por poluição difusa em grande parte da bacia, especialmente nas cidades em que passa. Este autor encontrou valores de $DBO_{5,20}$ que variaram de 70 mg/L a 440 mg/L com valor médio de 90 mg/L próximos aos pontos de lançamentos, e a jusante destes pontos valores entre 50 mg/L e 290 mg/L e um, como valor médio de 208 mg/L. Em relação a DQO o valor encontrado pelo autor variou de 28 mg/L em locais do rio mais afastados das cidades e 672 mg/L em locais mais urbanizados.

Quanto aos nutrientes (Figura 7), foram encontradas concentrações de N-NTK de 22,6 mg/L, 24,2 mg/L, 23,6 mg/L e 18,4 mg/L, respectivamente, para os canais do riacho Águas Férreas, Pau D'Arco, Reginaldo e Levada.

Para o N-amoniaco o valor mínimo encontrado foi de 11,4 mg/L e o máximo de 13,1 mg/L. Vale salientar que o nitrogênio amoniaco contribui para a diminuição do oxigênio no corpo hídrico, entretanto os valores encontrados estavam abaixo de 13,3 mg/L limite este, estabelecidos para rios classe 3 de acordo com a CONAMA nº 357 (2005). Observa-se que para o fósforo (Figura 8) os valores médios encontrados variaram de 3,6 mg/L a 4,2 mg/L, valores superiores ao exigido na resolução vigente.

Estes valores estão dentro da faixa observada por Pimentel (2009), que encontrou valores de N-amoniaco variando em torno de 1,6 a 47 mg/L na foz do riacho Gulandim, e por Agra (2017), que encontrou valores médios de N-amoniaco na ordem de 28 mg/L tanto para o riacho Gulandim quanto para o riacho do Sapo, enquanto o fósforo apresentou, respectivamente, valores de 2,6 mg/L e 1,6 mg/L.

Merbouh et al. (2022), ao longo do rio Uarga afluente do rio Cebu no Marrocos, importante rio deveras poluído e impactado pela urbanização encontraram concentrações de N-amoniaco variando de 0,07 a 15 mg/L ao longo da bacia. Enquanto Kaioua et al. (2022) encontrou concentração de fósforo variando 0,25 a 1,61 mg/L.

Com relação ao pH e alcalinidade, e a presença de cloretos e sulfatos das águas dos canais estudados, os valores médios estão apresentados na Figura 8.

Os valores médios de pH em todos os canais estão na faixa de 7,3 a 7,5, ou seja, levemente alcalino, dentro da neutralidade atendendo o estabelecido na CONAMA 357 de 2005 que atribui o limite mínimo 6 pH para águas doces. Pimentel (2009), encontrou valores o valor máximo de 7,26 e o mínimo de 5,79 para o Riacho Gulandim e o maior valor de 7,13 e o menor valor de 5,81 para o riacho do Sapo.

Esse pH, na faixa alcalina, está relacionado a alcalinidade observada, que possui a capacidade das águas neutraliza ácidos (efeito tampão), onde foram encontrados valores médios de 160,6 mg/L no riacho das Águas Férreas, 171,7 mg/L no riacho Pau D'Arco, 171 mg/L no riacho Reginaldo, e 151 mg/L no canal da Levada.

Pimentel (2009) encontrou valor máximo de 71 mg/L para o riacho do Sapo e 40 mg/L para o Riacho Gulandim. Verifica-se que a alcalinidade observada neste estudo é maior que a verificada por Pimentel (2009), e isto pode estar associado a presença de esgotos, que, de acordo com a literatura, a alcalinidade de esgotos domésticos usualmente se encontram na faixa de 100 a 250 mgCaCO₃/L (von Sperling, 2005; Metcalf & Eddy, 2016).

A alcalinidade não apresenta perigos sanitários, porém ela pode estar associada a salinidade da água (presença de sulfatos e cloretos), e de fato se verifica que os riachos Pau D'Arco, Reginaldo e Águas Férreas possuem maior alcalinidade e maiores concentrações de cloretos e sulfatos (Figura 7). A presença desses sais também está associada a presença de esgotos e efluentes industriais ou pela sua proximidade com o mar, elas se apresentam de formas semelhantes. A Conama 357/2005 cita que a concentração máxima para mananciais de água doce é de 250 mg/L, tanto para sulfato quanto para cloretos.

