

Detecção de bacteriófagos como indicadores não convencionais de contaminação fecal no rio Guandu-RJ

Detection of bacteriophages as non-conventional indicators of fecal contamination in the Guandu River – RJ

Mariana Matias Mattos¹ , Rosane Cristina de Andrade ,
Edgard Henrique Oliveira Dias² 

¹Universidade do Estado do Rio de Janeiro – UERJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

E-mails: marimatiasmattos@gmail.com, rosane.andrade@eng.uerj.br

²Universidade Federal de Juiz de Fora – UFJF, Juiz de Fora, MG, Brasil.

E-mail: edgard.dias@ufjf.edu.br

Como citar: Mattos, M. M., Andrade, R. C., & Dias, E. H. O. (2026). Detecção de bacteriófagos como indicadores não convencionais de contaminação fecal no rio Guandu-RJ. *Revista de Gestão de Água da América Latina*, 23, e07. <https://doi.org/10.21168/rega.v23e07>

RESUMO: O objetivo desse trabalho consiste em abordar a problemática da crescente degradação do rio Guandu, principal manancial de abastecimento de água para consumo humano da cidade do Rio de Janeiro. O objetivo principal foi analisar a presença de indicadores microbiológicos não-convencionais, colifagos somáticos e colifagos F-específicos, como marcadores de contaminação fecal. Os dados foram contrastados com os resultados derivados de marcadores frequentemente empregados como indicadores de contaminação fecal, os coliformes termotolerantes. Os resultados apresentados mostraram um alto nível de contaminação fecal na bacia hidrográfica do rio Guandu. A utilização de bacteriófagos, se mostrou um bom indicador de contaminação, estando presente em todos os pontos analisados e devido à sua metodologia simples, custo acessível e alta especificidade no reconhecimento de bactérias hospedeiras. Atribui-se os altos de índices de contaminação ao lançamento inadequado de efluentes domésticos e industriais, a ocupação irregular do solo e a falta de saneamento.

Palavras-chave: Colifagos; Coliformes Termotolerantes; Contaminação Microbiológica; Efluente Doméstico; Indicadores Emergentes.

ABSTRACT: The objective of this work is to address the problem of the increasing manipulation of the Guandu River, the main financial management of water supply for human consumption in the city of Rio de Janeiro. The main objective was to analyze the presence of non-conventional microbiological indicators, somatic coliphages and F-specific coliphages, as markers of fecal contamination. The data were contrasted with results derived from markers often used as indicators of fecal contamination, thermotolerant coliforms. The results presented showed a high level of fecal contamination in the Guandu River basin. The use of bacteriophages is shown to be a good indicator of contamination, being present in all points analyzed and due to its simple methodology, affordable cost and high specificity in recognizing host bacteria. The high levels of contamination are attributed to the inadequate discharge of domestic and industrial effluents, irregular land occupation and lack of sanitation.

Keywords: Coliphages; Thermotolerant Coliforms; Microbiological Contamination; Domestic Effluent; Emerging Indicators.

INTRODUÇÃO

A degradação da qualidade das águas no estado do Rio de Janeiro é um problema de longa data, resultado de pressões antrópicas cumulativas, como o crescimento urbano desordenado, a insuficiência do saneamento básico e o lançamento contínuo de efluentes. A partir de 2014, episódios de escassez hídrica e de comprometimento da qualidade da água tornaram esse cenário mais evidente, configurando uma crise hídrica relacionada tanto à disponibilidade quanto à potabilidade dos recursos hídricos (Zandaryaa & Mateo-Sagasta, 2018). Estudos recentes têm corroborado esse cenário, evidenciando a persistência da contaminação em diferentes corpos hídricos e bacias hidrográficas do estado, incluindo a Bacia do Rio Guandu, com registros de comprometimento microbiológico, químico e físico da água ao longo das últimas décadas (Mothé et al., 2025; Oliveira et al., 2025; Sotero-Martins et al., 2021).

Recebido: Agosto 22, 2025. Revisado: Fevereiro 13, 2026. Aceito: Fevereiro 23, 2026.



Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Attribution (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>), que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

Em 2020 e 2021, a região metropolitana do Rio de Janeiro foi abastecida, por vezes, com água fora do padrão de potabilidade organoléptico para os parâmetros odor e sabor, devido a presença de Geosmina, colocando em destaque a falta de qualidade da água da bacia hidrográfica do Rio Guandu, responsável pelo abastecimento de cerca de 9 milhões de pessoas (Sotero-Martins et al., 2024). Já em agosto de 2023, o abastecimento foi interrompido devido à presença de uma espuma esbranquiçada próximo ao ponto de captação da Estação de Tratamento de Água (ETA) Guandu, resultado de um lançamento inadequado de material detergente (Rio de Janeiro, 2023).

O rio Guandu e seus afluentes enfrentam desafios consideráveis relacionados à poluição e à urbanização desordenada, o que impacta diretamente a qualidade da água, uma vez que atua como manancial de abastecimento e como corpo receptor de efluentes domésticos e industriais, caracterizando um cenário de uso múltiplo dos recursos hídricos, o que gera conflitos de uso e impõe desafios adicionais à preservação da qualidade da água destinada ao consumo humano (Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico, 2019; Rio de Janeiro, 2023).

Estima-se que o Rio Guandu e seus afluentes recebem aproximadamente 112 milhões de litros diários de esgoto doméstico in natura, resultantes de lançamentos pontuais e difusos ao longo da bacia hidrográfica, associados principalmente à insuficiência da cobertura de saneamento básico (Brasil, 2024). Parte desses aportes ocorre a montante da captação da ETA Guandu, impactando diretamente a qualidade da água bruta destinada ao abastecimento público, enquanto outros lançamentos ocorrem a jusante, contribuindo para a degradação ambiental do sistema fluvial como um todo (Instituto Estadual do Ambiente, 2014; Comitê do Guandu, 2018). Tais águas contaminadas podem conter uma grande variedade de patógenos entéricos, capazes de causar doenças de veiculação hídrica, principalmente para populações vulneráveis, como crianças, idosos e pessoas imunocomprometidas (Pan American Health Organization, 2023; Ferreira et al., 2022; Nogueira, 2012; Dias et al., 2018). Estima-se que no Brasil tenha ocorrido cerca de 130 mil internações por doenças de veiculação hídrica no ano de 2021 e cerca de 35 mil internações de crianças e adolescentes por doenças de veiculação hídrica em 2020 (Instituto Trata Brasil, 2023).

Dessa forma, a avaliação da qualidade da água sob a perspectiva biológica e sanitária, especialmente no contexto do abastecimento público, por meio de indicadores de contaminação, é de extrema importância e amplamente utilizada, com destaque para bactérias como os coliformes termotolerantes, *Escherichia coli* (*E. coli*) e enterococos. Embora a gestão de recursos hídricos envolva múltiplos parâmetros e interesses, o presente estudo foca especificamente na segurança microbiológica da água destinada ao consumo humano. Nesse recorte, o papel dos indicadores de contaminação representados pelos grupos supracitados vem sendo questionado, em razão da definição incerta desses organismos como grupo e da relação frequentemente frágil com a presença de alguns patógenos, em especial organismos mais resistentes, como vírus e protozoários (Sabar et al., 2022).

