



COMPROMETIMENTO DA VAZÃO DE MANUTENÇÃO E LANÇAMENTO DE CARGAS POLUIDORAS NO RIO GRAMAME, ESTADO DA PARAÍBA

Gilson Melo

Universidade Federal da Paraíba

Carmem Lúcia Moreira Gadelha

Universidade Federal da Paraíba

Resumo

Na bacia do Rio Gramame, os cursos d'água a jusante do reservatório Gramame-Mamuaba estão submetidos a uma situação bastante complicada, por serem impactados por atividades agrícolas, industriais e domésticas. Este trabalho teve como objetivo investigar se a vazão de manutenção (vazão ecológica) do Rio Gramame está sendo ou não comprometida pela diluição de cargas poluidoras industriais, que são despejadas a jusante daquele reservatório. As medições de vazão foram realizadas em oito estações posicionadas no rio Gramame e em dois afluentes, o riacho Mussuré e o rio Mumbaba, nas cercanias dos distritos industriais de João Pessoa e Conde. Na área estudada, as indústrias mais impactantes, quanto à carga orgânica poluidora estimada, pertencem às tipologias bebidas, têxtil, alimentos e polpa e papel. A carga poluidora industrial, em termos de DBO, foi estimada em $19.557,31 \text{ kg.dia}^{-1}$, equivalente à poluição causada por uma população de 362.172 habitantes. Os valores estimados de DBO da mistura, correspondentes às cargas poluidoras que chegam aos rios Mumbaba e Gramame, são bastante altos, notadamente nos PM 1, 2 e 3. Em decorrência disso, as vazões mínimas a serem mantidas nos cursos d'água pesquisados, de modo a garantir a diluição das cargas poluidoras, visando a atender a DBO máxima permitida pela legislação, deveriam ser muito mais altas do que as vazões máximas efetivamente medidas. Depreende-se, assim, que os cursos d'água estudados não têm vazão suficiente para diluir as cargas provenientes do Distrito Industrial de João Pessoa, as quais comprometem inclusive a vazão ecológica deles.

Palavras-Chave: poluição aquática, cargas poluidoras industriais, vazão de manutenção, vazão ecológica, Rio Gramame.

MAINTENANCE FLOW BY THE DISCHARGE AND POLLUTANT LOADS IN THE GRAMAME RIVER, STATE OF PARAÍBA

Abstract

In the Gramame River basin, watercourses downstream of Gramame-Mamuaba reservoir are undergoing a very complicated situation, since they are impacted by agricultural, industrial and domestic activities. The main objective of this work was to investigate if the Gramame river instream maintenance flow (ecological flow) is being impaired by the dilution of industrial pollutant loads, which are discharged downstream of that reservoir. The flow measurements were carried out at eight stations positioned in the Gramame river and two tributaries, namely Mussuré stream and Mumbaba river, in the vicinity of the industrial districts of João Pessoa and Conde. In the study area, the most impacting industries, regarding the estimated organic pollutant load, belong to the following types: beverages, textile, food, and pulp and paper. The industrial pollutant load in terms of BOD was estimated at 19,557.31 kg.day⁻¹, equivalent to the pollution caused by a population of 362,172 inhabitants. The estimated values of BOD after mixing, corresponding to the loads arriving at Mumbaba and Gramame rivers, are quite high, especially at PMs 1, 2 and 3. As a consequence, the minimum flows to be kept in the surveyed watercourses, in order to ensure the dilution of pollutant loads, aiming to meet the maximum BOD value allowed by the legislation, should be much higher than the maximum flows effectively measured. Thus, it can be concluded that the studied watercourses do not have enough flow to dilute the loads coming from the industrial district of João Pessoa, impairing even their ecological flows.

Keywords: aquatic pollution, industrial pollutant loads, instream maintenance flow, ecological flow, Gramame river.

INTRODUÇÃO

A humanidade vem atravessando um período de grave crise ambiental global, provocada, em grande medida, pelo próprio modelo de desenvolvimento adotado pela sociedade contemporânea. No contexto dessa crise ambiental, a questão da água se destaca como uma das mais relevantes, sob diferentes aspectos. Um deles diz respeito à presença de contaminantes biológicos e poluentes químicos nesse meio, devido ao manejo inadequado das águas residuárias de origem urbana, industrial e agrícola, que tem afetado a saúde e o modo de vida de muitos milhões de pessoas, bem como a biota e os ecossistemas aquáticos, no mundo inteiro (TUNDISI, 2015). Para mitigação da “crise da água” a humanidade dispõe de apenas três alternativas até o momento: “a recuperação, a preservação e o manejo racional dos recursos de água doce em todo o mundo” (ESTEVES; MENEZES, 2011, p. 67).

A deterioração da qualidade desses recursos naturais de importância vital tende a se agravar, por causa dos usos impróprios que o homem continua fazendo deles e das atividades que desenvolve nas bacias hidrográficas (GADELHA *et al.*, 2011; GONÇALVES *et al.*, 2012), o que acaba impactando os corpos hídricos que estão presentes nelas. Ressalte-se, todavia, que não existe proibição para o lançamento de despejos nos rios, pois estes apresentam capacidade natural de assimilá-los, devendo-se apenas ter o cuidado de lançar, no máximo, a quantidade passível de ser assimilada, ou seja, “aquela que não degrada fortemente um rio, mantendo, assim, seu complexo ecossistema aquático, inclusive os peixes” (GIANSANTE, 1997, p. 2198).

Desta forma, uma das maneiras de se controlar a poluição hídrica é pesquisando e determinando a capacidade de autodepuração de cada curso d’água (ANDRADE, 2010), a fim de assegurar a proteção da diversidade biológica e do equilíbrio ecossistêmico (GUEDES *et al.*, 2009). Tal capacidade é limitada (VON SPERLING, 2005, p. 136) e ocorre naturalmente devido a processos físicos, químicos e biológicos (ANDRADE, *op. cit.*; GUEDES *et al.*, *op. cit.*; VON SPERLING, *op. cit.*, p. 143). Entre os processos físicos atuantes nos cursos hídricos, cabe destacar a diluição. Devido a ela, os constituintes das cargas poluidoras tornam-se menos concentrados e, portanto, têm os seus efeitos danosos atenuados (FLOEHR *et al.*, 2013; FARHADIAN *et al.*, 2015; MONFARED *et al.*, 2017). Assim, quanto maior for o caudal (vazão) do corpo aquático receptor, maiores serão suas capacidades assimilativa e diluidora de cargas poluidoras.

A propósito, as medições de vazão dos cursos d’água são imprescindíveis para aplicações da mais alta relevância na sociedade contemporânea: planejamento, elaboração, operação e gestão de projetos relacionados ao uso da água de superfície, para finalidades domésticas, industriais, comerciais, de irrigação, aproveitamento hidrelétrico, navegação, como também gerenciamento de bacias hidrográficas, calibração de modelos hidrológicos, previsão e prevenção de cheias, diluição e transporte de poluentes, entre outras (WMO, 2010; LUERCE; OLIVEIRA; GUASSELLI, 2011; SOUSA *et al.*, 2015).

Está bem estabelecido que a construção de barragens em cursos d’água, para preservação hídrica e outras finalidades, provoca mudanças no regime de vazões fluviais (*cf.* REVENGA *et al.*, 2000; ROSENBERG; MCCULLY; PRINGLE, 2000; WCD, 2000; ADEL, 2002; WANG *et al.*, 2006; YAN *et al.*, 2010; FREDERICE; BRANDÃO, 2016).

É incontroverso que o regime de vazões de um rio é fundamental para a manutenção da diversidade biológica e da integridade e serviços ecossistêmicos (KARR, 1991; RICHTER *et al.*, 1997; ROSENBERG *et al.*, *op. cit.*; BUNN; ARTHINGTON, 2002). Não obstante esses aspectos, a legislação brasileira de recursos hídricos determina que os reservatórios devam manter, para jusante, tão somente uma vazão mínima remanescente (vazão ecológica) (FREDERICE; BRANDÃO, *op. cit.*).

Na bacia hidrográfica do rio Gramame, litoral sul do estado da Paraíba, os cursos d’água a jusante do reservatório Gramame-Mamuaba (principal responsável pelo abastecimento de água da Grande João Pessoa), por serem de baixa vazão,

apresentam uma situação bastante complicada, já que recebem lançamentos de efluentes agrícolas, domésticos e industriais (contendo inclusive metais pesados). Estes dois últimos tipos de efluentes, lançados em geral sem tratamento, nos referidos cursos d'água, principalmente via riacho Mussuré, um afluente do rio Mumbaba, que, por sua vez, é afluente do rio Gramame, são provenientes do Distrito Industrial de João Pessoa (DIJP) e das comunidades circunvizinhas (ABRAHÃO *et al.*, 2007; GARCIA *et al.*, 2008; ABRAHÃO; CARVALHO, 2009; RODRIGUES, 2012; SOUZA, 2013; SILVA; SILVA; DANTAS NETO, 2014).

Dentro deste contexto, este trabalho teve como objetivo investigar se a vazão de manutenção (vazão ecológica) do Rio Gramame está sendo comprometida pela diluição de cargas poluidoras, notadamente industriais, que são despejadas a jusante do reservatório Gramame-Mamuaba.

MATERIAL E MÉTODOS

Caracterização da área de estudo

A bacia hidrográfica do Rio Gramame (Figura 1), com área de drenagem de 589,1 km² e perímetro de 123,3 km (TURNELL; CRISPIM, 2014), situa-se entre as latitudes 7° 11' e 7° 24' Sul e as longitudes 34° 48' e 35° 10' Oeste (LINHARES *et al.*, 2014), na região litorânea Sul do estado da Paraíba, próximo a João Pessoa, sua capital.

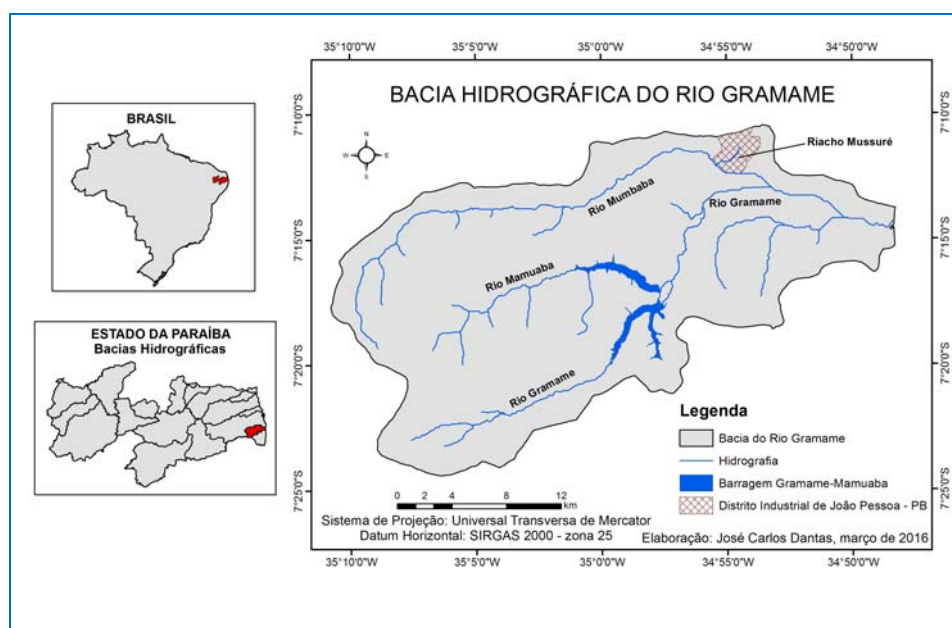


Figura 1 – Bacia hidrográfica do rio Gramame, com a localização do DIJP destacada.

