



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE FLORESTAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL

ERLEYVALDO BISPO DOS SANTOS

**VARIAÇÃO ESPAÇO-TEMPORAL DA QUALIDADE DA ÁGUA NA BACIA DO
RIO GUANDU: UMA ABORDAGEM VISANDO A GESTÃO DE RECURSOS
HÍDRICOS**

Prof. Dr. Marcel Carvalho Abreu
Orientador

SEROPÉDICA, RJ
Julho – 2023



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE FLORESTAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL

ERLEYVALDO BISPO DOS SANTOS

**VARIAÇÃO ESPAÇO-TEMPORAL DA QUALIDADE DA ÁGUA NA BACIA DO
RIO GUANDU: UMA ABORDAGEM VISANDO A GESTÃO DE RECURSOS
HÍDRICOS**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Florestal, como requisito parcial para a obtenção do Título de Engenheiro Florestal, Instituto de Florestas da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

Prof. Dr. Marcel Carvalho Abreu
Orientador

SEROPÉDICA, RJ
Julho – 2023

**VARIAÇÃO ESPAÇO-TEMPORAL DA QUALIDADE DA ÁGUA NA BACIA DO
RIO GUANDU: UMA ABORDAGEM VISANDO A GESTÃO DE RECURSOS
HÍDRICOS**

ERLEYVALDO BISPO DOS SANTOS

APROVADA EM: 21/07/2023

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. Marcel Carvalho Abreu – UFRRJ
Orientador

Prof. Dr. Albert Luiz Suhett – UFRRJ
Membro

Ma. Gabriela Miranda Teixeira – AGEVAP
Membro

Dedico essa monografia a minha avó, Josefa da Conceição Santos - *In Memoriam*.

AGRADECIMENTOS

Agradeço imensamente aos meus professores do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Sergipe, Campus São Cristóvão, que durante toda a minha passagem pela escola, me inspiraram a pensar além e ir em busca dos meus maiores sonhos, em especial a professora Sarita Campos, Manuela Messias, Carmem Lucia e Flavia Freitas, que foram uma forte inspiração para que eu saísse do interior de Sergipe e fosse estudar no Rio de Janeiro.

Agradeço a Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, por todo conhecimento que adquirir durante o período de graduação, foram muitos lugares, eventos, palestras, aulas, provas, desafios, publicações que pude estar marcando o nome da Universidade para o mundo. Agradeço ao professor Marcel Carvalho por ter sido um incrível orientador, sem a sua orientação, essa importante etapa não seria possível. Agradeço a banca examinadora, Gabriela Miranda Teixeira e Albert Luiz Suhett, pela disponibilidade e contribuição ao trabalho.

Agradeço aos meus pais, Gilvaneide da Conceição e Edvaldo Bispo, porque apesar do medo, da insegurança de ver um filho tão distante, me apoio durante toda a minha trajetória, com palavras de incentivo, palmas e orações, mesmo longe, até em outro continente, pude sentir toda essa vibração. Agradeço a minha irmã Naiara, por ser uma fonte de inspiração e aos meus tios, Márcio, Marcelo, Gevaldo e Bibi, minhas tias Girlene, Gilvanda, Piedade, Gidalva e aos meus primos, Geicielle, Geidson, Gabriele, Gabriel, Mateus, Ícaro, Miguel e a mais nova Maya, por toda força, abraços e motivações.

Agradeço ao meu avô Gileno, agricultor por muitos anos, se alfabetizou com mais de 60 anos e que mesmo, nunca tendo a oportunidade de estudar em uma Universidade, sabia da grandiosidade e do poder da educação. Agradeço a minha avó Josefa *In Memoriam*, a grande homenageada, quando esteve em vida sempre me motivou a estudar, teve a oportunidade de estudar até a 4ª série e mesmo assim, motivava cada neto a ir longe, sei que onde estiver, está torcendo e vibrando por mim.

Agradeço ao meu amigo Antony Felipe, por ter me acolhido na minha chegada no Rio e na Rural, meros colegas se tornou um irmão, agradeço por todas as conversas, incentivo e por ter junto comigo plantado a semente de Águas Resilientes em 2018, essa iniciativa que se tornou um grande projeto da minha vida. A Wesley Rodrigues, por todas as risadas, brincadeiras e incentivos, que me fez ativar a minha criatividade com o seu talento e a enxergar um mundo de uma outra maneira, muito mais artística e leve. A Vall Lloveras por toda palavra de inspiração, acolhimento, histórias, momentos únicos, e todos os abraços. A tia Leilde e a vovó Maria Carmem que me acolheram como um filho, me apoiaram e me fizeram sentir seguro como uma casa de mãe, além de todo carinho e do gosto maravilhoso que é a comida sergipana.

Agradeço por todas as pessoas que passaram durante a minha trajetória acadêmica dentro da Rural, das pessoas que compartilharam comigo a vivência no alojamento, dos diversos estágios que me fizeram evoluir enquanto profissional e no mundo da pesquisa, em especial para a equipe do Comitê Guandu de 2018-2020, que me ajudaram a entrar de cabeça na agenda de água e por serem uma fonte de inspiração para o surgimento de Águas Resilientes.

Agradeço a salinha azul da Universidade e a Viviane que me ensinou a filosofia do Yoga, me ajudando a compreender todas as dimensões da vida, o poder da palavra e da busca pelo autoconhecimento.

Do Chile, a Estocolmo, a Paris, aos Estados Unidos, na Columbia *University*, em Harvard & MIT, na ONU, no Brasil e no mundo, em outros lugares que estarei, foi tudo por causa de vocês, obrigado por esse apoio incondicional. As Águas Resilientes continuarão seguindo e navegando por novas águas.

RESUMO

A pesquisa tem como intuito realizar uma análise acerca da variação espaço-temporal da qualidade da água da bacia do rio Guandu, trazendo uma abordagem ligada à gestão de recursos hídricos. A bacia do rio Guandu tem uma grande relevância no cenário hídrico do Estado do Rio de Janeiro, uma vez que abastece a Região Metropolitana do Rio de Janeiro, que enfrenta diversos problemas relacionados à degradação ambiental. Pressupõe-se que os desafios ligados a qualidade da água estão interligados a poluição de origem urbana, industrial e agrícola, como o lançamento de esgoto sem tratamento adequado, resíduos industriais ou até mesmo o uso indiscriminado de agroquímicos. Realizar o monitoramento da qualidade da água é algo primordial para a tomada de decisão assertiva acerca de projetos mitigatórios que reverta a atual situação da bacia. Assim, foram coletadas informações públicas da Região Hidrográfica II, disponibilizada pelo Instituto Estadual do Ambiente (INEA) de todas as 28 estações de monitoramento existentes na bacia. Foi possível verificar e analisar a distribuição das estações na bacia, o número de observações por ano, o Índice de Qualidade da Água (IQA) e os parâmetros que o compõe no período seco e chuvoso. Os parâmetros analisados foram: Oxigênio Dissolvido (OD), Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), Fósforo Total (PT), poluição por nitrogênio (NX_3 - Nitrogênio nitrato (NX_3^-) ou amoniacal (NH_3)), Potencial Hidrogeniônico (pH), Turbidez (Turb), Sólidos Dissolvidos Totais (SDT), Temperatura da água (Tágua) e do Ar (Tar) e Coliformes Termotolerantes (Col). Foi feita a comparação dos parâmetros de qualidade da água e do índice de qualidade da água através do teste não paramétrico de Wilcoxon-Mann-Whitney, tanto no período seco como chuvoso. A situação da bacia do rio Guandu é preocupante, em questões de observações e estações ligadas ao monitoramento da água, uma vez que as estações estão concentradas nas porções sul e leste da bacia, assim como o nessas regiões há um maior número de coletas. A baixa densidade de estações é um problema no diagnóstico da qualidade da água. Acerca do enquadramento da água em relação a sua qualidade, de acordo com os valores de diversos parâmetros, ficou classificada entre “ruim” e “médio”. Foram identificadas diferenças entre as concentrações dos parâmetros de qualidade da água entre o período seco e chuvoso em diversas estações. Quando se compara os dados de todas as estações em conjunto, as diferenças aparecem para parâmetros relacionados ao NX_3 , OD e Turb. Este trabalho demonstra, portanto, a importância de ampliação na rede de coleta e na frequência de coleta de dados de qualidade da água e de esforços voltados ao controle da poluição de corpos hídricos. Sendo assim, a superação desses desafios requer ações coordenadas entre os atores que envolvem a bacia, sendo eles do setor público, privado ou a sociedade civil organizada na busca pela proteção e preservação dessa importante bacia hidrográfica.

Palavras-chave: Sazonalidade; Gestão de Recursos Hídricos; Bacia do rio Guandu; Qualidade da Água.

ABSTRACT

The research aims to conduct an analysis of the spatiotemporal variation in water quality within the Guandu River basin, with a focus on water resource management. The Guandu River basin holds significant importance in the water scenario of Rio de Janeiro State, as it supplies water to the Metropolitan Region of Rio de Janeiro, which faces various environmental degradation issues. It is assumed that water quality challenges are linked to urban, industrial, and agricultural pollution, such as untreated sewage discharge, industrial waste, or indiscriminate use of agrochemicals. Monitoring water quality is essential for making informed decisions about mitigating projects to reverse the current situation of the basin. To achieve this, public information from Hydrographic Region II was collected, made available by the State Institute of Environment (INEA), from all 28 existing monitoring stations in the basin. The study involved examining the distribution of stations in the basin, the number of observations per year, the Water Quality Index (WQI), and its components during both dry and rainy periods. The parameters analyzed included Dissolved Oxygen (DO), Biochemical Oxygen Demand (BOD), Total Phosphorus (TP), nitrogen pollution (NX3 - nitrate (NX3-) or ammonia (NH₃)), Hydrogen Potential (pH), Turbidity (Turb), Total Dissolved Solids (TDS), Water Temperature (T_{água}), Air Temperature (T_{ar}), and Thermotolerant Coliforms (Col). A comparison of water quality parameters and the Water Quality Index was performed using the non-parametric Wilcoxon-Mann-Whitney test for both dry and rainy periods. The situation of the Guandu River basin is concerning, especially regarding the limited number of observation stations for water monitoring, which are predominantly concentrated in the southern and eastern portions of the basin. These regions also have a higher number of data collections. The low density of monitoring stations poses a problem for water quality assessment. Regarding water quality classification based on various parameter values, it ranged from "poor" to "fair." Differences in water quality parameter concentrations between the dry and rainy periods were identified at various stations, particularly concerning NX3, DO, and Turbidity. This study emphasizes the importance of expanding the data collection network and increasing the frequency of water quality data collection and pollution control efforts in water bodies. Therefore, overcoming these challenges requires coordinated actions among stakeholders involved in the basin, including the public sector, private sector, and organized civil society, in pursuit of the protection and preservation of this vital hydrographic basin.

