

Perfil de sensibilidade aos antimicrobianos das cepas de *Escherichia coli* isoladas de amostras de águas superficiais do Rio Carioca-RJ, Brasil

Antimicrobial sensitivity profile of isolated Escherichia coli strains from surface water samples of the Carioca River-RJ, Brazil

Taíssa de Souza Menezes da Silva^{1*} , Jaime Antonio Abrantes² ,
Tatiane Mendes Varela Ramos³ , Eliana Napoleão Cozendey-Silva⁴ ,
Joseli Maria da Rocha Nogueira² 

RESUMO

Vinculada às precárias práticas sanitárias, a resistência bacteriana, originalmente associada ao ambiente hospitalar, passou a ser observada também no meio ambiente. Tendo em vista a relação da qualidade da água com a saúde de uma população, sua condição passou a ser avaliada por meio da detecção de microrganismos, sendo a *Escherichia coli* (*E. coli*) usada como bioindicador para a contaminação fecal. O Rio Carioca é o primeiro rio urbano tombado no Brasil, possui valor histórico, cultural, paisagístico e simbólico, contudo ainda é local de lançamento de efluentes em diferentes pontos, sendo potencial reservatório para a manutenção e disseminação de genes de resistência. Nessa perspectiva, objetivou-se estabelecer o perfil de susceptibilidade a antimicrobianos de *E. coli* isoladas em amostras de águas do Rio Carioca, Rio de Janeiro, levando em consideração a presença de águas residuais de origem doméstica e hospitalar nesse curso d'água. Foram obtidas amostras de água superficial de cinco pontos do rio. Os parâmetros cor aparente, turbidez, condutividade elétrica, temperatura e pH foram analisados. Realizou-se a detecção da presença/ausência de bactérias do grupo dos coliformes nas amostras, com posteriores cultivo, isolamento e identificação de *E. coli*. Os isolados foram submetidos ao teste de sensibilidade aos antimicrobianos. Isolados resistentes a quatro diferentes antimicrobianos foram encontrados no ponto mais degradado. Assim sendo, este estudo pode contribuir para a compreensão dos mecanismos pelos quais as pessoas podem ser expostas e colonizadas, fortalecendo estratégias de saúde, sanitárias e ambientais.

Palavras-chave: risco ambiental; águas superficiais; manancial; resistência microbiana.

ABSTRACT

Linked to unsafe health practices and originally associated with the hospital environment, bacterial resistance has also started to be observed in nature. Given the relationship between water quality and the health of a population, its condition started to be assessed by detecting microorganisms, and *Escherichia coli* was used as a bioindicator. The Carioca River is the first urban river listed in Brazil. It has historical, cultural, landscape, and symbolic value. However, it is still a place for effluent discharge at different spots and is a potential reservoir for the maintenance and dissemination of resistance genes. From this perspective, the objective was to establish the profile of susceptibility to *E. coli* antimicrobials isolated in water samples from the Carioca River, Rio de Janeiro, considering the domestic and hospital wastewater in this watercourse. Surface water samples were collected from five River points. Apparent color, turbidity, electrical conductivity, temperature, and pH were the parameters analyzed. Presence/absence of coliform bacteria were detected in the samples, with subsequent cultivation, isolation, and identification of *E. coli*. The isolates were submitted to the Antimicrobial Sensitivity Test. Isolates resistant to four different antimicrobials were found at the most degraded point. Thus, this study can help to understand the mechanisms by which the population is exposed and colonized, strengthening health, sanitary, and environmental strategies.

Keywords: environmental hazards; surface waters; natural springs; drug resistance, microbial.

¹Fundação Oswaldo Cruz, Escola Nacional de Saúde Pública, Programa de Saúde Pública e Meio Ambiente - Mangueiras (RJ), Brasil.

²Fundação Oswaldo Cruz, Escola Nacional de Saúde Pública, Departamento de Ciências Biológicas - Mangueiras (RJ), Brasil.

³Fundação Oswaldo Cruz, Instituto Oswaldo Cruz, Laboratório de Zoonoses Bacterianas Setor de Leptospirose - Mangueiras (RJ), Brasil.

⁴Fundação Oswaldo Cruz, Escola Nacional de Saúde Pública Sergio Arouca, Centro de Estudos da Saúde do Trabalhador e Ecologia Humana - Mangueiras (Rio de Janeiro), Brasil.

*Autor correspondente: taissa.mz@gmail.com

Conflitos de interesse: os autores declaram não haver conflitos de interesse.

Financiamento: Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) - Brasil. Código de Financiamento 001.

Recebido: 19/11/2020 - **Aceito:** 06/11/2021 - **Reg. ABES:** 20200405

INTRODUÇÃO

A multirresistência dos bacilos Gram-negativos tem sido um obstáculo no que se refere ao tratamento de doenças causadas por agentes microbianos (RUPPÉ *et al.*, 2015). Sua característica estrutural complexa confere a essas bactérias a sua toxicidade e antigenicidade (NOGUEIRA *et al.*, 2009) e, muitas vezes, também dificulta a eficácia de alguns antimicrobianos pelas características intrínsecas à sua morfologia.

Bactérias resistentes representam um problema global de saúde, que se tem estendido para o ambiente, especialmente corpos d'água (GUERRA *et al.*, 2020). Desse modo, os rios têm sido considerados de especial importância como reservatórios de genes de resistência, uma vez que são receptores de bactérias de diferentes fontes (efluentes hospitalar, doméstico, entre outros) (GUERRA *et al.*, 2020; ZURFLUH *et al.*, 2013).

Em função do impacto da qualidade das águas sobre a saúde da população, a sua condição passou a ser avaliada por meio de microrganismos bioindicadores, os chamados “coliformes”. O grupo dos coliformes totais engloba gêneros e espécies entéricas e não entéricas (CROXEN *et al.*, 2013), tendo como representantes principais bactérias pertencentes aos gêneros *Escherichia*, *Klebsiella* e *Enterobacter* (ADEOLU *et al.*, 2016; SCHUROFF *et al.* 2014), sendo *Escherichia coli* (*E. coli*) considerada mundialmente um bioindicador de contaminação fecal das águas (BERENDONK *et al.*, 2015; CONAMA, 2000; HEALTH CANADA, 2012; WHO, 2018).

E. coli é um bastonete Gram-negativo, oxidase-negativo, que cresce em meio rico a 44–45°C, fermenta lactose e manitol com a produção de ácido e gás, além de produzir indol do aminoácido triptofano (CROXEN *et al.*, 2013; KONEMAN, 2018). A sua recomendação como principal indicador de contaminação fecal ocorre pelo fato de esse microrganismo ser integrante do trato gastrointestinal de homens e animais, sendo considerado o mais específico entre os coliformes termotolerantes (HEALTH CANADA, 2012).

As constantes alterações antrópicas no ambiente implicam danos tanto ao ambiente quanto à saúde da população. De modo particular, o Rio Carioca é fonte de muitas memórias e está intimamente vinculado ao desenvolvimento urbano da cidade do Rio de Janeiro. Enquanto primeiro manancial superficial, os chafarizes da cidade eram servidos pelas suas águas cristalinas, e ele era considerado até mesmo um rio místico para os índios Tamoios (INEPAC, 2019; REBOISSON, 2016). Esse período (séculos XVII–XVIII) ainda foi marcado pela construção do aqueduto Arcos da Carioca, atualmente denominado Arcos da Lapa (INEPAC, 2019), reconhecido como maior obra de engenharia da América Latina. Todavia, em razão das alterações no seu curso e das práticas precárias de saneamento, o Rio Carioca foi pouco a pouco se deteriorando (OGEDA *et al.*, 2016; REBOISSON, 2016).