Logo, no que se trata da avaliação da qualidade de águas destinadas ao abastecimento de água e da verificação da remoção de microrganismos em ETA, torna-se de suma importância a prospecção de indicadores alternativos na avaliação microbiológica das águas, que apresentem relação mais estreita com a presença de maior variedade de microrganismos patogênicos na água, particularmente aqueles que podem persistir por mais tempo no ambiente, como (oo)cistos de protozoários (exemplo de indicadores: esporos de *Clostridium perfringens* e de bactérias aeróbias), e de vírus (exemplo de indicadores: bacteriófagos - colifagos somáticos, colifagos F-específicos e os fagos que infectam *Bacteroides* sp.) (World Health Organization, 2022; Toribio-Avedillo et al., 2021).

Bacteriófagos, comumente referidos como fagos, são vírus que infectam e se multiplicam dentro de organismos procariontes (Runa et al., 2021). Fagos são sugeridos por diversos autores como organismos indicadores virais alternativos ao grupo dos coliformes, por exibirem muitos dos atributos importantes de um bom indicador (United States Environmental Protection Agency, 2015; Ballesté et al., 2021) como elevada resistência no meio ambiente e aos tratamentos e desinfecções em ETA e em estações de tratamento de esgotos (ETE), e também por apresentarem simplicidade e baixo custo nas análises de detecção e enumeração (Kelmer et al., 2023). A maioria das pesquisas sobre o uso de bacteriófagos como indicadores fecais foi conduzida com colifagos, que são bacteriófagos que infectam *E. coli*, sendo sua quantificação recomendada desde 2007 (United States Environmental Protection Agency, 2015). A *American Public Health Association* (APHA) também recomenda a quantificação de colifagos para avaliar a qualidade microbiológica da água, assim como para indicação da presença de vírus entéricos humanos por exibirem semelhanças em termos de estrutura, composição, tamanho e processo de replicação (American Public Health Association, 2017).

Nesse contexto, o objetivo do trabalho foi detectar colifagos e correlacioná-los com indicadores de contaminação fecal tradicionais (*E.coli*) na bacia hidrográfica do Rio Guandu, assim como, entender o comportamento destes indicadores diante da variação de parâmetros físicos e químicos.

MATERIAL E MÉTODOS

Caracterização da área

A bacia hidrográfica do Rio Guandu (BHG) (Figura 1) engloba totalmente os municípios Engenheiro Paulo de Frontin, Itaguaí, Japeri, Paracambi, Queimados e Seropédica, e parcialmente os municípios de Barra do Piraí, Mangaratiba, Mendes, Miguel Pereira, Nova Iguaçu, Piraí, Rio Claro, Rio de Janeiro e Vassouras (Instituto Estadual do Ambiente, 2024). A bacia abrange uma área aproximada de 3.600 km² e tem sua origem na Serra do Mar. Ao longo de seu percurso, direciona-se para o rio Reservatório das Lajes, o qual recebe as águas da transposição do Paraíba do Sul, situado no município de Piraí. No mesmo local, o rio Reservatório das Lajes é alimentado pelo seu principal afluente, o rio Santana, resultando na formação da confluência conhecida como rio Guandu (Ramos, 2021). O então, rio Guandu segue margeando Japeri e recebe águas do rio São Pedro, do rio Poços, rio Queimados e rio Ipiranga, desembocando na Baía de Sepetiba. Destes, somente o rio São Pedro é caracterizado em bom estado de conservação (Ramos, 2021).

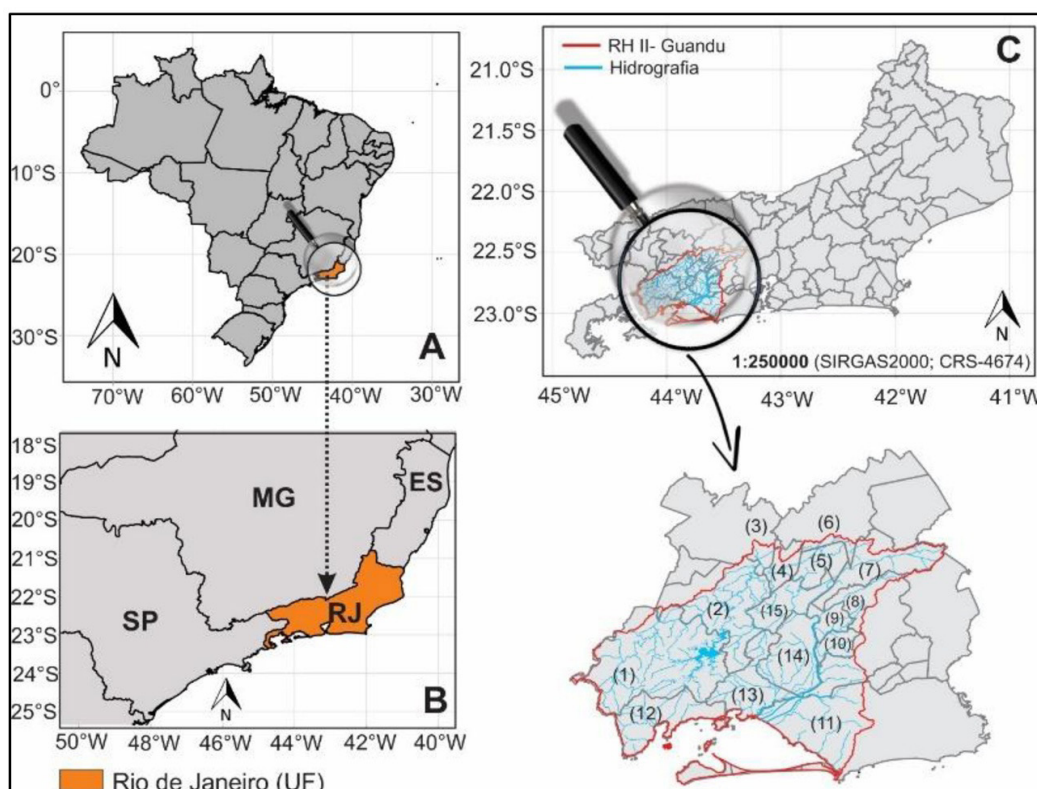


Figura 1. Localização geográfica do estado do Rio de Janeiro, Brasil (A, B) com enfoque para a delimitação geográfica da Bacia Hidrográfica do Rio Guandu (RJ) (C). Municípios: (1) Rio Claro; (2) Piraí; (3) Barra do Piraí; (4) Mendes; (5) Eng. Paulo de Frontin; (6) Vassouras; (7) Miguel Pereira; (8) Nova Iguaçu; (9) Japeri; (10) Queimados; (11) Rio de Janeiro; (12) Mangaratiba; (13) Itaguaí; (14) Seropédica; (15) Paracambi.

Conforme ilustrado na Figura 2 a seguir, as áreas mais urbanizadas da bacia hidrográfica do Rio Guandu concentram ocupações residenciais de alta densidade, atividades industriais e infraestrutura urbana, configurando importantes fontes de cargas poluidoras pontuais e difusas. Esses usos do solo estão diretamente associados ao lançamento de efluentes sanitários e industriais nos cursos d'água, além da contribuição do escoamento superficial urbano, que promove o aporte difuso de poluentes microbiológicos e físico-químicos, intensificando a degradação da qualidade da água (Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico, 2019).