Keywords: Seasonality; Water Resource Management; Guandu River Basin; Water Quality.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	1
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	2
2.1 Parâmetros de qualidade da água.....	2
2.2 Influência da sazonalidade pluviométrica na qualidade da água.....	4
2.3 Bacia Hidrográfica do Rio Guandu.....	4
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	6
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	8
4.1 Disponibilidade de dados de qualidade da água.....	8
4.2 Comparação do período seco e chuvoso.....	16
4.3 Situação da qualidade da água na bacia do rio Guandu.....	19
5 CONCLUSÕES.....	20
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	21

1. INTRODUÇÃO

A degradação dos recursos hídricos, especialmente devido a influência antrópica (GROTT et al., 2018), ressalta a urgência de aprimoramento na gestão das águas, que envolve o reconhecimento, a quantificação e incorporação da importância da água quanto recurso (SILVA, et al., 2019). Essas informações auxiliam na tomada de decisão, sendo crucial para atingir os objetivos de desenvolvimento sustentável, proposto pela Organização das Nações Unidas (UNESCO, 2021). Nos últimos 40 anos, foi constatado um aumento no uso da água em de aproximadamente 1% ao ano e espera-se que essa taxa se mantenha nos próximos 40 anos (UNESCO, 2023). Sendo a bacia hidrográfica a unidade de planejamento e gestão de recursos hídricos (BRASIL, 1997), a gestão da bacia vem se tornando cada vez mais desafiadora, exatamente devido a redução da disponibilidade de água como recurso hídrico causada pela urbanização, intensificação da industrialização, produção de energia (YE et al., 2018; GROTT et al., 2018) e da própria agricultura (CARVALHO et al., 2021), além dos efeitos das mudanças climáticas (PENG et al., 2023).

O monitoramento da qualidade da água em escala espacial e temporal é de extrema importância (GROTT et al., 2018; WU et al., 2018) para guiar os tomadores de decisão, pois sem a realização do monitoramento e a avaliação dos dados, a capacidade de ajustes nos instrumentos de gestão com base nas informações coletadas se torna extremamente limitada (WMO, 2008). Desse modo, enfatizando que a falta de condições para o planejamento dos recursos hídricos, juntamente com medidas inadequadas de gestão, pode resultar em consequências negativas aos recursos hídricos, acarretando perdas de cunho econômico, social e ambiental (PEREIRA, BARBIEIRO, QUEVEDO, 2020).

A Resolução CONAMA 357/2005 (BRASIL, 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”. Para cada uso, à água deve apresentar características microbiológicas, físicas, químicas e radioativas que atendam a um padrão estabelecido. Nesse sentido, as estações de monitoramento de qualidade da água, auxiliam no levantamento de dados sobre os parâmetros que são utilizadas para determinar a qualidade da água na bacia. Os parâmetros de qualidade da água comumente utilizados no monitoramento são o Oxigênio Dissolvido (OD), Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), Fósforo Total (P_T), Nitrogênio nitrato (NO_3^-) ou amoniacal (NH_3), Potencial Hidrogeniônico (pH), Turbidez (Turb), Sólidos Dissolvidos Totais (SDT), Temperatura da água (T_{água}) e do Ar (Tar) e Coliformes Termotolerantes (Col). Com esses parâmetros é possível compor o índice de qualidade da água (IQA) da *National Sanitation Foundation* (NSF), o qual é representado por IQA_{NSF} (INEA, 2023). O IQA_{NSF} varia de 0 (pior qualidade) a 100 (melhor qualidade), utilizando parâmetros de qualidade da água, assim como os descritos acima (ZAGHLOUL et al., 2013), sendo um dos índices de qualidade da água mais utilizados (UDDIN et al., 2021; PARWEEN et al., 2022).

No Brasil, o monitoramento da qualidade da água é feito principalmente por órgãos estaduais. No Estado do Rio de Janeiro, o Instituto Estadual do Ambiente (INEA) tem uma rede de monitoramento da qualidade da água dos rios do Estado, cujo dados são públicos, sendo possível obter o retrato da qualidade da água em diversas bacias ou regiões hidrográficas. Sendo o Brasil um país dependente da agricultura irrigada, em que a média de água utilizada ultrapassa um milhão de litros por segundo (ANA, 2019a), e sendo o abastecimento urbano e industrial concentrado especialmente na região sudeste (ANA, 2019b), torna-se fundamental a análise de dados para um diagnóstico geral das bacias ou regiões hidrográficas. Neste contexto, a bacia do rio Guandu tem grande relevância no cenário brasileiro, uma vez que ela abastece aproximadamente 9 milhões de pessoas somente da

região metropolitana do Rio de Janeiro (CEDAE, 2023), intensificando a sua importância para os serviços ecossistêmicos da região.

A dinâmica do uso e ocupação do solo e da sazonalidade climática são fatores que devem ser investigados, como determinantes na qualidade da água na bacia. Sendo a precipitação um fenômeno meteorológico definitivo na composição físico-química e microbiológica dos corpos hídricos, por meio de processos complexos de interação superfície-atmosfera (PARK et al., 2011; SILVA et al., 2018), sua influência deve ser investigada. Nesse sentido é notória a necessidade de avanços em estudos na bacia do rio Guandu, que quantifiquem a disponibilidade de dados de qualidade da água e que amplifiquem informações em escala temporal e espacial, para a melhoria da governança, que serão norteadoras para os tomadores de decisão.

Diante desses cenários considerando a importância do monitoramento de parâmetros de qualidade da água das bacias para compreender e avaliar o estado dos recursos hídricos e a verificação da influência da sazonalidade pluviométrica (GROTT et al., 2018; CARSTENS, AMER, 2019), buscamos realizar uma análise quantitativa das informações de parâmetros de qualidade da água e da influência da sazonalidade pluviométrica em parâmetros de qualidade, subsidiando informações para os desafios enfrentados pela governança da gestão da bacia do rio Guandu.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Parâmetros de qualidade da água

A Política Nacional de Recursos Hídricos foi estabelecida a partir da lei 9.433 de 1997, em que se estabeleceu diretrizes para a gestão, planejamento e controle dos recursos hídricos, com objetivo de proteção e de assegurar os usos múltiplos da água. Sendo assim, através da resolução do CONAMA 357/2005, estabeleceu-se parâmetros ligados a qualidade da água doce de superfície, salobra ou salina, estabelecendo o enquadramento do corpo hídrico com base na sua condição natural, sendo que na classe especial, não é aceita o lançamento de efluentes, enquanto as demais classes são toleradas níveis crescentes de poluição. Assim, a qualidade da água pode ser avaliada por meio de parâmetros físicos, químicos e biológicos (TYAGI et al., 2013).

A forma correta de se verificar a qualidade da água é através da realização do monitoramento rotineiro, in situ, dos corpos hídricos (OLIVEIRA, 2016), contemplando as mudanças e respostas ligadas a eventos climáticos extremos (ZOU et al., 2023), sazonalidade climática (BOURGUIGNON et al., 2021), como por exemplo, períodos de seca e períodos de chuvas, que podem ser fatores condicionantes para alterar a qualidade da água (WHO, 2011).

O Índice de Qualidade da Água (IQA) proposto pela *National Sanitation Foundation* (NSF), é um dos índices mais adotados como parâmetro da qualidade da água em bacias hidrográficas, em diversos países do mundo (BOURGUIGNON et al., 2021; UDDIN et al., 2021; PARWEEN et al., 2022). O IQA_{NSF} é composto por diferentes variáveis, sendo o índice de qualidade da água, estabelecido pela concentração de cada parâmetro de qualidade da água em questão (q_i), em relação a uma nota variando de 0 a 100 atribuída a ele, sendo 0 o pior índice de qualidade da água e 100 o melhor índice (INEA, 2019). Além disso, para cada parâmetro é adotado um peso relativo (w_i) (INEA, 2019), baseado na influência de cada parâmetro na qualidade da água, sendo maiores os pesos atribuídos às variáveis que influenciam mais na qualidade da água (FRAGA et al., 2019; 2020a).

No Brasil, os w_i foram estabelecidos para diversos locais, geralmente em nível estadual, como por exemplo, os pesos estabelecidos pelo INEA (2019), para o Estado do Rio de Janeiro as variáveis são: OD, DBO, Pt, poluição por nitrogênio (NX_3) representado pelo NO_3^- ou NH_3 , pH, Turb, SDT, Tágua, Tar e Col (Tabela 1).

Tabela 1. Variáveis ligadas ao índice de Qualidade da Água (IQA_{NSF})

Variáveis - IQA_{NSF}	Unidade de medida	Pesos (w_i)
Coliformes termotolerantes	NMP/100 mL	0,16
DBO	Mg/L O^2	0,11
Fosfato Total	Mg/L	0,10
NX_3^*	Mg/L	0,10
Oxigênio Dissolvido	% Saturação	0,17
pH	-	0,11
Sólidos Totais Dissolvidos	Mg/L	0,07
Temperatura da água e do ar	°C	0,10
Turbidez	uT	0,08

Fonte: INEA (2019).

* A partir de 2020 devido a pandemia da COVID-19, o Nitrogênio Nitrato (NO_3^-) foi substituído por Nitrogênio Amoniacal (NH_3), sem alterações na fórmula do cálculo do IQA_{NSF} .

A partir da sua quantificação por meio de todos os parâmetros é possível calcular o IQA_{NSF} (Equação 1), que varia de 0 a 100 e categorizar a condição hídrica do corpo hídrico (Tabela 2), sendo quanto mais próximo de 0, pior a qualidade da água e quanto mais próximo de 100, melhor a qualidade da água (BOURGUIGNON et al., 2021).

$$IQA_{NSF} = \prod_{i=1}^n q_i^{w_i} \quad (\text{Equação 1})$$

Em que:

IQA_{NSF} = é o índice de Qualidade de Água, um valor que varia entre 0 e 100;

q_i = A qualidade do i -ésimo parâmetro varia de 0 a 100 e é determinada pela curva média de variação de qualidade correspondente;

w_i = O i -ésimo parâmetro tem um peso que varia de 0 a 1, dependendo de sua relevância para a qualidade global. Esse peso é atribuído com base na importância do parâmetro.

Tabela 2. Classificação dos resultados obtidos através do Índice de Qualidade da Água (IQA_{NSF})

Categoria de Resultados	IQA_{NSF}	Faixas
Excelente	$100 \geq IQA \geq 90$	
Boa	$90 > IQA \geq 70$	
Média	$70 > IQA \geq 50$	
Ruim	$50 > IQA \geq 25$	
Muito Ruim	$25 > IQA \geq 0$	

Fonte: INEA (2019).

As faixas são as cores que representam cada categoria de resultados, quanto a classificação da qualidade da água pelo IQA_{NSF}.