Foram registradas elevada presença de sulfato com valor médio em torno de 42,5 mg/L, e de cloreto variando de 438,2 mg/L (Pau D'Arco) a 260 mg/L (Levada). Pimentel (2009), encontrou valores máximos de cloretos de 175 mg/L no riacho Gulandim e 160 no riacho do Sapo. Por sua vez Kaioua et al. (2022), avaliou o trecho de rio considerado um dos mais poluídos do Marrocos, identificou concentrações mínimas de 191 mg/L a 792 mg/L (Kaioua et al., 2022).

A presença de metais como ferro e manganês em águas superficiais normalmente não $\pm 1,3 \times 10^3$ que estes elementos se oxidem, sedimentando-se.

O riacho das águas Férreas apresentou 1,1 mg/L para Fe e 0,2 mg/L para Mn, o riacho Pau D'Arco 1,5 mg/L de Fe e 0,5 mg/L para Mn, o riacho Reginaldo 1,4 mg/L para Fe e 0,7 de Mn já as menores concentrações encontradas foram o Canal da Levada um valor médio de 0,3 para Fe e 0,1 para Mn. Logo, todos os valores estão em consoante com a CONAMA 357 de 2005.

Caracterização microbiológica

A presença de organismos patogênicos como a *E. coli* é um dos principais indicadores de contaminação fecal nas águas. A Tabela 4 e a Figura 9 apresenta a média aritmética (MA) e o desvio padrão (DP) dos valores de *E-coli* verificados nos esgotos da rede coletora e nos canais urbanos.

Tabela 4 - Valores médios de *E-coli* no esgoto da rede coletora (ZA e ZB) e canais urbanos.

	ZA	ZB	AF	PD	REG	LEV
MA	3,96x10 ⁵	4,33x10 ⁵	7,0x10 ³	2,7x10 ³	3,7x10 ³	4,2x10 ³
DP	±1,88x10 ⁴	±3,56x10 ⁴	±1,3x10 ³	±2,4x10 ³	±1,3x10 ³	±1,3x10 ³

No que diz respeito a *E-coli*, a ZA da cidade apresentou valor médio menor, em torno de 3,66 x 10⁵ NMP/100 mL, e em relação ao esgoto da ZB foi de 4,33 x 10⁵ NMP/100 mL, ambos, considerados pela literatura, típicos de esgotos de baixa concentração.

Entre os canais de drenagem urbana o que apresentou maior concentração média de *E. coli* foi o riacho Reginaldo com 3,7 x 10⁴ UFC/100 mL, logo em seguida o riacho Pau D'Arco seu afluente com 2,72 x 10⁴ UFC/100 mL, o riacho das águas Férreas apresentou 7,03 x 10⁴ UFC/100 mL e canal da Levada apresentou as menores concentrações médias. Pela CONAMA nº 274 de 2000 os resultados encontrados estão além do permitido para recreação de contato primário, assim como excede os limites máximos permitidos pela CONAMA 357 de 2005 definidos para rios classe 3 para outros usos que é de 4000 NMP/100 mL. Assim, é possível afirmar que as águas dos canais apresentam riscos de doenças de veiculação hídrica para os que moram perto e/ou entram em contato direto com esta água, como ocorre em casos de enchentes que transbordam os canais de drenagem.

