

Sustentabilidade ambiental e segurança hídrica para o abastecimento de água do Rio de Janeiro: proposta de solução técnica emergencial para a revitalização da Lagoa do Guandu

Adacto Benedicto Ottoni¹ e Marianna Ottoni²

¹Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. Rua São Francisco Xavier, 524. Maracanã. Rio de Janeiro-RJ, Brasil (CEP 20943-000). E-mail: adactoottoni@gmail.com.

²University of Waterloo. School of Environment, Enterprise and Development. Environment 3, Room 4203. Waterloo. ON N2L 3G1 Canadá. Email: mariannaottoni@poli.ufrj.br.

Resumo. A presença da geosmina na água distribuída à Região Metropolitana do Rio de Janeiro (RMRJ) em 2020 foi resultado da poluição escoada pelos Rios Queimados e Ipiranga na Lagoa do Guandu. O monitoramento da qualidade da água realizado pelo órgão ambiental INEA dos Rios Queimados e Ipiranga (e seus afluentes) que desembocam na Lagoa do Guandu mostra que essas águas têm qualidade muito ruim ou ruim, o que coloca em risco o abastecimento de água da RMRJ. As medidas alternativas sustentáveis propostas para a revitalização da Lagoa do Guandu basearam-se na implantação de um programa de monitoramento ambiental hidrométrico e de qualidade de água com quinze pontos distribuídos ao longo dos Rios Queimados, Ipiranga e seus afluentes. Além disso, propõe-se o desvio das águas desses rios logo à jusante das cidades, onde as vazões são menores do que nos seus exutórios na Lagoa do Guandu, e o seu tratamento podendo ser realizado a partir de lagoas de estabilização e *wetlands*, incluindo a possibilidade de compostagem dos resíduos do tratamento. A água tratada seria devolvida a esses rios, que, ao afluírem à Lagoa do Guandu, permitirão a sua revitalização e a segurança hídrica ao abastecimento de água do Rio de Janeiro.

Palavras-chave: Abastecimento de água; Segurança hídrica; Tratamento de esgotos; Qualidade da água; Sustentabilidade ambiental.

Abstract. *Environmental sustainability and water security for water supply in Rio de Janeiro: Proposal of emergencial technical solution to the Guandu Lagoon revitalization.* The presence of geosmin in the water distributed to the Metropolitan Region of Rio de Janeiro (RMRJ) in 2020 was a result of the pollution runoff by the Queimados and Ipiranga rivers in Lagoa do Guandu. The monitoring of water quality carried out by

Recebido
27/03/2022

Aceito
01/06/2022

Disponível *on line*
10/06/2022

Publicado
31/08/2022



Acesso aberto



ORCID

0000-0001-5605-2780
Adacto Benedicto
Ottoni

0000-0002-0897-6177
Marianna Ottoni

environmental agency INEA of the Queimados and Ipiranga Rivers (and their tributaries) that flow into Lagoa do Guandu shows that these waters have very bad or bad quality, which puts the water supply of the RMRJ at risk. The alternative and sustainable measures suggested in this study for the hydric revitalization of the Guandu Lagoon were based on the implementation of a hydrometric and water quality environmental monitoring program with fifteen points distributed along the Queimados, Ipiranga and its tributaries rivers. Besides, it is proposed to divert the waters of the respective rivers just downstream of the cities, where the flows are lower than in their outlets in Guandu Lagoon, and their treatment can be carried out through stabilization ponds and wetlands, including the feasibility of composting of the organic solid wastes. The treated water would be returned to these rivers, which, when they flow into Lagoa do Guandu, will allow their environmental revitalization, guaranteeing hydric security for the water supply of Rio de Janeiro.

Keywords: Water supply; Water security; Sewage treatment; Water quality; Environmental sustainability.

Introdução

O desenvolvimento sustentável dos sistemas urbanos de abastecimento de água é necessário para garantir a segurança do abastecimento de água potável (Huang et al., 2018), que, por sua vez, é fundamental para o desenvolvimento de qualquer cidade (Fomin, 2019). Por isso, devem ser priorizados os investimentos para a preservação das bacias hidrográficas, principalmente aquelas rodeadas por áreas urbanas e industriais (Story e Forsyth, 2008; Lu e Yu, 2018; Silva et al., 2020). De uma forma geral, a degradação crescente dos cursos de água por poluição e desmatamento das bacias ao longo do tempo vêm desequilibrando o regime dos rios e a qualidade da água dos mananciais (Lu e Yu, 2018; Silva et al., 2020), o que pode colocar em risco para o futuro, portanto, o abastecimento de água nas cidades.

Em janeiro de 2020, a Região Metropolitana do Rio de Janeiro (RMRJ) passou por um período de crise hídrica, com o aparecimento da substância geosmina na água distribuída pela Companhia Estadual de Águas e Esgotos do Rio de Janeiro (CEDAE) para consumo nas cidades, evento ocorrido anteriormente na região. Como consequência, denúncias por conta do gosto desagradável de terra e mofo na água, típicos dessa substância (Zat e Benetti, 2011), foram registradas pela população fluminense.

A CEDAE possui duas tomadas de água bruta no Rio Guandu, a Velha e a Nova, ambas localizadas lateralmente à Barragem Principal (CEDAE, 2009). A Figura 1 ilustra o esquema geral da água bruta que chega à tomada de água da CEDAE (a) e as contribuições fluviais à Lagoa do Guandu (b).

Em ambas as tomadas de água, como apresentado na Figura 1, verificam-se as contribuições hídricas do (i) Rio Ipiranga e de seu afluente, Rio Cabuçu, na Lagoa Menor do Guandu; (ii) Rio Queimados e de seus afluentes, Rio dos Poços e Rio Sarapo, sendo o primeiro qualitativamente mais impactante (INEA, 2021b, 2021c), por receber esgotos brutos do Município de Queimados e efluentes do Polo Industrial, na Lagoa Maior do Guandu; (iii) Rio Guandu, que recebe contribuição (cerca de 90% da vazão do Rio Guandu) por transferência das vazões do Rio Paraíba do Sul, incluindo sua carga poluente, a partir

do Sistema Hidrelétrico da Light em Santa Cecília. Desta forma, os Rios Queimados e Ipiranga desembocam na Lagoa do Guandu, que tem o seu exutório no Rio Guandu.