2.2 Influência da sazonalidade pluviométrica na qualidade da água

A sazonalidade pluviométrica pode influenciar significativamente na qualidade da água da bacia hidrográfica, devido a capacidade de arraste de poluentes nos corpos hídricos no período chuvoso. Concentrações de certos parâmetros de qualidade da água, tendem a ser maior no período chuvoso, devido ao maior transporte desse material nas enxurradas, como acontece com o nutriente NO₃⁻ (FRAGA et al., 2020b; BOURGUIGNON et al., 2021).

O comportamento dos parâmetros de qualidade da água em termos de sazonalidade pluviométrica, portanto, deve ser investigado (GIRARDI et al., 2016; MARQUES et al., 2019; UMWALI et al., 2021). Chuvas causam selamento superficial, aumentando a impermeabilidade do solo e, por consequência, o escoamento superficial que transportam os poluentes de regiões remotas (LEE et al., 2004; ALAMDARI et al., 2018). Já em dias mais secos, a dissolução de poluentes é reduzida (GUNAWARDANA et al., 2011), evidenciando uma relação direta com determinados poluentes (NAKADA, MORUZZI, 2014).

A sazonalidade pluvial pode acarretar variações físico-químicas da água, como a alteração da turbidez em regiões onde se têm vegetação e em áreas desprotegidas, influenciado pelo carregamento e flutuação de sedimentos (MARMONTEL, RODRIGUES, 2015). O pH sofre alteração, devido a diferença na concentração e tipos de poluentes em cada período (DERÍSIO, 2000). Já o nitrato e o nitrito têm variações, em relação a degradação ou o transporte de compostos nitrogenados (FRAGA et al., 2020; BOURGUIGNON et al., 2021). Além disso, o transporte e o consequente aumento de fósforo na água, pode acabar estimulando o crescimento das algas, levando o corpo hídrico ao processo de eutrofização (KANTER, BROWNLIE, 2019), influenciando também na redução do oxigênio dissolvido (ESTEVES, 2011).

Ressaltando que os efeitos da sazonalidade podem acabar variando por características da bacia hidrográfica, como por exemplo, a geologia, cobertura e uso e ocupação do solo, atividade antrópica e as condições climáticas, evidencia-se a necessidade do monitoramento contínuo, com abrangência espacial e temporal adequada, para que se possa ser realizada a gestão da qualidade da água na bacia hidrográfica.

2.3 Bacia Hidrográfica do Rio Guandu

A bacia hidrográfica do rio Guandu, da Guarda e Guandu-Mirim (BHG), se localiza na Região Hidrográfica II, no Estado do Rio de Janeiro, Brasil. A formação da bacia hidrográfica do rio Guandu é composta também pelo rio da Guarda e Guandu-Mirim, possuindo uma área de 3.815,6 km² (PERH-GUANDU, 2018).

A bacia abrange 15 municípios (Tabela 3) e a maior parte do volume de água da bacia é através da transposição do rio Paraíba do Sul, no município de Barra do Piraí, Estado do Rio de Janeiro, com uma transposição média de 120 m³/s (INEA, 2012).

Os municípios que compõem a bacia do rio Guandu ultrapassam a marca de 67% da taxa de urbanização por município, evidenciando a influência urbana sobre os recursos hídricos (IBGE, 2023; PERH-GUANDU, 2018). Além disso, a população da bacia é em torno de 1,94 milhões de habitantes, sendo que uma grande parte dessa colaboração, são de pessoas que vivem na porção da bacia na cidade do Rio de Janeiro (PERH-GUANDU, 2018). Desse modo, trazendo consigo a ação antrópica, como uma pressão sobre a qualidade e quantidade

da água na bacia, sendo que a realização do monitoramento em localidades que se tenham atividades industriais e agrícolas é um dos pontos de prudência, para fins de gerar dados para a gestão da bacia hidrográfica, como também para a saúde pública da população (MACHADO et al., 2016). Outro fator que merece atenção é que devido a degradação das matas ciliares por atividades agrícolas, em conjunto com a expansão urbana, pode ocasionar em alterações sobre a qualidade da água, influenciando diretamente ao abastecimento público (GROSSI, 2006).

A bacia faz parte da província Geotectônica Mantiqueira, sendo composta por rochas ígneas e metamórficas pré-cambrianas, onde é caracterizada por montanhas e escarpas na vertente oceânica da Serra do Mar, com maciços que percorre a faixa costeira e apresenta uma extensa planície fluviomarinha. Enquanto as maiores altitudes são localizadas mais ao nordeste e sudoeste da bacia, com valores que atingem entre 900 a 1500 metros. (PERH-GUANDU, 2018).

A precipitação anual na BHG é de aproximadamente 1.500 mm/ano, com concentrações de chuva entre o período de dezembro até março, enquanto os mais secos são entre junho a setembro (INEA, 2012b). No período chuvoso (entre outubro e março) tem totais mensais precipitados superiores a 100 mm, enquanto no período seco (entre abril e setembro), a precipitação entre 50 e 100 mm, de maneira geral (BRITO et al., 2016).

Tabela 3. Municípios incluídos na bacia hidrográfica do rio Guandu – Região Hidrográfica II, com a sua área total e pertencente na bacia, como também o esgotamento sanitário adequado.

Município	Área Total (km²)	% na bacia	Esgotamento sanitário adequado (%)
Barra do Piraí	578,7	7,5	77,2
Engenheiro Paulo de Frontin	132,9	100	63
Itaguaí	275,7	100	77,5
Japeri	81,8	100	68,3
Mangaratiba	356,2	96,8	77
Mendes	97	76,4	61,3
Miguel Pereira	289,1	87,1	68,3
Nova Iguaçu	521,1	48,6	83,1
Paracambi	179,6	100	83
Piraí	505,1	78	80,4
Queimados	75,7	100	83,4
Rio Claro	836,8	95,5	65
Rio de Janeiro	1200,1	39,1	94,4
Seropédica	283,7	100	64,1
Vassouras	538	7,6	73,5

Fonte: PERH-GUANDU (2018); IBGE (2010).

O desenvolvimento da bacia hidrográfica do rio Guandu é orientado por intermédio do seu plano de bacia que teve seu lançamento no ano de 2018, contendo 8 agendas, 20 subagendas e 40 programas, onde são previstos o investimento de mais de 2 bilhões de reais

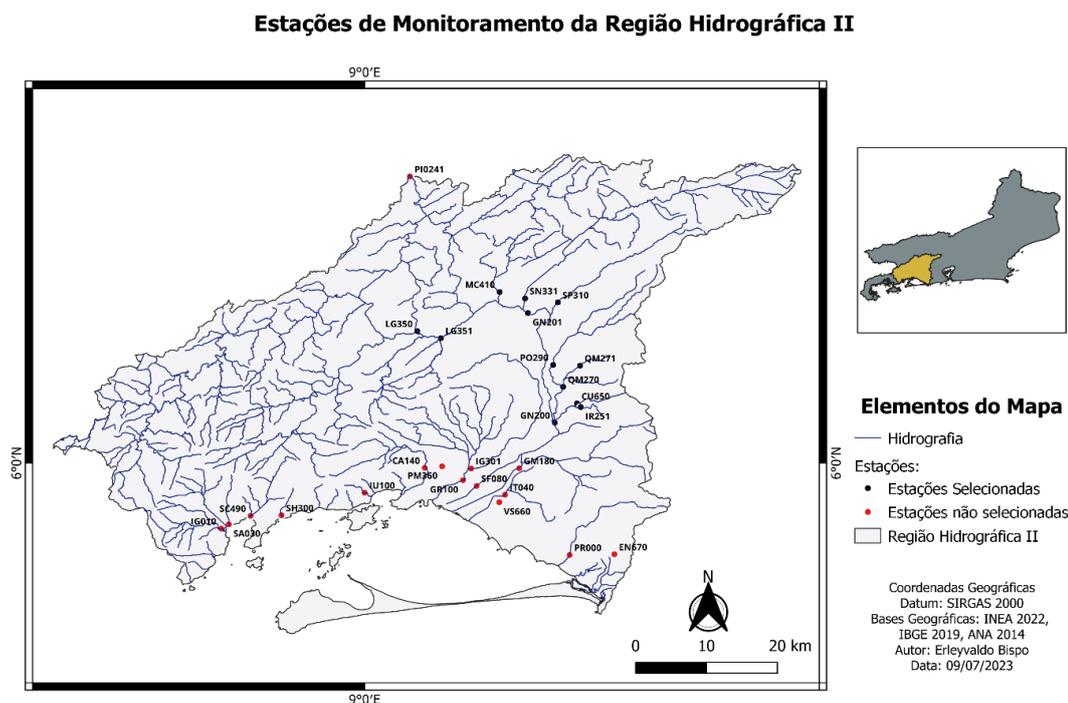
em um horizonte de 25 anos, visando alcançar os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da ONU, Agenda 2030 (COMITÊ GUANDU, 2023).

3. MATERIAL E MÉTODOS

Dados dos parâmetros de qualidade da água da região hidrográfica do rio Guandu (RHG), disponibilizados em relatórios anuais pelo INEA foram coletados e transpostos em planilha eletrônica. A RHG apresenta 28 estações de qualidade da água distribuídas na bacia (Figura 1), com dados entre 2014 e 2022. Os dados disponíveis no relatório são de coletas pontuais dos seguintes parâmetros de qualidade da água: OD, DBO, Pt, NO_3^- até 2019 e NH_3 a partir de 2020, pH, Turb, SDT, Tágua, Tar e Col. Com a utilização dos parâmetros o INEA calculou o IQ_{ANSF} que também foi disponibilizado no relatório. A poluição por nitrogênio (NX_3) neste trabalho, portanto, é representada pelo NO_3^- e NH_3 .

Foi realizada a separação das observações das estações, em período chuvoso, correspondendo as amostras coletadas entre outubro e abril, e as do período seco, quando estes foram coletados entre maio e setembro. A separação do período seco e chuvoso foi baseada no estudo de Brito et al. (2017), em que os totais precipitados entre outubro e abril, superam 100 mm e entre maio e setembro são inferiores a 90 mm. Das estações presentes nos relatórios, foram selecionadas para análise as estações com mais de 30 observações contabilizadas entre 2014 até 2022 e pelo menos 15 observações no período seco e no chuvoso. Com os dados das estações selecionadas, foi possível quantificar a disponibilidade de dados nas estações entre 2014 e 2022 no período integral, no período seco e no período chuvoso.

Figura 1. Estações de monitoramento da Região Hidrográfica II, com indicação das selecionadas para análise.



Fonte: AUTOR

Foram utilizadas imagens do Google Earth versão 9.190.0.0 para verificar a influência predominante do uso da terra em cada estação de monitoramento da qualidade da água. Além disso, foram utilizadas as coordenadas das estações para a identificação do ponto de amostragem. Os mapas temáticos foram feitos utilizando o *software* QGIS, versão 3.28.8.

