



Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação

Programa de Mestrado Profissional em Ciências Ambientais

JOSÉ ANTONIO MACHADO JUNIOR

**MONITORAMENTO DA QUALIDADE DA ÁGUA DO RIO DAS MORTES -
MICROBACIA DA REGIÃO HIDROGRÁFICA DO MÉDIO PARAÍBA DO SUL**

Vassouras, RJ

2020



JOSÉ ANTONIO MACHADO JUNIOR

**MONITORAMENTO DA QUALIDADE DA ÁGUA DO RIO DAS MORTES -
MICROBACIA DA REGIÃO HIDROGRÁFICA DO MÉDIO PARAÍBA DO SUL**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* - Mestrado Profissional em Ciências Ambientais - da Universidade de Vassouras, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais.

Orientadora: Prof. Dra. Cristiane de Souza Siqueira Pereira

Vassouras, RJ

2020

Junior, José Antonio Machado

MONITORAMENTO DA QUALIDADE DA ÁGUA DO RIO DAS
MORTES - MICROBACIA DA REGIÃO HIDROGRÁFICA DO MÉDIO
PARAÍBA DO SUL / José Antonio Machado Junior. - Vassouras: 2020.
xiii, 52 f. ; 29,7 cm.

Orientador: Cristiane de Souza Siqueira Pereira,
Dissertação para Obtenção do Grau de Mestre em Mestrado Profissional
em Ciências Ambientais - Universidade de Vassouras, 2020.
Inclui e .

1. Recursos hídricos. 2. Autodepuração. 3. Cargas Difusas.. I. Pereira,,
Cristiane de Souza Siqueira. II. Universidade de Vassouras. III. Título.

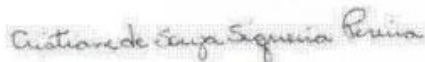
Ata da Defesa de Dissertação

(Mestrado Profissional em Ciências Ambientais)

Aos cinco dias do mês de junho de 2020, às quatorze horas, via videoconferência, reuniu-se em sessão pública a Comissão Examinadora constituída pelos professores Dra. Cristiane de Souza Siqueira Pereira (Universidade de Vassouras), Dr. Carlos Vitor de Alencar Carvalho (Universidade de Vassouras), Dra. Adriana Lau da Silva Martins (UGB) e Dr. Sandro Pereira Ribeiro (Examinador Interno), sob a presidência do primeiro, para a Defesa da Dissertação do Mestrando **JOSÉ ANTONIO MACHADO JUNIOR**, intitulada: "**MONITORAMENTO DA QUALIDADE DA ÁGUA DO RIO DAS MORTES - MICROBACIA DA REGIÃO HIDROGRÁFICA DO MÉDIO PARAÍBA DO SUL**".

A banca deliberou: **Aprovado**

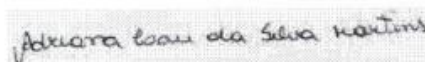
Vassouras, 05 de Junho de 2020.



Dra. Cristiane de Souza Siqueira Pereira
Orientador



Dr. Carlos Vitor de Alencar Carvalho
Examinador Interno



Dra. Adriana Lau da Silva Martins
Examinador Externo



Dr. Sandro Pereira Ribeiro
Examinador Interno

Celebrar à vida e mais esta
conquista.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a Deus por ter me dado força, sabedoria e paciência para a conclusão dessa dissertação.

Agradeço a minha esposa Rose que sempre esteve ao meu lado, me apoiando e incentivando em todos os momentos da minha vida.

Agradeço aos meus filhos Matheus e Gustavo pela paciência e por entender meus momentos de ausência enquanto estudava.

Agradeço aos meus pais pela minha criação, pelo meu desenvolvimento e pela minha essência, razões as quais me fazem ser tudo que sou hoje.

Agradeço aos meus irmãos Bruno e Lucas pelo companheirismo.

Agradeço ao meu grande amigo Marco Capute, pois caminhamos juntos para a conclusão de mais esta etapa.

Agradeço aos alunos do curso de Engenharia Química da Universidade de Vassouras, Elisa Marra e Gabriel Gonçalves, pela ajuda e pelos trabalhos desenvolvidos na continuidade deste tema.