Nas áreas periurbanas e rurais da bacia, também evidenciadas na Figura 2, predominam atividades agropecuárias, áreas de pastagem e remanescentes de vegetação nativa. A ocupação inadequada desses espaços, aliada à supressão da cobertura vegetal e à fragilidade das práticas de manejo do solo, favorece processos erosivos e o consequente carreamento de sedimentos para os corpos hídricos, comprometendo a qualidade da água. Esse mosaico de usos evidencia um quadro típico de sobreposição de pressões antrópicas, que reduz a capacidade de autodepuração dos cursos d'água da bacia (Comitê do Guandu, 2018; World Health Organization, 2017).

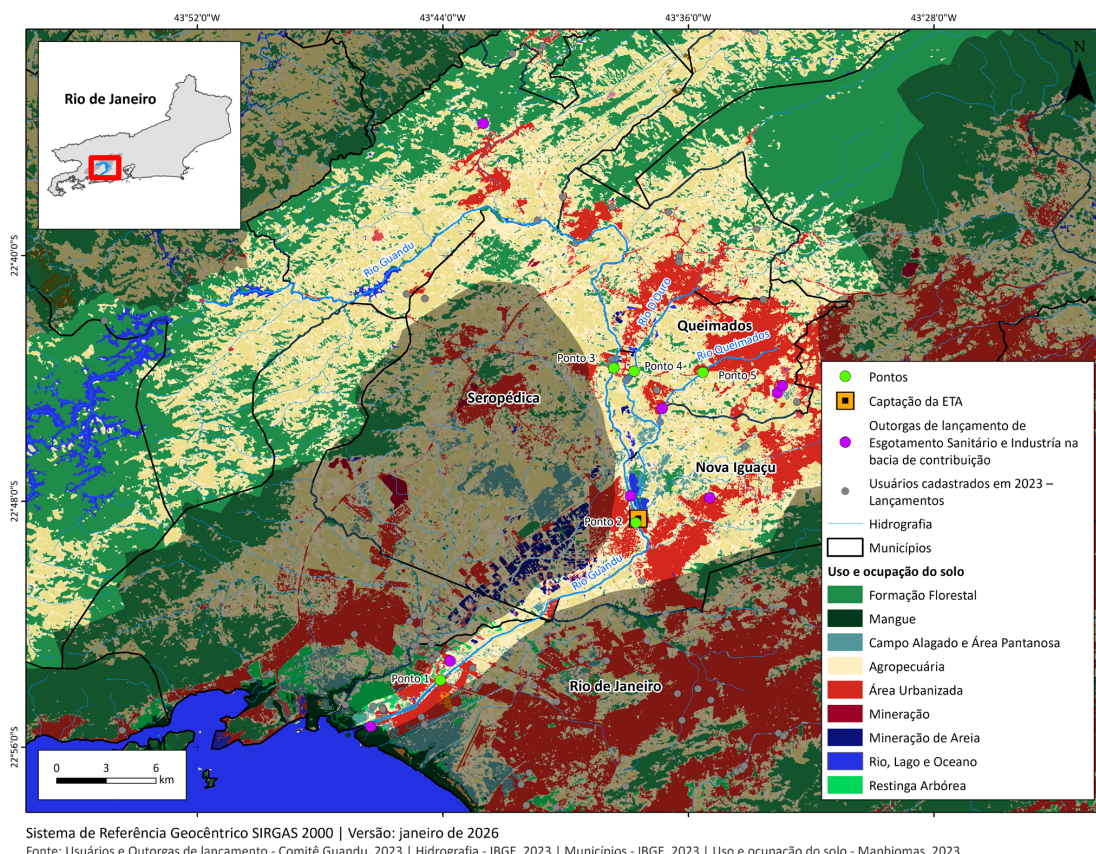


Figura 2. Mapa de uso e ocupação do solo da Bacia Hidrográfica do Rio Guandu, Rio de Janeiro, 2025.

A Bacia Hidrográfica do Rio Guandu abriga o Sistema Guandu, responsável por uma das maiores estações de tratamento de água do mundo em capacidade de produção, com vazão média de aproximadamente $43 \text{ m}^3/\text{s}$, sendo responsável pelo abastecimento de cerca de 9 milhões de habitantes da Região Metropolitana do Rio de Janeiro (Comitê do Guandu, 2018). Estima-se que a capacidade da ETA Guandu seja ampliada em cerca de 30% nos próximos anos, com o objetivo de atender ao crescimento da demanda por abastecimento público (Companhia Estadual de Águas e Esgotos do Rio de Janeiro, 2022).

A distribuição espacial da população na BHG é predominantemente urbana, com extensas áreas de alta densidade populacional concentradas sobretudo nos municípios de Rio de Janeiro, Nova Iguaçu, Queimados e Seropédica, em especial ao longo dos principais cursos d'água e próximos às áreas de captação.

Do total da população inserida na BHG, 97,6% residem em áreas urbanas e apenas 2,4% em áreas rurais, sendo o município do Rio de Janeiro o mais populoso, com cerca de 6,7 milhões de habitantes (aproximadamente 74% do total), enquanto Vassouras apresenta o menor contingente populacional, com cerca de 34 mil habitantes (0,4%) (Comitê do Guandu, 2018). A Figura 3 reforça esse cenário ao evidenciar a sobreposição entre áreas de maior densidade populacional e os cursos hídricos da bacia, indicando o potencial aumento das cargas poluidoras difusas e pontuais, especialmente em regiões com baixa cobertura de tratamento de esgoto.

Além da pressão urbana, a BHG concentra três importantes polos industriais, correspondentes aos Distritos Industriais de Santa Cruz (10 indústrias), Queimados (16 indústrias) e Campo Grande (14 indústrias) (Rio de Janeiro, 2023). De acordo com dados do Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Guandu, a região possui cadastro de 44 pontos de lançamento de esgoto sanitário, 1 ponto associado à criação animal e 46 pontos de lançamento de efluentes industriais, evidenciando a diversidade e a magnitude das fontes potenciais de contaminação na bacia (Comitê do Guandu, 2018).

Paralelamente à sua importância estratégica para o abastecimento, a bacia está submetida a elevadas pressões antrópicas, associadas principalmente à alta densidade populacional e à insuficiente cobertura de saneamento básico em diversos municípios. Estima-se o lançamento diário de dezenas a mais de 100 milhões de litros de esgoto doméstico ao longo da bacia, o que contribui de forma significativa para a degradação da qualidade das águas. O índice de tratamento de esgoto gerado nos municípios inseridos na Bacia Hidrográfica do Rio Guandu é, em geral, baixo. De acordo com o Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Guandu (2018), o município do Rio de Janeiro apresenta o maior percentual

de esgoto tratado, correspondente a 44,5% do total gerado, seguido por Miguel Pereira (27,5%), Pirai (15,9%), Vassouras (3,8%) e Nova Iguaçu (0,1%). Nos demais municípios que compõem a BHG, não há registro de tratamento de esgoto sanitário, evidenciando a limitada cobertura de saneamento na região e seu potencial contribuição para a degradação da qualidade da água.