A comparação entre as coletas de cada parâmetro de qualidade da água, entre o período chuvoso e período seco foram feitas pelo teste não paramétrico de Wilcoxon-Mann-Whitney (teste U) e pela análise do boxplot de fendas (BOURGUIGNON et al., 2021). A comparação pelo teste U é baseada na ordenação de todos os valores de cada parâmetro de qualidade da água em ordem crescente, independente do período (seco ou chuvoso), mas com a identificação da posição no ranqueamento de cada período (Tabela 4). Depois, faz-se o cálculo das estatísticas U_1 e U_2 , de acordo com as equações 2 e 3:

Tabela 4. Esquema da disposição para o teste de Wilcoxon-Mann-Whitney (teste U).

Período	IQ _{NSF}	Ordenamento	Período	IQ _{NSF}	Posição
Seco	32.5		Seco	21.7	1
Seco	27.7		Chuvoso	23.5	2
Chuvoso	23.5		Chuvoso	25.1	3
Chuvoso	34.2		Seco	27.7	4
Chuvoso	25.1		Chuvoso	32.4	5
Chuvoso	32.4		Seco	32.5	6
Chuvoso	35.5		Chuvoso	34.2	7
Seco	21.7		Chuvoso	35.5	8

Fonte: AUTOR

$$U_1 = n_1 n_2 - \frac{n_1(n_1 + 1)}{2} - R_1 \quad (\text{Equação 2})$$

$$U_2 = n_1 n_2 - \frac{n_2(n_2 + 1)}{2} - R_2 = n_1 n_2 - U_2 \quad (\text{Equação 3})$$

onde: onde n_1 e n_2 são o tamanho da amostra para amostra 1 e amostra 2, respectivamente; R_1 R_2 são a soma das classificações na amostra 1 e amostra 2, respectivamente.

O menor valor de U_1 e U_2 é utilizado na consulta das tabelas de significância e na determinação do p-valor para a hipótese nula de igualdade de médias em duas amostras independentes. A soma dos dois valores é dada por:

$$U_1 + U_2 = R_1 - \frac{n_1(n_1 + 1)}{2} - R_2 - \frac{n_2(n_2 + 1)}{2} \quad (\text{Equação 4})$$

O boxplot de fendas foi utilizado para comparação das medianas dos parâmetros de qualidade da água entre o período seco e chuvoso. As fendas dos boxplot compreendem o intervalo de confiança em torno da mediana. Se há sobreposição das fendas do parâmetro de

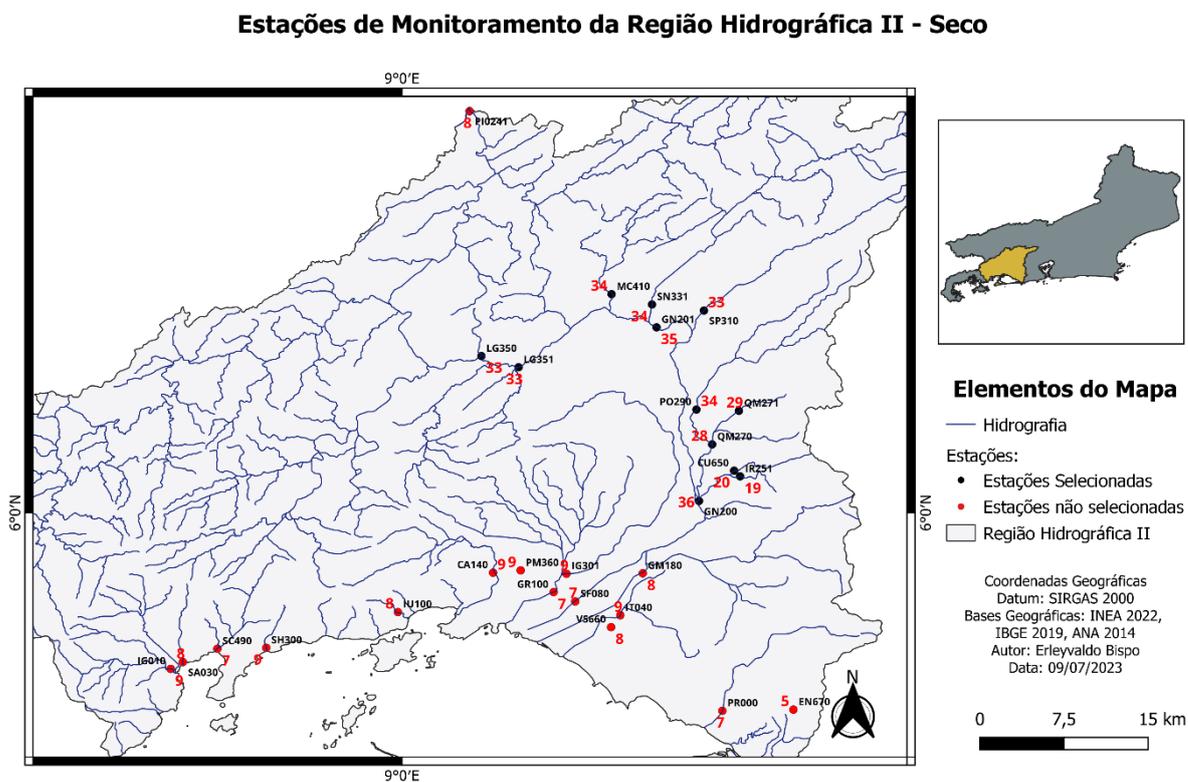
qualidade da água em questão, entre o período seco e chuvoso, considera-se igualdade de medianas.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Disponibilidade de dados de qualidade da água

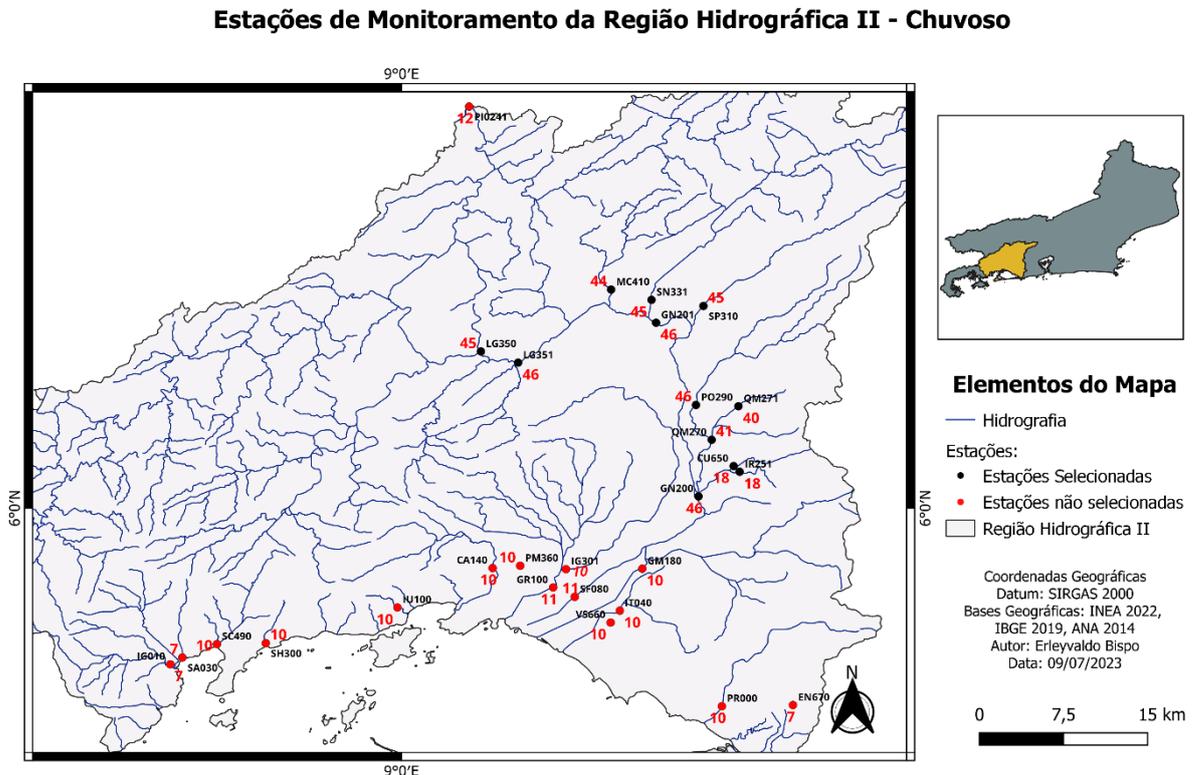
De maneira geral, as estações estão concentradas entre o sul e o leste da bacia e as estações selecionadas ao leste, é nessa porção da bacia que apresenta maior quantidade de dados de qualidade da água. Com os dados das estações selecionadas, foi possível quantificar a disponibilidade de dados nas estações entre 2014 e 2022 no período integral, no período seco e no período chuvoso (Figuras 2 e 3). Além da maior concentração de estações nessas regiões, há disponibilidade de observações ocorreu a partir de 2014 a 2022 (Tabela 5). Sendo as estações de monitoramento da qualidade da água essenciais para a gestão de recursos hídricos, percebe-se a baixa densidade de pontos amostrais em regiões importantes da bacia, o que prejudica os subsídios para a tomada de decisão sobre o gerenciamento do abastecimento público, irrigação agrícola, geração de energia, preservação da mata ciliar e do ecossistema aquático. Além disso, o monitoramento dos parâmetros ligados ao Oxigênio Dissolvido (OD), Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), Fósforo Total (PT), Nitrogênio Nitrato (NO_3^-) ou Amoniacal (NH_3), Potencial Hidrogeniônico (pH), Turbidez (Turb), Sólidos Dissolvidos Totais (SDT), Temperatura da água (Tágua) e do Ar (Tar) e Coliformes Termotolerantes (Col), faz com que possamos identificar tanto a saúde do corpo hídrico como na identificação de fontes de poluição da bacia.

Figura 2. Estações de monitoramento da Região Hidrográfica II no período seco



Fonte: AUTOR

Figura 3. Estações de monitoramento da Região Hidrográfica II no período chuvoso



Fonte: AUTOR

Conforme podemos verificar no período seco, a partir do início do monitoramento que ocorreu em 2014, até a data final da análise em 2022, há fragilidade de algumas estações conforme podem ser visualizadas na Figura 3 e Tabela 4, em que as estações que têm um maior número de observações são as estações que se localizam nos municípios de Nova Iguaçu, Paracambi, Japeri, Queimados e Piraí. A estação GN200 é onde fica localizada a barragem principal da Companhia Estadual de Águas e Esgotos (CEDAE), importante ponto de convergência para o abastecimento humano de toda a região metropolitana do Rio de Janeiro. A parte mais ao oeste não se localiza nenhuma estação, trazendo um enorme desafio para os gestores na tomada de decisão acerca dessa porção da bacia. Os dados do período chuvoso ligado ao número de observações, são maiores quando comparados ao período de seca nas estações de monitoramento. No período chuvoso é o momento em que ocorre o escoamento superficial de áreas urbanas, agrícolas e industriais, que são condicionantes que afetam a qualidade da água, a falta dessa informação pode acabar dificultando na tomada de decisão e na execução de projetos na bacia.