A referida bacia hidrográfica é estratégica por constituir-se na principal fonte de abastecimento de água para o conglomerado urbano que forma a Grande João

Pessoa (GADELHA *et al.*, 2001), da população que reside nesse espaço geográfico, e de outras atividades que se sustentam mediante os recursos naturais nela encontrados. A barragem Gramame-Mamuaba, que forma o principal reservatório da bacia, cuja capacidade de reservação de água é de cerca de 60 milhões de m³ (GADELHA; DINIZ, 2002, p. 36), se localiza no limite entre o médio e o baixo curso do rio Gramame (SCIENTEC, 2000).

A Companhia de Água e Esgotos da Paraíba (Cagepa) é a responsável pela operação e gerenciamento desse reservatório. Neste particular, são importantes as informações repassadas por Abel Bezerra Júnior, engenheiro da citada autarquia estadual: a) os ajustes das vazões, pós-captação, são realizados por pitometria algumas vezes por ano; b) a vazão retirada do reservatório é de 2.200 L.s⁻¹ (média anual); c) a vazão captada na barragem de nível é de 2.000 L.s⁻¹ (média anual); d) o critério para se ajustar a vazão é, essencialmente, manter a operação da Estação Elevatória de Água Bruta (EEAB) e deixar uma vazão de manutenção do rio Gramame, pós-captação, em torno de 200 L.s⁻¹.

Grosso modo, vazão de manutenção também pode ser denominada vazão ambiental, ecológica, remanescente ou residual. Silva e Alencar (2001, p. 2) comentam que a “atividade industrial ... se faz presente no espaço geográfico da bacia, com concentração considerável de plantas fabris, nos distritos industriais de João Pessoa e Conde, localizados no terço inferior da bacia”.

O riacho Mussuré, principal porta de entrada de cargas poluidoras no trecho da bacia do rio Gramame situado a jusante do reservatório Gramame-Mamuaba, localiza-se inteiramente dentro do município de João Pessoa, apresenta uma extensão de aproximadamente 5,2 km (ABRAHÃO, 2006) e deságua no rio Mumbaba. Sua bacia, delimitada por um perímetro de 16,03 km, está localizada entre as latitudes 7º 11' e 7º 13' Sul e as longitudes 34º 52' e 34º 56' Oeste, e abrange 12,94 km² de área, o que corresponde a 2,2% da área da bacia do rio Gramame (ABRAHÃO, *op. cit.*; ABRAHÃO *et al.*, 2007).

Parte considerável da microbacia do riacho Mussuré está ocupada pelo DIJP, o qual se estende por 646 ha (ABRAHÃO *et al.*, *op. cit.*). Frise-se que, deste total, 148 ha estão inseridos na bacia hidrográfica do rio Paraíba (NUNES, 2012, p. 26), o que perfaz 22,91% da sua área. Desta forma, o DIJP ocupa 38,48% da microbacia em questão. Este setor é “um grande consumidor dos recursos hídricos, tendo em vista o volume de água necessário para a produção industrial” (RODRIGUES, 2012, p. 99), apesar de ocupar somente 0,85% da área da bacia do Gramame.

O referido distrito se situa a cerca de 6 km do centro de João Pessoa (ABRAHÃO, 2006) e localiza-se no quadrante sudoeste deste município (RODRIGUES, *op. cit.*, p. 79). Conta com indústrias de pequeno, médio e grande porte, em diversos ramos de atividade, conforme especificado no Anexo 1.

Levantamentos realizados junto à Superintendência de Administração do Meio Ambiente (Sudema) e à Agência Executiva das Águas do Estado da Paraíba (AES/A) permitiram verificar que 44 indústrias estão em operação no DIJP (Anexo 1). No entanto, uma indústria da tipologia polpa e papel, localizada no DI de Conde, foi incluída na listagem, em virtude da sua grande proximidade do DIJP e de seus

efluentes líquidos serem descartados no rio Gramame, a pouco mais de 1 km a montante da confluência deste com o rio Mumbaba.

Em virtude de o DIJP ser cortado pelo riacho Mussuré, este pequeno curso d'água tem sido o principal receptor e diluidor dos efluentes líquidos ali produzidos, desde o início das atividades industriais, em 1967, naquela área (ABRAHÃO *et al.*, 2007).

A grande maioria das indústrias lança seus efluentes na área do riacho Mussuré de uma destas maneiras: diretamente no curso d'água, com ou sem tratamento; através de rede coletora exclusiva para as indústrias; em fossas sépticas (ABRAHÃO, 2006; RODRIGUES, 2012). A maior parte delas não realiza tratamento adequado e eficiente dos efluentes líquidos que produzem, sendo desconhecidas suas características (SCIENTEC, 2000).

Coleta de dados

As medições de vazão foram realizadas em quatro campanhas, nos anos de 2015 e 2016, as duas primeiras no período de estiagem e as duas últimas no período chuvoso: **1ª campanha**, 30 de setembro de 2015 (início do período de estiagem); **2ª campanha**, 29 de fevereiro de 2016 (fim do período de estiagem); **3ª campanha**, 9 de junho de 2016 (pico do período chuvoso); e **4ª campanha**, 28 de julho de 2016 (transição do pico para o fim do período chuvoso).

Obviamente, é durante o período de estiagem que os cursos d'água apresentam vazão reduzida, o que afeta negativamente sua capacidade de diluição de cargas poluidoras. O contrário ocorre no período chuvoso. A realização de medições de vazão nos dois períodos climáticos característicos da região Nordeste é de suma importância para entendimento mais abrangente do hidrodinamismo da área pesquisada.

Medição da vazão e definição e caracterização das estações

Os materiais utilizados para as medições de vazão foram uma régua metálica graduada, uma trena com 30 m de comprimento, corda, um cronômetro e um micromolinete fluviométrico modelo C2, da marca OTT Hydromet, de fabricação alemã, com contador de giros conectável.

Para obtenção do perfil de velocidades em cada seção transversal, as leituras foram realizadas variando as posições do micromolinete, tanto ao longo dos pontos da seção, quanto da profundidade. As leituras obtidas foram organizadas em uma planilha do programa Excel e processadas no programa MolinX (versão modificada em 21/09/2009) para cálculo das vazões nas seções levantadas. O programa mencionado foi desenvolvido pelos professores Luiz Simão de Andrade Filho e Cristiano das Neves Almeida, do Laboratório de Recursos Hídricos e Engenharia Ambiental (LARHENA) da Universidade Federal da Paraíba.

Para a definição das estações de medição de vazão foram considerados aspectos geográficos, físicos e ambientais da área objeto deste estudo, tendo sido observadas as seguintes normas: DZ-201 (SUDEMA, 1988a) e NBR 9897/1987

(ABNT, 1987). As medições deste parâmetro foram executadas em oito estações, a saber: no riacho Mussuré, estação MS-1; no rio Mumbaba, estações MB-1, MB-2 e MB-3; e, no Rio Gramame, estações GR-1, GR-2, GR-3 e GR-4 (Tabela 1; Figura 3),

A estação MB-1 é um referencial importante porque não é afetada pelas cargas poluidoras industriais e domésticas lançadas no riacho Mussuré, afluente do rio Mumbaba. Também cabe destacar a estação MS-1, uma vez que é a montante dela que são escoadas as cargas poluidoras que adentram o riacho Mussuré. Assim, ela desempenha o papel de testemunho de toda a poluição que afeta esse curso d'água. Quanto à estação MB-2, a sua localização foi planejada para possibilitar o monitoramento do impacto, no rio Mumbaba, das cargas poluidoras oriundas, unicamente, do riacho Mussuré.

No tocante à estação MB-3, ela tanto monitora a poluição proveniente do riacho Mussuré, quanto aquela que resulta do despejo contínuo de efluentes da Indústria no. 11, um empreendimento têxtil, na margem esquerda do rio Mumbaba, por meio de um emissário, como também a que é escoada por um canal a céu aberto, também na margem esquerda do rio Mumbaba, adjacente à ponte da BR-101. O emissário supramencionado dista cerca de 236 m a montante da estação MB-3.

A localização das estações GR-1 e GR-2 foi planejada para possibilitar o monitoramento do impacto, no rio Gramame, das cargas poluidoras provenientes da Indústria no. 9, situada no DI de Conde, muito próximo ao de João Pessoa. A estação GR-2 fica a cerca de 104 m a jusante do ponto de lançamento de efluentes da referida indústria. Já o posicionamento das estações GR-3 e GR-4 serviu ao propósito de monitorar as cargas poluidoras carreadas pelo rio Mumbaba bem como pelo rio Gramame, e ainda verificar se, ao longo do percurso percorrido, havia diluição dessas cargas. As estações MB-1, GR-1 e GR-2 estão em trechos enquadrados na classe 2, ao passo que as outras cinco estações estão em trechos enquadrados na classe 3 (SUDEMA, 1988b).

Tabela 1 – Localização das estações de medição de vazão monitoradas nesta pesquisa.

| Estação | Coordenadas geográficas | | Descrição |
|---------|-------------------------|----------------|--|
| | Latitude | Longitude | |
| MS-1 | 7° 11' 59,87" | 34° 55' 12,95" | Localizada no riacho Mussuré, próximo ao exutório e adjacente a uma pequena ponte local. Tem a mesma localização da estação MS03, monitorada pela SUDEMA. Os efluentes das indústrias do DIJP são lançados a montante desta estação. |
| MB-1 | 7° 11' 57,05" | 34° 55' 22,70" | Localizada no rio Mumbaba. Tem a mesma localização da estação MB01, monitorada pela SUDEMA. Imediatamente a montante de uma ponte local. Não |

| | | | |
|------|---------------|----------------|---|
| | | | é impactada pelos efluentes das indústrias do DIJP. |
| MB-2 | 7° 12' 30,12" | 34° 54' 40,54" | Localizada no rio Mumbaba. Dista aproximadamente 1.285 m a jusante da foz do riacho Mussuré e a 147 m da ponte da BR-101 sobre este rio, para montante. |
| MB-3 | 7° 12' 34,84" | 34° 54' 25,21" | Localizada no rio Mumbaba, distando em torno de 1.806 m a jusante da foz do riacho Mussuré, 521 m a jusante da estação MB-2 e 416 m a montante da confluência com o rio Gramame. |
| GR-1 | 7° 12' 57,65" | 34° 54' 53,94" | Localizada no rio Gramame, a aproximadamente 559 m da ponte da BR-101 sobre este rio, para montante, e a 1.296 m a montante da confluência dos rios Gramame e Mumbaba. Adjacente à Indústria no. 9, a qual está situada no DI de Conde. |
| GR-2 | 7° 12' 51,08" | 34° 54' 48,72" | Localizada no Rio Gramame, a aproximadamente 301 m da ponte da BR-101 sobre este rio, para montante, 258 m a jusante da estação GR-1 e a 1.038 m a montante da confluência dos rios Gramame e Mumbaba. |
| GR-3 | 7° 12' 46,15" | 34° 54' 14,87" | Localizada no rio Gramame. Dista em torno de 1.123 m a jusante da estação GR-2 e 85 m a jusante da confluência dos rios Gramame e Mumbaba. |
| GR-4 | 7° 12' 50,46" | 34° 54' 5,81" | Localizada no rio Gramame. Fica a aproximadamente 395 m a jusante da confluência dos rios Gramame e Mumbaba, 310 m a jusante da estação GR-3 e 2.623 m a jusante da confluência do rio Mumbaba com o riacho Mussuré. |