Agradeço a Coordenadora do curso Prof. Dra. Margareth pelo incentivo e motivação.

Agradeço a minha orientadora Prof. Dra. Cristiane de Souza Siqueira Pereira, por me motivar a realizar este mestrado e nunca me deixar desistir. Este título e essa conquista nunca teriam acontecido sem a sua dedicação e paciência. Obrigado!

Agradeço também a todas as pessoas que acreditaram em mim e me cederam energias positivas para conseguir vencer.

“Não se gerencia o que não se mede, não se mede o que não se define, não se define o que não se entende, e não há sucesso no que não se gerencia”

-William Edwards Deming-

RESUMO

A água é um bem essencial à vida e necessária para a existência de ciclos naturais no meio ambiente. Porém, o desenvolvimento urbano tem um impacto direto nos corpos hídricos com o lançamento de cargas pontuais de esgoto sanitário. A introdução de matéria orgânica em um corpo d'água resulta no consumo de oxigênio dissolvido do meio contribuindo negativamente para a vida aquática da região. Os rios possuem uma capacidade de restabelecerem o seu equilíbrio por meio de mecanismos naturais após as alterações provocadas pelos despejos dos efluentes, capacidade esta, definida como fenômeno de autodepuração. Diante desta temática, o presente trabalho teve como objetivo monitorar a qualidade da água do Rio das Mortes – Vassouras/RJ, avaliando os parâmetros de oxigênio dissolvido, demanda bioquímica de oxigênio, fósforo e nitrogênio amoniacal. O interesse em estudar a autodepuração do Rio das Mortes é a contrapartida da Universidade de Vassouras com a comunidade em geral, devido o fato de a mesma estar situada no centro da cidade e em local que abrange o rio estudado. A microbacia do Rio das Mortes apresenta uma área de drenagem de 49,66 km² e sofre com a grande quantidade de despejos, devido à extensa área urbana localizada nesta área. Para o monitoramento considerou-se um trecho de 6 km do rio dividindo-o em 4 pontos de análise. As concentrações médias (mg/L) para oxigênio dissolvido (OD), Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), fósforo e nitrogênio amoniacal em cada ponto foram, respectivamente: **Ponto 1:** 1,59; 160; 2,00; 17,1; **Ponto 2:** 2,08; 86,7; 1,05; 15,62; **Ponto 3:** 5,14; 53,3; 2,9; 15,4; **Ponto 4:** 6,32; 13,3; 2,00; 14,8. Com base nos valores de referência indicados pela legislação vigente (CONAMA 430/2011) o limite permissível para os parâmetros de oxigênio dissolvido é (>4 mg/L) e DBO (<5 mg/L). De acordo com os resultados dos parâmetros de oxigênio dissolvido e DBO, observa-se uma capacidade autodepurativa do rio desde o ponto 1 (área de maior despejo de esgoto) até o ponto 4 (área de encontro do Rio das Mortes com o Rio Paraíba do Sul). Com relação aos parâmetros fósforo e nitrogênio amoniacal, as concentrações encontradas estão acima do limite permissível pela legislação (0,05 e 3,7 mg/L).

Palavras-chave: Recursos hídricos. Autodepuração. Cargas Difusas.