Desse modo, podemos visualizar que tanto a constância nas observações como a ampliação das estações de monitoramento são desafios para a bacia do rio Guandu. A Figura 4 mostra as coletas realizadas entre 2014 e 2022 no período seco, chuvoso e em todo o ano. É notório a redução de estações quando se considera o número de observações por estação. Poucas estações apresentam pelo menos 10 observações, sendo os anos de 2014 e 2022 os únicos que apresentam esses totais. O ano de 2021 e 2022 foram os mais regulares, em que conseguimos ter uma quantidade de informações sobre o período chuvoso e seco quase que igualitário. Outro ponto a ser observado é que nos anos de 2018 e 2020 foram os que tiveram

um menor número de observações na bacia. O número de observações reduzido em 2020 provavelmente tem relação com a pandemia de COVID-19.

Tabela 5. Número de amostras por ano das estações existentes ligadas ao monitoramento de qualidade da água da bacia hidrográfica do rio Guandu, da Guarda e Guandu-Mirim.

Estações	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	Total
GN200*	11	8	10	7	6	10	8	10	12	82
GN201*	11	7	10	7	6	10	8	10	12	81
PO290*	9	7	10	8	6	10	8	10	12	80
LG351*	8	6	10	8	6	10	8	10	13	79
SN331*	9	7	10	7	6	10	8	10	12	79
LG350*	9	7	10	7	6	10	8	10	11	78
MC410*	9	7	9	8	5	10	8	10	12	78
SP310*	9	7	9	7	6	10	8	10	12	78
QM270*	9	7	0	8	6	9	8	10	12	69
QM271*	9	7	0	7	6	10	8	10	12	69
CU650*	2	7	9	0	0	0	0	9	11	38
IR251*	2	7	8	0	0	0	0	9	11	37
PI0241	5	4	1	2	2	4	0	0	2	20
CA140	4	1	2	2	3	4	1	0	2	19
IG301	4	1	2	2	3	4	1	0	2	19
IT040	4	1	3	2	2	4	2	0	1	19
PM360	4	1	2	2	3	4	1	0	2	19
SH300	4	1	2	2	3	4	1	0	2	19
GM180	4	1	2	2	2	4	1	0	2	18
GR100	4	1	2	2	2	4	1	0	2	18
IU100	4	1	1	2	3	4	1	0	2	18
SF080	6	1	0	2	2	4	1	0	2	18
VS660	4	1	2	2	2	4	1	0	2	18
PR000	4	1	2	1	2	4	1	0	2	17
SC490	4	1	0	2	3	4	1	0	2	17
IG010	3	3	1	1	2	3	1	0	2	16
SA030	3	3	0	1	2	3	1	0	2	15
EN670	2	1	0	1	2	3	1	0	2	12

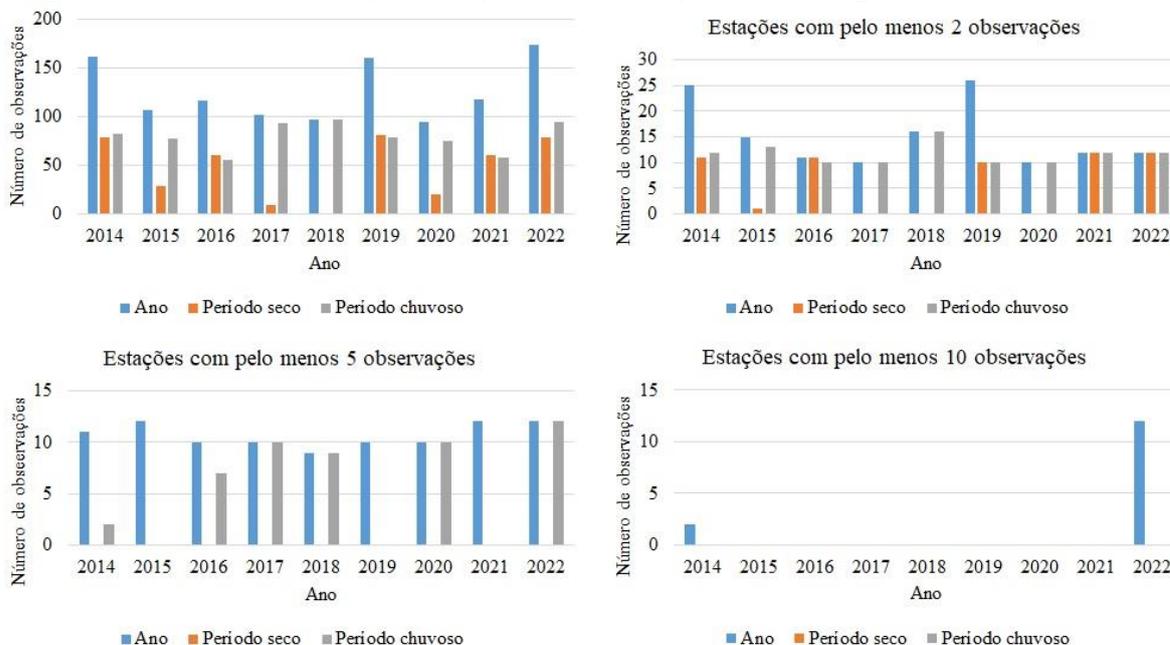
Fonte: AUTOR

* *Estações selecionadas.*

Com o uso das imagens obtidas pelo Google Earth (Figuras 5 a 16), podemos detectar que as estações selecionadas devido a sua maior distribuição de observações durante o período seco e chuvoso na RHG, apresentam diferentes influências quanto ao uso do solo. Essa diferença está associada aos principais poluentes que influenciam na magnitude dos parâmetros de qualidade da água em cada ponto de monitoramento. Ainda, é importante ressaltar que de acordo com as atividades desenvolvidas no entorno da estação de monitoramento, há a possibilidade de diferenças entre o período seco e chuvoso quanto aos parâmetros de qualidade da água e o IQA_{NSF}. Bourguignon et al. (2021) observaram que a

influência da urbanização e de pastagens degradadas interferiram negativamente na qualidade da água representada pelo IQA_{NSF} , e proporcionaram diferenças entre o período seco e chuvoso. O aumento das chuvas favorece o escoamento superficial, que tem ação efetiva no transporte de poluentes para os corpos hídricos (ANDRIETTI et al., 2015; CHEN et al., 2016; MEDEIROS et al., 2018)

Figura 4. Total de observações dos parâmetros de qualidade da água entre 2014 até 2022.



Fonte: AUTOR

De maneira geral, podemos verificar observando as estações de monitoramento as suas diferentes interferências (tabela 6).

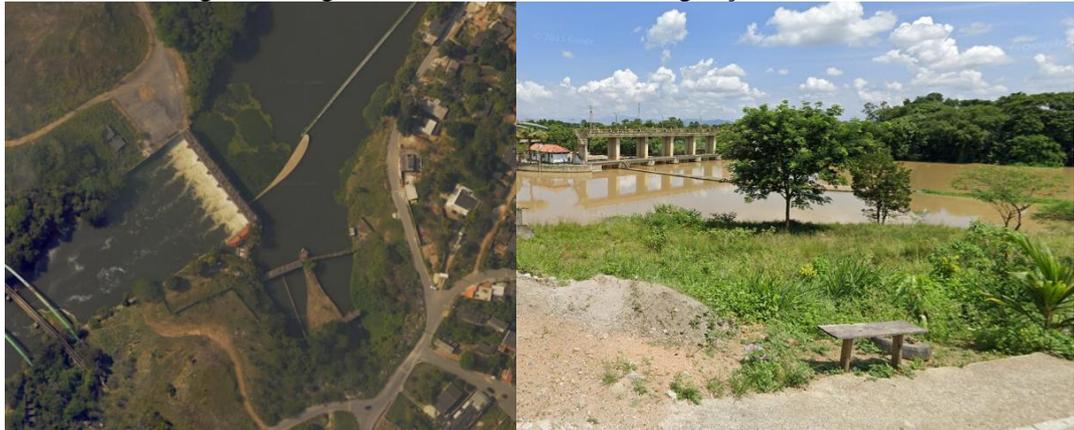
Tabela 6. Estações analisadas e tipo de uso e ocupação do solo predominante perto da estação de monitoramento.

Estação	Tipo de uso e ocupação do solo predominante
GN200	Urbanização, pastagem e áreas degradadas.
GN201	Urbanização, rodovia e mata ciliar.
MC410	Urbanização.
PO290	Pastagem, mata ciliar e rodovia.
SN331	Urbanização, pastagem, área degradada, mata ciliar e estrada.
LG350	Mata ciliar, topo de morro desprotegido, estrada e rodovia.
LG351	Pastagem, área degradada, mata ciliar.
SP310	Agricultura, estrada e comunidade rural.
QM271	Urbanização, área desmatada, estrada e rodovia.

QM270	Pastagem, área degradada, agricultura, mata ciliar e estrada.
CU650	Agricultura, área degradada, mata ciliar, estrada, comunidade rural.
IR251	Área degradada, mata ciliar.

Fonte: AUTOR

Figura 5. Estação GN200 localizada próxima da Barragem principal da Companhia Estadual de Águas e Esgotos (CEDAE), em Nova Iguaçu, Rio de Janeiro.



Fonte: GOOGLE EARTH

Figura 6. Estação GN201 localizada próxima da Estação de Tratamento de Água (ETA), em Japeri, Rio de Janeiro.



Fonte: GOOGLE EARTH

Figura 7. Estação CU650 localizada em Nova Iguaçu, Rio de Janeiro.



Fonte: GOOGLE EARTH

Figura 8. Estação IR251 localizada em Nova Iguaçu, Rio de Janeiro.



Fonte: GOOGLE EARTH

Figura 9. Estação LG350 localizada próxima das margens da Rodovia Presidente Dutra em Piraí, Rio de Janeiro.



Fonte: GOOGLE EARTH

Figura 10. Estação LG351 localizada próxima das margens da Rodovia Presidente Dutra em Paracambi, Rio de Janeiro.



Fonte: GOOGLE EARTH

Figura 11. Estação MC410 localizada em Paracambi, Rio de Janeiro.



Fonte: GOOGLE EARTH

Figura 12. Estação PO290 localizada próximo da Rodovia Presidente Dutra em Queimados, Rio de Janeiro.