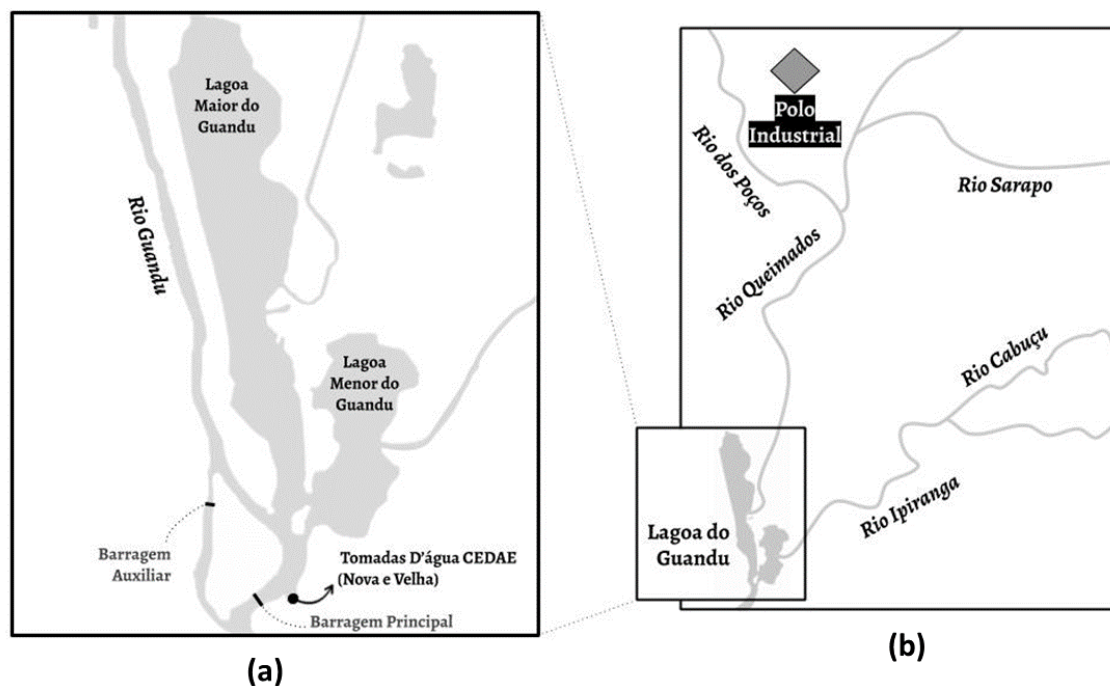


Figura 1. Esquema geral da tomada de água da CEDAE (a) e das contribuições dos rios contribuintes à Lagoa do Guandu (b).

De acordo com CEDAE (2009), as Bacias Hidrográficas dos Rios dos Poços/Queimados e Cabuçu/Ipiranga ocupam juntas 242 km² de área de drenagem. A Sub-Bacia do Rio dos Poços/Queimados ocupa aproximadamente 195 km² e a Sub-Bacia do Rio Cabuçu/Ipiranga ocupa cerca de 47 km². Esses rios desembocam na Lagoa do Guandu, cujo exutório no Rio Guandu está a algumas dezenas de metros da tomada de água da CEDAE (Comitê Guandu, 2018).

Com o aumento contínuo da poluição e degradação do manancial hídrico, o tratamento da água fica cada vez mais oneroso, podendo chegar ao risco de um colapso hídrico, como a situação do aparecimento de cianotoxinas e/ou outros poluentes tóxicos à saúde humana. Dado que os esgotos, especialmente os sanitários, apresentam carga elevada de nutrientes, quando despejados em corpos d'água estagnados (caso das lagoas, remansos e reservatórios) resultam na proliferação de fitoplânctons (algas), macrófitas, cianobactérias e outros seres, no processo de eutrofização, que se alimentam desses nutrientes em excesso (Zat e Benetti, 2011; FUNASA, 2014). O estresse ambiental causado pela competição por recursos (espaço, luz e nutrientes), faz com que ocorram em ambientes lânticos eventos de florações de algas e cianobactérias, as quais produzem, além de cianotoxinas (Howard et al., 2021), os compostos odoríferos 2-metilisoborneol (MIB) e *trans*-1,10-dimetil-*trans*-9-decalol (geosmina). Estes compostos conferem gosto e odor de terra e mofo à água, mesmo sendo detectados a concentrações baixas, da ordem de 10 ng.L⁻¹ (Young et al., 1996; Zat e Benetti, 2011).

A ocorrência de florações de cianobactérias nos corpos de água utilizados para abastecimento urbano pode representar um sério risco à saúde da população humana, em

razão da capacidade destes organismos produzirem as cianotoxinas. Além disso, representam um problema para as estações de tratamento de água, pois podem causar alteração no odor e no sabor da água tratada, pela produção de geosmina e o MIB-2-metil-isoborneol, que são compostos metabólicos desses organismos (Carvalho et al., 2013). A geosmina, apesar de apresentar baixo grau de toxicidade com relação a outras cianotoxinas, pode contribuir para a geração de gosto e odor, além outros fatores, na água de abastecimento (Zat e Benetti, 2011), e, por isso, tornar a qualidade da água questionável pela população.

O presente estudo objetiva propor alternativas, sob o viés da sustentabilidade ambiental, para a revitalização da Lagoa do Guandu e a consequente melhoria da segurança hídrica para o abastecimento de água da Região Metropolitana do Rio de Janeiro.

Metodologia

O procedimento metodológico adotado no presente estudo consistiu em duas principais etapas, a saber:

- (i) Levantamento e análise dos dados técnicos de monitoramento da qualidade de água da Lagoa do Guandu e dos Rios Queimados e Ipiranga (que desembocam na Lagoa do Guandu) e seus afluentes, com vistas à elaboração de um diagnóstico ambiental sobre o problema da produção de geosmina e cianotoxinas nessa lagoa, cujo exutório encontra-se próximo à Tomada de Água da CEDAE no Rio Guandu; e
- (ii) Proposição de alternativa de solução, sob a ótica da sustentabilidade ambiental, para a revitalização ecológica da Lagoa do Guandu e garantia da qualidade no abastecimento de água para a Região Metropolitana do Rio de Janeiro.

Resultados e discussão

Diagnóstico da situação da qualidade de água do Sistema Lagoa do Guandu

O Índice de Qualidade de Água (IQA), que foi utilizado para representar um diagnóstico da qualidade de água do Sistema Lagoa do Guandu, que inclui os rios afluentes à Lagoa do Guandu, é calculado a partir dos seguintes parâmetros: oxigênio dissolvido (OD), demanda bioquímica de oxigênio (DBO), fósforo total (P), nitrogênio nitrato (NO_3), pH, turbidez (T), sólidos totais dissolvidos (STD), temperatura da água e do ar, e coliformes termotolerantes (INEA, 2021b).

Tabela 1. Diagnóstico da qualidade da água do Sistema Lagoa do Guandu.