Em virtude do seu valor histórico, o Rio Carioca foi tombado em janeiro de 2019 como patrimônio histórico, cultural e natural (INEPAC, 2019). No entanto, embora possua o título de ser o primeiro curso urbano a ser tombado, também pode ser considerado hoje como um potencial reservatório para a manutenção e disseminação de genes de resistência por causa do lançamento de águas residuais de origem doméstica e hospitalar nas suas águas.

Reconhecendo a baixa qualidade dessas águas e com o objetivo de melhorar a qualidade da balneabilidade da praia do Flamengo (RJ), uma unidade de tratamento de rio (UTR) foi construída pelo Governo do Estado do Rio de Janeiro com recursos da Petrobrás. Com a sua operacionalização, foi possível observar a melhoria na qualidade das águas da praia do Flamengo (SILVA

et al., 2017). Entretanto, ainda se faz necessária a implementação de medidas ao longo do seu curso, haja vista que esse rio é fonte de história patrimonial, além de ser utilizado para práticas de balneabilidade e recreação pela população infanto-juvenil local, conforme registrado por meio de veículo de imprensa (SANTIAGO, 2019). Essa população pode estar susceptível ao desenvolvimento de doenças de veiculação hídrica oriundas de possíveis patógenos portadores de genes de resistência.

O estudo integrado de saúde e ambiente é uma área crescente e mundialmente importante (GUERRA *et al.* 2020; ZURFLUH *et al.* 2013). Nessa perspectiva, visando contribuir para a temática, este artigo objetivou estabelecer o perfil de susceptibilidade a antimicrobianos de *E. coli* isoladas em amostras de águas superficiais do Rio Carioca (RJ).

METODOLOGIA

Localizado no Estado do Rio de Janeiro, o Rio Carioca pertence a uma sub-bacia da Baía de Guanabara (trecho oeste). Obras de saneamento que se iniciaram em 1719 contribuíram tanto para a modificação do seu curso quanto para a deterioração das suas águas.

De acordo com Reboisson (2016), o Rio Carioca nasce na Floresta da Tijuca, percorre a Rua Cosme Velho, adentra a Rua das Laranjeiras, passa pela Rua Ipiranga, pela Rua Conde de Baependi, posteriormente passa brevemente pela Praça José de Alencar, pela Rua Barão do Flamengo, em seguida avança pela UTR-Flamengo e, por fim, deságua na praia do Flamengo.

Ainda no período colonial, as suas águas eram utilizadas para o descarte de dejetos humanos e animais, o que deu início ao processo de degradação desse rio. A baixa qualidade das águas do Rio Carioca em decorrência do lançamento de efluentes no seu leito já foi anteriormente documentada (AMIGOS DO PARQUE, 2019; OGEDA *et al.*, 2016; SILVA *et al.*, 2017).

Nesse sentido, os pontos amostrais foram selecionados de modo a englobar locais de coleta anteriores e posteriores à interferência de possíveis lançamentos de efluentes de origem hospitalar e doméstica, além de serem locais onde o rio corre a céu aberto. Sendo assim, os pontos selecionados correspondem a dois pontos na nascente (1A e 1B) (locais preservados na Floresta da Tijuca), (3) reservatório/caixa Mãe d'Água, que se localiza no bairro de Santa Tereza, em trecho tombado como patrimônio cultural brasileiro (INEPAC, 2019), (4) Largo do Boticário, no bairro do Cosme Velho e (5) em acesso imediatamente anterior à UTR no Flamengo (Figura 1).

Houve interesse, neste trabalho, em coletar a água após a UTR, todavia a estação não estava operante; isso significa que a mesma água que entrava saía sem tratamento algum, desembocando diretamente na praia do Flamengo.

Os locais de coleta na nascente foram selecionados com o auxílio dos monitores do Parque Nacional da Tijuca (Parna-Tijuca) e, também, da Coordenadora de Pesquisa e Manejo do Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio). Como o ponto da nascente do rio era incerto, optou-se por coletar em dois locais indicados pelos monitores.

As coordenadas dos pontos de coleta das nascentes, apresentadas em resultados (Tabela 1), foram obtidas por meio do GPSMAP 64s Garmin. Nos demais pontos, a localização foi obtida com o programa de apresentação tridimensional do globo terrestre Google Earth.

As amostras foram obtidas no dia 28 de janeiro de 2020. No período da coleta, a precipitação acumulada manteve-se entre os valores médios históricos,



Figura 1 - Pontos utilizados para a coleta da água no percurso do Rio Carioca.

Tabela 1 - Resultado dos parâmetros físico-químico analisados.

	Nascente (1A)	Nascente (1B)	Mãe d'Água	Largo do Boticário	Antes da Unidade de Tratamento de Rio
Coordenada	22°24'34,07"S 43.224733°O	22°9'434,34"S 43°224765°O	22°56'43,73"S 43°12'31,72°O	22°56'22,68"S 43°10'04,99°O	22°56'00,48"S 43°10'20,56°O
Hora da coleta	09:45	10:13	11:19	11:48	12:30
Temperatura (°C)	27,6	29	29,9	31,9	31,8
pH	6	6	6	6	6
Turbidez (NTU)	6,1	0,501	1,16	2,20	30,2
Condutividade elétrica (mS/cm)	62,4	51	69,7	212,6	374
Salinidade	41,72	33,49	47,04	158,09	292,12
Cor aparente (uC média)	42	7	10	44	460

não havendo precipitação nas 24 horas anteriores ao dia da coleta (CPTEC/INPE, 2020).

A coleta das amostras foi realizada de acordo com as recomendações da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo — CETESB (2011), não ultrapassando 20 cm da coluna d'água. Foram utilizados frascos estéreis e transparentes de aproximadamente 100 mL cada, sendo coletados em cada ponto amostral 300 mL de água para as análises biológicas (triplicata) e 100 mL para as físico-químicas. Ainda em campo, foram mensurados os parâmetros temperatura, com o auxílio de um termômetro digital, e o pH foi obtido com o uso da tira universal de pH 0-14 da KASVI® e conferido no laboratório com o auxílio de um pHmetro de bancada.

As amostras coletadas foram armazenadas em caixa térmicas que continham gelo e permaneceram acondicionadas dessa forma no máximo por 4 horas

até a chegada ao Laboratório de Microbiologia, onde foram realizados os testes biológicos, e ao Laboratório de Análises Físico-Químicas, para a realização dos testes físico-químicos.

Caracterização Físico-química

A obtenção dos parâmetros cor aparente, turbidez e condutividade elétrica seguiram as recomendações do *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. A condutividade foi utilizada como medida indireta da salinidade (OGEDA *et al.*, 2016; SILVA *et al.*, 2017; SILVA, 2021).

Isolamento e identificação

Para a detecção da presença de bactérias dos grupos coliformes e *E. coli*, foi adicionado um envelope do substrato do kit comercial COLItest® em cada um dos três

frascos de 100 mL com amostra. Os frascos foram fechados, agitados e incubados a $35\pm 1^\circ\text{C}$ durante 24 horas, seguindo as recomendações do fabricante (LKP, 2022).

Passado o período de incubação, as amostras foram submetidas à luz ultravioleta para a observação da fluorescência. Nas amostras em que houve a confirmação da presença de bactérias do grupo coliforme, por meio da fluorescência positiva, realizou-se o teste do indol pela adição do reativo de Kovacs, confirmando-se nos casos positivos a presença de *E. coli* (LKP, 2022).