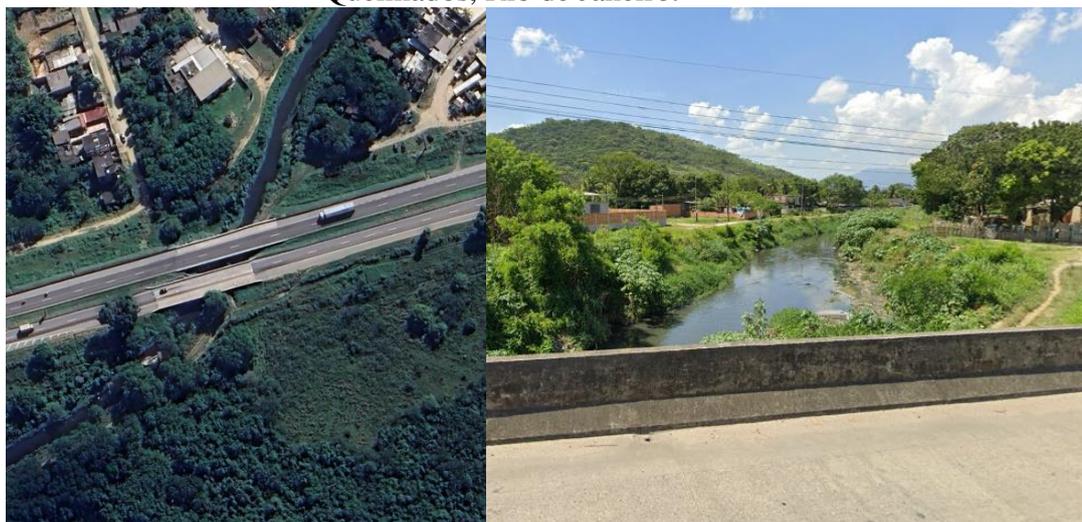
Fonte: GOOGLE EARTH

Figura 13. Estação QM270 localizada próximo de uma Unidade de Tratamento de Rio (UTR) na convergência do rio Poço/Queimados em Nova Iguaçu, Rio de Janeiro.



Fonte: GOOGLE EARTH

Figura 14. Estação QM271 localizada próximo da margem da BR-116 em Queimados, Rio de Janeiro.



Fonte: GOOGLE EARTH

Figura 15. Estação SN331 localizada Japeri, Rio de Janeiro.



Fonte: GOOGLE EARTH

Figura 16. Estação SP310 localizada em Japeri, Rio de Janeiro.



Fonte: GOOGLE EARTH

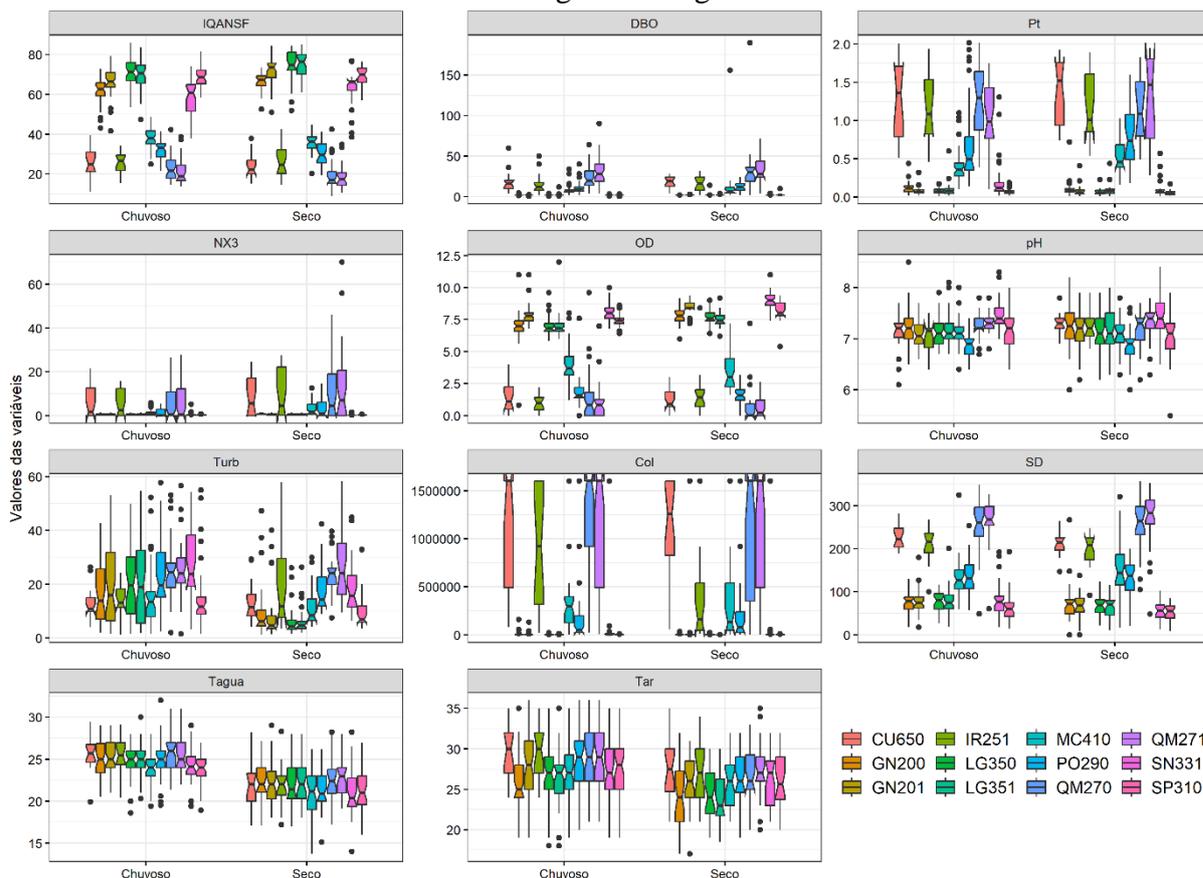
4.2 Comparação do período seco e chuvoso

Por intermédio dos dados obtidos, foi possível verificar a influência da sazonalidade da bacia, a partir dos parâmetros que são utilizados para o cálculo do Índice de Qualidade da Água (IQA_{NSF}), pela análise de gráficos boxplot com o intervalo de confiança (fendas) para as medianas (Figura 17). A comparação do IQA_{NSF} entre o período seco e chuvoso não teve uma grande disparidade nas estações. No entanto, foi detectada diferenças expressivas no IQA_{NSF} entre as estações de qualidade da água. Podemos detectar é que as estações QM270 e a QM271 foram onde ocorreu os menores índices. Enquanto as estações LG350 e LG351 apresentam os melhores valores dentro da bacia. Com relação a Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) nas estações analisadas é perceptível um aumento no período seco, ocorrendo a variação deste parâmetro de forma mais proporcional entre as estações de monitoramento com uma diminuição no período chuvoso, influenciado pela menor entrada de água no corpo hídrico.

O Fósforo Total (Pt) é um importante indicador de poluição por esgoto ou fertilizantes. Validamos com os dados uma maior proporção desse parâmetro na água no período seco, quando se comparado com o período chuvoso, devido a maior diluição no período chuvoso.

As estações CU650 e QM270 apresentam uma maior quantidade de Pt em ambos os períodos tanto seco como chuvoso, e a estação QM271 apresenta taxas mais elevadas no período seco. O Nitrogênio Nitrato (NO_3^-) e o Nitrogênio Amoniacoal (NH_3), assim como o fósforo em excesso, acaba influenciando na ocorrência da eutrofização da água, desse modo, podemos notar que no período seco, as taxas de NO_3^- ou NH_3 acaba aumentando com destaque a estação IR251 e a QM271.

Figura 17. Boxplot do IQ_{NSF} e dos parâmetros de qualidade da água para o período seco e chuvoso na Região Hidrográfica do Guandu.