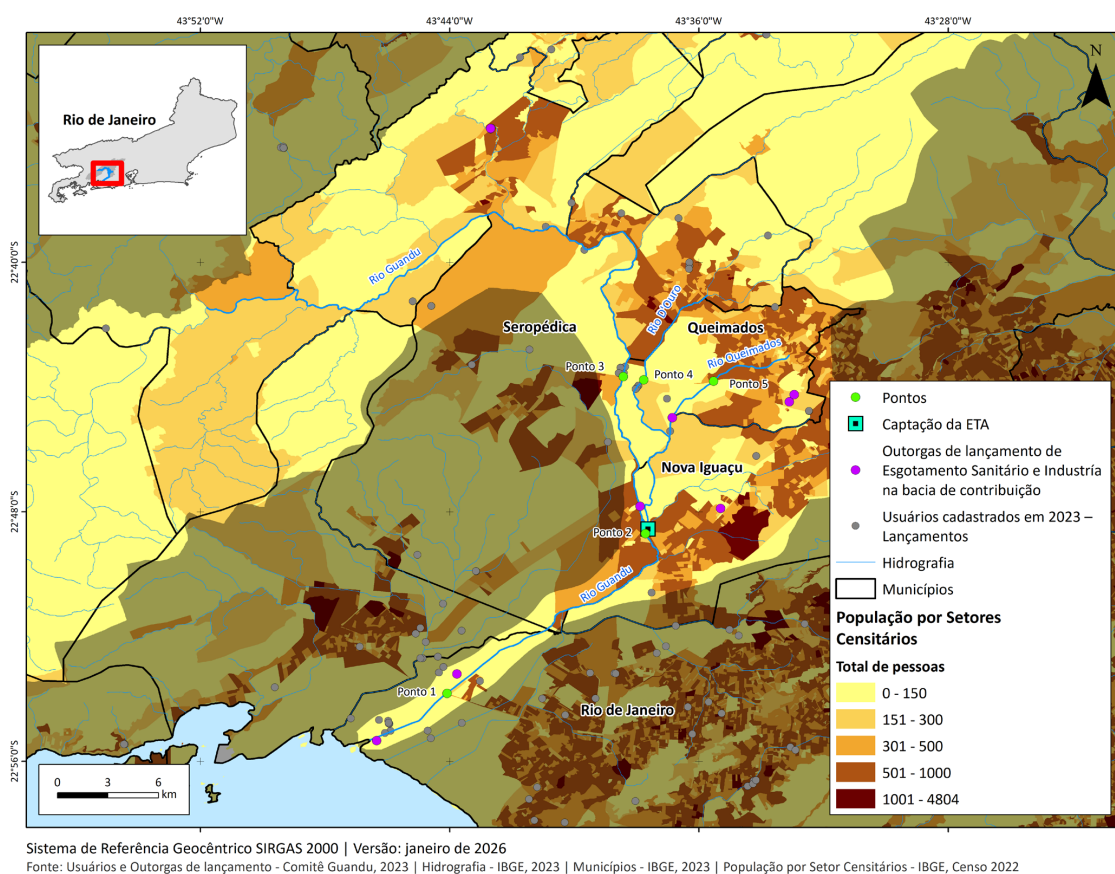


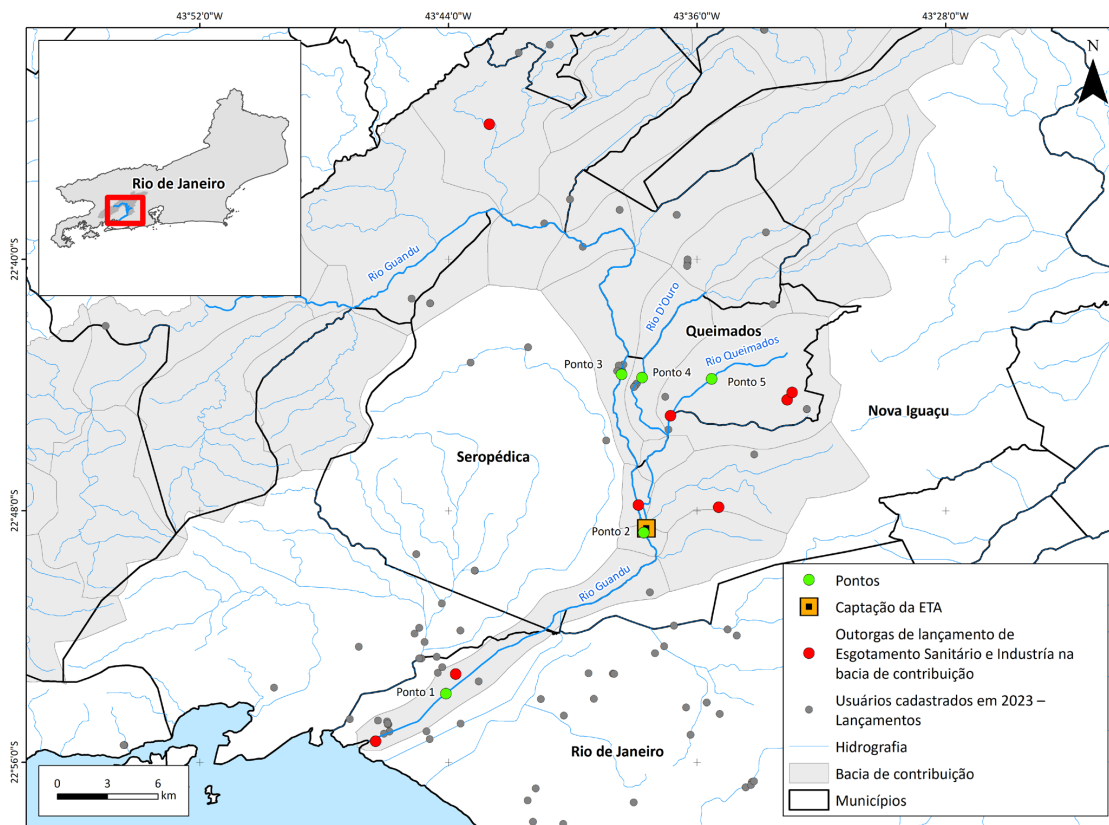
Figura 3. Mapa populacional da Bacia Hidrográfica do Rio Guandu, Rio de Janeiro, 2025.

A Figura 4 apresenta a distribuição espacial dos pontos de lançamento de efluentes ao longo da bacia, bem como as outorgas de lançamento de efluentes concedidas na bacia de contribuição dos cursos d'água onde foram realizados os pontos de coleta. No total, são identificadas oito outorgas de lançamento de efluentes que interferem diretamente nos pontos amostrados, sendo uma associada ao esgotamento sanitário e sete vinculadas a atividades industriais. Destaca-se que o maior lançamento industrial localiza-se a pouco mais de 1 km a montante do Ponto 01, apresentando vazão média de 75,5 m³/h, proveniente do empreendimento Fábrica Carioca de Catalisadores S.A., atuante na fabricação de catalisadores e aditivos para a indústria de refino de petróleo.

Pontos Amostrais

Foram definidos 5 pontos amostrais ao longo da bacia hidrográfica do Rio Guandu (Figura 5): Ponto 1, no Rio Guandu, antes do polo industrial de Santa Cruz, na rodovia BR 101 (Km 394); Ponto 02, na rodovia BR 465, no limite entre os municípios de Seropédica e Nova Iguaçu, ponto este a montante da ETA Guandu; Ponto 03, na rodovia BR 116 (Km 205), após o polo Industrial de Japerí, também no rio Guandu; Ponto 4, localizado no Rio D'Ouro, próximo ao desemboque com o rio Guandu, na rodovia BR 116 (Km 204); e Ponto 5, localizado no rio Queimados, próximo ao desemboque com o rio Guandu, na rodovia BR 116 (Km 200). Pelo mapa na Figura 4 é possível verificar: próximo ao Ponto 1, o lançamento de esgotamento sanitário é predominante; próximo ao Ponto 2, é predominante o lançamento industrial; e próximo aos Pontos 3, 4 e 5, são encontrados lançamentos industriais e de esgotamento sanitário. Ressalta-se que, o ponto de lançamento de criação animal está localizado próximo ao Ponto 3.