Posteriormente à confirmação da presença de *E. coli* no frasco do kit Colitest, uma alíquota de uma das triplicatas foi previamente retirada para o isolamento das colônias, de acordo com a metodologia clássica proposta por Costa e Hofer (1972), o que foi seguido de incubação a $36\pm 1^\circ\text{C}$ durante 18 horas.

O teste de sensibilidade foi realizado de acordo com o manual do *Clinical and Laboratory Standards Institute* — CLSI (2019) e BrCAST-EUCAST (2019). Os antimicrobianos testados foram definidos com base nas duas técnicas e com o seu uso rotineiro no laboratório (Tabela 2). Desse modo, os isolados foram classificados nas seguintes categorias: sensível (S), definida por um ponto de corte no qual os isolados são inibidos por concentrações geralmente alcançáveis de um agente antimicrobiano, recomendada para o tratamento de uma infecção e que culmina na eficácia clínica; intermediária (I), definida por um ponto de corte no qual os isolados têm menor taxa de resposta ao tratamento, quando comparados à categoria S ou à resistente (R); esta definida por um ponto de corte no qual os isolados não são inibidos pelas concentrações normalmente alcançáveis de um antimicrobiano ou no qual a eficácia do agente contra o isolado não foi observada (CLSI, 2019). Visto que o CLSI incluiu uma classe especialmente para um fármaco específico, a classe susceptível dose-dependente (SDD) também foi levada em consideração.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados das avaliações dos parâmetros físico-químicos temperatura, pH, turbidez, condutividade elétrica, salinidade e cor aparente estão indicados na Tabela 1.

A temperatura apresentou valores superiores a 25°C em todos os pontos amostrais, sendo os maiores valores encontrados no Largo do Boticário e no ponto anterior à UTR-Flamengo. De acordo com Von Sperling (2005), a temperatura da água pode apresentar valores característicos, a depender da sua origem, pois a transferência de calor pode se dar através da radiação, condução, convecção ou despejos industriais e efluentes.

Estudo realizado no Rio Pardo (DA SILVA; SACOMANI, 2001), localizado em Botucatu (SP), constatou variação da temperatura nesse rio ao longo do ano, com elevadas temperaturas durante o dia e baixas temperaturas nos pontos que possuíam extensa vegetação. De modo similar, outros estudos (GUILHERME et al., 2018; MARMONTEL; RODRIGUES, 2015) revelaram a variação de temperatura na dependência de determinadas fontes naturais (mata ciliar, energia solar) e antropogênicas (despejos industriais).

Nesse sentido, é possível sugerir que as temperaturas menores encontradas na nascente (1A e 1B) e Mãe d'Água possam estar sendo influenciadas pela vegetação existente nessas localidades, onde há pouca incidência solar. Por outro lado, foi possível observar que, embora o Largo do Boticário não esteja inserido em área de extensa vegetação e, nessa localidade, o Rio Carioca receba pouca incidência solar em razão das construções paralelas ao seu curso, além de anteriormente vir de um ambiente subterrâneo (canalizado), esse ponto

Tabela 2 - Antimicrobianos selecionados para a realização dos testes de susceptibilidade, com as suas respectivas categorias.

Penicilina			
Ampicilina (AMP) 10 µg			
β-lactâmicos			
Amoxicilina-clavulanato (AMC) 30 µg	Piperacilina-tazobactam (PPT) 110 µg		
Ampicilina-sulbactam (ASB) 20 µg			
Cefens			
Cefazolina (CFZ) 30 µg	Cefoxitina (CFO) 30 µg	Ceftazidima (CAZ) 30 µg	
Cefepime (CPM) 30 µg	Cefotaxima (CTX) 30 µg		
Monobactamas			
Aztreonam (ATM) 30 µg			
Carbapenênicos			
Ertapenem (ETP) 10 µg	Meropenem (MER) 10 µg	Imipenem (IPM) 10 µg	
Aminoglicosídeos			
Amicacina (AMI) 30 µg	Gentamicina (GEN) 10 µg		
Fluoroquinolonas			
Ciprofloxacino (CIP) 5 µg	Levofloxacino (LVX) 5 µg		
Antagonista da via do folato			
Sulfametoxazol-Trimetoprim (SUT) 25 µg			

Fonte: Adaptado, CLSI (2019).

junto com o ponto amostral anterior à UTR-Flamengo foram os que apresentaram as maiores temperaturas ($31,9$ e $31,8^\circ\text{C}$, respectivamente). Supõe-se que, neles, a temperatura tenha sofrido efeito de outros fatores, haja vista que o trecho do Largo do Boticário possui baixa incidência solar e o trecho anterior à UTR-Flamengo vem de um ambiente canalizado antes de as águas se aflorarem novamente nesse pequeno trecho.

O parâmetro pH foi comum em todos os locais de amostragem. O valor detectado (pH 6,0) confere uma característica ácida à água do rio. Esse parâmetro atende à Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (Conama) 357/2005 no que tange à preservação dos ambientes aquáticos em unidades de conservação (no caso, a nascente do Carioca) e à preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas (CONAMA, 2005; PARRON et al., 2011).

Para o parâmetro turbidez, o maior valor foi encontrado no ponto anterior à UTR-Flamengo (30,2 NTU), e o menor valor, na nascente 1B (0,501 NTU). De acordo com a Tabela 1, é possível observar a diferença entre os dois locais de amostragem na nascente. Esse fato pode estar associado à maior quantidade de partículas de solo presente na amostra da nascente 1A em comparação com a nascente 1B.

De acordo com alguns autores (GUILHERME et al., 2018; VON SPERLING, 2005) a turbidez está relacionada aos sólidos em suspensão oriundos de fontes naturais ou de intervenção antrópica (despejo de efluentes). Posto isso, a maior turbidez observada no ponto anterior à UTR-Flamengo (Tabela 1) sugere maior ação antrópica nessa localidade, haja vista a diferença significativa entre esse ponto amostral e os demais. Além disso, esse ponto amostral possuía, no

momento da coleta, partículas sólidas em suspensão que podem ter influenciado no aumento do parâmetro em questão.

Araújo *et al.* (2016) constataram, na época do seu estudo, que a qualidade das águas do Rio Carioca era boa na nascente. Entretanto, observaram redução da qualidade das águas ao longo do rio, sugerindo descarga contínua de lançamento de esgoto doméstico e hospitalar próximo ao Largo do Boticário e no ponto anterior à UTR-Flamengo, o que corrobora os nossos achados.

Assim como a turbidez, a salinidade e a coloração também apresentaram maiores valores no Largo do Boticário e no ponto anterior à UTR-Flamengo. Altos valores de salinidade podem estar associados ao tipo do solo e à sua composição geoquímica (BRITO *et al.* 2005; SANTOS, 2017), o que pode explicar os valores encontrados nos pontos da nascente (1A e 1B) e da Mãe d'Água. Por outro lado, altas concentrações de sais observadas no Largo do Boticário e no ponto anterior à UTR mostram aumento do total de sais dissolvidos como possível consequência dos despejos de efluentes próximo a essas localidades.

Conforme apresentado na Tabela 1, existe aumento expressivo nos parâmetros condutividade elétrica e salinidade nas amostras do Largo do Boticário e do ponto anterior à UTR. De acordo com a CETESB (2013), a condutividade elétrica é uma medida indireta da concentração de poluentes, aumentando conforme mais sólidos e sais dissolvidos são inseridos no meio. Em vista disso, valores de condutividade superiores a 100 µS/cm indicam ambientes impactados.