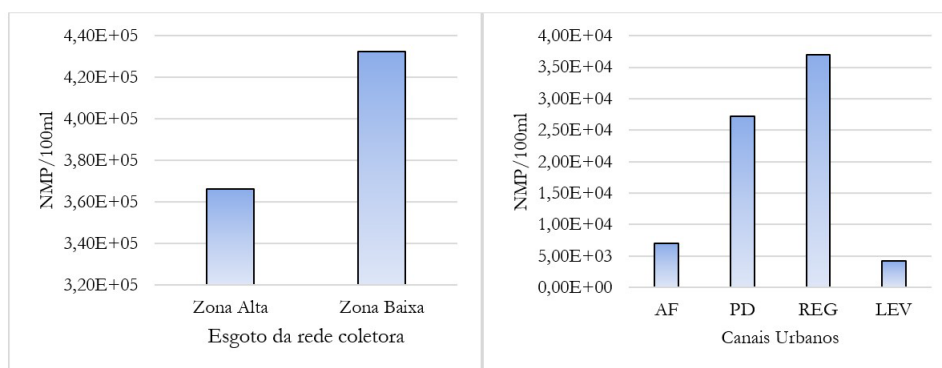


Figura 9 - *E. coli* na rede de esgoto e canais de drenagem urbana.

Pimentel (2009), além da *E. coli* em seu estudo abordou os coliformes totais que abrangem também organismos de origem não fecal para caracterização microbiológica. Esta autora encontrou na bacia do riacho do Sapo concentração média de 1,5 x 10⁶ NMP/100 mL para os coliformes totais e 4,8 x 10⁸ NMP/100 mL para *E. coli*. Agra (2017), por sua vez no riacho do Sapo encontrou como concentração mínima 1,1 x 10⁹ a 10, 2 x 10⁹ UFC/100 mL para coliformes totais e 1,3 x 10⁹ a 4,6 x 10⁹ NMP/100 mL para *E-coli*.

Quanto a pesquisa de vírus totais, na Figura 10 estão ilustradas a eletroforese em gel de agarose (1%), das amostras de uma semana de cada mês do período analisado (set/22 a jan/23), demonstrando a extração de ácidos nucleicos e a presença de vírus nas amostras de esgoto sanitário e nas águas dos canais urbanos.

A Figura 11 mostra o gráfico do percentual de amostras mensais que testaram positivo para carga de vírus totais e o gráfico de ocorrência de COVID-19 das semanas epidemiológicas (SE) dos SUS. Percebe-se que nos pontos de estudo foi detectada carga viral em 75% das amostras na SE-36 de set/22, em 33% das amostras SE-41 de out/22 e SE-01 de jan/23, e em 50% das amostras na SE-51 de dez/22.

Vale ressaltar que a coleta do mês de novembro/22, todos os pontos amostrados, tanto das redes coletoras quanto dos canais urbanos testaram positivo, que coincide com pico de ocorrência de casos confirmados de COVID-19 na semana epidemiológica SE-48/22, da Secretaria Municipal de saúde de Maceió. A carga viral verificada em 75% das amostras da SE-36 set/22, quando os dados do e-SUS apontou um baixo número de casos confirmados de covid-19, pode estar associada a liberação de vírus de portadores assintomáticos.