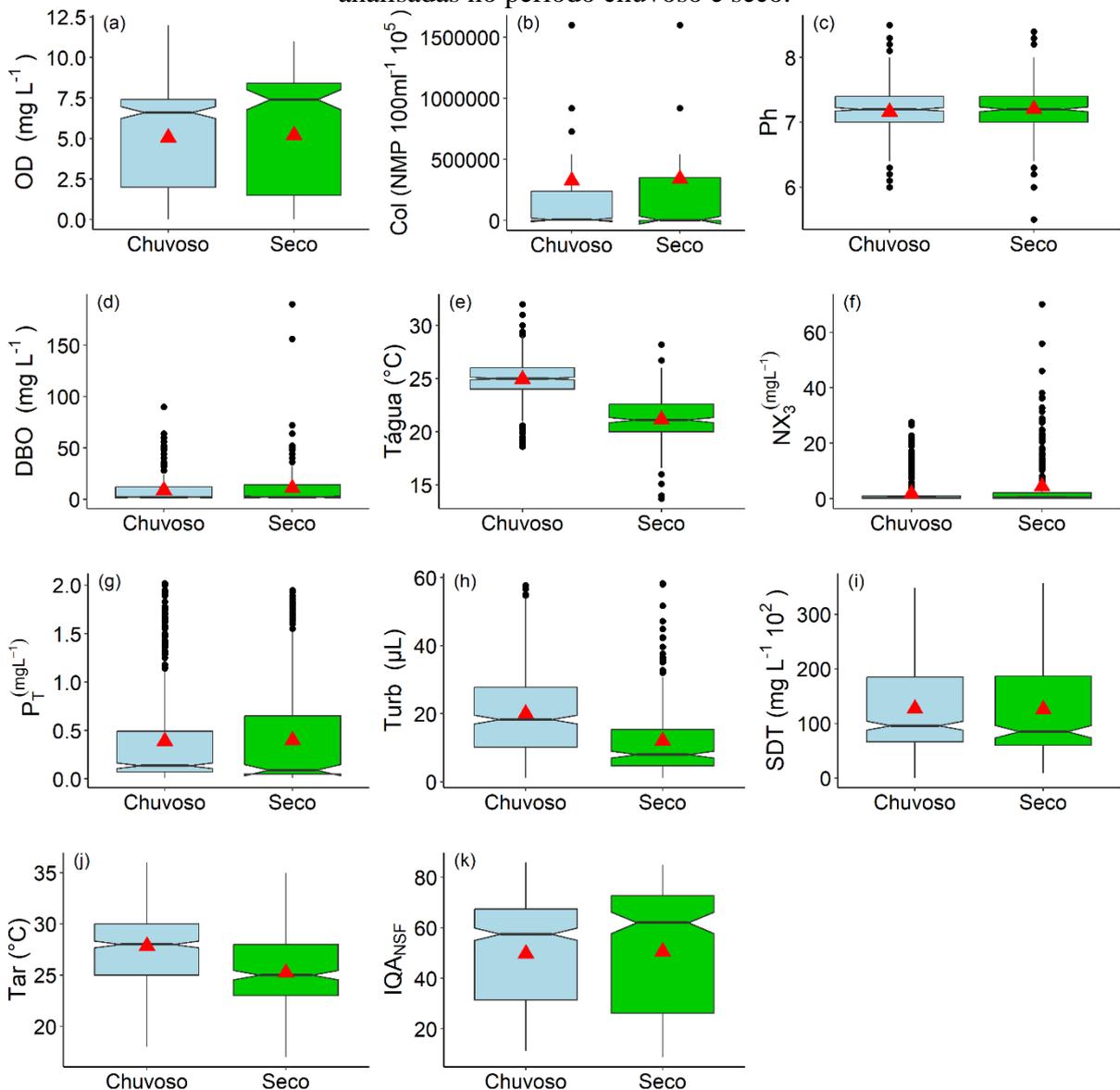
Fonte: AUTOR

O Oxigênio Dissolvido (OD), demonstra um dado bastante interessante sobre a qualidade da água, porque os rios que têm um maior IQ_{NSF} paralelamente, apresenta maiores taxas de OD na água. O Potencial Hidrogeniônico (pH), não apresentam uma grande divergência entre o período seco e chuvoso, a maioria das médias das estações de monitoramento estão entre 7 e 7.5, caracterizado como neutro, ligeiramente alcalino. Na Turbidez (Turb), detectamos um aumento no período chuvoso, provavelmente influenciado pela chegada da água pelo escoamento superficial e a drenagem. Os Coliformes Termotolerantes (Col) têm um aumento no período chuvoso com destaque as estações CU650, IR251, QM270 e QM271, que apresentam uma alta taxa de coliformes.

Sólidos Dissolvidos Totais (SDT), afeta o sabor, odor e aparência da água, entre o período chuvoso e seco, as variações são basicamente as mesmas entre as estações, com destaque para as QM270 e a QM271 que apresentam as maiores taxas. A Temperatura da água (Tágua) como a Temperatura do ar (Tar) têm um aumento no período chuvoso, influenciado pelas temperaturas mais elevadas.

A Figura 18 mostra o boxplot de fendas considerando todas as estações de qualidade da água, com a discriminação das coletas entre o período seco e chuvoso. De maneira geral é observada similaridade no comportamento do IQA_{NSF} e dos parâmetros de qualidade da água entre os períodos seco e chuvoso, devido a sobreposição das fendas. As exceções foram a Tágua, NX_3 , OD, Turb e Tar. A Tágua e Tar foram maiores no período chuvoso, que corresponde a primavera e verão na Região Hidrográfica da Bacia do Rio Guandu. A poluição por nitrogênio foi maior no período seco, enquanto há maior Turb no período chuvoso. A maior Turb no período chuvoso se dá por consequência do transporte de poluentes ao corpo hídrico. Como o nitrato é uma fonte de poluição antiga, é indício do transporte de nitrogênio para o corpo hídrico no período chuvoso (ANDRIETTI et al., 2015; CHEN et al., 2016; MEDEIROS et al., 2018), com a decomposição em nitrato até o período seco (BOURGUIGNON et al., 2021).

Figura 18. Análise dos parâmetros de qualidade da água de todas as estações analisadas no período chuvoso e seco.



* Os triângulos vermelhos correspondem as medianas dos parâmetros.

Fonte: AUTOR

4.3 Situação da qualidade da água na bacia do rio Guandu

A Tabela 7 mostra a situação do IQ_{ANSF} e dos parâmetros de qualidade da água na RHG, em termos médios no período seco e chuvoso, em relação à resolução CONAMA 357/2005. Ainda a Tabela 7 mostra a comparação entre o período seco e chuvoso pelo teste U. Há diferenças estatísticas significativas entre o período seco e chuvoso para os parâmetros OD, NX_3 , Turb, Tágua e Tar. Essas diferenças estão relacionadas ao transporte de poluentes para os corpos hídricos mais efetiva no período chuvoso.

Tabela 7. Comparação dos valores totais de observações das estações de monitoramento com a CONAMA 357/2005.

Parâmetros de qualidade da água	Observações em desconformidade com a CONAMA 357/2005		Resolução do CONAMA 357/2005	Situação
	Seco	Chuvoso		
OD (mgL^{-1})	5,21a	5,06b	Mínimo: $5 mgL^{-1}$	Aceitável
Col (NMP/100 ml)	340173,72a	325351,74a	Máximo: 1000/100ml	Acima do limite nos dois períodos
pH	7,21a	7,16a	Entre 6.0 a 9.0	Aceitável
DBO (mgL^{-1})	5,87a	5,50a	Máximo: $5 mgL^{-1}$	Acima do limite nos dois períodos
Tágua ($^{\circ}C$)	21,15b	24,93a	NA*	NA*
NO_3^-/NH_3 (mgL^{-1})	4,37a	1,87b	Máximo: $10.0 mgL^{-1}$	Aceitável
P_T (mgL^{-1})	0,77a	0.56a	Máximo: $0.050 mgL^{-1}$	Acima do limite nos dois períodos
Turb (UNT)	16,87b	36,07a	Máximo: 100 UNT	Aceitável
SDT (mgL^{-1})	193,84a	128,25a	Máximo: $500 mgL^{-1}$	Aceitável
Tar ($^{\circ}C$)	25,02b	27,91a	NA*	NA*
IQ_{ANSF}	50,58a	49,73a	0 – 25: Muito ruim	Média no período seco e ruim no período chuvoso
			25 – 50: Ruim	
			50 – 70: Média	
			70 - 90: Boa	
			90 – 100: Excelente	

Valores seguidos da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Wilcoxon-Mann-Whitney a 5% de probabilidade de erro.

Fonte: AUTOR

Com base nessa tabela comparativa entre os dados de todas as estações de monitoramento da qualidade da água, com os critérios estabelecidos pelo CONAMA 357/2005, podemos notar uma grande quantidade de Col, ainda mais elevado no período chuvoso, indicando uma contaminação fecal na água. Outro parâmetro bastante elevado é o DBO, com uma variação ainda maior no período seco, esse parâmetro sinaliza um alto nível de poluição, devido a decomposição de compostos orgânicos. O P_T representa valores elevados em ambos os períodos, esse nutriente é responsável em acelerar o processo de eutrofização da água.

Baseado nos resultados deste estudo, percebe-se que há uma necessidade urgente de ampliação no sistema de monitoramento de qualidade da água na RHG em escala espacial e temporal, para subsidiar o manejo e gestão dos recursos hídricos nesta importante região do Brasil. Além disso, medidas de controle da poluição são necessárias, uma vez que a qualidade da água na RHG é ruim ou média. Essas medidas incluem controle do lançamento de efluentes nos rios, implementação de saneamento básico, práticas vegetativas para evitar erosão do solo e transporte de poluentes para o rio, especialmente no período chuvoso. Essas medidas visam o controle da contaminação da água, eutrofização e alterações no ciclo hidrológico. Diante de um cenário atual de crise e conflitos pelo uso da água, os componentes de origem social, econômica e ambiental devem ser considerados uma vez que há tendências de usos excessivos da água e aumento de demanda na RHG.

5. CONCLUSÃO

Com base nos resultados encontrados, concluímos que os dados ligados a qualidade da água na bacia do rio Guandu, da Guarda e Guandu-Mirim, apresentam uma distribuição desigual em espacialidade das estações de monitoramento em atividade. Os pontos em que se têm uma maior densidade de estações é na porção mais ao sul e ao leste da região hidrográfica. Com esse cenário, acaba resultando em uma baixa densidade de observações em pontos importantes, prejudicando, conseqüentemente, a tomada de decisão sobre a gestão dos recursos hídricos.

O déficit de estações de monitoramento da região hidrográfica na porção ao oeste e na distribuição das estações em pontos estratégicos que não se têm geração de dados, representam um significativo desafio para os gestores, devido à dificuldade de se realizar avaliações acerca da saúde dos corpos hídricos nessas localidades, como na identificação das fontes de poluição dos rios e mananciais, sazonalidade e eventos climáticos extremos que podem afetar na qualidade da água.

A análise da sazonalidade da bacia, com base no período seco e chuvoso, demonstrou que em geral, não ocorreu uma grande diferença sobre o Índice de Qualidade da Água (IQA_{NSF}). No entanto, identificamos a diferença dos parâmetros adotados para a quantificação da qualidade perante as estações de monitoramento.

Os parâmetros ligados a qualidade da água que mais foram afetados pela sazonalidade foram o Oxigênio Dissolvido (OD), Coliformes Termotolerantes (Col), Temperatura da água (T_{água}) e do ar (T_{ar}), Nitrogênio Nitrato (NO_3^-) ou Nitrogênio Amoniacal (NH_3) e Turbidez (Turb), refletindo a influência tanto das condições climáticas, como da própria ação antrópica sobre a qualidade da água na bacia.

O enquadramento da água da bacia com base IQA_{NSF} demonstra uma preocupante situação. O resultado tanto do período seco e chuvoso, expõe uma flutuação do resultado entre

“ruim” e “médio”. Esse desfecho evidencia a necessidade de medidas intervencionistas. Essas medidas podem surgir a partir do envolvimento de todos os atores da bacia, sejam eles público, privado e a sociedade civil organizada, com a utilização da gestão participativa para o avanço em práticas que buscam reduzir o impacto urbano, incentivando o reflorestamento nas beiras dos rios e em topos de morro, na recuperação de áreas degradadas e no manejo adequado do solo.

É urgente a necessidade de aumentar a constância e a ampliação das estações de monitoramento por toda a bacia do rio Guandu, principalmente em porções estratégicas para a bacia, o investimento pode surgir por meio do Instituto Estadual do Ambiente (INEA) juntamente com o Comitê Guandu que atua na bacia, através da execução do projeto Observatório da Bacia onde o Comitê é signatário, justamente por serem os maiores interessados em assegurar a qualidade e quantidade da água. A falta de dados demonstra a dificuldade de se trazer a real situação da bacia tanto a níveis científicos como nas melhores práticas a serem adotadas pelos tomadores de decisão, visto que em cenários cada vez mais desafiadores devido à crise climática, a tomada proativa de medidas mitigadoras serão emergenciais para que tenhamos uma bacia resiliente.

6. REPEFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. Coeficientes Técnicos de Uso da Água para a Agricultura Irrigada. Brasília: ANA, 2019a. Disponível em: <https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/api/records/30c885ef-f129-4148-9cac-26b404f2bcf6>. Acesso em: 10 jun. 2023.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil: Informe 2019. Brasília: ANA, 2019b. Disponível em: https://www.snirh.gov.br/portal/centrais-de-conteudos/conjuntura-dos-recursos-hidricos/conjuntura_informe_anual_2019-versao_web-0212-1.pdf. Acesso em: 10 jun. 2023.