Rio	Município	IQA									
		2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	Média
Queimados	Queimados	28,21	26,46	20,04	19,60	20,24	21,29	20,69	24,10	20,24	22,32
Poços	Queimados	36,20	37,04	33,09	30,33	28,44	30,62	35,55	30,72	32,70	32,74
Ipiranga	Nova Iguaçu	22,25	29,30	29,16	30,63	26,62	-	-	-	-	27,59
Cabuçu	Nova Iguaçu	22,76	28,75	30,08	27,73	26,20	-	-	-	-	27,10
Nota:											
Qualidade Excelente		Qualidade Boa		Qualidade Média		Qualidade Ruim		Qualidade Muito Ruim			
$100 \geq IQA \geq 90$		$90 > IQA \geq 70$		$70 > IQA \geq 50$		$50 > IQA \geq 25$		$25 > IQA \geq 0$			

Fonte: Adaptado de INEA (2021b).

A Tabela 1 apresenta a série histórica do diagnóstico da qualidade da água do Sistema Lagoa do Guandu, composto pelos Rios Queimados e seu afluente Rio dos Poços, e Rio Ipiranga e seu afluente Rio Cabuçu, à montante da Lagoa do Guandu, entre os anos de 2012 e 2020.

Como observado a partir da Tabela 1, a qualidade geral das águas do Sistema Lagoa do Guandu pode ser considerada como “ruim” ou “muito ruim” em todo o período analisado. Tomando-se que tais rios abastecem a Lagoa do Guandu, que, por consequência tem seu exutório imediatamente a montante da tomada d’água da CEDAE, a baixa qualidade das águas desses rios corrobora para potenciais riscos à captação das águas de abastecimento para a RMRJ. Os riscos são referentes não somente à saúde humana e à biota da lagoa, mas também financeiros à CEDAE, que deve dispor de mais recursos para manter a qualidade de água de abastecimento dentro dos padrões de potabilidade estabelecidos na Portaria MS nº 888/2021 (Brasil, 2021).

O mau estado das condições das águas dos rios que compõem o Sistema Lagoa do Guandu pode ser explicado pela falta de planejamento referente à acelerada urbanização sem os devidos cuidados com o saneamento na região em estudo. Tanto o Rio Queimados quanto o Rio Ipiranga, e seus afluentes, que desembocam na Lagoa do Guandu, passam por cidades sem saneamento adequado de esgotos sanitários e, no caso do Rio dos Poços e Queimados, ainda podem receber efluentes líquidos do Polo Industrial de Queimados, o que pode indicar uma possível contribuição de esgotos com carga tóxica. Desta forma, a CEDAE tem de utilizar grande quantidade de produtos químicos para tratar esta água a níveis condizentes com os exigidos pelos padrões de potabilidade, na Portaria MS nº 888/2021 (Brasil, 2021).

Portanto, conforme apontado por INEA (2021b), a degradação da qualidade das águas dos rios afluentes à Lagoa do Guandu vem aumentando ao longo dos anos de 2012 a 2020, podendo comprometer a qualidade da água bruta captada pela CEDAE no Rio Guandu, colocando em risco o abastecimento de água da RMRJ.

Soluções propostas para segurança hídrica na RMRJ

Para se propor uma solução de curto prazo eficiente para o problema, definiu-se a realização da Fase 1, consistindo em um Programa de Monitoramento Hidrométrico e de Qualidade da Água dos Rios Queimados e Ipiranga. Na sequência, propõe-se a Fase 2, baseada na elaboração e detalhamento das soluções propriamente ditas com sustentabilidade ambiental para o problema da degradação da qualidade das águas da Lagoa do Guandu, visando melhorar a segurança hídrica do abastecimento de água da Região Metropolitana do Rio de Janeiro.

Fase 1: Programa de Monitoramento Hidrométrico e de Qualidade de Água

O programa permanente de monitoramento de vazões e qualidade de água proposto deve ser implantado em diferentes seções dos Rios Queimados e Ipiranga, para se constatar com mais precisão onde são geradas as principais cargas de poluição nos referidos rios. Os parâmetros de qualidade de água seriam os utilizados no cálculo do IQA utilizado em INEA (2021a), incluindo oxigênio dissolvido (OD), demanda bioquímica de oxigênio (DBO), fósforo total (P), nitrogênio nitrato (NO₃), pH, turbidez (T), sólidos totais dissolvidos (STD), temperatura da água e do ar, e coliformes termotolerantes. A carga de poluição de qualquer parâmetro de qualidade de água de um rio é o produto da vazão do rio pela concentração daquele poluente, e, por isso, destaca-se a necessidade de se medir a vazão e a qualidade das águas locais.

A partir da metodologia de monitoramento apresentada por INEA (2021b; 2021c), visando a selecionar os pontos de amostragem de qualidade de água em rios, o presente estudo proposto sugere a realização de nove pontos de medição no Rio Queimados, incluindo os seus afluentes, o Rio dos Poços e o Rio Sarapo, e de seis pontos de medição no

Rio Ipiranga, considerando o seu afluente, o Rio Cabuçu. Tais pontos foram escolhidos de forma a indicarem os dados em seções fluviais:

- (i) Imediatamente à jusante das manchas urbanas: Q.9, Q.5, Q.7, I.6, I.4;
- (ii) Imediatamente antes da confluência entre o rio principal e seus afluentes: Q.4, Q.6, Q.8, Q.3, I.5, I.3;
- (iii) Após a confluência entre os rios: Q.2, I.2; e
- (iv) Próximas à entrada na Lagoa do Guandu: Q.1, I.1.

A Figura 2 ilustra a representação esquemática das localizações dos pontos de medição de vazão e qualidade de água sugeridos para a Fase 1. Destaca-se, nesse mesmo esquema, a alocação proposta de cinco estações de tratamento de esgoto (ETEs) próximas a pontos estratégicos da bacia (solução discutida na Fase 2 deste estudo, onde ocorre o aporte de esgotos brutos advindos das aglomerações urbanas a montante dos referidos corpos de água.