Assim como a salinidade, o parâmetro cor é influenciado pela presença de sólidos dissolvidos (GUILHERME *et al.*, 2018; MARMONTEL; RODRIGUES,

2015; VON SPERLING, 2005). Desse modo, o valor elevado para o parâmetro cor aparente encontrado antes da UTR também pode estar relacionado à ação antrópica.

Identificação e isolamento

Nos testes realizados para a confirmação da presença ou ausência de bactérias do grupo dos coliformes termotolerantes, 99,9% das amostras foram positivas após 24 horas de incubação.

Das 15 amostras para as análises biológicas, 14 foram submetidas à luz ultravioleta, resultando em fluorescência positiva em todas as amostras. O teste do indol foi positivo em todas as amostras, confirmando a presença de *E. coli*.

Teste de sensibilidade aos antimicrobianos

A Tabela 3 apresenta os resultados do teste de sensibilidade microbiana aos fármacos utilizados. De acordo com os manuais CLSI (2019) e BrCAST-EUCAST (2019), todos os isolados de *E. coli* da nascente (1A e 1B) e Mãe d'Água foram sensíveis aos 18 antimicrobianos utilizados. Isolados de *E. coli* com classificação SDD e I foram encontrados no Largo do Boticário.

De modo geral, não houve diferença significativa quanto à interpretação no que se refere à utilização de ambos os manuais (CLSI e BrCAST). Entretanto, na interpretação do CLSI, foi possível testar a resistência de isolados de *E. coli* perante ceftazidima (CAZ) e cefotaxima (CTX).

Isolados com classificação R foram encontrados no ponto amostral anterior à UTR-Flamengo, sendo resistentes ao sulfametoxazol-trimetoprim, ampicilina,

Tabela 3 - Susceptibilidade aos antimicrobianos das *Escherichia coli* isoladas em amostras de água do Rio Carioca.

Agente antimicrobiano	Nascente 1A	Nascente 1B	Mãe d'Água	Largo do Boticário	Antes da Unidade de Tratamento de Rio
Cefepime 30 µg	S/S	S/S	S/S	SDD/I	S/S
Cefoxitina 30 µg	S/S	S/S	S/S	S/S	S/S
Ceftazidima 30 µg	S/*	S/*	S/*	S/*	S/*
Aztreonam 30 µg	S/S	S/S	S/S	S/S	S/S
Cefotaxima 30 µg	S/*	S/*	S/*	S/*	S/*
Amoxicilina-clavulanato 30 µg	S/S	S/S	S/S	S/S	S/S
Sulfametoxazol-Trimetoprim 25 µg	S/S	S/S	S/S	S/S	R/R
Ampicilina 10 µg	S/S	S/S	S/S	S/S	R/R
Piperacilina-tazobactam 110 µg	S/S	S/S	S/S	S/S	S/S
Ampicilina-sulbactam 20 µg	S/S	S/S	S/S	S/S	S/S
Cefazolina 30 µg	S/S	S/S	S/S	S/S	S/S
Amicacina 30 µg	S/S	S/S	S/S	S/S	S/S
Levofloxacin 5 µg	S/S	S/S	S/S	S/S	R/R
Ciprofloxacino 5 µg	S/S	S/S	S/S	S/S	R/R
Meropenem 10 µg	S/S	S/S	S/S	S/S	S/S
Imipenem 10 µg	S/S	S/S	S/S	S/S	S/S
Ertapenem 10 µg	S/S	S/S	S/S	S/S	S/S
Gentamicina 10 µg	S/S	S/S	S/S	S/S	S/S

(S): Sensível; (SDD): Susceptível dose-dependente; (I): Intermediário; (R): Resistente.

*Não testado. Interpretação CLSI/BrCAST. Resultados em negrito apresentam diferença significante.

levofloxacin e ciprofloxacino — correspondendo à classe antagonista da via folato, penicilina e fluoroquinolonas, respectivamente. Foi observada susceptibilidade à amoxicilina-clavulanato, ampicilina-sulbactam, piperacilina-tazobactam, cefazolina, cefoxitina, cefotaxima, ceftazidima, aztreonam, ertapenem, meropenem, imipenem, amicacina e gentamicina. Foi também observada uma classificação SDD ao cefepime. Ou seja, se doses mais altas desse medicamento forem utilizadas, essa pode ser uma opção para o tratamento (RIVERA *et al.*, 2016).

De acordo com Schneider *et al.* (2011), os perfis de susceptibilidade de *E. coli* em ambientes aquáticos são influenciados pela origem das águas. Já Szekeres *et al.* (2017) atribuíram a resistência à alta taxa do consumo de medicamentos sem prescrição médica, aos efluentes hospitalares sem tratamento adequado e às altas concentrações de resíduos de antibióticos em variados corpos aquáticos. Esse mesmo tipo de aporte pode ser observado no percurso do Rio Carioca, sugerindo a possibilidade de aumento na resistência bacteriana. Vasconcelos *et al.* (2010) já haviam também apontado essa possibilidade, associando-a às próprias estações de tratamento de água, águas superficiais e lençóis freáticos, bem como às de esgoto, como propícias à disseminação desses poluentes emergentes e com impacto significativo na seleção de bactérias resistentes (SZEKERES *et al.*, 2017; VASCONCELOS *et al.*, 2010).

Nascendo em área de preservação ambiental, o Rio Carioca é gradativamente impactado pelas ações antrópicas, conforme sugere o aumento dos valores dos parâmetros físico-químicos analisados ao longo do rio. O fato de *E. coli* ser abundantemente presente em fezes de animais (HEALTH CANADA, 2012) pode ter contribuído para a identificação dessa bactéria em amostras de água da nascente (1A e 1B), local em que a intervenção antrópica é baixa (TYMENSEN *et al.*, 2017).

A resistência aos antimicrobianos ciprofloxacino e levofloxacin, pertencentes ao grupo das quinolonas, foi observada no ponto anterior à UTR-Flamengo (Tabela 3), local em que as águas do Carioca já receberam o aporte de efluentes de fontes difusas. Estudos apontam a contribuição dos efluentes hospitalares para a disseminação de microrganismos com perfil de resistência aos β -lactâmicos de espectro estendido, carbapanemases e quinolonas (MUSIC *et al.*, 2017; ZHANG *et al.*, 2012). Embora tenha sido observada a resistência a antimicrobianos do grupo das quinolonas, no nosso estudo não foi encontrada resistência aos β -lactâmicos (amoxicilina-clavulanato, ampicilina-sulbactam e piperacilina-tazobactam) e nem ao grupo das carbapanemases (ertapenem, meropenem e imipenem).

A resistência às fluoroquinolonas encontradas neste estudo era esperada, pois se trata de poluente ambiental emergente dos ambientes aquáticos desde os anos 1980, dada a sua vasta utilização e excreção de forma não metabolizada na urina (FINN *et al.*, 2020). Na presente investigação, a presença de isolados resistentes ao ciprofloxacino e levofloxacin pode indicar a existência desse poluente no ponto anterior à UTR-Flamengo, sendo sugestivo o impacto antrópico nessa localidade e acentuando-se a necessidade de tratamento dessas águas antes de elas serem lançadas na praia do Flamengo.