As coletas das amostras para monitoramento da qualidade da água e enumeração de bacteriófagos foi realizada entre os meses de janeiro e julho de 2023, em periodicidade mensal.



Sistema de Referência Geocêntrico SIRGAS 2000 | Versão: janeiro de 2026

Fonte: Usuários e Outorgas de lançamento - Comitê Guandu, 2023 | Hidrografia - IBGE, 2023 | Bacias de contribuição - ANA, 2012 | Municípios - IBGE, 2023

Figura 4. Identificação de pontos de lançamentos de efluentes na Bacia Hidrográfica do Rio Guandu, Rio de Janeiro, 2025.

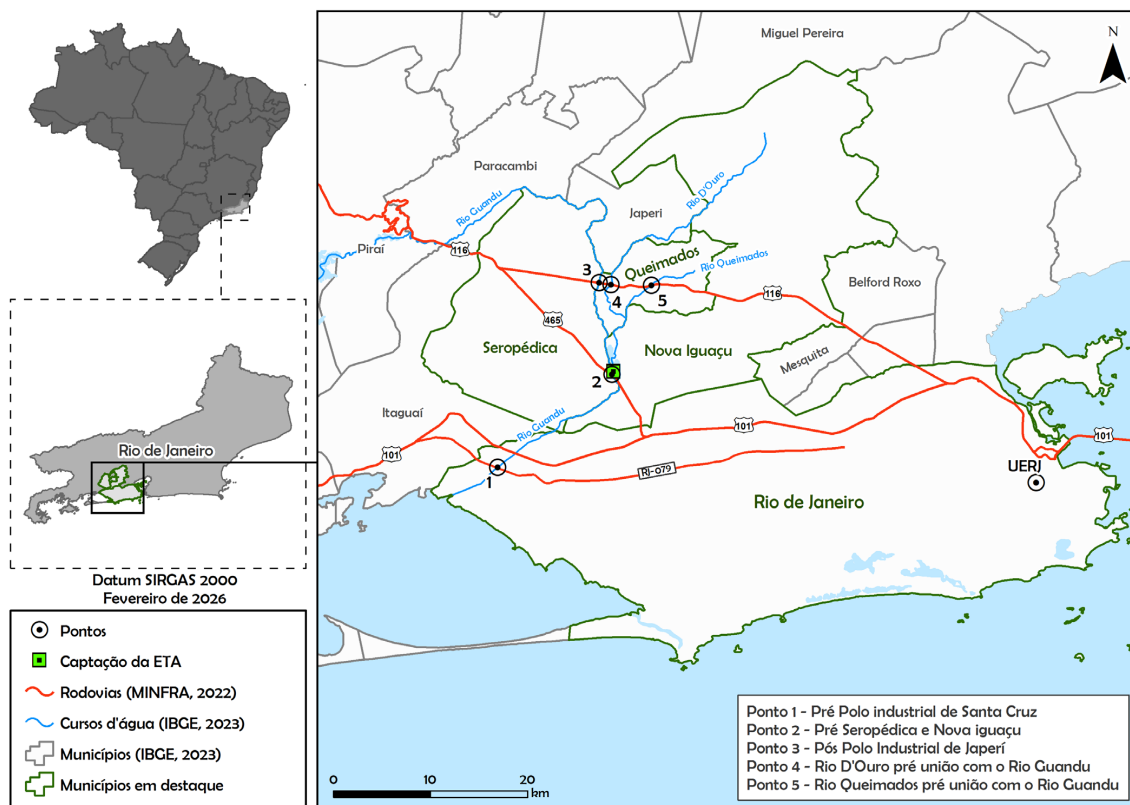


Figura 5. Localização de pontos de coleta na Bacia Hidrográfica do Rio Guandu, Rio de Janeiro, 2025.

Análises físico-químicas

Os parâmetros físicos e químicos da qualidade da água analisados foram: (a) turbidez; (b) temperatura; (c) pH; (d) condutividade elétrica; (e) oxigênio dissolvido. Esses parâmetros foram medidos em campo e em cada um dos pontos durante as coletas, utilizando a sonda multiparamétrica, da marca HORIBA e modelo U-52.

Análises microbiológicas

Detecção e quantificação de bacteriófagos

A detecção e enumeração de colifagos em amostras de água foi realizada pelo método de cultivo celular, conforme metodologia da dupla camada de ágar seguindo o Método 1602 da United States Environmental Protection Agency (2001) e as adaptações descritas em Ives e Rose (2012). Para as análises, foram utilizadas as seguintes cepas (bactérias hospedeiras): *Escherichia coli* CN-13 (ATCC 700609) para quantificação de colifagos somáticos; *Escherichia coli* Famp (ATCC 700891) para a quantificação de colifagos F-específicos. As cepas foram fornecidas pela Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF). Em resumo, foram adicionados 1,0 mL da amostra (previamente filtrada em filtro de 0,22 µm de porosidade) e 1,0 mL da cepa da bactéria hospedeira (em fase log de crescimento, i.e., absorvância de 0,30-0,33 a 620 nm) a 2,5 mL de meio ágar semissólido (ssTSA). Após agitação, a mistura foi vertida para placas contendo meio ágar sólido (TSA), que foram então incubadas a 36 ± 1 °C por 22-24 horas. Após o período de incubação realizou-se a contagem de todas as placas de lise celular formadas no ágar. As análises foram realizadas em duplicata, e as concentrações de fagos reportados como unidades formadoras de placa por 100 mL (ufp/100mL).

Análise e quantificação de coliformes termotolerantes

A quantificação de *Escherichia coli* foi realizada de acordo com a metodologia descrita no *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (American Public Health Association, 2017), baseada na técnica de filtração em membrana de nitrato de celulose com porosidade de 0,45 µm, seguida de incubação em meio seletivo para a identificação bioquímica das colônias características. Após a filtração das amostras, a membrana foi transferida para placas de Petri contendo meio ágar TBX e incubada a 44 ± 2 °C por um período de 22 a 24 horas. Ao final do período de incubação, foram quantificadas as colônias de coloração azul-escuro, violeta ou verde. As análises foram realizadas em duplicata, e os resultados foram expressos como unidades formadoras de colônia por 100 mL (UFC/100 mL).

Análise Estatística para a Correlação de Resultados

Os resultados da quantificação de colifagos e de *Escherichia coli* no período de estudo foram, inicialmente, sistematizados utilizando técnicas da estatística descritiva (valores médios, desvio-padrão, coeficiente de variação). Então, foi realizada análise estatística dos dados, empregando o teste não paramétrico de Kruskal-Wallis, que permitiu identificar a existência de diferenças significativas entre as medianas de concentrações dos indicadores avaliados nos cinco pontos de coleta. Nos resultados em que foram observadas diferenças significativas (p -valor < 0,05), aplicou-se o teste de Mann-Whitney como procedimento de comparações múltiplas, que nos permitiu analisar as discrepâncias entre as concentrações.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Monitoramento dos Parâmetros Físico-químicos da qualidade da água

O monitoramento físico-químico foi realizado em campo, através da utilização de sonda multiparamétrica. A Tabela 1 apresenta estatística descritiva dos resultados obtidos. No geral, os parâmetros que mais variaram foram a condutividade e a turbidez. Enquanto o pH variou entre 5,33 e 7,43, os valores médios dos cinco pontos monitorados variaram entre 6,04 e 6,79 (Tabela 1).