ALAMDARI, N. et al. Assessing climate change impacts on the reliability of rainwater harvesting systems. **Resources, conservation, and recycling**, v. 132, p. 178–189, 2018.

ANDRIETTI, G. et al. Índices de qualidade da água e de estado trófico do rio Caiabi, MT. **Ambiente e Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, v. 11, n. 1, 2016.

BOURGUIGNON, D. A. et al. Effect of rainfall seasonality and land use on the water quality of the Paraíba do Sul river. **Revista Engenharia Na Agricultura**, v. 29(Contínua), 211–228, 2021.

BRASIL. Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 9 jan. 1997. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19433.htm. Acesso em: 9 jun. 2023.

BRASIL. Resolução CONAMA 357, de 17 de março de 2005 Conselho Nacional de Meio Ambiente. Disponível em: <www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>. Acesso em: 9 jun. 2023.

BRITO, T. T. et al. Multivariate analysis applied to monthly rainfall over Rio de Janeiro state, Brazil. **Meteorology and atmospheric physics**, v. 129, n. 5, p. 469–478, 2017.

CARSTENS, D.; AMER, R. Spatio-temporal analysis of urban changes and surface water quality. **Journal of hydrology**, v. 569, p. 720–734, 2019.

CARVALHO, A. P. P. et al. Potential water demand from the agricultural sector in hydrographic sub-basins in the southeast of the state of São Paulo-Brazil. **Agriculture, ecosystems & environment**, v. 319, n. 107508, p. 107508, 2021.

CHEN, Q. et al. Impacts of land use and population density on seasonal surface water quality using a modified geographically weighted regression. **The Science of the total environment**, v. 572, p. 450–466, 2016.

COMITÊ GUANDU. Plano de Ação para a Recuperação da Qualidade das Águas do Rio Guandu. PERH-GUANDU, 2018. Disponível em: https://comiteguandu.org.br/wp-content/uploads/2021/10/arq_pubMidia_Processo_063-2013_P8.pdf. Acesso em: 11 jun. 2023.

COMITÊ GUANDU. Plano de Bacia. COMITÊ GUANDU, 2023. Disponível em: <https://comiteguandu.org.br/plano-de-bacia/>. Acesso em: 11 jun. 2023.

COMITÊ GUANDU. Rio Guandu: da Nascente à Foz. INEA, 2012. Disponível em: <https://comiteguandu.org.br/wp-content/uploads/2021/11/livroguandu2013.pdf>. Acesso em: 11 jun. 2023.

COMPANHIA ESTADUAL DE ÁGUAS E ESGOTOS. Sistema Guandu. CEDAE, 2023. Disponível em: <https://cedae.com.br/sistemaguandu>. Acesso em: 10 jun. 2023.

DERÍSIO, J. C. Introdução ao controle de poluição ambiental. 2. ed. São Paulo: Signus, 2000.

ESTEVES, F. A. Fundamentos de limnologia. 3. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2011. 826 p.

FRAGA, M. S. et al. Methodological proposal for the allocation of water quality monitoring stations using strategic decision analysis. **Environmental monitoring and assessment**, v. 191, n. 12, p. 776, 2019.

FRAGA, M. S. et al. Modelagem sazonal da qualidade da água do rio Piracicaba para o cenário atual e futuro. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 11, n. 2, p. 145–160, 2020b.

FRAGA, M. S. et al. Use of multivariate statistical methods to analyze the monitoring of surface water quality in the Doce River basin, Minas Gerais, Brazil. **Environmental science and pollution research international**, v. 27, n. 28, p. 35303–35318, 2020.

GIRARDI, R. et al. Water quality change of rivers during rainy events in a watershed with different land uses in Southern Brazil. **RBRH**, v. 21, n. 3, p. 514–524, 2016.

GROSSI, C. H. Diagnóstico e monitoramento ambiental da microbacia hidrográfica do rio queima-pé, MT. 2006. 135 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Estadual

Paulista “Julio de Mesquita Filho”, Botucatu, 2006. Disponível em: http://www.bibliotecaflorestal.ufv.br/bitstream/handle/123456789/7821/Tese_Caetano%20Henrique%20Grossi.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Acesso em: 11 jun. 2023.

GROTT, S. L. et al. Variação espaço-sazonal de parâmetros da qualidade da água subterrânea usada em consumo humano em Macapá, Amapá, Brasil. **Engenharia sanitária e ambiental**, v. 23, n. 4, p. 645–654, 2018.

GUNAWARDANA, C. et al. Role of solids in heavy metals buildup on urban road surfaces. **Journal of environmental engineering (New York, N.Y.)**, v. 138, n. 4, p. 490–498, 2012.

INSTITUTO ESTADUAL DO AMBIENTE. Boletim de qualidade das águas da Região Hidrográfica II - Guandu: consolidado 2022 - dados brutos e IQA NSF. Rio de Janeiro: INEA, 2023. Disponível em: <http://www.inea.rj.gov.br/wp-content/uploads/2023/01/Dados-Brutos-2022-RH-II-NH3.pdf>. Acesso em: 9 jun. 2023.

INSTITUTO ESTADUAL DO AMBIENTE. Índice de Qualidade da Água (IQA). Rio de Janeiro: INEA, 2019. Disponível em: <http://www.inea.rj.gov.br/wp-content/uploads/2019/04/IQA-NSF-Metodologia-Qualidade-de-%C3%81gua.pdf>. Acesso em: 10 jun. 2023.

KANTER, D. R.; BROWNLIE, W. J. Joint nitrogen and phosphorus management for sustainable development and climate goals. **Environmental science & policy**, v. 92, p. 1–8, 2019.

LEE, H. et al. Seasonal first flush phenomenon of urban stormwater discharges. **Water research**, v. 38, n. 19, p. 4153–4163, 2004.

MACHADO, C. S. et al. Health risks of environmental exposure to metals and herbicides in the Pardo River, Brazil. **Environmental science and pollution research international**, v. 24, n. 25, p. 20160–20172, 2017.

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.

MARQUES, R. F. P. V. et al. Rainfall water quality under different forest stands. **CERNE**, v. 25, n. 1, p. 8–17, 2019.

MEDEIROS, W. M. V.; SILVA, C. E. DA; LINS, R. P. M. Avaliação sazonal e espacial da qualidade das águas superficiais da bacia hidrográfica do rio Longá, Piauí, Brasil. **Ambiente e Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, v. 13, n. 2, p. 1, 2018.

NAKADA, L. Y. K.; MORUZZI, R. B. Variabilidade qualitativa de águas pluviais coletadas em telhado e sua importância na concepção do sistema de tratamento. **Engenharia sanitária e ambiental**, v. 19, n. 1, p. 1–9, 2014.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. IBGE Cidades. IBGE, 2023. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/>. Acesso em: 11 jun. 2023.

OLIVEIRA, C. M. Avaliação dos impactos ambientais e qualidade de águas superficiais na região hidrográfica VI do estado do Rio de Janeiro - RJ. 2016. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2016.

PARK, J.-H. et al. Implications of rainfall variability for seasonality and climate-induced risks concerning surface water quality in East Asia. **Journal of hydrology**, v. 400, n. 3–4, p. 323–332, 2011.

PARWEEN, S. et al. Assessment of urban river water quality using modified NSF water quality index model at Siliguri city, West Bengal, India. **Environmental and Sustainability Indicators**, v. 16, n. 100202, p. 100202, 2022.

PARWEEN, S. et al. Assessment of urban river water quality using modified NSF water quality index model at Siliguri city, West Bengal, India. **Environmental and Sustainability Indicators**, v. 16, n. 100202, p. 100202, 2022.

PENG, J. et al. The conflicts of agricultural water supply and demand under climate change in a typical arid land watershed of Central Asia. **Journal of hydrology. Regional studies**, v. 47, n. 101384, p. 101384, 2023.

PEREIRA, M. A. F.; BARBIEIRO, B. L.; QUEVEDO, D. M. Importância do monitoramento e disponibilização de dados hidrológicos para a gestão integrada dos recursos hídricos. **Sociedade & natureza**, v. 32, p. 308–320, 2020.

SILVA, R. S. B. D. et al. Avaliação sazonal da qualidade das águas superficiais e subterrâneas na área de influência do Lixão de Salinópolis, PA. **Ambiente e Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, v. 13, n. 2, p. 1, 2018.

SILVA, S. M. O. et al. Proposta de gestão integrada das águas urbanas como estratégia de promoção da segurança hídrica: o caso de Fortaleza. **Engenharia sanitária e ambiental**, v. 24, n. 2, p. 239–250, 2019.

TYAGI, S. et al. Water quality assessment in terms of water quality index. **American journal of water resources**, v. 1, n. 3, p. 34–38, 2013.

UDDIN, M. G.; NASH, S.; OLBERT, A. I. A review of water quality index models and their use for assessing surface water quality. **Ecological indicators**, v. 122, n. 107218, p. 107218, 2021.

UMWALI, E. D. et al. Spatio-seasonal variation of water quality influenced by land use and land cover in Lake Muhazi. **Scientific reports**, v. 11, n. 1, p. 17376, 2021.

UNESCO. Relatório mundial das Nações Unidas sobre desenvolvimento dos recursos hídricos 2021: o valor da água: resumo executivo. Paris: UNESCO, 2021. Disponível em: https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000375750_por. Acesso em: 9 jun. 2023.

UNESCO. The United Nations World Water Development Report 2023: partnerships and cooperation for water; executive summary. Paris: UNESCO, 2023. Disponível em: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000384657>. Acesso em: 9 jun. 2023.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. Guidelines for Drinking-water Quality. 4th ed. Geneva: WHO, 2011. Disponível em: https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/44584/9789241548151_eng.pdf;sequence=1. Acesso em: 10 jun. 2023.

WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION. Guide to Hydrological Practices: Volume I: Hydrology – From Measurement to Hydrological Information. 6th ed. Geneva: WMO, 2008. (WMO-No. 168). Disponível em: https://www.whycos.org/chy/guide/168_Vol_I_en.pdf. Acesso em: 9 jun. 2023.

WU, Z. et al. Assessing river water quality using water quality index in Lake Taihu Basin, China. **The Science of the total environment**, v. 612, p. 914–922, 2018.

YE, Q. et al. Optimal allocation of physical water resources integrated with virtual water trade in water scarce regions: A case study for Beijing, China. **Water research**, v. 129, p. 264–276, 2018.

ZAGHLOUL, G. Y. et al. Water quality assessment for Northern Egyptian lakes (Bardawil, Manzala, and Burullus) using NSF-WQI Index. **Regional studies in marine science**, v. 64, n. 103010, p. 103010, 2023.

ZOU, X.-Y. et al. The impact of extreme weather events on water quality: international evidence. **Natural hazards (Dordrecht, Netherlands)**, v. 115, n. 1, p. 1–21, 2023.