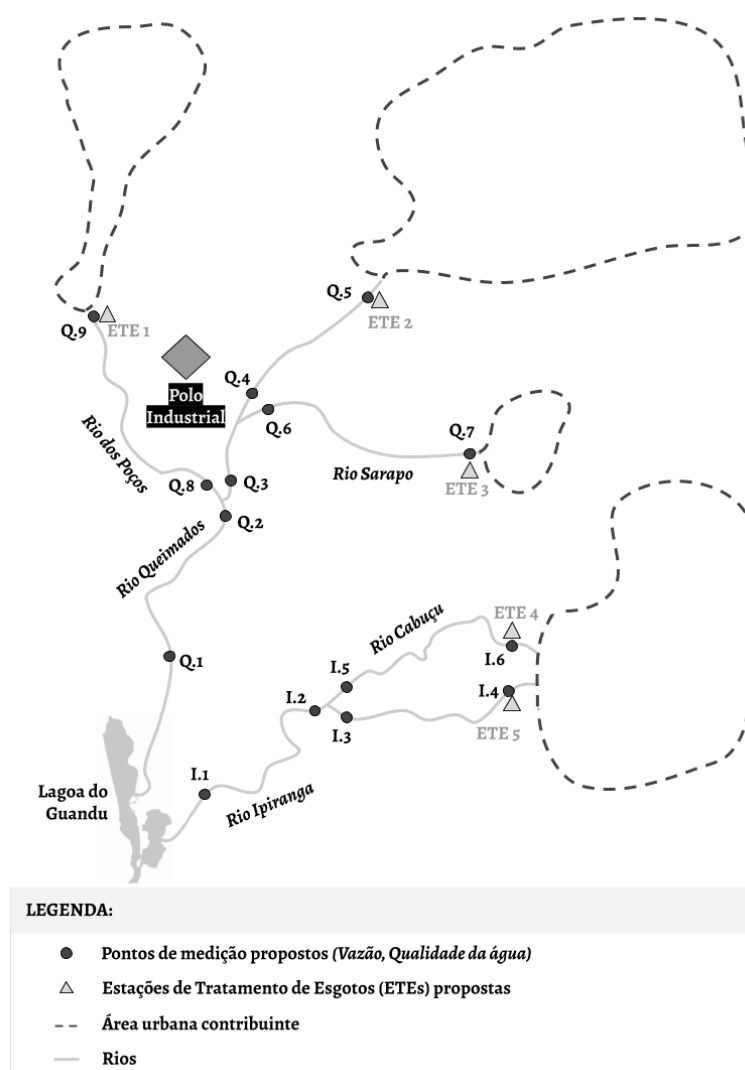


Figura 2. Esquema geral das seções de medição de vazão e de qualidade de água nos Rios Queimados, Ipiranga, e afluentes, com a provável indicação das ETEs para tratar as águas poluídas desses rios.

A partir dos dados de monitoramento ambiental de vazões e qualidade da água nas seções fluviais indicadas na Figura 2, um diagnóstico mais preciso sobre a localização das principais fontes de poluição dos Rios Queimados (seções Q1 a Q9) e Ipiranga (seções I1 a I6) e seus afluentes pode ser realizado, além de se definir a melhor solução de curto prazo para a despoluição desses rios que desembocam próximo à tomada de água da CEDAE no Rio Guandu, como explicado mais detalhadamente na Fase 2.

Fase 2: Proposta de Sistema Comporta Basculante - Bombeamento - ETE

A solução para a redução mais rápida da despoluição das águas da Lagoa do Guandu é urgente, dado que a atual eutrofização hídrica da lagoa está efetivamente colocando em risco o abastecimento de água da RMRJ, como aconteceu no evento da geosmina em janeiro de 2020.

O conceito da solução rápida e sustentável para o problema da poluição dos Rios Queimados e Ipiranga, os rios afluentes à Lagoa do Guandu, consiste em determinar os principais pontos de poluição desses rios o mais a montante possível, o que tende a acontecer logo após as áreas urbanas. As vazões dos rios nesses locais são possivelmente menores do que mais próximo à Lagoa do Guandu, o que facilita o desvio e o tratamento dessas águas fluviais contaminadas e reduz os custos totais dessas operações. Nesses pontos, a concentração de esgotos sanitários tende a ser maior, havendo menos diluição desses efluentes, o que permite maior eficiência no seu tratamento. Mais a jusante desses locais, deve ser considerado o aporte da água subterrânea e significativamente menos entrada de poluição por esgotos, aumentando a vazão dos rios (Ottoni, 1996; Biehler et al., 2020), além de encarecer e dificultar o tratamento de suas águas. A partir deste contexto, propõe-se uma solução que atue diretamente nesses locais logo a jusante das áreas urbanas contribuintes.

Particularmente no caso do Rio dos Poços, afluente do Rio Queimados, deve-se considerar, ainda, um trabalho eficiente de licenciamento e fiscalização ambientais do Polo Industrial de Queimados, a fim de evitar que as suas possíveis cargas tóxicas contaminem o referido rio. Cabe ressaltar, contudo, que informações quantitativas mais detalhadas desses aportes e da solução proposta somente podem ser obtidas após os resultados de um período de monitoramento dos parâmetros dos rios em questão, como determinado pela Fase 1. Portanto, essa seção visa apresentar uma proposta conceitual, que pode, inclusive, servir de base para estudos futuros pós-monitoramento.

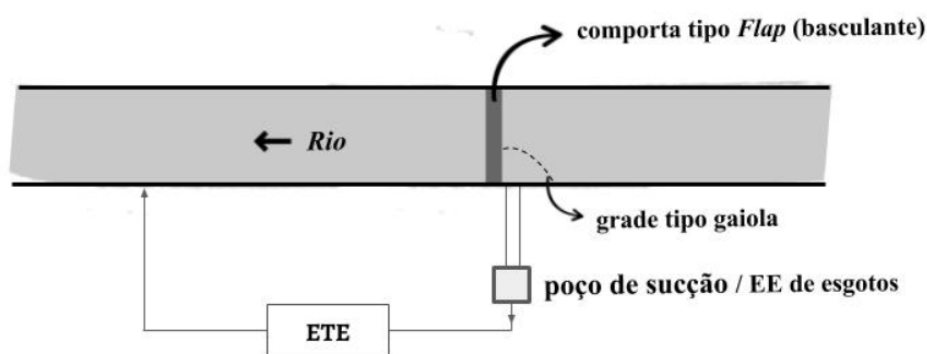


Figura 3. Desenho esquemático do sistema de captação, tratamento e devolução ao rio das águas fluviais tratadas em relação às seções sugeridas nos Rios dos Poços, Queimados, Cabuçu e Ipiranga.

A alternativa sugerida no presente artigo para a Fase 2 consiste na implantação, logo após as manchas urbanas em cada um dos quatro rios analisados, de um sistema composto por uma comporta basculante (tipo *flap*) na calha do rio, acoplada a um mecanismo de bombeamento dessas águas para direcioná-las uma Estação de Tratamento de Esgotos (ETE), como ilustrado na Figura 3. A Figura 2, apresenta as localizações aproximadas dessas estações, definindo a implantação das ETE 1, 2, 3, 4 e 5, respectivamente, nos Rios dos Poços, Queimados e Sarapo (que é um afluente menor do Rio Queimados), Cabuçu e Ipiranga.

Comporta basculante (tipo *flap*)

A comporta basculante, ou comporta móvel, regula o nível de água ou a vazão de um canal em função do uso que se quer dar a esta estrutura hidráulica (Fabhat, 2017; Carvalho, 2009; IMESA, 2021), podendo ter um acionamento manual, pneumático ou hidráulico.