A condutividade elétrica é um parâmetro importante para identificação de qualidade da água, podendo detectar alterações nos corpos hídricos causada pela alteração de temperatura, precipitação, descarga irregular ou indevida de contaminantes no corpo d'água, sendo assim, uma indicação indireta de qualidade da água. Ambientes que apresentam valores superiores a 100 µS/cm, indicam ambientes impactados (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 2023; Companhia Ambiental do Estado de São Paulo, 2022). Os valores monitorados apresentaram média entre 10 e 603 µS/cm, indicando, assim, impacto ambiental nos corpos hídricos estudados (Tabela 1). O Ponto 5, localizado no rio Queimados,

demonstra o maior impacto, com condutividade elétrica média de 409 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Seguido pelo Ponto 4, no rio D'Ouro, que registrou valor médio de 125 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

As médias da turbidez nos pontos amostrados variaram entre 28,9 e 97,7 UNT (Tabela 1), sendo o Ponto 5 (rio Queimados) o mais crítico, com média de 97,7 UNT. Por se tratar de uma área industrial, estima-se que ocorra no curso hídrico o despejo inadequado de efluentes industriais e domésticos.

Nesse contexto, é possível que seja necessária a implementação de manobras operacionais na ETA Guandu, como o aumento nas dosagens de coagulantes e auxiliares, a fim de garantir a conformidade da água distribuída à população do Rio de Janeiro de acordo com o Padrão de Potabilidade estipulados na Portaria GM/MS nº888/2021 (Brasil, 2021).

Tabela 1. Caracterização físico-química da qualidade da água nos pontos de coleta da bacia hidrográfica do rio Guandu.

Parâmetro	Ponto	N	Média	Mediana	Mínimo	Máximo	Desvio Padrão
Turbidez (UNT)	P1	6	29,3	29,7	13,3	44,0	13,8
	P2	7	28,9	30,5	2,4	71,1	24,4
	P3	7	73,5	55,0	4,2	214,0	75,2
	P4	7	57,1	46,7	16,2	112,0	31,1
	P5	7	97,7	109,0	58,3	127,0	25,6
pH	P1	6	6,04	5,65	5,33	7,13	0,79
	P2	7	6,58	6,77	5,96	7,16	0,48
	P3	7	6,79	6,81	6,20	7,43	0,46
	P4	7	6,62	6,58	6,17	7,12	0,34
	P5	7	6,78	6,97	6,06	7,27	0,42
Condutividade ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	P1	6	99	99	82	112	10
	P2	7	90	101	61	109	20
	P3	7	68	80	10	109	33
	P4	7	125	109	59	213	57
	P5	7	409	467	208	603	150
Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	P1	6	24,7	25,2	21,8	27,2	2,5
	P2	7	24,8	26,2	21,6	27,2	2,5
	P3	7	25,8	26,3	21,5	28,7	2,7
	P4	7	24,9	26,2	21,0	28,0	2,9
	P5	7	27,6	29,0	22,3	30,6	3,1

Monitoramento microbiológico

A Figura 6 apresenta a estatística descritiva dos resultados do monitoramento microbiológico dos pontos de amostragem ao longo da Bacia Hidrográfica do Rio Guandu. Os indicadores microbiológicos no Rio Guandu e seus afluentes apresentaram uma média de *Escherichia coli* variando entre 2,65 e 4,74 \log_{10} ufc/100mL. O Ponto 3 registrou as menores concentrações de *E. coli*, oscilando entre 2,37 e 2,88 \log_{10} ufc/100mL. Por outro lado, o Ponto 5 exibiu as maiores concentrações, variando entre 3,59 e 5,47 \log_{10} ufc/100mL. Tais resultados do Ponto 5 são associados ao fato do rio Queimados possuir qualidade da água comprometida desde as suas nascentes, devido ao lançamento inadequado de efluentes domésticos e industriais do polo industrial de Queimados (Ramos, 2021; Serber, 2005; Agrar Consultoria e Estudos Técnicos, 2009).

De acordo com Serber (2005), os altos valores de bactérias indicadoras, em todos os pontos, estão relacionados ao crescimento populacional e industrial desordenado na Bacia, bem como aos lançamentos de efluentes não-tratados, depósitos clandestinos de resíduos sólidos e extração ilegal de areia. Além disso, a poluição da bacia é potencializada pelo encontro do rio Guandu com os rios Poços e Queimados e Ipiranga e pela crescente poluição do rio Paraíba do Sul.

A variabilidade dos *Escherichia coli* nos locais de amostragem é significativa, não evidenciando uma oscilação padrão durante o período de monitoramento.

Nogueira (2012), reforça em seu estudo na mesma bacia, que o parâmetro mais crítico de qualidade da água à montante da ETA GUNDU, é a presença de coliformes fecais, afetando assim, a distribuição adequada para a população da região metropolitana do Rio de Janeiro. Estudos realizados por Paula & Formiga-Johnsson (2023), apontam uma presença de coliformes fecais 100 vezes superior ao limite da resolução CONAMA 357/2005, reiterando a vulnerabilidade do sistema de abastecimento da Região Metropolitana do Rio de Janeiro (Brasil, 2005).

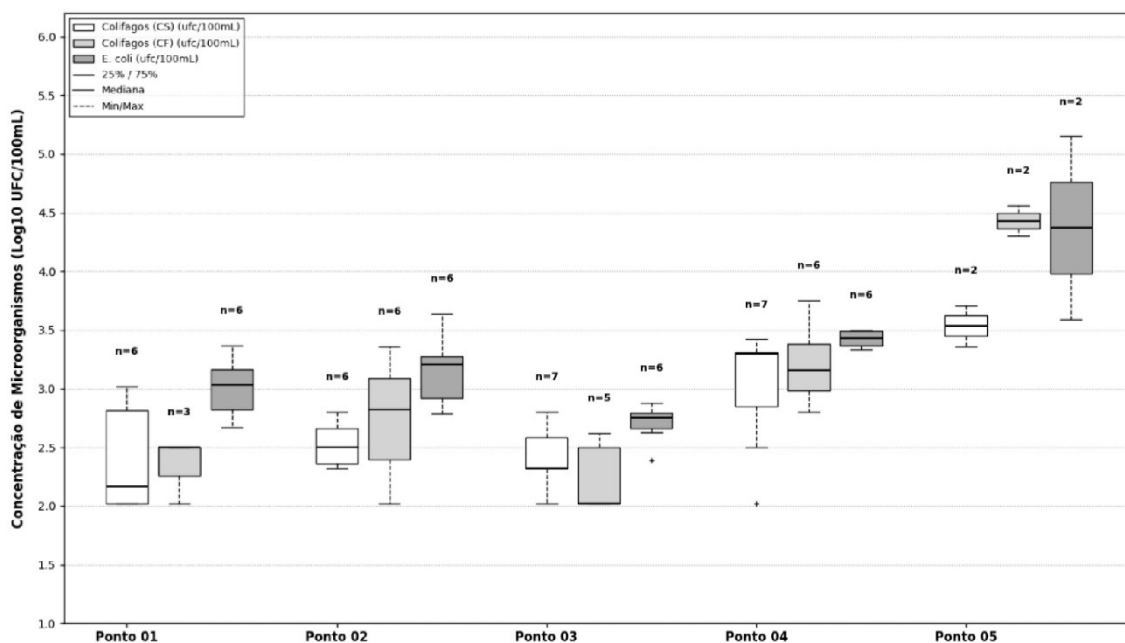


Figura 6. Concentração média (log₁₀) de *E. coli*, colifagos somáticos (CS), colifagos F-específicos (CF) nos cinco pontos de coleta da bacia hidrográfica do Rio Guandu, Rio de Janeiro, 2023.