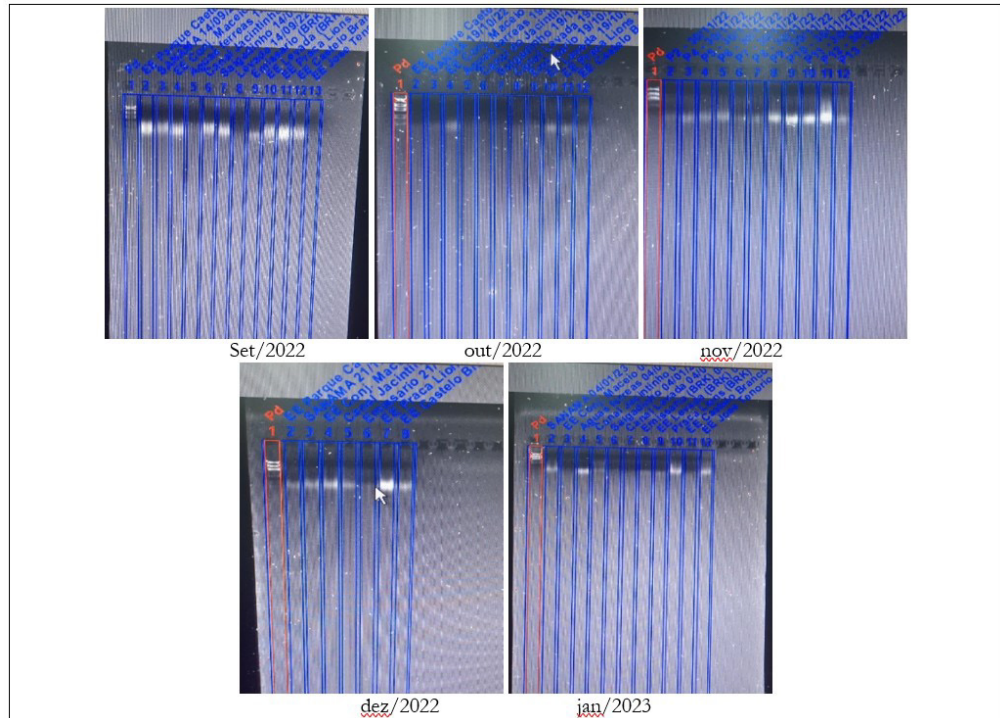


Figura 10 - Eletroforese em gel de algarose.

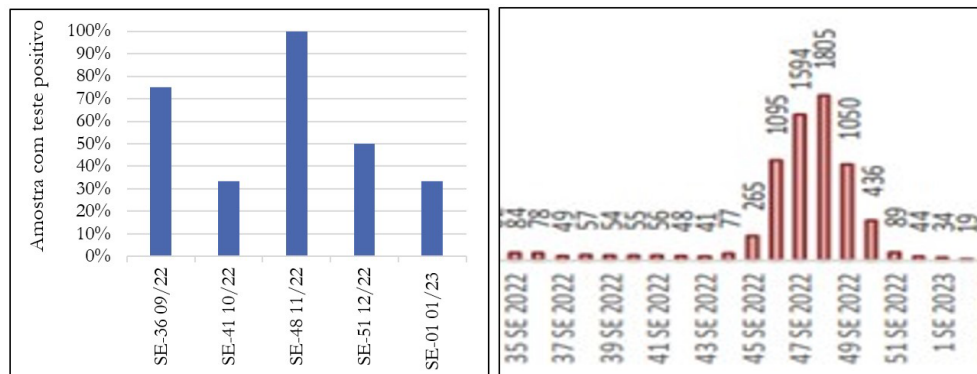


Figura 11 - Comparação do % de amostras com teste positivo x dados do e-SUS de Maceió.

Ao analisar os pontos de coleta de forma individual, Figura 12, é possível observar que, ao longo do período estudado, 65% das amostras da rede coletora tanto da zona alta quanto da zona baixa de Maceió, testaram positivo, enquanto para as águas dos canais urbanos esse percentual foi de 40%.

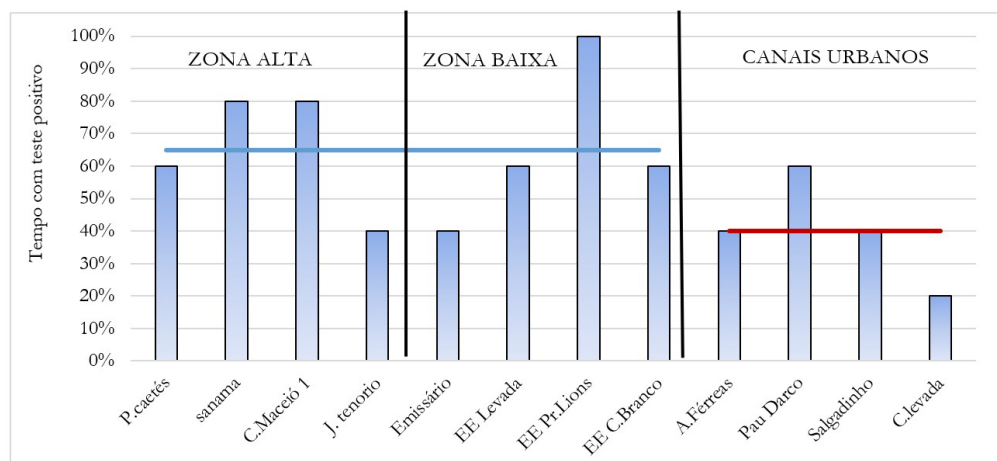


Figura 12 - Percentual de tempo com teste positivo de vírus totais nos pontos de coleta.