Segundo Li et al. (2017), o princípio de funcionamento da comporta basculante (do inglês, *flap gate*) é pautado no controle de nível de água e rotação. Dessa forma, com o aumento do nível de água a montante, a comporta começa a descarregar água gradualmente em torno do eixo horizontal. Ao contrário, quando o nível de água a montante diminui, a comporta é gradualmente fechada para o acúmulo de água, e, assim, o nível de água a montante pode ser mantido dentro dos requisitos de projeto (Li et al., 2017). No presente estudo, propõe-se adaptar a comporta basculante para obstrução do escoamento natural do rio, direcionando as suas águas lateralmente para o poço de sucção de uma bomba e, em seguida, para a ETE, onde são tratadas e posteriormente devolvidas ao rio. A importância desse mecanismo se dá, principalmente, nos períodos de chuvas intensas, durante os quais ocorre o tombamento da comporta para permitir o escoamento natural das águas pela calha fluvial, de forma a não ocasionar inundações nas regiões urbanas a montante. Contudo, nesses casos, as águas de enchentes iriam em direção à Lagoa do Guandu, transportando detritos e efluentes. Desta forma, nestes períodos, exclusivamente, as comportas mais externas da Barragem Principal da CEDAE no Rio Guandu deveriam ser abertas, para permitir o escoamento para jusante da Tomada de Água da CEDAE dessas águas de enchentes dos Rios Queimados e Ipiranga (e seus afluentes), escoando resíduos, esgotos e sedimentos. Após as chuvas intensas, essas comportas seriam fechadas novamente, mantendo a boa operação de todo o sistema sanitário implantado e permitindo a melhoria da qualidade das águas da Lagoa do Guandu. A Figura 4 apresenta uma ilustração esquemática de um comporta do tipo *flap*.

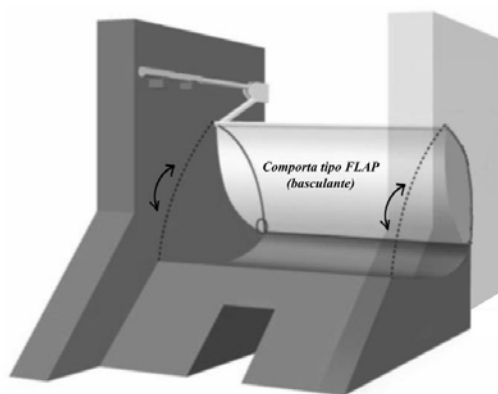


Figura 4. Esquema de comporta tipo basculante (*flap*) com acionamento hidráulico.

Analogamente, pode-se entender o conceito desta solução como similar a um sistema de coleta de tempo seco de calha fluvial, amplamente utilizado como solução emergencial por muitas concessionárias de saneamento de esgotos no Brasil. Em Águas de Juturnaíba (2018), é descrito, como exemplo, a solução do desvio do Rio Bacaxá, em Saquarema-RJ, para o seu tratamento e posterior descarte na calha fluvial.

Cabe ressaltar que o desvio pontual sugerido na presente seção é considerado uma solução emergencial mais simplificada e barata. Isso acontece dado que quanto mais para jusante estiver a seção de um rio, maior será a sua vazão, pois a bacia de drenagem natural (das águas superficiais e subterrâneas) é maior. Assim, a vazão hídrica fluvial afluyente à Lagoa do Guandu é significativamente maior do que imediatamente à jusante das manchas urbanas (como indicado na Figura 2), as quais encontram-se a vários quilômetros mais a montante da Lagoa, não sendo indicado uma solução de tratamento das águas dos rios na região próxima à Lagoa do Guandu, pelas maiores vazões hídricas fluviais (Ottoni, 1996; Biehler et al., 2020), o que encareceria a obra e aumentaria os riscos ambientais da solução técnica.

Sistema de bombeamento

O sistema de bombeamento consiste em um poço de sucção lateral à calha do rio, seguido pela bomba e, por fim, pela tubulação de recalque (Azevedo Netto e Fernández, 2015). Deve-se considerar a implantação de grades tipo gaiola na entrada do poço de sucção da bomba, dentro da calha fluvial, para reter os resíduos urbanos presentes nessas águas antes de sua entrada no sistema elevatório (Sobrinho e Tsutiya, 2000).

Além disso, a partir da implantação da comporta desviando as águas do rio para o poço de sucção da bomba, torna-se mais facilitado o processo de retirada desses detritos na calha fluvial por meio de dragas tipo *clamshell*, localizadas logo a montante do sistema da comporta e grade, o que impediria esse material de chegar à Lagoa do Guandu. Os resíduos coletados podem ser reaproveitados na cadeia de valorização de material a partir da reciclagem da parte seca, e, para a parcela orgânica, incluindo as possíveis macrófitas retiradas do rio, poderia ser considerado seu direcionamento a usinas de compostagem. Neste caso, esses resíduos úmidos poderiam ser transformados em composto orgânico para, por exemplo, baratear o reflorestamento das Áreas de Preservação Permanente (APPs) do rio e recuperar áreas de solo degradado das bacias hidrográficas dos Rios Guandu e Paraíba do Sul, que são os principais mananciais hídricos da região.

Sistema de tratamento das águas fluviais

O sistema de tratamento proposto das águas dos Rios Queimados e Ipirangae seus afluentes é baseado em soluções pautadas em processos biológicos, com o uso de lagoas de estabilização e o polimento do efluente por meio de *dewetland*, definidas como áreas em que a água cobre o solo, ou está na superfície deste durante grande parte do ano (EPA, 2020). A literatura aponta para o uso de *wetlands* artificiais para tratar uma ampla variedade de esgoto no mundo (Postila e Heiderscheidt, 2020; Wu et al., 2020), evitando-se riscos de impactos ambientais negativos decorrentes do uso de produtos químicos convencionalmente usados para remoção de impurezas das águas e esgotos. A proposta busca, ainda, o reaproveitamento do lodo gerado no tratamento, que poderia ser encaminhado para um biodigestor para se transformar em biogás e composto orgânico, desde que atendida as exigências legais previstas na Resolução CONAMA nº 498/2020 (Brasil, 2020).

As lagoas de estabilização são sistemas de tratamento biológico em que a estabilização da matéria orgânica é realizada por meio da oxidação bacteriológica (oxidação aeróbia ou fermentação anaeróbia) e/ou redução fotossintética das algas (Jordão e Pessoa, 2014), especialmente por conta das condições propícias à proliferação de fitoplanktons, permitem a redução da poluição orgânica e retenção de nutrientes

(FUNASA, 2017; Sarkaret al., 2019), sendo eficientes no processo de purificação dos esgotos (Jordão e Pessoa, 2014; Sarkaret al., 2019).

No presente estudo, propõe-se um sistema similar ao utilizado na ETE Pontes dos Leites, em Araruama (ABCON, 2018), consistindo em lagoa aerada, seguida de lagoa aeróbia. A decomposição aeróbia é indicada quando não se deseja a liberação de gases malcheirosos nos processos anaeróbios, que podem gerar mal-estar à população eventualmente próxima (Jordão e Pessoa, 2014). Para a lagoa de estabilização aerada, sugere-se a utilização de aeradores mecânicos, que vão acelerar o processo de degradação biológica da matéria orgânica (ABCON, 2018). Para o sistema de lagoa aeróbia, pode-se buscar recuperação do lodo de fundo e a retirada de macrófitas em sua superfície, transformando-os em composto orgânico, como mostrado na Figura 5, desde que seja atendida a Resolução CONAMA nº 498/2020 (Brasil, 2020).