ABSTRACT

Water is an essential asset for life and requires the presence of natural cycles in the environment. However, urban development has a direct impact on water bodies with the release of occasional charges of sewage. The introduction of organic matter in a body of water results in consumption of dissolved oxygen in the medium of negative contribution to the aquatic life of the region. Rivers have a capacity to restore or balance them through natural factors after alterations caused by effluent dumps, a capacity defined as a phenomenon of self-purification. In view of this theme, the present study aimed to monitor water quality in Rio das Mortes - Vassouras / RJ, assessing the parameters of dissolved oxygen, biochemical oxygen demand, phosphorus and ammoniacal nitrogen. The interest in studying the self-purification of Rio das Mortes is a counterpart of the University of Vassouras with a community in general, due to the fact that it is exactly located in the center of the city and in the place that must be studied in the studied river. The Morte's River microbasin has a drainage area of 49.66 km² and suffers from a large amount of dumping, due to the extension of the urban area located in this area. For monitoring, consider a 6 km stretch of the river divided into 4 points of analysis. The media rates (mg / L) for dissolved oxygen, BOD, phosphorus and ammoniacal nitrogen at each point were, respectively: Point 1: 1.59; 160; 2.00; 17.1; Point 2: 2.08; 86.7; 1.05; 15.62; Point 3; 5.14; 53.3; 2.9; 15.4; Point 4: 6.32; 13.3; 2.00; 14.8. Based on the reference values indicated by the current legislation (CONAMA 430/2011) or allowed limit for the dissolved oxygen (> 4 mg / L) and BOD (<5 mg / L) parameters. According to the results of the dissolved oxygen and BOD parameters, observe a self-draining capacity of the river from point 1 (larger sewage area) to point 4 (meeting area between the Mortes river and the Paraiba do Sul river). Regarding the parameters phosphorus and ammoniacal nitrogen, as shown above, it is above the limit allowed by legislation (0.05 and 3.7 mg / L).

Keywords: Water resources. Self-purification. Diffuse Loads.

Keywords: Water resources. Self-purification. Diffuse loads.

LISTA DE FIGURAS

		Página
FIGURA 1	Ilustração de uma Bacia Hidrográfica.....	04
FIGURA 2	Perfil das zonas de autodepuração ao longo do curso d'água.....	05
FIGURA 3	Zonas de autodepuração e os tipos de microrganismos em cada zona.....	06
FIGURA 4	Efeito do lançamento de um efluente sobre o oxigênio dissolvido de um curso de água.....	08
FIGURA 5	Localização de Vassouras em relação aos municípios de limítrofes.....	12
FIGURA 6	Pontos de Monitoramento no Rio das Mortes.....	14
FIGURA 7A	Ponto 1 - Monitoramento no Rio das Mortes.....	14
FIGURA 7B	Início - Monitoramento no Rio das Mortes.....	15
FIGURA 8A	Ponto 2 - Monitoramento no Rio das Mortes.....	15
FIGURA 8B	Área Intermediária - Monitoramento no Rio das Mortes.....	16
FIGURA 9A	Ponto 3 - Monitoramento no Rio das Mortes.....	16
FIGURA 9B	Área de pastagem - Monitoramento no Rio das Mortes.....	17
FIGURA 10A	Ponto 4 de Monitoramento no Rio das Mortes.....	17
FIGURA 10B	Ponto de deságue - Monitoramento no Rio das Mortes.....	18
FIGURA 11	Oxímetro Digital.....	19

FIGURA 12	Marcação do trecho no rio.....	19
FIGURA 13	Ilustração do método do flutuador para medição de vazão.....	20
FIGURA 14	Medição em campo em um dos pontos estudados.....	21
FIGURA 15	Evolução dos parâmetros OD e DBO durante monitoramento realizado em 2019.....	24
FIGURA 16	Vazão média (m ³ /s) do Rio das Mortes.....	26
FIGURA 17	Vazão média (m ³ /s) do Rio das Mortes no ano de 2011 e 2019.....	26
FIGURA 18	Teste de normalidade de ShapiroWilk para os dados de vazão..... (Mês de Maio)	27
FIGURA 19	Teste de normalidade de ShapiroWilk para os dados de vazão..... (Mês de Junho)	27
FIGURA 20	Análise do Teste F para os resultados obtidos de vazão do rio.....	28
FIGURA 21	Análise do Teste F para os resultados obtidos de vazão do rio.....	29
FIGURA 22	Análise do Teste ANOVA para o parâmetro Oxigênio Dissolvido.....	29
FIGURA 23	Teste de normalidade de ShapiroWilk para o parâmetro DBO (Mês de Junho).....	30
FIGURA 24	Figura 24 - Teste de normalidade de ShapiroWilk para o parâmetro DBO (Mês de Dezembro).....	30
FIGURA 25	Análise do Teste F - DBO.....	31
FIGURA 26	<i>Teste t de student</i> - DBO.....	31
FIGURA 27	Análise ANOVA - Fósforo	31
FIGURA 28	Análise ANOVA - Nitrogênio	31