Vasconcelos *et al.* (2010), ao estudarem o perfil de susceptibilidade antimicrobiana de *E. coli* isoladas do açude de Santo Anastácio, relataram sensibilidade à cefoxitina e ao imipenem e resistência ao ciprofloxacino. Segundo esses autores, o desenvolvimento da resistência de *E. coli* a este último fármaco é desencadeado por meio da exposição desse microrganismo a ambientes seletivos (impactados).

Paredes *et al.* (2020), ao analisarem amostras de águas superficiais no rio urbano de Machángara, em Quito, no Equador, levaram em consideração

as interferências antrópicas em diferentes pontos do rio, sendo amostradas áreas agrícolas, residenciais, de conservação e industrial. *E. coli* foi encontrada somente em localidades onde já havia a presença de alguma atividade humana e a presença de animais. Vale destacar que, na localidade com baixa atividade antrópica, as *E. coli* isoladas por esses autores foram sensíveis à cefotaxima e ao imipenem, e, à medida que se intensificaram as ações antrópicas próximo aos locais de coleta, constatou-se aumento expressivo tanto na quantificação de *E. coli* quanto no aumento das taxas de resistência à cefotaxima.

Tais resultados corroboram em parte os achados deste estudo, no qual se observou sensibilidade microbiana à cefotaxima e ao imipenem em áreas com pouca interferência antrópica; todavia, de forma positiva, a resistência à cefotaxima em amostras de áreas mais degradadas não foi detectada.

E. coli isolada do ambiente, resistente à ampicilina, foi observada no ponto anterior à UTR-Flamengo. Canal (2010), ao analisar a diversidade genética e caracterizar a resistência microbiana em ambiente aquático do Rio Grande do Sul, observou resistência à ampicilina, à tetraciclina e ao sulfametoxazol-trimetoprim, notando associação significativa entre a resistência bacteriana e a presença de integrons de classe 1. Os integrons são estruturas que contribuem para a aquisição de genes de resistência, e os de classe 1 codificam a resistência a compostos de quaternário de amônio. Salienta-se que os integrons de classe 1 são comuns entre as bactérias Gram-negativas e em ambientes aquáticos, o que inclui as águas residuais (EBRAHIMPOUR *et al.*, 2018). De acordo com Canal (2010), o perfil de resistência é influenciado pela origem das águas residuais.

Resultados semelhantes também foram observados na bacia hidrográfica do Alto Oconee, na Geórgia, Estados Unidos. Ao analisar amostras de água originadas de áreas preservadas, cidades, instalações de recuperação de água e hospitais, Cho *et al.* (2019) observaram a resistência de *E. coli* ao ácido amoxicilina-clavulanato, à ampicilina, azitromicina, cefoxitina, ceftiofur, ceftriaxona, cloranfenicol, ciprofloxacino, gentamicina, ácido nalidixico, estreptomina, sulfisoxazol, tetraciclina ou sulfametoxazol-trimetoprim, detectando 17 genes de resistência, além de não terem recuperado isolados portadores de β -lactamases a jusante de um hospital. Corroborando Cho *et al.* (2019), não foram observados isolados resistentes a β -lactamases em ambientes impactados (anteriores à UTR-Flamengo).

Huijbers *et al.* (2020) fizeram um estudo de vigilância de *E. coli* em águas residuais urbanas em diferentes países europeus. Observaram a prevalência da resistência bacteriana à ampicilina, sendo superior à resistência ao ciprofloxacino, à cefotaxima, ceftazidima ou gentamicina nos países analisados. Entretanto, a prevalência da resistência ao ciprofloxacino foi significativamente maior na Suécia, Bélgica, França, Grécia, Itália e Espanha.

Embora a resistência ao cefepime tenha sido relatada anteriormente em outros estudos que envolviam a análise de ambientes aquáticos de utilização mista (áreas preservadas e degradadas) (DIWAN *et al.*, 2018), no presente estudo, isolados de *E. coli* foram classificados como SDD de acordo com o manual CLSI (2019). Correlacionado esse dado com a publicação nacional BrCAST-EUCAST (2019), esses mesmos isolados apresentaram resistência intermediária, não havendo, neste caso, divergência entre os dois guias. Ou seja, com base em ambos os manuais, a utilização de concentrações maiores de cefepime poderia ser eficaz para a sensibilidade de *E. coli* a esse fármaco.

A resistência bacteriana aos fármacos vem sendo relatada mundialmente em ambientes aquáticos e sedimentos, estando os fármacos frequentemente presentes na sua forma não metabolizada no ambiente (AL SALAH *et al.*, 2020; CHO *et al.*, 2019; FINN *et al.* 2020; LÖFFLER; TERNES, 2003). Apesar de outros estudos terem

evidenciado a presença de bactérias resistentes em ambientes com pouca contribuição fecal (CHO *et al.*, 2019; MCARTHUR *et al.*, 2016), na presente pesquisa não foram observados isolados resistentes nos pontos com pouca intervenção antrópica (nascente), somente no ponto de maior aporte desse material (efluente).

O Rio Carioca encontra-se em diferentes estágios de conservação, visivelmente perceptíveis. A maior susceptibilidade aos antimicrobianos das *E. coli* isoladas da nascente (1A e 1B) até o Largo do Boticário pode ser reflexo do maior estado de conservação do rio nessas localidades quando comparadas ao ponto anterior à UTR. No seu estudo, Araújo *et al.* (2016) detectaram isolados de enterobactérias portadores de genes de resistência no Rio Carioca. Embora não tenham pesquisado a presença de *E. coli*, tal estudo comprovou a capacidade dos clones das enterobactérias encontradas para carregarem os seus genes de resistência mesmo após o tratamento na UTR-Flamengo.

Vale destacar que, no dia em que foi realizada a nossa amostragem, de acordo com um funcionário da Companhia Municipal de Limpeza Urbana (COMLURB) que se encontrava no interior da unidade, a UTR-Flamengo não estava operando por conta da falta de energia — ou seja, a água que estava saindo da estação era a mesma que entrava. Desse modo, podemos supor que as águas do Rio Carioca não sejam tratadas constantemente como deveriam em razão de problemas técnicos/estruturais, o que contribui para a redução da qualidade das águas na praia do Flamengo e para a degradação da Baía de Guanabara. Aliado a isso, o saneamento inadequado do entorno contribui para que o Rio Carioca se transforme em um grande *pool* genético, propiciando a interação das bactérias com distintos compostos presentes no meio e gerando, assim, diferentes formas de resistência.

Levando em consideração as características de cada ponto amostral no que tange ao lançamento de efluentes de fontes difusas (hospitalar e residencial), nota-se que apenas no ponto em que o Rio Carioca já cursou próximo a unidades de saúde e supostamente recebeu os seus efluentes foram encontrados isolados de *E. coli* resistentes. A não identificação desse tipo de isolado nos demais pontos amostrais pode sinalizar maior circulação de metabólitos oriundos de fármacos no ponto anterior à UTR-Flamengo.

Com base nessa observação e unindo-a ao conhecimento de que os ambientes podem ser seletivos para a aquisição de resistência aos fármacos (BERENDONK *et al.*, 2015), sugere-se que os microrganismos resistentes encontrados neste estudo tenham adquirido essa característica anteriormente à sua chegada ao ponto anterior à UTR, possivelmente no contato com os efluentes hospitalares. Outra possibilidade seria a aquisição da resistência no próprio local de amostragem (ponto anterior à UTR) por meio da interação dos microrganismos com aquele ambiente seletivo.