Na zona alta os esgotos que chegam a ETE Benedito Bentes do Conj. Maceió 1 testaram positivo para presença de vírus total em 80% do tempo, enquanto o do Parque Caetés foi de 60% e o do Conj. Jose Tenório foi apenas em 40% do tempo. Vale ressaltar que a população contribuinte para essas ETES é predominantemente de classe média baixa e a rede coletora não sofre influência do lençol freático.

Na zona baixa os esgotos que chegam a EE da praça Lions apresentaram carga viral em 100% do tempo. Essa EE recebe contribuições principalmente dos bairros da Mangabeira e Ponta verde. No primeiro, predomina uma população de classe média, lá está o localizado o Shopping mais movimentado de Maceió. A Ponta Verde é um bairro de classe média e alta que sofre forte influência do turismo, por se tratar de um bairro nobre na orla marítima, cuja diversidade e rotatividade da população turística pode estar contribuindo continuamente com carga viral de sintomáticos e assintomáticos. Já as EEs Castelo Branco e Levada apresentaram carga viral em 60% do tempo. Vale destacar que essas três EEs recalcam os esgotos para o emissário submarino, que mesmo recebendo esgotos da EE da Praça Lions que apresentou carga viral em 100% do tempo o esgoto da ETE do emissário só apresentou carga viral em 40% do tempo. Isso pode estar associado ao tempo que os esgotos levam até chegar ao emissário e a contribuição parasitária de águas do lençol freático nessa região, que dilui o esgoto e a carga viral fica fora do limite de detecção.

Quanto aos canais urbanos, foi verificado que as águas do riacho Pau D'Arco apresentaram amostra positiva de vírus em 60% do tempo. Esse canal drena o Jacintinho, o bairro de classe baixa de maior densidade demográfica de Maceió e que lança seus esgotos no solo ou no leito do riacho, já que não dispõe de rede coletora de esgotos.

Os riachos Salgadinho e Águas Férreas apresentaram amostras positivas de vírus em 40% do tempo, e o canal da levada em apenas 20%. As bacias desses três canais drenam áreas parcialmente providas de rede coletora de esgotos.

Embora o riacho Pau D'Arco lance suas águas do riacho Salgadinho, o Pau D'Arco apresentou maior percentual de amostra positiva para vírus. Certamente, o efeito diluição e tempo ao longo do trecho de desague do riacho Pau D'Arco diminuem a concentração viral a níveis abaixo do limite de detecção.

CONCLUSÕES

As características dos esgotos da ZA da cidade, onde predomina uma população de baixa renda, apresentam valores médios na faixa típica de esgotos de alta concentração, enquanto os da zona baixa, onde predomina população de alta renda, apresenta composição com valores médios na faixa típica de esgotos de média concentração. Estas características podem estar mais associadas as infiltrações na rede do que nas condições socioeconômicas da população contribuinte, visto que a ZB da cidade é região litorânea, onde o freático é alto, a rede de esgoto é antiga e está assentada abaixo do nível da água, portanto, ocorre mais infiltração na rede, e recebe outras contribuições diluindo os esgotos.

Nenhum dos quatro canais urbanos estudados apresentam parâmetros de qualidade que atendam aos padrões de rios classe 2 estabelecidos pelo CONAMA 357/2011, que é como são enquadrados por definição. As águas dos canais urbanos, nas condições encontradas, atendem apenas a classe 4 da Resolução CONAMA 357/2005, com o agravante de que seus parâmetros qualidade o classificam como esgoto sanitário de baixa concentração (Metcalf & Eddy, 2016), e fora dos padrões de balneabilidade da Resolução CONAMA 274/2000.

Em nov/22 100% das amostras coletadas apresentaram resultados positivos de vírus totais, tanto na rede coletora quanto nos canais urbanos, e coincide com a SE do e-SUS de Maceió de pico de ocorrência de covid-19. Os esgotos da EE da praça Lions proveniente dos bairros de Mangabeiras e Ponta Verde apresentaram resultado positivo de vírus em 100% do tempo analisado. O riacho do Pau D'Arco que drena o bairro do Jacintinho, que é desprovido de rede coletora apresentou resultado positivo de vírus em 60% do tempo, enquanto os demais canais, que drenam bacias com cobertura parcial de rede de esgoto, apresentaram amostra positiva para vírus em 40% e 20% do tempo.