LISTA DE TABELAS

TABELA 1	Distâncias entre os pontos estudados ao longo do Rio das Mortes.....	13
TABELA 2	Tabela 2 – Resultados dos parâmetros analisados no monitoramento do Rio das Mortes (mg/L).....	23
TABELA 3	Dados de medição da vazão do Rio das Mortes realizada no mês de maio em 2019.....	25
TABELA 4	Dados de medição da vazão do Rio das Mortes realizada no mês de julho em 2019.....	25
TABELA 5	Vazões dos meses de maio e junho de 2019.....	26

LISTA DE SIGLAS

OD – Oxigênio Dissolvido

DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio

AGEVAP - Associação Pró Gestão das Águas da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul.

CBH-MPS - Comitê da Bacia da Região Hidrográfica do Médio Paraíba do Sul.

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.

QPC - Quota Per Capta da Água.

SUMÁRIO

Capítulo	Página
1. INTRODUÇÃO.....	01
2. OBJETIVOS.....	03
2.1. Objetivo Geral	03
2.2. Objetivos Específicos	03
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	04
3.1 Bacias Hidrográficas	04
3.2 Autodepuração.....	04
3.2.1. Zonas de autodepuração.....	07
3.2.1.1. Zonas de águas limpas.....	07
3.2.1.2. Zona de degradação.....	07
3.2.1.3. Zona de decomposição ativa.....	07
3.2.1.4. Zona de recuperação.....	07

3.3. Oxigênio Dissolvido.....	08
3.4. Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)	08
3.5 Fósforo.....	09
3.6 Nitrogênio.....	10
3.7 Vazão.....	11
4. METODOLOGIA	12
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	22
6. CONCLUSÃO	32
7. PRODUTO.....	33
8. REFERÊNCIAS	34

1. INTRODUÇÃO

De acordo com Júnior e Saiani (2006), o crescimento populacional somado à dificuldade de investimento em saneamento básico reflete diretamente à saúde. Na tentativa de mudanças neste quadro insatisfatório, metas foram estabelecidas e a que mais se destaca é a estabelecida no Plano Nacional de Saneamento Básico que prevê a universalização do abastecimento de água e da coleta de esgotamento sanitário até 2033 (BRASIL, 2013). Albuquerque e Ferreira (2012) destacam a necessidade de aplicação de pelo menos R\$ 13 bilhões/ano para a expansão do tratamento de esgotamento sanitário no Brasil até o ano previsto para esta universalização.

A distribuição global de água no mundo evidencia a necessidade de políticas nacionais e internacionais de gerenciamento e controle de seu uso: 97,5% da água existente no mundo é salgada, e 2,5% doce, sendo que, destes 2,5%, apenas 0,3%, correspondente à água doce de rios e lagos, é renovável. O restante está nas calotas polares e glaciares, gelo e neve nas montanhas (69%) (SHIKLOMANOV, 1993). Por outro lado, a disponibilidade da água foi reduzida, por habitante, em 60% nos últimos 50 anos. Atualmente, 60 países já vivem em guerra pela água, afetando cerca de 232 milhões de pessoas.

O Brasil tem uma situação relativamente privilegiada, possuindo uma extensa rede hidrográfica, com seis grandes bacias: Amazonas, Tocantins, São Francisco, Paraná, Paraguai e Uruguai, além de condições climáticas que asseguram chuvas abundantes e regulares em boa (embora não toda) parte do país. O Brasil dispõe de 15% da água doce existente no mundo. Dos 113 trilhões de metros cúbicos de água disponíveis para a vida terrestre, 17 trilhões estão em território brasileiro.