Para fazer essa suposição, devemos levar em consideração que o efluente doméstico é uma importante via seletiva. Ainda na região próxima ao reservatório Mãe d'Água, nota-se o grande adensamento populacional que se estende ao longo do atual percurso do rio. Mundialmente, discute-se o problema da automedicação, a prescrição errônea de fármacos ou o tratamento com antimicrobianos de forma incorreta (WHO, 2017). Tais características conferem ao efluente doméstico um ambiente seletivo, uma vez que, como se sabe, grande parte da população não utiliza os medicamentos de forma correta (OPAS, 2017) e esses metabólitos acabam sendo descartados pelo organismo.

Podemos então considerar que os efluentes hospitalar e doméstico podem ter contribuído para a detecção de isolados resistentes no ponto anterior à UTR. Entretanto, a presença de isolados portadores de genes de resistência somente após a passagem do Rio Carioca próximo a unidades de saúde pode apontar a

maior contribuição dos efluentes hospitalares no que tange à detecção da resistência bacteriana no último ponto.

CONCLUSÃO

Foi possível constatar que a qualidade microbiológica, no tocante à detecção de coliformes, foi igual em todos os pontos amostrais. Entretanto, houve diferença da qualidade físico-química entre esses locais, estando o ponto anterior à UTR-Flamengo mais degradado.

De modo particular, o ambiente aquático estudado apresenta importante variação para a disseminação de bactérias e genes de resistência, considerando-se que há menor risco na nascente (1A e 1B), no reservatório Mãe d'Água e no Largo do Boticário (sem a presença de isolados resistentes) e maior risco no Flamengo (com resistência a três diferentes classes de antimicrobianos).

O perfil de susceptibilidade das cepas de *E. coli* isoladas alterou-se posteriormente à passagem do Rio Carioca por unidades hospitalares, sendo encontrada a multiresistência (ampicilina, ciprofloxacino, levofloxacino, sulfametozazol-trimetoprim) no ponto anterior à UTR-Flamengo.

O lançamento das águas do Carioca sem tratamento prévio na praia do Flamengo potencializa a propagação e dispersão de organismos portadores de genes de resistência.

A possibilidade de exposição e colonização de pessoas por bactérias resistentes durante práticas de recreação e esportivas, tanto no Rio Carioca como na praia onde ele desemboca, fortalece a necessidade de estratégias de saúde, sanitárias e ambientais como melhorias do saneamento e conscientização da população. Contudo, o papel que os ecossistemas aquáticos desempenham, a interação com ou as implicações para a saúde pública perante a exposição a microrganismos resistentes aos antimicrobianos ainda carece de elucidação. Sendo assim, essas questões devem ser objeto de estudos futuros.

Os benefícios dos ecossistemas aquáticos só podem ser mantidos se eles forem protegidos dos processos de degradação. O rio analisado neste trabalho pode ser considerado um ambiente seletivo para a manutenção e propagação de genes de resistência, contribuindo para que o manancial perca a sua capacidade de propiciar à comunidade um ambiente seguro para práticas de balneabilidade.

AGRADECIMENTOS

Ao Laboratório de Análises Físico-Químicas do Departamento de Saneamento e Saúde Ambiental (DSSA/FIOCRUZ). À coordenadora de Pesquisa e Manejo do ICMBio, Katyucha Von Kossel, e aos monitores do Parque Nacional da Tijuca, Flávio Henrique Deveza da Cunha e Carlos Alberto de Sousa Felipe. À Vice-Presidência de Educação, Informação e Comunicação da Fiocruz. À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

CONTRIBUIÇÕES DOS AUTORES

Silva, T.: Conceituação, Curadoria de dados, Investigação, Metodologia, Escrita - Primeira redação. Abrantes, J.: Metodologia, Supervisão. Ramos, T.: Escrita - Revisão e Edição. Cozendey-Silva, E.: Escrita- Revisão e Edição. Nogueira, J.: Análise formal, Administração do Projeto, Obtenção de financiamento, Supervisão, Escrita-Revisão e Edição.