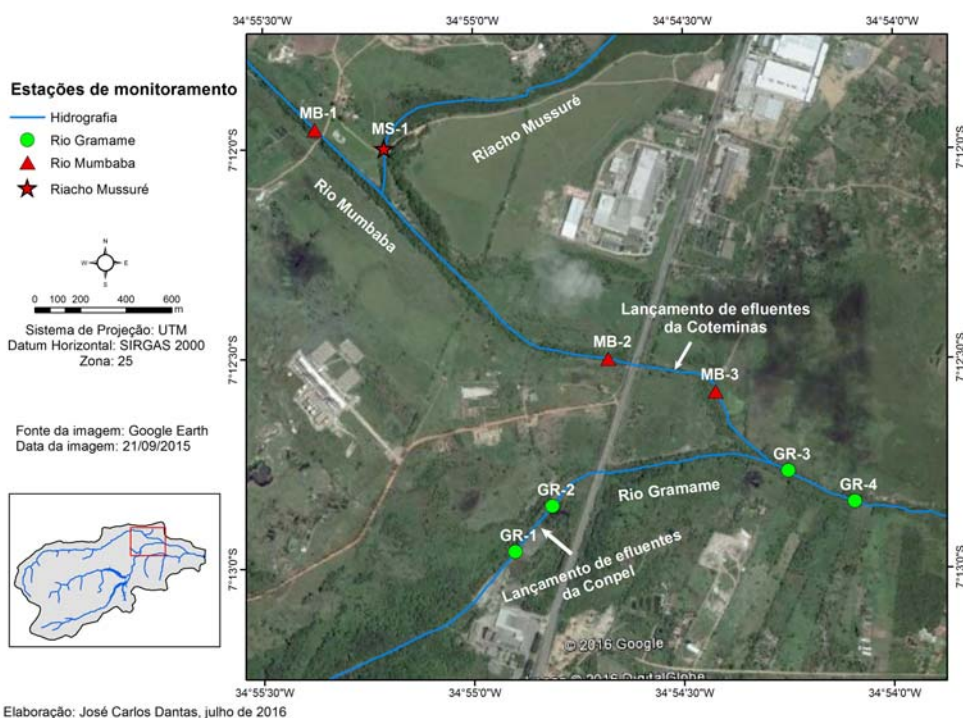


Figura 3 – Área de estudo com a localização das estações de medição de vazão no riacho Mussuré e nos rios Mumbaba e Gramame.

Fonte: Imagem Google Earth (2015), modificada por José Carlos Dantas.

Análise estatística dos dados de vazão

Para o levantamento da variável quantitativa intrínseca ao objeto de estudo (vazão), lançou-se mão, inicialmente, da análise estatística descritiva mediante cálculo de medidas de posição (média, mínimo e máximo) e de dispersão (variância e desvio-padrão).

Para as análises estatísticas inferenciais, foram aplicados: teste de normalidade (Kolmogorov-Smirnov); teste de Levene para comparação de variâncias, que é um teste paramétrico para comparação da igualdade das variâncias populacionais (homocedasticidade); e ANOVA (Análise de Variância), teste paramétrico para comparação das médias de três ou mais grupos independentes. Este último teste proporcionou a comparação entre as vazões médias obtidas no riacho Mussuré e nos rios Mumbaba e Gramame. Para a análise dos dados, só foi possível realizar uma comparação das médias gerais entre os três cursos d'água mencionados, e não entre as estações, em virtude do pequeno tamanho amostral. O teste estatístico foi aplicado adotando-se nível de 5% (0,05) de significância.

Levantamento das fontes poluidoras e estimativa da carga poluidora industrial e do seu equivalente populacional (EP)

Informações sobre cada uma das indústrias foram levantadas junto aos cadastros industriais da Sudema. As de maior relevância para a estimativa das cargas poluidoras foram: tipo de atividade, matérias-primas e insumos, consumo mensal de água e quantidade mensal de matérias-primas. Além de tipo de tratamento dos efluentes e o ponto de seu lançamento. De posse dessas informações, estimou-se a carga poluidora de cada indústria utilizando-se a Equação 1, apresentada em von Sperling (2005):

$$\text{Carga (kg.dia}^{-1}\text{)} = \frac{\text{Concnetração (g.m}^{-3}\text{)} \cdot \text{vazão (m}^3\text{.dia}^{-1}\text{)}}{1000 \text{ (g.kg}^{-1}\text{)}} \quad (1)$$

Em que: carga corresponde à carga de DBO (demanda bioquímica de oxigênio) lançada pelas indústrias; concentração indica a concentração de DBO presente nos efluentes industriais; vazão, a vazão dos efluentes industriais.

Após a obtenção da carga de DBO total lançada pelas indústrias no riacho Mussuré, calculou-se o seu equivalente populacional (EP). Segundo von Sperling (*op. cit.*), este é um importante parâmetro caracterizador dos despejos industriais, uma vez que realiza a equivalência entre o potencial poluidor (em termos de matéria orgânica) de uma indústria (ou de um conjunto delas) e um determinado efetivo populacional, o qual produz esta mesma carga poluidora. É calculado através da Equação 2.

$$EP = \frac{\text{Carga de DBO da indústria (kg.dia}^{-1}\text{)}}{\text{Contribuição per capita de DBO (kg.hab}^{-1}\text{.dia}^{-1}\text{)}} \quad (2)$$

Em que: EP é o equivalente populacional; contribuição *per capita* de DBO corresponde a 0,054 kg hab⁻¹.dia⁻¹; carga corresponde à carga de DBO lançada pelas indústrias.

Foram detectadas inúmeras falhas de informação nos cadastros industriais, dificultando a estimativa da carga poluidora lançada nos cursos d'água pesquisados. Assim, para aquelas indústrias para as quais não havia a informação do consumo de água, a concentração e a vazão dos efluentes gerados, esses dados foram estimados com o auxílio de tabelas disponíveis na bibliografia especializada (VON SPERLING, 2005).

Análise da carga orgânica poluidora estimada que chega aos rios Mumbaba e Gramame

Segundo von Sperling (*op. cit.*, p. 167), as condições no ponto da mistura são as condições iniciais dos modelos de qualidade das águas, os quais assumem, a partir desse ponto, o início do cálculo das reações físicas e bioquímicas. O autor citado comenta, na sequência, que a equação geral da mistura nada mais é do que “uma média ponderada das concentrações com as respectivas vazões dos dois componentes que se misturam (rio-esgoto, ou mesmo rio principal-afluente)”. Com isso, a concentração de um determinado constituinte (p. ex., OD, DBO, N, P, CF) pode ser calculada por intermédio da equação 3:

$$C_o = \frac{Q_1.C_1 + Q_2.C_2}{Q_1 + Q_2} \quad (3)$$

Em que: C_o = concentração do constituinte na mistura (em mg.L⁻¹ ou g.m⁻³); C₁ = concentração do constituinte no componente 1 (p. ex., rio), imediatamente a montante do ponto de mistura (em mg.L⁻¹ ou g.m⁻³); C₂ = concentração do constituinte no componente 2 (p. ex., esgoto, rio afluente), imediatamente a montante do ponto de mistura (em mg.L⁻¹ ou g.m⁻³); Q₁ = vazão do componente 1 (em L.s⁻¹ ou m³.s⁻¹); e Q₂ = vazão do componente 2 (em L.s⁻¹ ou m³.s⁻¹).

No caso da área objeto desta pesquisa, as cargas poluidoras foram representadas pelas concentrações de matéria orgânica, em termos de DBO. Os cálculos foram realizados para quatro pontos de mistura (PM), a saber:

- PM 1: confluência do riacho Mussuré com o rio Mumbaba;
- PM 2: confluência do emissário de despejo de efluentes da Indústria no. 11 com o rio Mumbaba;
- PM 3: confluência do rio Mumbaba com o rio Gramame;
- PM 4: confluência do ponto de despejo de efluentes da Indústria no. 9 com o rio Gramame.

A concentração de matéria orgânica em cada PM é aqui denominada DBO da mistura. A equação da mistura também foi utilizada para o cálculo das vazões mínimas necessárias para a diluição das cargas poluidoras nos PM. No caso do PM 1 e PM 4, o cálculo levou em consideração a DBO máxima de 5,0 mg.L⁻¹ (limite para corpo d'água ou trecho enquadrado na classe 2) como sendo a DBO da mistura. Por outro lado, para o PM 2 e o PM 3, foi considerada a DBO máxima de 10,0 mg L⁻¹ (limite para corpo d'água ou trecho enquadrado na classe 3) como sendo a DBO da mistura.

População humana na bacia hidrográfica do riacho Mussuré

As informações sobre a população residente na área abrangida pela bacia hidrográfica do riacho Mussuré foram coletadas na página do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE na internet, com base nos setores censitários, definidos por este órgão, que estão inseridos nos limites dessa bacia (IBGE, 2010).

Estimativa da contribuição doméstica e da carga de DBO dos esgotos produzidos pela população residente na microbacia do riacho Mussuré

Para o cálculo da vazão média de esgotos, foi utilizada a seguinte equação:

$$Q_{MED} = q \cdot C \cdot P \quad (4)$$

Em que: Q_{MED} = vazão média (em L.dia⁻¹); q = consumo médio de água (estimado em 100 L.hab⁻¹.dia⁻¹ para a população residente na microbacia do riacho Mussuré); C = coeficiente de retorno (assumido como 0,8); e P = população residente (hab).

O cálculo da carga de DBO é dado por:

$$\text{Carga (kd.dia}^{-1}\text{)} = \frac{P(\text{hab}) \cdot \text{carga per capita (g.hab}^{-1}\text{.dia}^{-1}\text{)}}{1000 \text{ (g.kg}^{-1}\text{)}} \quad (5)$$

A carga *per capita* é assumida como sendo 54 g.hab⁻¹.dia⁻¹.

RESULTADOS

Medição de vazão dos cursos d'água investigados

As medições de vazão da água, nas seções transversais monitoradas nos cursos d'água pesquisados, variaram, em termos de valores absolutos, entre 0,303 m³.s⁻¹ e 10,622 m³.s⁻¹. Este parâmetro apresentou: para o riacho Mussuré, média geral de 0,38 m³.s⁻¹ e desvio padrão de 0,09 m³.s⁻¹; para o rio Mumbaba, média geral de 1,83 m³.s⁻¹ e desvio padrão de 1,26 m³.s⁻¹; e, para o rio Gramame, média geral de 2,65 m³.s⁻¹ e desvio padrão de 2,99 m³.s⁻¹ (Tabela 2). A vazão mínima (0,303 m³.s⁻¹) ocorreu na estação de coleta MS-1, na 2ª campanha de amostragem, fim do período seco, e a máxima (10,622 m³.s⁻¹), na estação de coleta GR-3, na 3ª campanha, pico do período chuvoso (Figura 2).