Nos pontos coletados durante os sete meses, foi identificada a presença de bacteriófagos, sendo eles do tipo colifagos somáticos (CS), com concentrações médias entre 2,43 e 3,26 log₁₀ ufp/100mL, e colifagos F-específicos (CF), com concentrações médias entre 2,24 e 4,38 log₁₀ ufp/100mL. O Ponto 3 apresentou as menores médias durante todo o tempo de coleta: 2,43 log₁₀ ufp/100mL para CS e 2,24 log₁₀ ufp/100mL para CF. Já o Ponto 5 apresentou concentrações médias mais altas: 3,26 log₁₀ ufp/mL para CS e 4,38 log₁₀ ufp/100mL para CS. O Ponto 4 apresentou concentrações intermediárias com valores entre 2,02 e 3,41 log₁₀ ufp/100mL para CS e entre 2,80 e 3,75 log₁₀ ufp/mL para CF. No geral, foram observados em todos os pontos e em todas as coletas, concentrações maiores de *E. coli* do que de bacteriófagos.

Nas análises realizadas, houve uma grande variação na detecção dos colifagos, onde em alguns pontos monitorados não foi detectada a presença de colifagos somáticos: Ponto 1 (coletas 1, 5 e 7); Ponto 2 (coletas 5 e 7); Ponto 3 (coleta 6); Pontos 4 (coletas 2 e 5). No que se refere a presença de colifagos F-específicos, não foi detectada a presença nos Pontos 1 (coletas 1 e 6), 2 (coleta 7) e 3 (coletas 6 e 7).

De modo geral, as concentrações de *E. coli* foram superiores às observadas para colifagos somáticos e F-específicos em todos os pontos amostrais. Para os três grupos de microrganismos avaliados, o Ponto 5 apresentou os maiores valores médios, destacando-se como o trecho mais impactado da área de estudo, seguido pelo Ponto 4. Em contraste, os Pontos 1, 2 e 3 exibiram concentrações médias semelhantes entre si.

Esse padrão espacial corrobora as observações de Mothé (2024), que atribui a degradação da qualidade da água do rio Queimados ao comprometimento ambiental desde suas nascentes até a confluência com o rio Guandu.

Destaca-se, nesse contexto, o Ponto 3, que apresentou os menores valores médios de *E. coli* e colifagos F-específicos, configurando-se como a área com melhores condições microbiológicas entre os pontos analisados.

Entretanto, quando os grupos de microrganismos foram analisados isoladamente (*E. coli*, colifagos somáticos e colifagos F-específicos), diferenças estatisticamente significativas foram observadas apenas para os colifagos F-específicos entre os Pontos 3, 4 e 5 (comparações múltiplas entre P1-P5: Kruskal-Wallis, $p = 0,04437$; P3 < P4: Mann-Whitney, $p = 0,01459$; P3 < P5: Mann-Whitney, $p = 0,02164$).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A presente pesquisa permitiu a avaliação integrada de parâmetros físico-químicos e microbiológicos no rio Guandu e em dois de seus principais afluentes, os rios Queimados e D'Ouro, ampliando a compreensão da qualidade da água em uma bacia de elevada relevância para o abastecimento público. A abordagem metodológica adotada demonstrou potencial de aplicação em outras bacias hidrográficas, inclusive naquelas que contribuem para o sistema Guandu por meio de transposições.

Os resultados evidenciaram concentrações de *Escherichia coli* superiores às de bacteriófagos em todos os pontos amostrados, com elevada carga bacteriana em determinados trechos, o que, em algumas situações, dificultou a quantificação adequada dos microrganismos. Ainda assim, os bacteriófagos mostraram-se indicadores sensíveis de contaminação fecal de origem humana, configurando-se como ferramentas complementares aos indicadores microbiológicos tradicionais.

A análise integrada de indicadores bacterianos e virais reforçou a constatação de contaminação fecal significativa nos corpos d'água avaliados e evidenciou implicações diretas para a gestão de recursos hídricos e para o saneamento. A elevada carga microbiológica observada, especialmente nos afluentes mais impactados, impõe desafios operacionais às estações de tratamento de água, podendo demandar maior rigor nos processos de controle e ajustes nas estratégias de tratamento. Nesse cenário, a incorporação de indicadores microbiológicos não convencionais no monitoramento pode aprimorar a avaliação do risco sanitário, subsidiar a priorização de investimentos e fortalecer as ações de proteção de mananciais em bacias submetidas a intensa pressão antrópica, como a do rio Guandu.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro (FAPERJ) pelo apoio financeiro concedido para a realização deste estudo.

REFERÊNCIAS

- Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico – ANA. (2019). *Atlas esgotos: despolição de bacias hidrográficas*. Brasília: ANA.
- Agrar Consultoria e Estudos Técnicos – AGRAR. (2009). *EIA/RIMA das obras de proteção da tomada d'água da CEDAE no rio Guandu: relatório final*. Rio de Janeiro: Nova CEDAE/Governo do Estado do Rio de Janeiro.
- American Public Health Association – APHA. (2017). *Standard methods for the examination of water and wastewater* (23rd ed.). Washington, D.C.: APHA.
- Ballesté, E., Blanch, A. R., Mendez, J., Sala-Comorera, L., Maunula, L., Monteiro, S., Farnleitner, A. H., Tiehm, A., Jofre, J., & García-Aljaro, C. (2021). Bacteriophages are good estimators of human viruses present in water. *Frontiers in Microbiology*, *12*, 619495. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.619495>
- Brasil. Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. (2005). Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005. *Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil*, Brasília. Recuperado em 22 de agosto de 2025, de <https://www.icmbio.gov.br/cepsul/images/stories/legislacao>
- Brasil. (2021, 14 de julho). Decreto Legislativo nº 25, de 13 de julho de 2021. *Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil*, Brasília. Recuperado em 22 de agosto de 2025, de <https://legis.senado.leg.br/norma/34284433>
- Brasil. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. (2024). *Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS): diagnóstico dos serviços de água e esgotos – 2023*. Brasília.
- Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Guandu. (2018). *Plano de Recursos Hídricos da Região Hidrográfica II – Guandu*. Rio de Janeiro.
- Comitê do Guandu. (2018). *Relatório Executivo do Plano Estratégico de Recursos Hídricos das Bacias Hidrográficas do rio Guandu, da Guarda e Guandu Mirim*. Rio de Janeiro.
- Companhia Ambiental do Estado de São Paulo – CETESB. (2022). *Relatório de qualidade das águas interiores no Estado de São Paulo – 2022*. São Paulo.
- Companhia Estadual de Águas e Esgotos do Rio de Janeiro – CEDAE (2022). *Diagnóstico da qualidade da água e monitoramento microbiológico do manancial Guandu*. Rio de Janeiro.
- Dias, E., Ebdon, J., & Taylor, H. (2018). The application of bacteriophages as novel indicators of viral pathogens in wastewater treatment systems. *Water Research*, *129*, 172-179. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2017.11.022>
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA. (2023). *Condutividade elétrica da água: importância no monitoramento de recursos hídricos*. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente.
- Ferreira, V., Magalhães, R., Teixeira, P., Castro, P. M. L., & Calheiros, C. S. C. (2022). Occurrence of fecal bacteria and zoonotic pathogens in different water bodies: supporting water quality management. *Water*, *14*(5), 780. <https://doi.org/10.3390/w14050780>
- Instituto Estadual do Ambiente – INEA. (2014). *Plano Estadual de Recursos Hídricos do Rio de Janeiro*. Rio de Janeiro.
- Instituto Estadual do Ambiente – INEA. (2024). *Nota técnica de refinamento dos limites das regiões hidrográficas – parte I*. Rio de Janeiro.
- Instituto Trata Brasil. (2023). *Benefícios econômicos e sociais da expansão do saneamento no Brasil*. São Paulo.
- Ives, R., & Rose, J. (2012). *Standard operating procedure for plaque assay: analysis for coliphage*. East Lansing: Michigan State University.