REFERÊNCIAS

- Agoro, M. A., Okoh, O. O., Adefisoye, M. A., & Okoh, A. I. (2018). Physicochemical properties of wastewater in three typical South African sewage works. *Polish Journal of Environmental Studies*, 27(2), 491-499. <http://dx.doi.org/10.15244/pjoes/74156>
- Agra, C. C. (2017). *Metodologia para estimativa de cargas poluentes em bacias urbanas. Estudo de caso: bacia do Riacho do Sapo* (Dissertação). Universidade Federal de Alagoas. Recuperado em 23 de maio de 2023, de <https://ctec.ufal.br/posgraduacao/ppgrhs/dissertacoes>

- American Public Health Association – APHA. (2017). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (23rd ed.). Washington: APHA.
- Associação Brasileira de Empresas de Pesquisas – ABEP. (2021). In: IBGE. *Sidra: sistema IBGE de recuperação automática*. Rio de Janeiro, 2010. Recuperado em 12 de agosto de 2022, de https://www.abep.org/criterioBr/01_cceb_2021.pdf.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT. (1996). *NBR 13739/1996: Água – Determinação de manganês total – Método colorimétrico do persulfato*. Rio de Janeiro.
- Bega, J. M. M., Oliveira, J. N., & Albertin, L. L. (2021). Dinâmica temporal da qualidade da água em um córrego urbano Temporal. *Engenharia Sanitaria e Ambiental*, 26(5), 903-913.
- Brasil. (2000). Resolução CONAMA nº 274, de 28-12-2000. Define os critérios de balneabilidade em águas brasileiras. *Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil*, Brasília.
- Brasil. (2005). Resolução CONAMA Nº 357, de 17 de Março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. *Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil*, Brasília.
- Brasil. (2011, 13 de maio). Resolução CONAMA No 430. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução no 357, de 17 de março de 2005. *Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil*, Brasília. p. 1-9.
- Ilkner, L. A., Gerba, C. P., & Bright, R. (2012). Concentration and recovery of viruses from water: a comprehensive review. *Food Environmental Virology*, 4, 41-67. <http://dx.doi.org/10.1007/s12560-012-9080-2>.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. (2012). *Censo Brasileiro de 2010*. Rio de Janeiro: IBGE.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. Diretoria de Pesquisas. Coordenação de População e Indicadores Sociais. (2021). *Estimativas da população residente com data de referência 1º de julho de 2020*.
- Jordão, E. P., & Pessôa, C. A. (2017). *Tratamento de esgotos domésticos* (8. ed.). Rio de Janeiro: ABES.
- Kaioua, S., Houzi, G., Alaizari, H., El Harrak, L., El Harche, H., & Fadli, M. (2022). Physico-chemical characterization, pollution and typology of water Sebou river estuary. *Egyptian Journal of Aquatic Biology & Fisheries*, 26(3), 87-98. Recuperado em 23 de maio de 2023, de www.ejabf.journals.ekb.eg
- Laboratório de Processos Biológicos – LPB. (2021). *Métodos Analíticos Aplicados de Processos Biológicos de Tratamento de Águas Residuárias*. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- Marañón, C. A. G., Mulgado, I. P., & Rodríguez, A. Á. (2020). Impacto ambiental del vertido de residuales en la cuenca hidrográfica Guaos-Gascón de Santiago de Cuba. *Revista Cubana de Química*, 32(1), 154-171.
- Menezes, J. P. C., Bittencourt, R. P., Farias, M. D. S., Bello, I. P., Fia, R., & De Oliveira, L. F. C. (2016). Relação entre padrões de uso e ocupação do solo e qualidade da água em uma bacia hidrográfica urbana. *Engenharia Sanitaria e Ambiental*, 21(3), 519-534. <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-41522016145405>
- Merbouh, C., Namoussi, S., Kabriti, M., Naamane, A., Rihane, A., & Lounes, N. (2022). Physico-chemical characterization of an urban wastewater effluent and its impact on the receiving environment: oued Nfifikh (Morocco). *Journal of Ecological Engineering*, 23(3), 183-193. <http://dx.doi.org/10.12911/22998993/145464>
- Messias, M. I. C. S. (2020). *Análise ambiental e epidemiológica do aglomerado subnormal Sururu de Capote em Maceió, Alagoas, Brasil* (Dissertação). Centro Universitário - CESMAC.
- Metcalf & Eddy. (2003). *Wastewater engineering—treatment and reuse* (4th ed.). New York: McGraw Hill.
- Metcalf & Eddy. (2016). *Tratamento de efluentes e recuperação de recursos* (Ivanildo Hespagnol & José Carlos Mierzwa, Trad., 5. ed.). Porto Alegre: AMGH.
- Pereira, M. C. S., Martins, J. R. S., Nogueira, F. F., Magalhães, A. A. B., & Da Silva, F. P. (2021). Melhoria da qualidade da água de rios urbanos: novos paradigmas a explorar – Bacia hidrográfica do rio Pinheiros em São Paulo. *Engenharia Sanitaria e Ambiental*, 26(3), 577-590. <http://dx.doi.org/10.1590/s1413-415220190272>
- Pimentel, I. M. C. (2009). *Avaliação quali-quantitativa das águas do rancho reginaldo e seus efluentes* (Dissertação). Universidade Federal de Alagoas. Recuperado em 23 de maio de 2023, de <http://www.repositorio.ufal.br/handle/riufal/5325>.
- Rodríguez-Guerra, A., & Martínez, F. S. (2020). Responsabilidad social y gestión ambiental del agua, solución en la industria de lácteos de Ecuador. *Revista Alfa*, 4(12), 211-230. <http://dx.doi.org/10.33996/revistaalfa.v4i12.85>
- Silva, A. K. A. (2022). *Sistemas de tratamento biológico descentralizados, com diferentes configurações, tratando efluentes domésticos: avaliação do desempenho técnico e operacional* (Dissertação). Universidade Federal de Alagoas. Recuperado em 23 de maio de 2023, de <http://www.repositorio.ufal.br/handle/riufal>.