Conforme a análise da Figura 2, em todas as campanhas, as menores vazões ocorreram sempre na estação MS-1. Por outro lado, as maiores vazões foram medidas nas estações GR-3 (1ª, 3ª e 4ª campanhas) e GR-4 (2ª campanha). Surpreendentemente, as vazões registradas em 28/07/2016 (4ª campanha, transição do pico para o fim do período chuvoso) estiveram longe de atingir os valores observados na campanha anterior, estando, praticamente, na mesma ordem daquelas que foram medidas nas campanhas conduzidas no período seco.

O teste de normalidade de Kolmogorov-Smirnov, mostrou que a vazão apresentou normalidade dos dados para cada um dos cursos d'água. O teste de homogeneidade de variâncias de Levene mostrou que os três cursos d'água têm a mesma estrutura de variância, isto é, aceita a hipótese nula (H_0): igualdade de variâncias. Por outro lado, a aplicação do teste ANOVA não revelou diferença estatisticamente significativa na comparação das médias da vazão entre os cursos d'água investigados, conforme indicado na Tabela 2.

Tabela 2 – Medidas descritivas da vazão por estação de coleta, em cada curso d'água monitorado. (Geral_MS = valores gerais referentes ao riacho Mussuré; Geral_MB = valores gerais referentes ao rio Mumbaba; Geral_GR = valores gerais referentes ao rio Gramame).

| Parâmetro | Estação | n | Média | Desvio Padrão | Mín. | Máx. | ANOVA (+) Sig. p-valor |
|---------------------------------------|-----------------|-----------|-------------|---------------|--------------|---------------|---------------------------|
| Vazão ($m^3 \cdot s^{-1}$) (a), (b) | MS-1 | 4 | 0,38 | 0,09 | 0,303 | 0,505 | p = 0,178 |
| | Geral_MS | 4 | 0,38 | 0,09 | 0,303 | 0,505 | |
| | MB-1 | 4 | 1,59 | 1,31 | 0,581 | 3,447 | |
| | MB-2 | 4 | 1,93 | 1,39 | 0,876 | 3,960 | |
| | MB-3 | 4 | 1,96 | 1,44 | 0,848 | 4,073 | |
| | Geral_MB | 12 | 1,83 | 1,26 | 0,581 | 4,073 | |
| | GR-1 | 4 | 1,17 | 0,84 | 0,423 | 2,539 | |
| | GR-2 | 4 | 1,33 | 0,90 | 0,530 | 2,585 | |
| | GR-3 | 4 | 4,28 | 4,27 | 1,378 | 10,622 | |
| | GR-4 | 4 | 3,83 | 3,76 | 1,354 | 9,405 | |
| | Geral_GR | 16 | 2,65 | 2,99 | 0,423 | 10,622 | |

(a) Atendeu ao critério de normalidade (teste de Kolmogorov-Smirnov), em relação aos cursos d'água.

(b) Teste de Homogeneidade aceita a hipótese H_0 : igualdade de variâncias, significância p-valor > 0,05.

- (+) ANOVA (comparações entre as médias gerais) deu resultado não significativo:
 (*) p-valor >0,05.

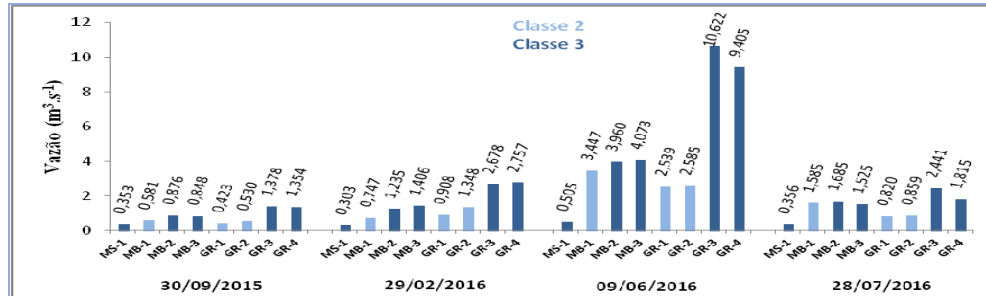


Figura 2 – Valores de vazão da água, obtidos nas campanhas de 2015 e 2016. As estações estão identificadas conforme as classes de enquadramento dos trechos em que se encontram.

Estimativa da contribuição doméstica e da carga de DBO dos esgotos produzidos pela população residente na bacia do riacho Mussuré

No sítio eletrônico do IBGE, é informado que, entre 2010 e 2016, a população de João Pessoa aumentou, passando de 720.954 habitantes para 801.178 habitantes, correspondendo a um incremento de 11,128%. Em 2010, a população residente na área da bacia do rio Mussuré era de 41.380 habitantes. Assumindo que essa população sofreu aumento em percentual igual ao do município de João Pessoa, o seu efetivo passou, então, para 45.985 habitantes, em 2016.

Para essa população, a vazão média de esgotos produzidos na área da bacia do riacho Mussuré é de 3.678.800 L.dia⁻¹, o que equivale a 42,58 L.s⁻¹. Ainda são poucos os setores da bacia do riacho Mussuré em que existe rede de esgoto, conforme pode ser visualizado na Figura 3. Segundo informações fornecidas pela Subgerência de Geoprocessamento da Cagepa, a quantidade de imóveis com ligação de esgoto, por bairro, é a seguinte: Ernesto Geisel, 132 ligações; João Paulo II, 179; Grotão, 425; Bairro das Indústrias, 419; e Distrito Industrial, 288. Isto dá um total de 1.443 ligações de esgoto. Admitindo-se que em cada um desses imóveis morem, em média, quatro pessoas, essas ligações atendem a um efetivo de cerca de 5.772 residentes da bacia do riacho Mussuré. O esgoto produzido por esses residentes é direcionado para a estação de tratamento de esgoto (ETE) localizada no bairro de Mangabeira.

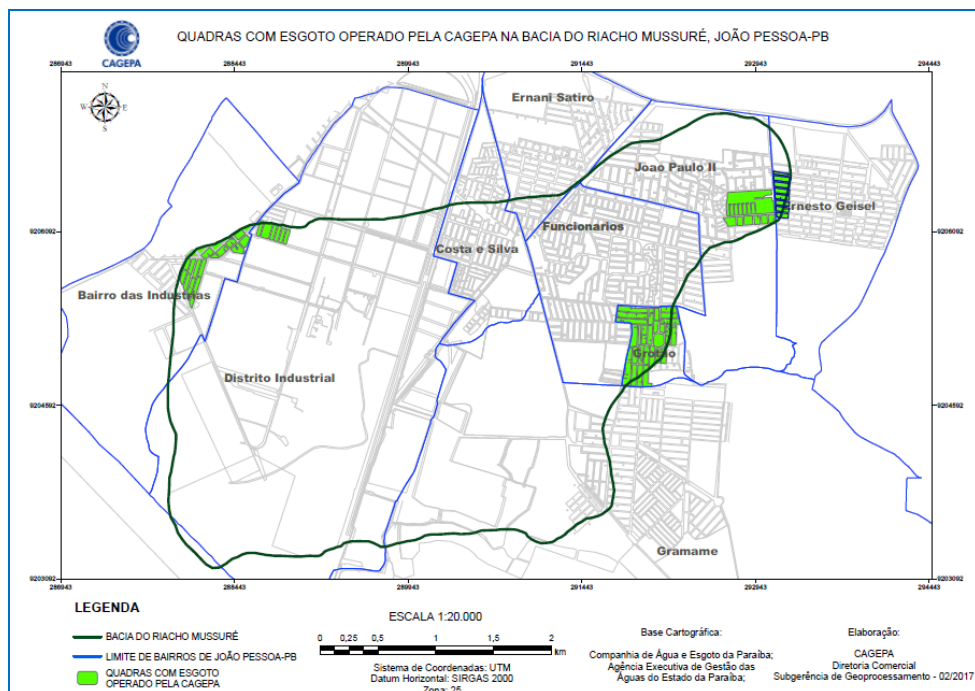


Figura 3 – Setores da bacia do riacho Mussuré atendidos por rede de esgoto.

A carga de DBO correspondente a esgotos domésticos foi estimada em 2.483,19 kg.dia⁻¹. Desta carga, 311,69 kg.dia⁻¹ são direcionados para a estação de tratamento de esgoto (ETE) localizada no bairro de Mangabeira, pois são gerados por cerca de 5.722 residentes de setores da referida bacia que contam com ligações de esgoto implantadas pela Cagepa. Portanto, 2.171,5 kg.dia⁻¹ permanecem nessa bacia. No entanto, não foi possível quantificar quanto desta carga remanescente é lançada diretamente no riacho Mussuré.

Vazão de efluentes industriais lançados nos cursos d'água pesquisados, carga orgânica poluidora e seu equivalente populacional (EP)

Como já mencionado anteriormente, informações obtidas junto à Sudema e à AESA possibilitaram determinar que 44 indústrias estavam em operação no DIJPI, nos anos de 2015 e 2016, as quais estão enumeradas e as suas atividades devidamente especificadas no Anexo 1. Embora esteja localizada no DI de Conde, a Indústria no. 9 também consta no referido anexo, conforme também explicado anteriormente. Com base nas informações supramencionadas, foi calculado o percentual de cada tipologia industrial presente no DIJP, durante os anos de 2015 e 2016 (Figura 4).

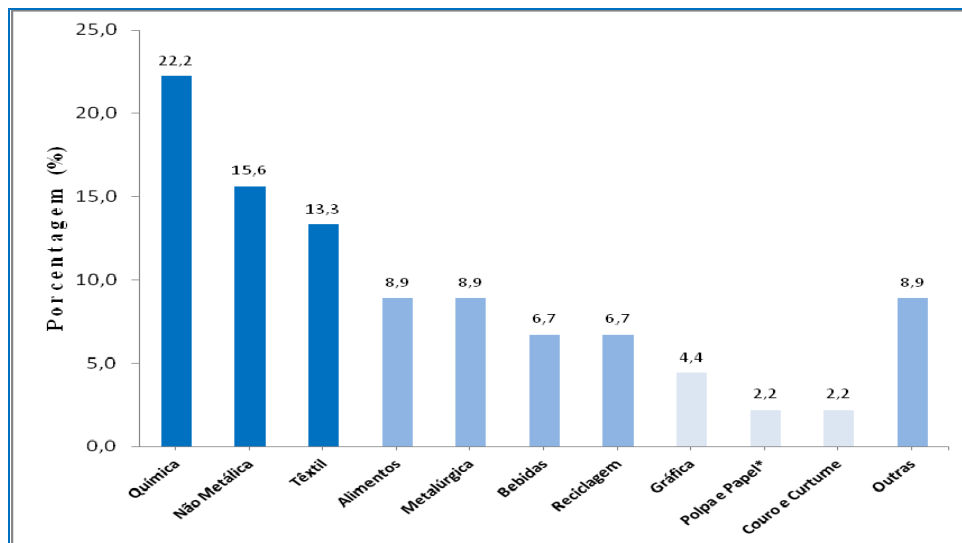


Figura 4 – Porcentagem de cada tipo de indústria em operação no DIJP, nos anos de 2015 e 2016.