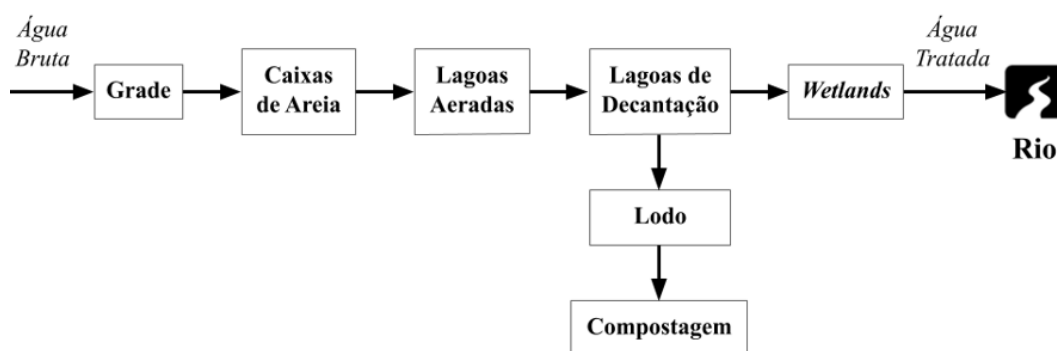


Figura 5. Esquema da proposta de tratamento de esgotos sanitários, com o uso de lagoas de estabilização, reaproveitamento do lodo, e o refinamento final do efluente com o uso de *wetlands*.

A Concessionária de Saneamento Águas de Juturnaíba, atuante em parte da Região dos Lagos do Estado do Rio de Janeiro, usou um sistema similar para tratar os esgotos sanitários da Cidade de Araruama, na ETE Ponte dos Leites, onde foi incluída uma *wetland* no final do processo, antes do descarte final do esgoto tratado ao rio (ABCON, 2018). De acordo com Edokpayi et al. (2021), as *wetlands* possuem alta eficiência de purificação das águas residuárias, sendo uma solução de baixo custo de implantação. Nas lagoas de estabilização, há formação de macrófitas, e, na proposta deste estudo, o tratamento final é complementado com o uso de *wetlands*, nas quais utiliza-se uma plantação de bambus para a absorção de nutrientes do esgoto, que são transformados em biomassa (ABCON, 2018).

As estruturas sanitárias de *wetlands* correspondem a um refinamento no tratamento dos esgotos sanitários (Toet et al., 2005), o que amplia a retirada de nutrientes e melhora a qualidade dos esgotos tratados. Ainda, o processo de tratamento de esgotos por esta técnica, além de mais barata do que o processo convencional dos lodos ativados, não gera odor, e, portanto, não ocasiona transtornos à população residente no seu entorno. Contudo, lagoas de estabilização e *wetlands* necessitam de mais área do que os sistemas de tratamento convencionais de esgotos, o que não é um fator limitante na solução proposta neste estudo, em que o sistema de tratamento estaria localizado logo a jusante das manchas urbanas, em área rural subaproveitada. Por fim, uma outra vantagem consiste na atração da fauna local por conta da formação da floresta de bambus que sustentam o tratamento dos esgotos (ABCON, 2018).

Desta forma, o sistema completo de tratamento proposto nas cinco estações de tratamento indicadas (ETE1 a ETE5) incluiria o gradeamento, caixas de areia, lagoas aeradas, lagoas de decantação (com possibilidade de reaproveitamento do lodo em biodigestores, como composto orgânico, e também das macrófitas produzidas continuamente na lagoa aeróbia em compostagem) e *wetlands* (que fazem parte do processo de tratamento, considerando a absorção de nutrientes na produção de bambus, por exemplo, e transformando esses nutrientes em biomassa), como ilustrado no esquema da Figura 6. A possibilidade de aproveitamento do lodo retido no tratamento como composto orgânico deverá ocorrer em função do atendimento à legislação definida pela Resolução CONAMA nº 498/2020 (Brasil, 2020). De acordo com Jordão e Pessoa (2014), a solução de lagoas de estabilização como forma de tratamento de águas residuárias é muito adequada para as condições do Brasil e da América Latina, com climas favoráveis e grande extensão de áreas planas, e a experiência alcançada já indica esta solução como plenamente aceitável.

É importante ressaltar que o sistema de tratamento das águas poluídas propostas no presente estudo para os Rios Queimados, Ipiranga e seus afluentes não garante a eliminação de toda a poluição orgânica ou química existente nessas águas, especialmente dado que essas águas são caracterizadas por INEA (2021b) como ruins ou muito ruins logo a jusante das manchas urbanas, pela alta poluição por esgotos sanitários. Contudo, o projeto proposto neste artigo corrobora para reduzir a mais curto prazo a carga de poluição devido ao tratamento dessas águas poluídas, permitindo que esses rios afluam à Lagoa do Guandu mais limpos, o que reduz o problema da eutrofização hídrica nas águas da lagoa e, conseqüentemente, aumenta a segurança hídrica para o abastecimento de água da RMRJ.

Tanto as lagoas de estabilização quanto as *wetlands* necessitam de mão-de-obra para a manutenção e conservação adequadas de todo o sistema hidráulico-sanitário, fato que contribui para a geração de renda, inclusive podendo-se empregar os moradores locais, quando devidamente capacitados. Portanto, a solução proposta no presente artigo possui enfoque em uma alternativa sustentável e de baixo custo para reduzir em curto prazo a contaminação advinda das manchas urbanas que afluem à Lagoa do Guandu, próxima à Tomada de Água da CEDAE. Em caso de inviabilidade da construção de lagoas de estabilização, por exemplo, por indisponibilidade de área em algumas das cinco ETES previstas, sugere-se a adoção de sistemas de tratamento mais custosos, porém que exigem menos área, como o processo de lodos ativados (Jordão e Pessoa, 2014). Nas áreas rurais e periféricas das bacias hidrográficas dos Rios Queimados e Ipiranga, com menor densidade populacional, podem ser utilizadas soluções alternativas, rápidas e baratas, para o saneamento dos esgotos sanitários, como estações de tratamento de esgotos compactas em condomínios, e fossas sépticas acopladas a filtros anaeróbios e sumidouros em residências rurais (Jordão e Pessoa, 2014).