REFERÊNCIAS

- ADEOLU, M.; ALNAJAR, S.; NAUSHAD, S.; GUPTA R.S. Genome-based phylogeny and taxonomy of the 'Enterobacteriales': proposal for Enterobacterales ord. nov. divided into the families Enterobacteriaceae, Erwiniaceae fam. nov., Pectobacteriaceae fam. nov., Yersiniaceae fam. nov., Hafniaceae fam. nov., Morganellaceae fam. nov., and Budviciaceae fam. nov. *International Journal Of Systematic And Evolutionary Microbiology*; v. 66, n. 12, p. 5575-5599; 2016. <https://doi.org/10.1099/ijsem.0.001485>
- AL SALAH, D.M.M.; NGWEME, G.N.; LAFFITE, A.; OTAMONGA, J.P.; MULAJI, C.; POTÉ, J. Hospital wastewaters: A reservoir and source of clinically relevant bacteria and antibiotic resistant genes dissemination in urban river under tropical conditions. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, v. 200, p. 110767-110767, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2020.110767>
- AMIGOS DO PARQUE. Rio Carioca é tombado como Patrimônio Cultural do Estado do Rio de Janeiro, 2019. Disponível em: <https://amigosdoparque.org.br/rio-carioca-tombado/>. Acesso em: jan. de 2021
- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 23. ed. Washington: American Public Health Association, American Water Works Association, and Water Environment Federation, 2017.
- ARAÚJO, C.F.M.; SILVA, D.M.; CARNEIRO, M.T.; RIBEIRO, S.; FONTANA-MAURELLI, M.; ALVAREZ, P.; ASENSI, M.D.; ZAHNER, V.; CARVALHO-ASSEF, A.P.D. Detection of Carbapenemase Genes in Aquatic Environments in Rio de Janeiro, Brazil. *Antimicrobial Agents and Chemotherapy*, v. 60, n. 7, p. 4380-4383, 2016. <https://doi.org/10.1128/AAC.02753-15>
- BERENDONK, T.U.; MANAIA, C.M.; MERLIN, C.; FATTA-KASSINOS, D.; CYTRYN, E.; WALSH, F.; BÜRGMANN, H.; SORUNG, H.; NOSTRÖN, M.; PONS, N.M.; KREUZINGER, N.; HUOVINEN, P.; STEFANI, S.; SCHWARTZ, T.; KISAND, V.; BAQUERO, F.; MARTINEZ, J. L. Tackling antibiotic resistance: the environmental framework. *Nature Reviews Microbiology*, v. 13, n. 5, p. 310-317, 2015. <https://doi.org/10.1038/nrmicro3439>
- COMITÊ BRASILEIRO DE TESTES DE SENSIBILIDADE AOS ANTIMICROBIANOS-COMITÊ EUROPEU DE TESTES DE SUSCEPTIBILIDADE ANTIMICROBIANA (BrCAST- EUCAST). *Teste de sensibilidade aos antimicrobianos*, método de disco difusão. Brasília (DF), 2019.
- BRITO, L.T.L.; SRINIVASAN, V.S.; SILVA, A.S.; GHEYI, H.R.; GALVÃO, C.O.; HERMES, L.C. Influência das atividades antrópicas na qualidade das águas da bacia hidrográfica do Rio Salitre. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* [online], v. 9, n. 4, p. 596-602, 2005. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662005000400025>
- CANAL, N. *Caracterização de resistência a antimicrobianos e diversidade genética em Escherichia coli isolada de amostras de água da Lagoa dos Patos, RS*. 98f. Dissertação (Mestrado em Microbiologia Agrícola e do Meio Ambiente), Instituto de Ciências Básicas da Saúde, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Rio Grande do Sul. 2010.
- COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB). *Guia nacional de coleta e preservação de amostras: Água, sedimento, comunidades aquáticas e efluentes líquidos*. São Paulo: CETESB, 2011.
- COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB). *Qualidade das águas superficiais no Estado de São Paulo*. São Paulo: CETESB, 2013. 434 p.
- CHO, S.; NGUYEN, H.A.T.; McDONALD, J.M.; WOODLEY, T.A.; HIOTT, L.M.; BARRET, J.B.; JACKSON, C.R.; FRYE, J.G. Genetic Characterization of Antimicrobial-Resistant *Escherichia coli* Isolated from a Mixed-Use Watershed in Northeast Georgia, USA. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, v. 16, n. 19, p. 3761, 2019. <https://doi.org/10.3390/ijerph16193761>
- CLINICAL AND LABORATORY STANDARDS INSTITUTE (CLSI). *Performance Standards for Antimicrobial Susceptibility Testing*. 29. ed. Pensilvânia: Clinical and Laboratory Standards Institute, 2019.
- BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Lei nº274 de 29 de novembro de 2000. Define os critérios de balneabilidade em águas brasileiras. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, Seção 1, 29 de nov. 2000.
- BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, Seção 1, p. 34. 18 mar. 2005.
- COSTA, G.A.; HOFER, E. *Isolamento e identificação de Enterobactérias*. Rio de Janeiro: Instituto Oswaldo Cruz, 1972, 120p.
- CENTRO DE PREVISÃO DE TEMPO E ESTUDOS CLIMÁTICOS (CPTEC/ INPE). *Monitoramento Brasil-Precipitação observada*. Disponível em: Acesso <http://clima1.cptec.inpe.br/monitoramentobrasil/pt>. Acesso em: jan. 2021.
- CROXEN, M.; LAW, R.J.; SCHOLZ, R.; KEENEY, K.M.; WLODARSKA, M.; FINLAY, B.B. Recent advances in understanding enteric pathogenic *Escherichia coli*. *Clinical microbiology reviews*, v. 26, n. 4, p. 822-880, 2013. <https://doi.org/10.1128/CMR.00022-13>
- DIWAN, V.; HANNA, N.; PUROHIT, M.; CHANDRAN, S.; RIGGI, E.; PARASHAR, V.; TAMHANKAR, A. J.; LUNDBORG, C. S. Seasonal Variations in Water-Quality, Antibiotic Residues, Resistant Bacteria and Antibiotic Resistance Genes of *Escherichia coli* Isolates from Water and Sediments of the Kshipra River in Central India. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, v. 15, n. 6, p. 1281, 2018. <https://doi.org/10.3390/ijerph15061281>
- EBRAHIMPOUR, M.; NIKOKAR, I.; GHASEMI, Y.; EBRAHIM-SARAIE, H.S.; ARAGHIAN, A.; FARAHBAKHS, M.; GHASSABI, F. Antibiotic resistance and frequency of class 1 integrons among *Pseudomonas aeruginosa* isolates obtained from wastewaters of a burn center in Northern Iran. *Annali di Igiene: Medicina Preventiva e di Comunità*, v. 30, n. 2, p. 112-119, 2018. <https://doi.org/10.7416/ai.2018.2202>
- FINN, T.J.; SCRIVER, L.; LAM, L.; DUONG, M.; LYNCH, T.; DONG, T.; PEIRANO, G.; PITOUT, J.D.D.; DeVINNEY, R. A Comprehensive Account of *Escherichia coli* Sequence Type 131 in Wastewater Reveals an Abundance of Fluoroquinolone-Resistant Clade A Strains. *Applied and environmental microbiology*, v. 86, n. 4, 2020. <https://doi.org/10.1128/AEM.01913-19>
- GUERRA, J.A.; DZIEDZIC, M.; OLIVEIRA, C.M.R.; VASCONCELOS, E.C.; CARVALHO FILHO, M.A.S. Risco ambiental gerado pelo uso de antibióticos no setor de internamento pediátrico hospitalar. *Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 5, n. 4, p. 573-581, 2020. <https://doi.org/10.1590/S1413-41522020183893>