- Silva, S. A., Gama, J. A. S., Callado, N. H., & De Souza, V. C. B. (2017). Saneamento básico e saúde pública na bacia hidrográfica do Riacho Reginaldo em Maceió, Alagoas. *Engenharia Sanitaria e Ambiental*, 22(4), 699-709. <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-41522017146971>
- Silva, T. C. L., & Ferreira, B. (2017). Levantamento dos principais aspectos da geodiversidade do município de Maceió, estado de Alagoas, nordeste do Brasil. *Os Desafios da Geografia Física na Fronteira do Conhecimento*, 3231-3241. <https://doi.org/10.20396/sbgfa.v1i2017.1978>
- Sistema Nacional de Informação sobre Saneamento - SNIS. (2021). Diagnóstico temático serviços de Água e Esgoto. Sistema Nacional de Informação sobre Saneamento.
- Soares, T. L. (2022). *Composição e variação espaço-temporal das características dos esgotos sanitários em Maceió/AL* (Dissertação). Universidade Federal de Alagoas. Recuperado em 23 de maio de 2023, de <http://www.repositorio.ufal.br/handle/riufal>.
- Vidal, D. H. F. (2012). *Modelagem hidrodinâmica como Suporte a avaliação e proposição de alternativas compensatórias para mitigação dos problemas de cheias urbanas na bacia do riacho Reginaldo em Maceió - AL* (Dissertação). Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- von Sperling, M. (2005). *Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos* (Vol. 1, 3. ed.). DESA, Ed. UFMG.

Contribuições dos autores:

Tássio Leite Soares: levantamento de campo, análise de dados e análises laboratoriais.

Nélia Henriques Callado: revisão final e tratamento de dados.

Daisy Lira Oliveira Cavalcanti: revisão final e tratamento de dados.

Maria Raphaella dos Santos Vasconcelos: levantamento de dados de toda parte de biologia molecular envolvendo o vírus.