Contudo, a médio e longo prazos, as soluções definitivas e tecnicamente mais adequadas consistiriam na coleta de esgotos pelo Sistema Separador Absoluto (Sobrinho e Tsutiya, 2000) nos municípios de Queimados e Nova Iguaçu, projeto mais custoso, dado que a rede coletora representa um dos fatores de maior peso no custo global de obras de sistema de esgotamento sanitário (Rodrigues et al., 2012), e demorado. Uma alternativa seria o aproveitamento das estações de tratamento de esgotos já previamente construídas na fase anterior do desvio do rio (dentro da solução proposta neste artigo), com processo de operação mais barato, o que reduziria as tarifas de esgotamento sanitário a serem pagas pela população no futuro. Cabe destacar, ainda, que, para uma operação eficaz de todo o sistema hidráulico proposto, devem ser previstas a limpeza diária das grades, além da manutenção e conservação periódicas das comportas basculante e das ETES.

Conclusões

As soluções técnicas emergenciais com sustentabilidade ambiental para a melhoria da segurança hídrica para o abastecimento de água da RMRJ propostas neste artigo basearam-se em um Programa de Monitoramento Hidrométrico e de Qualidade de Água dos Rios Queimados e Ipiranga, e seus afluentes, seguido pelos Sistemas Comporta Basculante - Bombeamento - ETE, em determinados pontos das bacias em questão, de forma a desviar e tratar por processos naturais as águas desses rios, logo à jusante das principais fontes de poluição: as áreas urbanas. Portanto, além de devolver as águas mais limpas de volta ao rio, a presente proposta considera a possibilidade do aproveitamento, dentro dos parâmetros previstos em legislação, do lodo do tratamento como composto orgânico, que poderia ser usado para recuperar áreas degradadas e baratear o reflorestamento da bacia hidrográfica da Lagoa do Guandu, atualmente com processos acelerados de desmatamento e erosão do solo.

Tais soluções atuam diretamente nas principais causas do problema, isto é, o aporte de efluentes nos corpos d'água, e, por sua baixa complexidade e dispêndio de materiais, se comparadas com obras de maiores proporções, tendem a ser menos custosas no curto prazo. Como vantagens, a proposta proporciona uma rápida revitalização da qualidade das águas da Lagoa do Guandu, o que, conseqüentemente, reduziria de forma significativa o risco de uma nova crise hídrica pela produção de cianotoxinas em excesso e da geosmina, oriundas do problema da poluição por esgotos e da eutroficação hídrica da Lagoa do Guandu.

A médio e longo prazos, sugere-se implantar o Sistema Separador Absoluto para coletar os esgotos de toda a área urbana dos municípios de Queimados e Nova Iguaçu, configurando-se como uma solução definitiva para o problema da degradação da qualidade das águas da Lagoa do Guandu. Cabe destacar a possibilidade de se reaproveitar o sistema de tratamento já implantado com a solução emergencial proposta neste artigo, gerando benefícios econômicos e de tempo de execução das obras de saneamento de esgotos sanitários para esses municípios.

Dessa forma, as soluções para a revitalização da Lagoa do Guandu propostas neste estudo possuem viabilidade ambiental, econômica e social, reduzindo, no curto prazo, a poluição dos rios que desembocam na Lagoa do Guandu, a sua eutrofização hídrica, e os riscos à Tomada de Água da CEDAE no Rio Guandu. Portanto, a presente proposta corrobora para promover maior segurança hídrica para o abastecimento de água da Região Metropolitana do Rio de Janeiro.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Departamento de Extensão da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (DEPEXT/UERJ), por meio da Sub-Reitoria de Extensão e Cultura (SR3), pelo financiamento do projeto de extensão "Assessoria Técnica da UERJ à Sociedade e Entidades com relação a Atuações na Área de Meio Ambiente do Estado do Rio de Janeiro", sob o número 5170. Os autores agradecem, ainda, ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa de número 132388/2020-0 concedida ao segundo autor, durante a elaboração deste estudo.

Conflito de interesses

Os autores declaram não haver conflito de interesses.

Referências

- ABCON - Associação Brasileira das Concessionárias Privadas de Serviços Públicos de Água e Esgoto. Águas de Juturnaíba trata esgotos com plantas aquáticas e sem produtos químicos. 2018. Disponível em: <<http://abconsindcon.com.br/noticias/aguas-de-juturnaiba-trata-esgoto-com-plantas-aquaticas-e-sem-produtos-quimicos/>>. Acesso em: 18 jul. 2020.
- Águas de Juturnaíba. **Apresentação Águas de Juturnaíba**. Araruama: Grupo Águas do Brasil, 2018.
- Azevedo Netto, J. M.; Fernández, M. F. **Manual de hidráulica**. 9. ed. São Paulo: Blucher, 2015.
- Biehler, A.; Chaillou, G.; Buffin-Bélanger, T.; Baundron, P. Hydrological connectivity in the aquifer-river continuum: Impact of river stages on the geochemistry of groundwater floodplains. **Journal of Hydrology**, v. 590, 125379, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.125379>
- Brasil. **Portaria GM/MS nº 888, de 4 de maio de 2021**. Altera o Anexo XX da Portaria de Consolidação GM/MS nº 5, de 28 de setembro de 2017, para dispor sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Disponível em: <<https://www.in.gov.br/web/dou/-/portaria-gm/ms-n-888-de-4-de-maio-de-2021-318461562>>. Acesso em: 25 nov. 2021.
- Brasil. **Resolução CONAMA nº 498, de 19 de agosto de 2020**. Define critérios e procedimentos para produção e aplicação de biossólido em solos, e dá outras providências. Disponível em: <http://conama.mma.gov.br/index.php?option=com_sisconama&task=arquivo.download&id=797>. Acesso em: 18 nov. 2020.
- Carvalho, M. C.; Aguiar, L. F.; Pires, D. A.; Picoli, C. **Manual de cianobactérias planctônicas**: legislação, orientações para o monitoramento e aspectos ambientais. São Paulo: CETESB, 2013.
- Carvalho, J. A. **Obras hidráulicas**. Lavras: Editora UFLA, 2009.
- CEDAE - Companhia Estadual de Águas e Esgotos do Rio de Janeiro. **EIA/RIMA das obras de proteção da Tomada de Água da CEDAE no Rio Guandu**: relatório final. Rio de Janeiro: CEDAE, 2009. Disponível em: <http://www.ceivap.org.br/downloads2011/CEDAE_EIA.pdf>. Acesso em: 18 jul. 2020.
- Comitê Guandu. Plano estratégico de recursos hídricos das Bacias Hidrográficas dos Rios Guandu, da Guarda e Guandu-Mirim - PERH GUANDU. 2018.
- Edokpayi, J. N.; Odiyo, J. O.; Popoola, O. E.; Msagati, T. A. M. Evaluation of contaminants removal by waste stabilization ponds: A case study of Siloam WSPs in Vhembe District, South Africa. **Heliyon**, v. 7, n. 2, E06207, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e06207>
- EPA - Environmental Protection Agency. What is a wetland? 2020. Disponível em: <<https://www.epa.gov/wetlands/what-wetland>>. Acesso em: 12 out. 2020.
- FABHAT - Fundação Agência da Bacia Hidrográfica do Alto Tietê. Elaboração do Plano da Bacia Hidrográfica do Alto Tietê - UGRHI-06. Anexo 4 (A4) Caderno de Estruturas Hidráulicas e Fichas Técnicas. 2017. v. 2.
- Fomin, N. A. Strategic innovative technologies as a tool to improve the control efficiency of water supply systems of a modern city. **IFAC-PapersOnLine**, v. 52, n. 25, p. 421-423, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2019.12.574>

FUNASA - Fundação Nacional de Saúde. **Manual de controle da qualidade da água para técnicos que trabalham em ETAs**. 1 ed. Brasília: Ministério da Saúde, 2014.