- GUILHERME, J.C.; MILHOMEM, S.A.P.; LIMA, T.B.L.; JORGE JÚNIOR, W.C.; HONDA, R.T. Análise do perfil de variação de parâmetros físico-químicos de um corpo hídrico intermitente do cerrado no período de transição da seca para chuva. *Revista Integralização Universitária*, v. 9, n. 12, 2018.
- HEALTH CANADA. *Guidelines for Canadian Recreational Water Quality*. 3. ed. Ottawa, Ontario: Prepared by the Federal-Provincial-Territorial Working Group on Recreational Water Quality of the Federal-Provincial-Territorial Committee on Health and the Environment, 2012.
- HUIJBERS, P.C.M.; LARSSON, J.D.G.; FLACH, C.F. Surveillance of antibiotic resistant *Escherichia coli* in human populations through urban wastewater in ten European countries. *Environmental Pollution*, v.261, p. 114200, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.114200>
- INSTITUTO ESTADUAL DO PATRIMÔNIO CULTURAL (INEPAC). *Tombamento do Rio Carioca*. 2019. Disponível em: <http://www.inepac.rj.gov.br/index.php/publicacao/leiamais/199/index>. Acesso em: fev. 2020
- KONEMAN, E.W. *Diagnóstico microbiológico*. 7ed. São Paulo: Guanabara Koogan, 2018.
- LKP Diagnósticos. *COLtest - Teste para detecção de coliformes totais e E.coli em 100mL de amostra de água*. Disponível em: <https://www.lkpdagnosticos.com.br/todos-produtos/testes-rapidos-para-agua/colitest-teste-cromogenico-e-fluorogenico-para-deteccao-de-coliformes-totais-e-e-coli>. Acesso em: jun. 2022
- LÖFFLER, D.; TERNES, T.A. Determination of acidic pharmaceuticals, antibiotics and ivermectin in river sediment using liquid chromatography-tandem mass spectrometry. *Journal of Chromatography*, v. 1021, p. 133-144, 2003. <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2003.08.089>
- MARMONTEL, C.V.F.; RODRIGUES, V.A. Parâmetros indicativos para qualidade da água em nascentes com diferentes coberturas de terra e conservação da vegetação ciliar. *Floresta e Ambiente*, v. 22, n. 2, p. 171-181, 2015. <https://doi.org/10.1590/2179-8087.082014>
- MCARTHUR, J.V.; FLETCHER, D.E.; TUCKFIELD, R.C.; BAKER-AUSTIN, C. Patterns of multi-antibiotic-resistant *Escherichia coli* from streams with no history of antimicrobial inputs. *Environmental Microbiology*, v. 72, p. 840-850, 2016. <https://doi.org/10.1007/s00248-015-0678-4>
- MUSIC, M.S.; HRENOVIC, J.; GOIC-BARISIC, I.; HUNJAK, B.; SKORIC, D.; IVANKOVIC, T. Emission of extensively-drug-resistant *Acinetobacter baumannii* from hospital settings to the natural environment. *The Journal of hospital infection*, v. 96, n. 4, p. 323-327, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.jhin.2017.04.005>
- NOGUEIRA, J. M. R.; MIGUEL, L. F. S. *Conceitos e Métodos para a Formação de Profissionais em Laboratórios de Saúde-Bacteriologia*. Rio de Janeiro: EPSJV, IOC Fundação Oswaldo, 2009.
- SANTIAGO, L. Rio carioca se torna o primeiro curso d'água urbano do país a virar patrimônio cultural. O Globo. Rio de Janeiro, p. 12. 11 jan. 2019. Disponível em: <https://oglobo.globo.com/rio/bairros/rio-carioca-se-torna-primeiro-curso-dagua-urbano-do-pais-virar-patrimonio-cultural-23362284>. Acesso em: 04 jan. 2021
- OGEDA, M.D.S.; ARAÚJO, T.R.D.S.; SEIXAS FILHO, J.T. Rio carioca: sua história e sua degradação. *Semioses*, v. 10, n. 3, p. 69-77, 2016. <https://doi.org/10.1520/21981996x.2016v10n3p69>
- ORGANIZAÇÃO PAN-AMERICANA DE SAÚDE (OPAS). *Folha informativa - Resistência aos antibióticos*. 2017. Disponível em: https://www.paho.org/bra/index.php?option=com_content&view=article&id=5664:folha-informativa-resistencia-aos-antibioticos&Itemid=812. Acesso em: dez. 2020
- PAREDES, D.O.; BARBA, P.; MENA-LÓPEZ, S.; ESPINEL, N.; CRESPO, V.; ZURITA, J. High quantities of multidrug-resistant *Escherichia coli* are present in the Machángara urban river in Quito, Ecuador. *Journal of water and Health*, v. 18, n. 1, p. 67-76, 2020. <https://doi.org/10.2166/wh.2019.195>
- PARRON, L.M.; MUNIZ, D.H.F.; PEREIRA, C.M. *Manual de procedimentos de amostragem e análise físico-química de água*. Colombo: Embrapa Florestas, 2011. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/handle/doc/921050>. Acesso em: 25 jan. 2021.
- REBOISSON, T.B.S. *28º Opera Prima: Rio carioca*. Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2016. Disponível em: http://arcoweb.s3.amazonaws.com/docs/operaprima/2018/vencedores/PA-O614-Projeto_riocarioca.pdf Acesso em: out. de 2019
- RIVERA, C.G.; NARAYANAN, P.P.; PATEL, R.; ESTES, L.L. Impact of cefepime susceptible-dose-dependent MIC for Enterobacteriaceae on reporting and prescribing. *Antimicrobial Agents and Chemotherapy*, v.60, n.6, p.3854-3855, 2016. <https://doi.org/10.1128/AAC.00442-16>
- RUPPÉ, É.; WOERTHER, P. L.; BARBIER, F. Mechanisms of antimicrobial resistance in Gram-negative bacilli. *Annals of Intensive Care*, v. 5, n. 1, p. 21, 2015. <https://doi.org/10.1186/s13613-015-0061-0>
- SANTOS, C.E.O. Geoquímica das águas do reservatório Poção da Ribeira, Agreste Central de Sergipe. *Scientia Plena*, v. 13, n. 10, p. 01-10, 2017. <https://doi.org/10.14808/sci.plena.2017.109906>
- SCHNEIDER, R.N.; NADVORNY, A.; SCHMIDT, V. Perfil de resistência antimicrobiana de isolados de *Escherichia coli* obtidos de águas superficiais e subterrâneas, em área de produção de suínos. *Biotemas*, v. 22, n. 3, p. 11-17, 2011. <https://doi.org/10.1590/1808-1657v77p4052010>
- SCHUROFF, P.A.; LIMA, N.R.; BURGOS, T.N.; LOPES, A.M.; PELAYO, J.C. Qualidade microbiológica da água do Lago Igapó de Londrina - PR e caracterização genotípica de fatores de virulência associados a *Escherichia coli* enteropatogênica (EPEC) e *E. coli* produtora de toxina Shiga (STEC). *Semina: Ciências Biológicas e da Saúde*, v. 35, n.2, p.11-20, 2014. <https://doi.org/10.5433/1679-0367.2014v35n2p11>
- SILVA, A.M.M.; SACOMANI, L.B. Using chemical and physical parameters to define the quality of pardo river water (Botucatu-SP-Brazil). *Water research*, v.35, n.6, p. 1609-1616, 2001. [http://doi.org/10.1016/S0043-1354\(00\)00415-2](http://doi.org/10.1016/S0043-1354(00)00415-2)
- SILVA, M.C.R.; FERNANDES, A.S.C. Uma abordagem das unidades de tratamento de Rios (UTRs) na gestão sanitária do município do Rio de Janeiro. *Projectus*, v.2, n.1, p.1-14, 2017. <https://doi.org/10.15202/25254146.2017v2n1p1>
- SILVA, T.S.M. *Qualidade microbiológica do Rio Carioca-RJ: isolamento e identificação de bactérias do grupo dos coliformes termotolerantes e sua susceptibilidade a antimicrobianos*. 75 f. Dissertação (Mestrado em Saúde Pública e Meio Ambiente) - Escola Nacional de Saúde Pública Sergio Arouca, Fundação Oswaldo Cruz, Rio de Janeiro, 2021.
- SZEKERES, E.; BARICZ, A.; CHIRIAC, C. M.; FARKAS, A.; OPRIS, O.; SORAN, M.-L.; ANDREI, A.-S.; BALCÁZAR, J. L.; DRAGOS, N.; COMAN, C. Abundance of antibiotics, antibiotic resistance genes and bacterial community composition in wastewater effluents from different Romanian hospitals. *Environmental Pollution*, v.225, p. 304-315, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.01.054>

TYMENSEN, L.; BOOKER, C.W.; HANNON, S.J.; COOK, S.R.; ZAHEER, R.; READ, R.; MCALLISTER, T.A. Environmental Growth of Enterococci and *Escherichia coli* in Feedlot Catch Basins and a Constructed Wetland in the Absence of Fecal Input. *Environmental Science and Technology*, v.10, n.51, 2017. <https://doi.org/10.1021/acs.est.6b06274>

VASCONCELOS, F.R.; REBOUÇAS, R.H.; BARRETO-EVANGELISTA, N.S.; SOUSA, O.V.; VIEIRA, R.H.S.F. Perfil de resistência antimicrobiana de *Escherichia coli* isoladas do açude Santo Anastácio, Ceará, Brasil. *Arquivos do Instituto Biológico [online]*, v.77, n.3, p.405-410, 2010. <https://doi.org/10.1590/1808-1657v77p4052010>

VON SPERLING, Marcos. *Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos*: princípios do tratamento biológico de águas residuárias. Belo Horizonte: UFMG, 2005. 452p.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). *Global antimicrobial resistance surveillance system (GLASS) report: early implementation 2016-2017*. Geneva: WHO, 2017

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). *Guidelines on sanitation and health*. Geneva: WHO, 2018

ZHANG, X.; LÜ, X.; ZONG, Z. *Enterobacteriaceae* producing the KPC-2 carbapenemase from hospital sewage. *Diagnostic Microbiology and Infectious Disease*, v. 73, p.204-206, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.diagmicrobio.2012.02.007>

ZURFLUH, K.; HÄCHLER, H.; NÜESCH-INDERBINEN, M.; STEPHAN, R. Characteristics of Extended-Spectrum β -Lactamase- and Carbapenemase-Producing *Enterobacteriaceae* Isolates from Rivers and Lakes in Switzerland. *Applied and environmental microbiology*, v. 79, n 9, p. 3021-3026, 2013. <https://doi.org/10.1128/AEM.00054-13>