- Kelmer, G. A. R., Ramos, E. R., & Dias, E. H. O. (2023). Coliphages as viral indicators in municipal wastewater: a comparison between the ISO and the USEPA methods based on a systematic literature review. *Water Research*, 230, 119579. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2023.119579>
- Mothé, R. B. (2024). *Monitoramento ambiental da bacia hidrográfica do rio Guandu* (Dissertação de mestrado). Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- Mothé, R. B., Argolo, A. dos S., Gomes, C., Cruz, M. E. L., Nogueira, V. G., Silva, G. F. S., Andrade, R. C., & Netto, A. T. (2025). Avaliação integrada da qualidade da água na bacia hidrográfica do rio Guandu: parâmetros físico-químicos, ecotoxicológicos e índice de qualidade da água. *Revista Internacional de Ciências*, 15(2), 143-159. <https://doi.org/10.12957/ric.2025.95565>
- Nogueira, M. A. R. B. (2012). *Variabilidade climática, disponibilidade hídrica e ETA Guandu: uma análise qualitativa de vulnerabilidade* (Dissertação de mestrado). Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- Oliveira, C. de S., Gomes, R. S., Fernandes, A. N., Santos, L. N., & Neves, R. A. F. (2025). *Microplastic contamination in the Guandu River basin: the water supply reservoir of Rio de Janeiro metropolitan region (Southeastern Brazil)*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Pan American Health Organization – PAHO. (2023). Wastewater-based epidemiology as a tool for surveillance of fecal-oral diseases in Latin America (PAHO Bulletin, No. 47). Washington, D.C. Recuperado em 22 de agosto de 2025, de <https://iris.paho.org/>
- Paula, I. X., & Formiga-Johnsson, R. M. (2023). Segurança hídrica para abastecimento urbano perante condições ambientais e qualidade da água do manancial: o caso da ETA Guandu, RMRJ. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, 28, e20220275. <https://doi.org/10.1590/s1413-415220220275>
- Ramos, L. T. A. (2021). *Diagnóstico das principais pressões antrópicas que afetam a qualidade da água na Bacia Hidrográfica do Rio Guandu* (Dissertação de mestrado). Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- Rio de Janeiro. Plano de Saneamento e Tratamento Urbano – PSTU. (2023). *Diagnóstico e Perspectivas para o Tratamento de Esgoto na Bacia do Rio Guandu*. Rio de Janeiro.
- Runa, V., Wenk, J., Bengtsson, S., Jones, B. V., & Lanham, A. B. (2021). Bacteriophages in biological wastewater treatment systems: occurrence, characterization and function. *Frontiers in Microbiology*, 12, 730071. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.730071>
- Sabar, M. A., Honda, R., & Haramoto, E. (2022). CrAssphage as an indicator of human-fecal contamination in water environment and virus reduction in wastewater treatment. *Water Research*, 221, 118827. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2022.118827>
- Serber, J. B. (2005). *Diagnóstico ambiental das atividades do pólo industrial de Queimados como subsídio ao termo de ajustamento de conduta na gestão sustentável da bacia hidrográfica do Rio Guandu, RJ* (Dissertação de mestrado). Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- Sotero-Martins, A., Eloi, C. O. S., Handam, N., Tostes, E., & Carvajal, E. (2024). Crise hídrica no estado do Rio de Janeiro: riscos e efeitos da presença de geosmina e 2-metilisoborneol no manancial de abastecimento do Rio Guandu. In N. B. Handam & A. Sotero-Martins (Eds.), *Saneamento, saúde e ambiente* (Vol. 1). Belo Horizonte: Editora Poisson.
- Sotero-Martins, A., Ferrão-Filho, A. D. S., Santos, J. A. A., Moura, P. G., Handam, N. B., Kotowski-Filho, N. P., Fonseca, R. J. M., & Carvajal, E. (2021). Quality of raw water in the Guandu Basin of Rio de Janeiro state during water crisis of 2020. *Revista Ambiente & Água*, 16(4), e2703.
- Toribio-Avedillo, D., Díez, J., Ballester, S., Rodríguez-Lázaro, D., Moreno, L., Moreno, A., Lucena, F., & Blanch, A. R. (2021). Bacteriophages as fecal pollution indicators. *Applied and Environmental Microbiology*, 13(6), 1089.
- United States Environmental Protection Agency – USEPA. (2001). *Method 1602: male-specific (F+) and somatic coliphage in water by single agar layer (SAL) procedure*. Washington, D.C.: USEPA.
- United States Environmental Protection Agency – USEPA. (2015). *Review of coliphages as possible indicators of fecal contamination for ambient water quality*. Washington, D.C.: USEPA.
- World Health Organization – WHO. (2017). *Guidelines for drinking-water quality: fourth edition incorporating the first addendum*. Geneva.
- World Health Organization – WHO. (2022). *WHO guidelines on E. coli and other faecal indicators in bathing and recreational water*. Geneva. Recuperado em 22 de agosto de 2025, de <https://www.who.int/publications/i/item/9789240045064>
- Zandaryaa, S., & Mateo-Sagasta, J. (2018). Organic matter, pathogens and emerging pollutants. In Organization for Economic Co-operation and Development (Ed.), *The effects of farming on water quality and quantity: a global assessment* (Chap. 5, pp. 135-168). Paris: OECD Publishing.

Contribuições dos autores:

Mariana Matias Mattos: concepção e delineamento do estudo; revisão da literatura; aquisição de dados; análise e interpretação dos dados; redação e elaboração do manuscrito; aprovação final da versão a ser submetida.

Rosane Cristina de Andrade: concepção e delineamento do estudo; revisão da literatura; aquisição de dados; análise e interpretação dos dados; redação e elaboração do manuscrito; aprovação final da versão a ser submetida.

Edgard Henrique Oliveira Dias: revisão da literatura; análise e interpretação dos dados; redação e elaboração do manuscrito; aprovação final da versão a ser submetida.