FUNASA - Fundação Nacional de Saúde. **8º Caderno de Pesquisa em Engenharia de Saúde Pública**. Brasília: Ministério da Saúde, 2017.

Howard, M. D. A.; Kudela, R. M.; Hayashi, K.; Tatters, A. O.; Caron, D. A.; Theroux, S.; Oehrle, S.; Roethler, M.; Donovan, A.; Loftin, K.; Laughrey, Z. Multiple co-occurring and persistently detected cyanotoxins and associated Cyanobacteria in adjacent California lakes. **Toxicon**, v. 192, p. 1-14, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.toxicon.2020.12.019>

IMESA - Indústrias Metalúrgicas Esgueva S.A. Catálogo de equipamentos para usinas hidrelétricas/Comportas. 2021. Disponível em: <<https://www.imesa.es/pt-br/servicos/equipamentos-para-usinas-hidreletricas/comportas/>>. Acesso em: 24 jul. 2021.

INEA - Instituto Estadual do Ambiente. Como é feito o monitoramento das águas interiores? 2021a. Disponível em: <<http://www.inea.rj.gov.br/ar-agua-e-solo/como-e-feito-o-monitoramento-das-aguas-interiores/>>. Acesso em: 25 jul. 2021.

INEA - Instituto Estadual do Ambiente. **Monitoramento sistemático dos rios do Estado do Rio de Janeiro**: RH II - Guandu. IQA Médio 2012/2020. Rio de Janeiro: INEA, 2021b. Disponível em: <<http://www.inea.rj.gov.br/wp-content/uploads/2021/02/INEA-IQA-Media-RH-II-2012-2020.pdf>>. Acesso em: 05 jul. 2021.

INEA - Instituto Estadual do Ambiente. Boletim de Qualidade das Águas Plano Verão Guandu nº 10 - 17/03/2021. 2021c. Disponível em: <<http://www.inea.rj.gov.br/wp-content/uploads/2021/04/Plano-Verão-Guandu-Boletim-N10.pdf>>. Acesso em: 25 jul. 2021.

Jordão, E. P.; Pessoa, C. A. **Tratamento de esgotos domésticos**. 7. ed. Rio de Janeiro: ABES, 2014.

Li, H.; Lei, S.; Fu, T.; Gao, L. Research on design and application of flap gate in Guiyang Nanming River. **IOP Conference Series: Materials Science and Engineering**, v. 274, 012151, 2017. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/274/1/012151>

Lu, H.; Yu, S. Spatio-temporal variational characteristics analysis of heavy metals pollution in water of the typical Northern rivers, China. **Journal of Hydrology**, v. 559, p. 787-793, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2018.02.081>

Ottoni, A. B. **Tecnologia do manejo hídrico em bacias urbanas visando a sua valorização sanitária e ambiental**. Rio de Janeiro: Escola Nacional de Saúde Pública (ENSP/FIOCRUZ/MS), 1996. (Tese de doutorado).

Postila, H.; Heiderscheidt, E. Function and biomass production of willow wetlands applied in the polishing phase of sewage treatment in cold climate conditions. **Science of the Total Environment**, v. 727, 138620, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138620>

Rodrigues, G. P. W.; Costa, L. H. M.; Castro, M. A. H. Modelo computacional de redução de custos em redes coletoras de esgoto sanitário com a utilização de um algoritmo híbrido de busca exaustiva em largura. **Revista DAE**, n. 190, p. 28-43, 2012. <https://doi.org/10.4322/dae.2014.095>

Sarkar, D.; Lahiri, S.; Ghosh, D.; Jana, B. B. Ecological processes-driven distribution of net-algal diversity and carbon sequestration potential across the sewage effluent gradient of stabilization pond system. **Ecohydrology & Hydrobiology**, v. 19, n. 3, p. 464-472, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.ecohyd.2018.10.003>

- Silva, F. L.; Stefani, M. S.; Smith, W.; Schiavone, D. C.; Cunha-Santino, M. B.; Bianchini Jr., I. An applied ecological approach for the assessment of anthropogenic disturbances in urban wetlands and the contributor river. **Ecological Complexity**, v. 43, 100852, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.ecocom.2020.100852>
- Sobrinho, P.; Tsutiya, M. **Coleta e transporte de esgoto sanitário**. São Paulo: ABES, 2000.
- Story, P. A.; Forsyth, D. R. Watershed conservation and preservation: Environmental engagement as helping behavior. **Journal of Environmental Psychology**, v. 28, n. 4, p. 305-317, 2008. <https://doi.org/10.1016/j.jenvp.2008.02.005>
- Toet, S.; Van Logtestijn, R. S. P.; Schreijer, M.; Kampf, R.; Verhoeven, J. T. A. The functioning of a wetland system used for polishing effluent from a sewage treatment plant. **Ecological Engineering**, v. 25, n. 1, p. 101-124, 2005. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2005.03.004>
- Young, W. F.; Horth, H.; Crane, R.; Odgen, T.; Arnott, M. Taste and odour threshold concentrations of potential potable water contaminants. **Water Research**, v. 30, n. 2, p. 331-340, 1996. [https://doi.org/10.1016/0043-1354\(95\)00173-5](https://doi.org/10.1016/0043-1354(95)00173-5)
- Wu, H.; Gao, X.; Wu, M.; Zhu, Y.; Xiong, R.; Ye, S. The efficiency and risk to groundwater of constructed wetland system for domestic sewage treatment: A case study in Xiantao, China. **Journal of Cleaner Production**, v. 277, 123384, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123384>
- Zat, M.; Benetti, A. D. Remoção dos compostos odoríferos geosmina e 2-metilisoborneol de águas de abastecimento através de processos de aeração em cascata, dessorção por ar e nanofiltração. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 16, n. 4, p. 353-360, 2011. <https://doi.org/10.1590/S1413-41522011000400006>



Informação da Licença: Este é um artigo Open Access distribuído sob os termos da Licença Creative Commons Attribution, que permite uso irrestrito, distribuição e reprodução em qualquer meio, desde que a obra original seja devidamente citada.