*A tipologia Polpa e Papel corresponde a uma única indústria que, na realidade, está localizada no DI de Conde, porém muito perto do DIJP.

A tipologia com maior percentual de indústrias em operação no DIJP foi a química (22,2%), sendo seguida pela não metálica (15,6%), têxtil (13,3%), alimentos (8,9%) e metalúrgica (8,9%). Fazendo uso das informações cadastrais e de tabelas disponíveis na literatura especializada (VON SPERLING, 2005), foram estimadas a vazão de água consumida, a concentração de DBO (g.m^{-3}) e a carga poluidora (kg.dia^{-1}) para cada uma das 45 indústrias. A Tabela 3, abaixo, mostra as cargas orgânicas poluidoras por tipologia industrial e total produzidas na área objeto desta pesquisa, representativas dos anos de 2015 e 2016. A carga poluidora total, que compreende a quantidade de poluentes orgânicos biodegradáveis estimada para todas as indústrias, foi de $19.557,31 \text{ kg.dia}^{-1}$.

Tabela 3 – Carga orgânica poluidora industrial estimada por tipo de indústria em operação no DIJP, nos anos de 2015 e 2016.

| Tipologia industrial | Carga orgânica poluidora - DBO (kg.dia^{-1}) |
|------------------------------------|--|
| Bebidas | 8.549,33 |
| Têxtil | 7.670,16 |
| Alimentos | 1.872,08 |
| Polpa e Papel* | 685,44 |
| Reciclagem, Recauchutagem de Pneus | 450,30 |

| | |
|--|------------------|
| e Incineração | |
| Química | 249,19 |
| Couro e Curtume | 75,00 |
| Metalúrgica | 3,95 |
| Não Metálica | 1,42 |
| Gráfica | 0,44 |
| Fabricação de Instrumentos Médico-Hospitalares | - |
| Fabricação de Móveis | - |
| Mecânica/Artigos Elétricos | - |
| Total | 19.557,31 |

*A tipologia Polpa e Papel corresponde a uma única indústria que, na realidade, está localizada no DI de Conde, porém muito perto do DIJP.

Os dados mostram que as indústrias mais impactantes, do ponto de vista da poluição orgânica, são as das tipologias bebidas, têxtil, alimentos e polpa e papel, cujas respectivas cargas poluidoras estimadas, em termos de DBO, foram: 8.549,33 kg.dia⁻¹, 7.670,16 kg.dia⁻¹, 1.872,08 kg.dia⁻¹ e 685,44 kg.dia⁻¹. É interessante ressaltar que as indústrias de bebidas, embora não estejam entre as tipologias com maior percentual de indústrias em operação no DIJP, são responsáveis por 43,71% da carga orgânica poluidora total. Por outro lado, as indústrias não metálicas compõem a tipologia com o segundo maior percentual, de 15,6%, porém sua carga orgânica poluidora estimada é de apenas 1,42 kg.dia⁻¹. A Tabela 4 apresenta a vazão estimada dos efluentes industriais despejados em cada curso d'água monitorado e os respectivos valores de concentração de DBO, carga orgânica e equivalente populacional (EP).

Tabela 4 – Vazão estimada dos efluentes industriais (EIs) lançados pelas indústrias (n = 45) que estavam em operação na área objeto desta pesquisa, entre junho de 2015 e julho de 2016. Os respectivos valores referentes à concentração de DBO, carga orgânica poluidora e seu equivalente populacional (EP) também são apresentados.

| Via de entrada dos EIs | Vazão dos EIs (m ³ .dia ⁻¹) | Concentração de DBO (g.m ⁻³) | Carga orgânica poluidora, DBO (kg.dia ⁻¹) | EP (hab) |
|------------------------|--|--|---|----------------|
| Riacho Mussurú | 7.677,42 | 1.812,42 | 13.914,67 | 257.679 |
| Rio Mumbaba | 5.832,00 | 850,00 | 4.957,20 | 91.800 |
| Rio Gramame | 6.720,00 | 102,00 | 685,44 | 12.693 |
| Total | 20.229,42 | - | 19.557,31 | 362.172 |

Foi estimada uma vazão total de 20.229,42 m³.dia⁻¹ de efluentes industriais, estando assim distribuída, conforme a procedência: 7.677,42 m³.dia⁻¹ despejados no riacho Mussuré; 5.832,00 m³.dia⁻¹ lançados no rio Mumbaba, por meio de um emissário situado entre as estações MB-2 e MB-3, e 6.720,00 m³.dia⁻¹ lançados no rio Gramame a jusante da estação GR- 1, em área adjacente a uma indústria de papel. As concentrações de DBO foram as seguintes: 1.812,42 g.m⁻³ no riacho Mussuré; 850,00 g.m⁻³ no rio Mumbaba e 102,00 g.m⁻³ no rio Gramame. As cargas orgânicas poluidoras distribuíram-se da seguinte forma: 13.914,67 kg.dia⁻¹ no riacho Mussuré; 4.957,20 kg.dia⁻¹ no rio Mumbaba e 685,44 kg.dia⁻¹ no rio Gramame. Considerando-se a carga orgânica total das indústrias, obteve-se um EP de 362.172 habitantes, sendo que o riacho Mussuré, o curso d'água mais impactado, foi responsável por 71,15% desse valor (257.679 habitantes).

Análise da carga orgânica poluidora estimada que chega aos rios Mumbaba e Gramame

As cargas poluidoras geradas pelas indústrias instaladas no DIJP e as vazões mínimas necessárias para a sua diluição estão apresentadas na Tabela 5. A análise da Tabela 5 mostra que os valores estimados de DBO são extremamente elevados, principalmente nos PM 1, 2 e 3, em todas as campanhas de amostragem. Consequentemente, as vazões mínimas a serem mantidas nos cursos d'água investigados, para garantir a diluição das cargas poluidoras, a fim de atender a DBO máxima estabelecida pela Resolução CONAMA no. 357/2005 (BRASIL, 2005), normalmente estão muito acima das vazões máximas efetivamente medidas (cf. Figura 2).

Tabela 5 – Cargas poluidoras estimadas, em termos de DBO da mistura (mg.L⁻¹), dos efluentes produzidos pelas indústrias que estavam em operação no DIJP, entre junho de 2015 e julho de 2016. Os respectivos valores referentes à vazão mínima (L.s⁻¹) necessária para a diluição das cargas poluidoras, nos pontos de mistura, também são apresentados. DBO_{mist}, DBO da mistura; Q_{mínima}, vazão mínima.

| PM | 1ª Campanha | | 2ª Campanha | | 3ª Campanha | | 4ª Campanha | |
|----|-------------|---------------------|-------------|---------------------|-------------|---------------------|-------------|---------------------|
| | DBOmist | Q _{mínima} | DBOmist | Q _{mínima} | DBOmist | Q _{mínima} | DBOmist | Q _{mínima} |
| 1 | 687,36 | 531.682,7 | 523,44 | 124.465,5 | 232,64 | 240.196,6 | 333,40 | 169.326,7 |
| 2 | 699,00 | 85.922,3 | 540,40 | 102.156,5 | 242,99 | 112.972,4 | 353,30 | 67.991,2 |
| 3 | 446,31 | 119.171,5 | 237,47 | 65.520,0 | 147,61 | 112.289,8 | 245,65 | 87.677,0 |
| 4 | 19,73 | 18.861,6 | 9,15 | 1.985,4 | 4,39 | 2.095,7 | 9,66 | 1.852,4 |

Os valores estimados de DBO da mistura foram maiores para a 1ª campanha (período de estiagem) e menores para a 3ª campanha (período chuvoso), nos quatro PM. As estimativas das vazões mínimas necessárias para a diluição das cargas poluidoras foram, usualmente, mais altas para a 1ª campanha (exceto no PM 2), enquanto as mais baixas se alternaram entre a 2ª campanha (período de estiagem, para os PM 1 e 3) e a 4ª campanha (período chuvoso, para os PM 2 e 4).

DISCUSSÃO

A origem do conceito de distrito industrial remonta ao economista inglês Alfred Marshall (1842-1924). A análise feita por ele, a partir de uma perspectiva econômica, ressaltou as “vantagens da aglomeração e das características similares das concentrações fabris da Inglaterra nos primeiros anos da revolução industrial” (RODRIGUES, 2012, p. 70). Segundo Rodrigues (*op. cit.*, p. 71), a percepção de Alfred Marshall para aglomeração de atividades industriais já apontava para a cooperação e encadeamento dessas atividades, aspectos importantes do que hoje se conhece como arranjos produtivos.

O DIJP não pode ser considerado um distrito industrial marshalliano, pois está em desacordo com a necessária condição da interligação produtiva entre as indústrias ali instaladas, ou seja, essas indústrias realizam suas atividades de forma desconectada umas das outras. Isto provoca dificuldades nas esferas do planejamento e gestão, tanto de natureza econômica quanto ambiental (RODRIGUES, *op. cit.*, p. 71). A propósito, isto é corroborado por vários trabalhos que apontam para inúmeros problemas acarretados pelo referido DI (p. ex., ABRAHÃO *et al.*, 2007; ABRAHÃO; CARVALHO, 2009; GADELHA *et al.*, 2011; NUNES; GARCIA, 2012; RODRIGUES, 2012; SILVA; SILVA; DANTAS NETO, 2014; TURNELL; CRISPIM, 2014; CARVALHO *et al.*, 2015; SILVA, 2016).

Na área objeto desta pesquisa, as indústrias que mais impactam, do ponto de vista da poluição orgânica, pertencem às tipologias bebidas, têxtil, alimentos e polpa e papel. Cabe destacar que as indústrias de bebidas são responsáveis, estima-se, por 43,71% da carga orgânica poluidora total, muito embora não integrem as tipologias com maior percentual de indústrias em operação no DIJP.

De acordo com Abrahão (2006, p. 81), as indústrias têxteis, de papel, alimentos e bebidas são, provavelmente, as responsáveis pela poluição orgânica no riacho Mussuré, coincidindo inteiramente com o observado na presente pesquisa. Todavia, Silva (2016, p. 64) aponta os despejos das indústrias têxteis, de alimentos, bebidas, gráfica e cerâmica como a causa provável dos altos teores de matéria orgânica detectados no córrego Mumbaba, afluente do riacho Mussuré.

A vazão total dos efluentes industriais foi estimada em 20.229,42 m³.dia⁻¹. Já as vazões diárias estimadas dos efluentes industriais despejados no riacho Mussuré, no rio Mumbaba e no rio Gramame (*cf.* Tabela 4) equivalem, respectivamente, a 88,86 L.s⁻¹, 67,50 L.s⁻¹ e 77,78 L.s⁻¹.

Abrahão (2006) estimou em aproximadamente 262,4 L.s⁻¹ os lançamentos de efluentes industriais no riacho Mussuré, vazão esta muito superior àquela estimada neste trabalho para o referido curso d'água, conforme apresentado

acima. Provavelmente, a diferença apontada seja consequência, pelo menos em parte, da grave crise econômica que atinge o Brasil, a qual provocou uma queda de 3,7% no PIB nacional no período 2014-2016 (BARBOSA FILHO, 2017), acarretando redução na produção das indústrias do DIJP.