A poluição de um determinado corpo hídrico pode ser feita verificando as cargas de poluição lançadas ao mesmo, classificadas em cargas pontuais e cargas difusas (HAUPT, 2009). As cargas pontuais são constituídas pelos despejos de efluentes domésticos ou industriais nos corpos hídricos. Já as cargas difusas, são aquelas geradas em áreas extensas e que, associadas às precipitações pluviométricas, chegam às águas superficiais de forma intermitente. Em áreas urbanas, a poluição difusa tem composição complexa de metais e óleos e sólidos constituindo-se em uma fonte de poluição. Já na área rural, a poluição difusa é devida, em grande parte, à drenagem pluviométrica de solos agrícolas e ao fluxo de retorno da irrigação, sendo associada aos sedimentos, aos nutrientes (nitrogênio e fósforo) e aos defensivos agrícolas (MANSOR *et al*, 2006).

Dentre os parâmetros vinculados às cargas difusas destaca-se o nitrogênio e o fósforo. Nitrogênio e fósforo são nutrientes importantes para a estabilização da matéria orgânica, auxiliando no crescimento de microrganismos responsáveis por esta tarefa, além disso, são essenciais para o crescimento de algas. Porém, dependendo da concentração pode comprometer o nível de oxigênio dissolvido nas águas devido o seu consumo nos processos de nitrificação e contribuir com a eutrofização de lagos e represas.

A Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) é um dos parâmetros mais importantes na caracterização do nível de poluição de um corpo hídrico, tendo em vista que para a degradação da matéria orgânica consome-se o oxigênio dissolvido presente na água. A Resolução do CONAMA 430 (2011) estabelece que a condição ideal para despejo no corpo d'água esteja com a DBO remoção mínima de 60%, sendo que este limite só poderá ser reduzido no caso de existência de estudo de autodepuração do corpo hídrico que comprove atendimento às metas do enquadramento do corpo receptor.

O Rio das Mortes, afluente do Rio Paraíba do Sul e objeto de estudo deste trabalho, está localizado no município de Vassouras, interior do estado do Rio de Janeiro. Apresenta uma extensão de 6,03 km, com sua microbacia possuindo uma área de drenagem de 48,59 km² incluindo área urbana, pastagens, área florestal, silvicultura e culturas temporárias (CBH-MPS, 2017). De acordo com os estudos de Lemos (2004), o nome deste rio se deu em 1789 quando soldados de uma Fazenda da região foram atacados e mortos por nativos (indígenas), vindos da cidade de Valença-RJ. O fato ocorreu em uma das cachoeiras do rio.

Considerado um importante rio para a cidade de Vassouras-RJ, o Rio das Mortes recebe um alto volume de despejo de esgoto, sem tratamento, devido à grande concentração de população próxima a sua área, principalmente ao ponto escolhido para o estudo inicial deste rio. Apesar de sua importância, poucos estudos foram encontrados sobre o mesmo, além de poucas informações em órgãos públicos (CBH-MPS, 2017). O monitoramento de fontes difusas de nutrientes na escala de uma bacia hidrográfica envolve muitas incertezas devido ao fato desta poluição ser de difícil quantificação, uma vez que depende da interação de diferentes fatores, como a intensidade e duração das precipitações, o tipo e as formas de uso dos solos. No Brasil, a disponibilidade de dados de monitoramento de fontes poluidoras difusas para as bacias hidrográficas é escassa.

O trabalho desenvolvido foi financiado pela Associação Pró-Gestão das Águas da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul – de acordo com o edital AGEVAP N° 005/2018 - Estudo de poluentes orgânicos, inorgânicos e microplásticos nas águas dos rios estaduais da RH -III e/ou no rio Paraíba do Sul no trecho da RH-III. Os resultados obtidos serão

apresentados sob a forma de um Relatório Técnico que irá compor o relatório final das atividades do projeto de pesquisa para apresentação ao Comitê de Bacias.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo Geral

Como todo ecossistema fluvial natural, o Rio Paraíba do Sul tem uma capacidade de autodepuração de suas águas frente a uma determinada carga poluidora. Entretanto, considerando o lançamento frequente de efluentes domésticos ou industriais sem qualquer tratamento, essa capacidade de autodepuração encontra-se comprometida. Por este motivo são necessárias pesquisas relacionadas aos rios que deságuam na bacia do Paraíba do Sul. Diante deste fato, objetivou-se com este trabalho monitorar a qualidade da água do Rio das Mortes – Vassouras/RJ, avaliando os parâmetros de oxigênio dissolvido, demanda bioquímica de oxigênio, fósforo e nitrogênio amoniacal para criação de um banco de dados com os resultados obtidos uma vez que estudos científicos na área são escassos.