A propósito, cabe destacar que, em 2015 e 2016, 45 indústrias estavam em operação nesse DI ou em suas proximidades (cf. Anexo 1), em contraposição aos 59 empreendimentos que Abrahão e Carvalho (2009) constataram que lançavam os seus efluentes líquidos, por via direta ou indireta, no riacho Mussuré. Além disso, é interessante comentar que não se confirmaram as projeções realizadas por Campos, Quinino e Gadelha (2002), de que, na sub-bacia do rio Mumbaba, nos anos 2005 e 2010, estariam em funcionamento, respectivamente, 112 e 159 indústrias. Na análise de Abrahão (*op. cit.*), o DIJP seria, provavelmente, a área de implantação desses empreendimentos, inferindo daí que a carga poluidora afluente ao riacho Mussuré seria aumentada.

Considerando que as vazões máxima e mínima medidas no riacho Mussuré, em trecho onde os efluentes das indústrias já estão totalmente misturados à água, foram $0,505 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ e $0,303 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (cf. Figura 2), verifica-se que a vazão industrial estimada pode estar contribuindo, respectivamente, com 17,60% e 29,33% dessas vazões. No rio Mumbaba, a jusante do emissário de efluentes atribuídos à Indústria no. 11 pelos residentes locais, as vazões máxima e mínima chegaram a $4,073 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ e $0,848 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, o que significa que a vazão industrial estimada pode ser responsável, respectivamente, por 1,66% e 7,96% das referidas vazões para esse trecho do Mumbaba. No que diz respeito à vazão estimada dos despejos industriais no rio Gramame, tomando como referência a estação GR-4, a mais distal, quer seja em relação à confluência do rio Mumbaba com o riacho Mussuré, quer seja em relação à confluência do rio Gramame com o rio Mumbaba, as vazões máxima e mínima, nessa seção do rio, ascenderam a $9,405 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ e $1,354 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, denotando que a contribuição da vazão industrial pode corresponder, respectivamente, a 0,83% e 5,74% das vazões em questão.

O total da carga orgânica industrial, em termos de DBO, foi estimado em $19.557,31 \text{ kg} \cdot \text{dia}^{-1}$, nos trechos dos cursos d'água investigados neste trabalho. Esse valor é bastante inferior àquele apontado para o riacho Mussuré, por Abrahão (2006, p. 81), de $36.242,89 \text{ kg DBO} \cdot \text{dia}^{-1}$, do qual representa 53,96%. Uma explicação plausível para a diminuição da carga orgânica industrial pode residir no efeito negativo da atual crise econômica brasileira, principalmente, sobre a produção das indústrias do DIJP, segundo aventado acima. Apesar disso, ficou comprovado que o referido riacho ainda permanece como a principal via de entrada de poluição industrial no sistema, uma vez que a estimativa da carga orgânica poluidora, decorrente dos efluentes industriais líquidos lançados nele, foi de $13.914,67 \text{ kg} \cdot \text{dia}^{-1}$ (71,15% do total). Dos setores investigados, aquele correspondente ao rio Gramame foi o que apresentou a menor carga poluidora estimada: $685,44 \text{ kg} \cdot \text{dia}^{-1}$ (3,50% do total e 4,93% da carga atribuída às indústrias que despejam seus efluentes, direta ou indiretamente, no riacho Mussuré).

O EP correspondente à carga orgânica total das indústrias, estimado nesta pesquisa, foi de 362.172 habitantes. De acordo com a via de entrada dos efluentes

industriais, o EP está distribuído assim: riacho Mussuré, 257.679 habitantes; rio Mumbaba, 91.800 habitantes; rio Gramame, 12.693 habitantes. Entretanto, Abrahão (*op. cit.*) calculou que o potencial poluidor das indústrias responsáveis pelo lançamento de efluentes no riacho Mussuré equiparava-se ao de uma população de 671.165 habitantes, portanto 85,32% maior do que o obtido para toda a área deste estudo. Não obstante, no que tange à poluição hídrica, o cenário atual ainda está muito longe de não ser inquietante. O riacho Mussuré, em especial, se encontra em condições críticas de degradação, mesmo tendo presente que algumas indústrias tratam seus efluentes.

A carga de DBO correspondente aos esgotos domésticos que permanecem na bacia do riacho Mussuré, de 2.171,5 kg.dia⁻¹, representa 15,61% da estimativa de carga orgânica industrial despejada nesse riacho. A poluição aquática devida aos esgotos domésticos foi atribuída a uma população residente presumida de 40.213 habitantes, em 2016, depois de descontado o efetivo de aproximadamente 5.772 pessoas que são atendidas pelos sistemas de esgotamento sanitário (coleta e transporte) implantados pela Cagepa na bacia mencionada (*cf.* Figura 3). Todavia, não foi possível quantificar quanto dessa carga remanescente é efetivamente lançada no riacho Mussuré.

A equação da mistura reflete as condições de diluição apresentadas por um curso d'água receptor de cargas poluidoras. Isto deixa patente que a capacidade de assimilação de um rio é fortemente influenciada pela diluição (VON SPERLING, 2005, p. 169). Aliás, Campolo, Andreussi e Soldati (2002) comentam que a observância de valores limites para a carga de poluentes em águas residuárias, definidos sem levar em conta o caudal do rio, por si só, não garante proteção contra a poluição, tendo em vista que os mecanismos determinantes da qualidade da água são a mistura, o transporte e as reações de espécies que ocorrem no corpo aquático receptor. Nos períodos de baixa vazão, em que a capacidade autodepurativa de um rio sofre redução, isto fica manifesto. Esse quadro fica mais complicado quando se leva em conta o fato de o poder público ainda dar prioridade aos fatores que têm relação direta com o crescimento econômico, acentuando determinadamente o desequilíbrio entre atividades industriais, meio ambiente e, conseqüentemente, o próprio ser humano (RODRIGUES, 2012).

Nesta investigação, constatou-se que os valores estimados de DBO da mistura apresentaram heterogeneidade, tanto sazonal, quanto espacial horizontal. Uma análise metódica mostra que esses valores foram mais elevados no período de estiagem e mais baixos no período chuvoso, nos quatro PM. No primeiro caso, a DBO da mistura variou de 9,15 mg.L⁻¹ a 699,00 mg.L⁻¹ e no segundo, de 4,39 mg.L⁻¹ a 353,30 mg.L⁻¹. As estimativas das vazões mínimas necessárias para diluir as cargas poluidoras foram, normalmente, maiores no início do período de estiagem, com valores variando entre 18.861,6 L.s⁻¹ e 531.682,7 L.s⁻¹, e menores no fim do período de estiagem e na transição do pico para o fim do período chuvoso, cujos valores variaram, respectivamente, entre 1.852,4 L.s⁻¹ e 169.326,7 L.s⁻¹.

Os cálculos para determinação das cargas orgânicas poluidoras, estimadas em termos de DBO da mistura, revelaram valores muito altos, notadamente no PM 1 (entre 232,64 mg.L⁻¹ e 687,36 mg.L⁻¹), PM 2 (entre 242,99 mg.L⁻¹ e 699,00 mg.L⁻¹) e PM 3 (entre 147,61 mg.L⁻¹ e 446,31 mg.L⁻¹). A situação chega a tal ponto que as

vazões mínimas indispensáveis para garantir a diluição dessas cargas, nos cursos d'água pesquisados, respeitando os valores máximos de DBO correspondentes a suas respectivas classes de enquadramento, normalmente estão muito acima das vazões máximas medidas *in situ* (cf. Figura 2 e Tabela 5). Desse modo, os cursos d'água estudados não apresentam vazão suficiente para diluir adequadamente as cargas poluidoras procedentes do DIJP, havendo comprometimento até mesmo da vazão de manutenção (vazão ecológica), que, nos trechos pesquisados neste trabalho, é de $4,0 \text{ L.s}^{-1}$, na confluência do riacho Mussuré com o rio Mumbaba (SCIENTEC, 2000), $58,0 \text{ L.s}^{-1}$, nas cercanias do exutório do rio Mumbaba, e $313,0 \text{ L.s}^{-1}$, no rio Gramame, a montante da confluência com o rio Mumbaba (COSTA *et al.*, 2014). A propósito, o Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Gramame (SCIENTEC, *op. cit.*) já advertia que os cursos d'água da referida bacia, em particular, o riacho Mussuré, não poderiam ser usados como diluidores de despejos, mesmo que tratados, tendo em vista que a baixa vazão deles e a grande irregularidade na distribuição das chuvas nessa área são fatores preponderantes no aumento da degradação da bacia em questão.

Com toda razão, Paulo (2007) e Galvão (2008) consideram a vazão ecológica como sendo a vazão que satisfaz as exigências da biota aquática, quer seja mantendo as condições anteriores às interferências humanas, quer seja para garantir requisitos que propiciem a manutenção das condições de sobrevivência já estabelecidas no ambiente, ou também para atenuar os impactos dessas interferências. Assim sendo, deve-se ter em consideração que ignorar a saúde do ecossistema fluvial levará à perda quase total do habitat natural e das assembleias biológicas, tendo em vista a destruição das funções ecossistêmicas básicas (LIU; LIU; YANG, 2016).

Diante do que foi discutido, vê-se que, para fazer cessar ou mitigar consideravelmente a degradação dos cursos d'água na área do DIJP, no entorno dele e além, é essencial a cooperação efetiva entre órgãos governamentais de gestão ambiental, empresas e sociedade civil. Tal cooperação permitiria nortear tomadas de decisão no tocante a adequações necessárias, tanto nos processos industriais, quanto na forma de diagnosticar, prevenir, monitorar e intervir nas situações críticas. Isto sinaliza, portanto, para a necessidade premente de adoção de medidas para a recuperação da qualidade ambiental e conservação da bacia do rio Gramame, particularmente dos trechos localizados a jusante do reservatório Gramame-Mamuaba.

Algumas recomendações para ações e pesquisas futuras vislumbradas a partir dos resultados deste trabalho são: a) estabelecimento de um cronograma arrojado para a redução substancial das cargas poluidoras, principalmente as industriais, lançadas nos cursos d'água da bacia do rio Gramame, em especial no trecho a jusante do reservatório Gramame-Mamuaba; b) maior rigor da parte da Sudema no tocante às exigências e fiscalização quanto ao tratamento e disposição adequados e eficientes dos efluentes industriais; c) realização de pesquisas voltadas para os efluentes líquidos gerados pelas indústrias do DIJP, abordando aspectos tais como quantificação, determinação da composição, tratamento adotado, destinação final e avaliação de seus efeitos, mediante ensaios ecotoxicológicos; d) realização de pesquisas para se determinar a vazão ecológica

em pontos-chaves da bacia do rio Gramame, mediante diferentes métodos, particularmente os holísticos.

CONCLUSÕES

Em 2015 e 2016, a quantidade de indústrias em operação nas adjacências da área objeto desta pesquisa foi menor do que aquela constatada ou apresentada como projeções, para diferentes horizontes temporais, em artigos científicos precedentes que tinham a referida área como foco de estudo. Verificou-se, neste estudo, que as indústrias mais impactantes são as das tipologias bebidas, têxtil, alimentos e polpa e papel, sendo que as indústrias de bebidas, apesar de não estarem entre as tipologias com maior percentual de empreendimentos em operação no DIJP, respondem, estima-se, por um pouco menos da metade do total referente à carga orgânica poluidora industrial.

No tocante à poluição aquática, o cenário atual está muito distante de ser tranquilizador. O riacho Mussuré, particularmente, se encontra criticamente degradado, ainda que algumas indústrias, dentre as diversas que fazem dele um corpo hídrico receptor de resíduos, tratem seus efluentes. A vazão diária estimada dos efluentes industriais despejados no riacho Mussuré foi maior do que aquelas estimadas para o rio Mumbaba e o rio Gramame.

A estimativa do total das cargas orgânicas industriais, correspondentes ao lançamento de efluentes industriais no riacho Mussuré, foi muito menor do que o que foi levantado previamente em pesquisa que abordava os impactos ambientais no mesmo curso d'água, provavelmente devido à queda na produção das indústrias, principalmente do DIJP, provocada pela grave crise econômica que vem afetando o Brasil desde 2014.

O trecho mais a jusante do rio Gramame foi aquele onde se constatou a menor contribuição da vazão industrial estimada para as vazões mínima e máxima, sendo, conseqüentemente, o que apresentou menor teor estimado de carga poluidora. O oposto foi encontrado no riacho Mussuré, mostrando que este setor é o mais afetado pelos despejos de efluentes líquidos dos empreendimentos instalados no DIJP, comprovando-se que o referido riacho ainda constitui a principal via de entrada de poluição industrial no sistema aquático local.

A carga orgânica total estimada das indústrias representou um EP de 362.172 habitantes. Mesmo sendo inferior ao obtido em pesquisa precedente que teve como foco o riacho Mussuré, esse valor mostra que ainda continua muito alto o potencial poluidor das indústrias responsáveis pelo lançamento de efluentes nesse riacho.

A presente pesquisa mostrou que os valores de DBO da mistura, representativo das cargas orgânicas poluidoras, apresentaram heterogeneidade temporal e espacial horizontal. Esses valores foram mais altos no período de estiagem e mais baixos no período chuvoso.

Embora os cálculos estimativos das cargas orgânicas poluidoras tenham revelado valores decrescentes, no trecho que se estende desde as adjacências da confluência do riacho Mussuré com o rio Mumbaba até um pouco a jusante da

confluência dos rios Gramame e Mumbaba, as vazões mínimas necessárias para diluir tais cargas, respeitando os valores de DBO máxima correspondentes às classes de enquadramento desses trechos, definidos pela legislação ambiental vigente, usualmente estão muito acima das vazões máximas efetivamente medidas *in situ*. Isso mostra haver incompatibilização das cargas poluidoras com os potenciais de assimilação do rio Gramame, no trecho a jusante do reservatório Gramame-Mamuaba, considerando a vazão de manutenção (vazão ecológica, grosso modo), a qual é essencial para mantê-lo com padrões de qualidade compatíveis com seus usos preponderantes, segundo a Resolução CONAMA no. 357/2005.

Desta forma, os cursos d'água estudados não têm vazão suficiente para garantir a diluição adequada das cargas poluidoras procedentes do DIJP e adjacências, comprometendo até mesmo a vazão ecológica, nos trechos pesquisados neste trabalho. Em suma, os cursos d'água da bacia hidrográfica do rio Gramame, especialmente o riacho Mussuré, não deveriam ser usados para diluir cargas poluidoras, ainda que tratadas, pois a degradação amplamente conhecida da referida bacia é agravada pela baixa vazão de seus cursos hídricos e pela grande irregularidade na distribuição das chuvas observada nessa área. Para cessar a deterioração dos cursos d'água na área do DIJP, em suas cercanias e além, é fundamental que haja a cooperação efetiva entre órgãos governamentais de gestão ambiental, empresas e sociedade civil.

REFERÊNCIAS

- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas (1987) NBR 9897/1987 – Planejamento de amostragem de efluentes líquidos e corpos receptores. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas. 14 p.
- ABRAHÃO, R. (2006) *Impactos do lançamento de efluentes na qualidade da água do riacho Mussuré*. 140 f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) - Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa.
- _____; CARVALHO, M. (2009) Water quality of a stream receiving industrial effluents, located in the Brazilian Northeast. *International Journal of Risk Assessment and Management*, v. 13, n. 2, p. 137-149.
- _____; CARVALHO, M.; SILVA JÚNIOR, W.R.; MACHADO, T.T.V.; GADELHA, C.L.M.; HERNANDEZ, M.I.M. (2007) Use of index analysis to evaluate the water quality of a stream receiving industrial effluents. *Water S.A.*, Pretoria, v. 33, n. 4, p. 459-466.
- ADEL, M.M. (2002) Man-made climatic changes in the Ganges basin. *International Journal of Climatology*, v. 22, p. 993-1016. <https://doi.org/10.1002/joc.732>
- ANDRADE, L.N. Autodepuração dos corpos d'água. *Revista da Biologia*, São Paulo, v. 5, p. 16-19, 2010.
- BARBOSA FILHO, F.H. (2017) A crise econômica de 2014/2017. *Estudos Avançados*, São Paulo, v. 31, n. 89, p. 51-60.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA (2005) Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF.

BUNN, S.E.; ARTHINGTON, A.H. (2002) Basic principles and ecological consequences of altered flow regimes for aquatic biodiversity. *Environmental Management*, v. 30, n. 4, p. 492-507. <https://doi.org/10.1007/s00267-002-2737-0>.

CAMPOLO, M.; ANDREUSSI, P.; SOLDATI, A. (2002) Water quality control in the river Arno. *Water Research*, v. 36, n. 10, p. 2673-2680.

CAMPOS, L.F.; QUININO, U.C.M.; GADELHA, C.L.M. (2002) Abastecimento industrial: estimativa da demanda na bacia do rio Gramame, no estado da Paraíba. In: SILVA, T.C.; SILANS, A.M.B.P.; GADELHA, C.L.M. (Orgs.). *Bacia do Rio Gramame: hidrologia e aspectos ambientais para a gestão dos seus recursos hídricos*. João Pessoa: Ed. Universitária/UFPB. p. 75-80.

CARVALHO, R.V.S.; SILVA NETO, A.F.; VASCONCELOS JÚNIOR, A.S.; GADELHA, C.L.M.; ANJOS JÚNIOR, R.H.; BEZERRA, F.C.; OLIVEIRA, J.D.F. (2015) Análise do índice de qualidade da água de Bascarán (IQAB) do riacho Mussurê, João Pessoa-PB. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AMBIENTAL, 8., 2015, Curitiba. *Anais...* Curitiba: ANEAM, APEAM, PUCPR. p. 677-678.

COSTA, F.F.; MACHADO, E.C.M.N.; RIBEIRO, S.N.; ASSIS, W.D.; FERREIRA, P.M.L. (2014) Avaliação de técnicas de tratamento de restrições em um algoritmo evolucionário multiobjetivo na alocação da vazão excedente em bacias hidrográficas. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, Pombal, v. 9, n. 4, p. 59-68.

ESTEVES, F.A. (Coord.) (2011) *Fundamentos de limnologia*. 3. ed. Rio de Janeiro: Editora Interciência. 826 p.

_____; MENEZES, C.F.S. (2011) Papel da água e da limnologia na sociedade moderna. In: ESTEVES, F.A. (Coord.). *Fundamentos de limnologia*. 3. ed. Rio de Janeiro: Editora Interciência. p. 63-72.

FARHADIAN, M.; HADDAD, O.B.; SEIFOLLAHI-AGHMIUNI, S.; LOÁICIGA, H.A. (2015) Assimilative capacity and flow dilution for water quality protection in rivers. *Journal of Hazardous, Toxic, and Radioactive Waste*, Reston, Virginia, v. 19, n. 2, 04014027. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)HZ.2153-5515.0000234](https://doi.org/10.1061/(ASCE)HZ.2153-5515.0000234)

FLOHR, T.; XIAO, H.; SCHOLZ-STARKE, B.; WU, L.; HOU, J.; YIN, D.; ZHANG, X.; JI, R.; YUAN, X.; OTTERMANN, R.; ROSS-NICKOLL, M.; SCHÄFFER, A.; HOLLERT, H. (2013) Solution by dilution? – A review on the pollution status of the Yangtze River. *Environmental Science and Pollution Research*, v. 20, n. 10, p. 6934-6971. <https://doi.org/10.1007/s11356-013-1666-1>.

FREDERICE, A.; BRANDÃO, J.L.B. (2016) Efeito do Sistema Cantareira sobre o regime de vazões na bacia do rio Piracicaba. *Revista Brasileira de Recursos*

Hídricos, Porto Alegre, v. 21, n. 4, p. 797-810. <http://dx.doi.org/10.1590/2318-0331.011615150>.

GADELHA, C.L.M.; DINIZ, F.E.G. (2002) Aspectos ambientais na bacia do rio Gramame: investigação preliminar. In: SILVA, T.C.; SILANS, A.M.B.P.; GADELHA, C.L.M. (Orgs.). *Bacia do Rio Gramame: hidrologia e aspectos ambientais para a gestão dos seus recursos hídricos*. João Pessoa: Ed. Universitária/UFPB. p. 35-41.

_____; FILGUEIRA, H.J.A.; CAMPOS, L.F.; QUININO, U.C.M. (2001) O uso de agrotóxicos nas áreas irrigadas da bacia do rio Gramame no estado da Paraíba. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 21., 2001, João Pessoa. *Anais...* João Pessoa: ABES. p. 1-6.

_____; ALMEIDA, C.N.; LUNGUINHO, L.L.; LIRA, N.B.; ANJOS JÚNIOR, R.H.; GUEDES, T.O. (2011) Capacidade de autodepuração do riacho Mussuré. In: IWRA WORLD WATER CONGRESS, 14., 2011, Porto de Galinhas. *Proceedings...* Porto de Galinhas: IWRA. 10 p.

GALVÃO, D.M.O. (2008) *Subsídios à determinação de vazões ambientais em cursos d'água não regulados: o caso do Ribeirão Pipiripau (DF/GO)*. 219 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais). Universidade de Brasília, Brasília.

GARCIA, L.G.; CORDEIRO, A.M.R.; NUNES, E.M.; GONÇALVES, F.O. (2008) A poluição industrial na bacia do rio Gramame/Mumbaba e seus efeitos sobre os ecossistemas e as comunidades de Engenho Velho, Gramame e Mituaçu. *Conhecimento em Debate*, 8., Centro de Ciências Humanas, Letras e Artes, Universidade Federal da Paraíba. Disponível em: <http://www.academia.edu/1318468/A_Polui%C3%A7%C3%A3o_Industrial_na_Bacia_do_Rio_Gramame-Mumbaba_e_Seus_Efeitos_Sobre_os_Ecossistemas_e_as_Comunidades_de_Engenho_Velho_Gramame_e_Mitua%C3%A7u>. Acesso 23 set. 2014.

GIANSANTE, A.E. (1997) Avaliação da capacidade de autodepuração do ribeirão Jacaré – Itatiba – SP. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 19., 1997, Foz do Iguaçu. *Anais...* Foz do Iguaçu: ABES. p. 2198-2202.

GONÇALVES, J.C.S.I.; SARDINHA, D.S.; SOUZA, A.D.G.; DIBIAZI, A.L.B.; GODOY, L.H.; CONCEIÇÃO, F.T. (2012) Avaliação espaço-temporal da qualidade da água e simulação de autodepuração na bacia hidrográfica do córrego São Simão, SP. *Revista Ambiente & Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science*, v. 7, n.3, p. 141-154. <http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.894>.

GUEDES, H.A.S.; SILVA, D.D.; OLIVEIRA, I.C.; RIBEIRO, C.B.M.; ELESBON, A.A.A. (2009) Estudo da capacidade de autodepuração do rio Pomba utilizando o modelo QUAL2Kw. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 18., 2009, Campo Grande. *Anais...* Campo Grande: ABRH. CD-ROM.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE (2010) Censo Demográfico. Disponível em: <ftp://ftp.ibge.gov.br/Censos/Censo_Demografico_2010/Resultados_do_Universo/Agregados_por_Setores_Censitarios/>. Acesso em: 10 out. 2016.

KARR, J.R. (1991) Biological integrity: a long-neglected aspect of water resource management. *Ecological Applications*, v. 1, n. 1, p. 66-84.

LINHARES, F.M.; ALMEIDA, C.N.; SILANS, A.M.B.P.; COELHO, V.H.R. (2014) Avaliação da vulnerabilidade e do risco à contaminação das águas subterrâneas da bacia hidrográfica do rio Gramame (PB). *Sociedade & Natureza*, Uberlândia, v. 26, n. 1, p. 139-157.

LIU, J.; LIU, Q.; YANG, H. (2016) Assessing water scarcity by simultaneously considering environmental flow requirements, water quantity, and water quality. *Ecological Indicators*, v. 60, p. 434-441.

LUERCE, T.D.; OLIVEIRA, G.G.; GUASSELLI, L.A. (2011) Análise da distribuição espacial e temporal das chuvas aplicada ao estudo de cheias na bacia hidrográfica do rio dos Sinos/RS. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 15., 2011, Curitiba. *Anais...* Curitiba: SBSR. p. 5410-5417.

MONFARED, S.A.H.; DARMIAN, M.D.; SNYDER, S.A.; AZIZYAN, G.; PIRZADEH, B.; MOGHADDAM, M.A. (2017) Water quality planning in rivers: assimilative capacity and dilution flow. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, v. 99, p. 531-541. <https://doi.org/10.1007/s00128-017-2182-7>.

NUNES, E.M. (2012) *Poluição industrial da Bacia do Rio Gramame e conflito socioambiental: análise da complexidade a partir dos atores, impactos e perspectivas*. 162 f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) - Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente. Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa.

NUNES, E.M.; GARCIA, L.G. (2012) Sociedade e Natureza: conflito territorial de poluição industrial da bacia do rio Gramame-Mumbaba – PB. *Sociedade & Natureza*, Uberlândia, ano 24, n. 2, p. 255-266.

PAULO, R.G.F. (2007) *Ferramentas para a determinação de vazões ecológicas em trechos de vazão reduzida: destaque para aplicação do Método do Perímetro Molhado no caso de Capim Branco I*. 111 f. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos). Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

REVENGA, C.; BRUNNER, J.; HENNINGER, N.; KASSEM, K.; PAYNE, R. (2000) *Pilot analysis of global ecosystems: freshwater systems*. Washington, DC: World Resources Institute. 77 p.

RICHTER, B.D.; BRAUN, D.P.; MENDELSON, M.A.; MASTER, L.L. (1997) Threats to imperiled freshwater fauna. *Conservation Biology*, v. 11, n. 5, p. 1081-1093. <https://doi.org/10.1046/j.1523-1739.1997.96236.x>.

RODRIGUES, C.M.S. (2012) *Planejamento e gestão ambiental no Distrito Industrial de João Pessoa – PB: análise crítica*. 197 f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) - Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente. Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa.

ROSENBERG, D.M.; MCCULLY, P.; PRINGLE, C.M. (2000) Global-scale environmental effects of hydrological alterations: introduction. *BioScience*, v. 50, n. 9, p. 746-751.

SCIENTEC – Associação para o Desenvolvimento da Ciência e da Tecnologia (2000) *Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Gramame*. v. 1. João Pessoa – PB: Laboratório de Recursos Hídricos, UFPB.

SILVA, M.L.P. (2016) *A qualidade da água do córrego Mumbaba e consequências sobre a saúde da população ribeirinha – João Pessoa – PB*. 167 f. Tese (Doutorado em Recursos Naturais). Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande.

SILVA, M.L.P.; SILVA, M.C.B.C.; DANTAS NETO, J. (2014) Avaliação preliminar da presença de metais traço, nas águas do riacho Mussuré e o córrego de Mumbaba – João Pessoa – PB. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 7, n. 4, p. 668-677.

SILVA, T.C.; ALENCAR, M.B. (2001) Análise da estacionariedade de séries de vazões na bacia do rio Gramame. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 21., 2001, João Pessoa. *Anais...* João Pessoa: ABES. p. 1-15.

SOUSA, K.S.; DANTAS, I.A.M.; SÁ, G.B.; ANDRADE, A.B.A.; MARACAJÁ, P.B. (2015) Levantamento da disponibilidade de dados hidrométricos na Paraíba – Brasil. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, Pombal, v. 10, n. 2, p. 139-144. <https://doi.org/10.18378/rvads.v10i2.3553>.

SOUZA, J.E.R.T. (2013) *Ictiofauna e bioacumulação de metais pesados na cadeia trófica, rio Gramame, Bacia do rio Gramame, Paraíba*. 201 f. Tese (Doutorado em Ciências Biológicas) - Centro de Ciências Exatas e da Natureza, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa.

SUDEMA – Superintendência de Administração do Meio Ambiente (1988a) DZ-201 – Classificação das águas interiores do Estado. João Pessoa: SUDEMA.

_____ (1988b) DZS 208 – Enquadramento dos corpos d'água da bacia hidrográfica do Litoral e da Zona da Mata. João Pessoa: SUDEMA.

TUNDISI, J.G. (2015) O planeta das águas. *Scientific American Brasil*, n. 63, p. 14-19.

TURNELL, M.V.; CRISPIM, M.C.B. (2014) Análise dos impactos socioambientais provocados pelo lançamento de efluentes industriais no Rio Gramame – Paraíba, Brasil. *Gaia Scientia*, Volume Especial Populações Tradicionais, João Pessoa. Disponível em: <<http://periodicos.ufpb.br/index.php/gaia/article/viewFile/22673/12558>>. Acesso em: 27 maio 2015.

VON SPERLING, M. (2005) *Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos*. 3. ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais. 452 p. (Coleção Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias, v. 1).

WANG, H.; YANG, Z.; SAITO, Y.; LIU, J.P.; SUN, X. (2006) Interannual and seasonal variation of the Huanghe (Yellow River) water discharge over the past 50 years: Connections to impacts from ENSO events and dams. *Global and Planetary Change*, v. 50, n. 3-4, p. 212-225. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2006.01.005>.

WCD – WORLD COMMISSION ON DAMS (2000) *Dams and development. A new framework for decision-making*. The report of the World Commission on Dams. London, UK and Sterling, VA (USA): Earthscan Publications. 439 p.

WMO – World Meteorological Organization (2010) *Manual on stream gauging*. v. 1. Fieldwork. World Meteorological Organization, Geneva, n. 1044. 252 p.

YAN, Y.; YANG, Z.; LIU, Q.; SUN, T. (2010) Assessing effects of dam operation on flow regimes in the lower Yellow River. *Procedia Environmental Sciences*, v. 2, p. 507-516. <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2010.10.055>.

Anexo 1 – Indústrias em operação no DIJP, no período de junho/2015 a julho/2016.

| EMPREENDIMENTO | ATIVIDADE |
|------------------|--|
| Indústria no. 1 | Fabricação de artefatos de cimento |
| Indústria no. 2 | Produção de ágar, carragena e extrato de algas marinhas |
| Indústria no. 3 | Fabricação de adesivos |
| Indústria no. 4 | Fabricação de cervejas, chopes e refrigerantes |
| Indústria no. 5 | Armazenagem de bentonita sódica |
| Indústria no. 6 | Fabricação de pisos e revestimento cerâmicos |
| Indústria no. 7 | Fabricação de artefatos de cimento e cimento armado |
| Indústria no. 8 | Fabricação de concreto pré-moldado |
| Indústria no. 9* | Fabricação de papel, sacos multifolhados e caixas de papelão ondulado |
| Indústria no. 10 | Fabricação de embalagens plásticas |
| Indústria no. 11 | Tecelagem de fios de algodão |
| Indústria no. 12 | Fabricação de embalagens plásticas para alimentos |
| Indústria no. 13 | Fabricação de concreto |
| Indústria no. 14 | Fabricação de louças sanitárias |
| Indústria no. 15 | Fabricação em couro de calçados e outros artefatos |
| Indústria no. 16 | Serviços de impressão |
| Indústria no. 17 | Serviços de impressão |
| Indústria no. 18 | Fabricação de farinha e derivados de milho, salgadinhos, <i>snacks</i> de trigo |
| Indústria no. 19 | Fabricação de mobiliários para escolas e escritórios |
| Indústria no. 20 | Fabricação de embalagens plásticas |
| Indústria no. 21 | Fabricação de confecções |
| Indústria no. 22 | Industrialização de frutas e produção de sucos concentrados e integrais congelados |
| Indústria no. 23 | Fabricação, comércio e distribuição de embalagens metálicas e latas |

| | |
|------------------|--|
| | em aço |
| Indústria no. 24 | Fabricação e serviços em estruturas e cobertas metálicas |
| Indústria no. 25 | Montagem, fabricação e comércio de esquadrias de alumínio |
| Indústria no. 26 | Fabricação de fio têxtil |
| Indústria no. 27 | Fabricação e tingimento de tecidos de malha em geral |
| Indústria no. 28 | Preparação e fiação de fibras de algodão |
| Indústria no. 29 | Fabricação de fios têxteis de algodão |
| Indústria no. 30 | Fabricação de artefatos de material plástico |
| Indústria no. 31 | Fabricação de utilidades plásticas |
| Indústria no. 32 | Fabricação de utilidades plásticas domésticas |
| Indústria no. 33 | Fabricação de artefatos de material plástico para usos industriais |
| Indústria no. 34 | Fabricação de embalagens térmicas de isopor |
| Indústria no. 35 | Fabricação de artigos de ferro aço e metais trefilados |
| Indústria no. 36 | Transformação de polietileno de alta e média densidades em utilitários plásticos |
| Indústria no. 37 | Reciclagem de papel, papelão, plásticos e metais |
| Indústria no. 38 | Fabricação de bebidas não alcoólicas gaseificadas |
| Indústria no. 39 | Recauchutagem de pneus |
| Indústria no. 40 | Fabricação de bebidas não alcoólicas gaseificadas |
| Indústria no. 41 | Tratamento térmico através da incineração de resíduos sólidos |
| Indústria no. 42 | Fabricação de instrumentais médico-hospitalares em aço inox |
| Indústria no. 43 | Produção de sucos concentrado e integral de abacaxi |
| Indústria no. 44 | Fabricação de instrumentais médico-hospitalares |
| Indústria no. 45 | Fabricação de geradores de eletricidade, motores, conversores e transformadores |

*A Indústria no. 9 (DI de Conde) foi aqui incluída porque fica perto do DIJP e seus efluentes são lançados no rio Gramame.

Fonte: SUDEMA (2017) e AESA (2017).