2.2. Objetivos Específicos

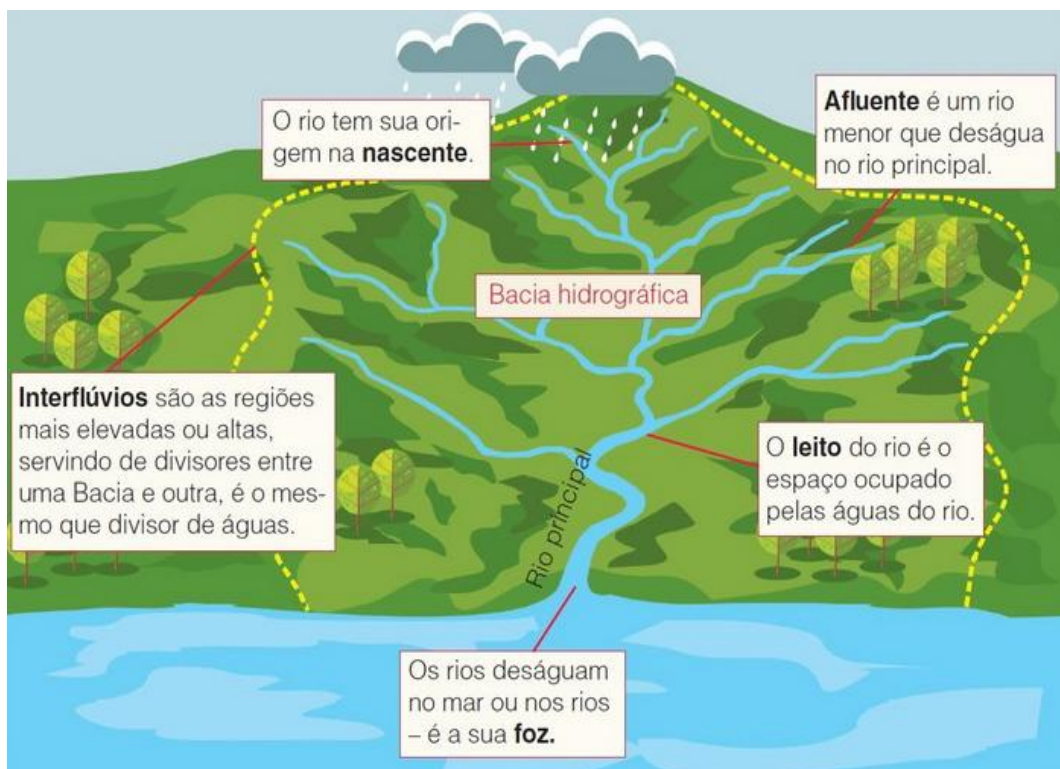
- 2.2.1.** Descrever os pontos de amostragem;
- 2.2.2.** Obter os dados de vazão média diária do Rio das Mortes utilizando o método da medição com flutuadores de acordo com o Comunicado Técnico da Embrapa (PALHARES, 2007);
- 2.2.3.** Estimar a vazão de esgoto doméstica utilizando-se os dados da população da cidade;
- 2.2.4.** Realizar análises físico-químicas e fazer um levantamento dos dados de qualidade da água sendo os parâmetros avaliados: oxigênio dissolvido e demanda bioquímica de oxigênio, nitrogênio total e fósforo total com frequência bimensal (maio, julho, setembro e dezembro);
- 2.2.5.** Desenvolver de um Relatório Técnico para compor o relatório final das atividades do projeto de pesquisa para apresentação ao Comitê de Bacias.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 Bacias Hidrográficas

Uma bacia hidrográfica é uma área de captação natural da água de precipitação que faz convergir o escoamento para um único ponto de saída. Compõe-se de um conjunto de superfícies vertentes e de uma rede de drenagem formada por cursos de água que confluem até resultar em um leito único no seu exutório (TUCCI, 1997).

Figura 1 - Ilustração de uma Bacia Hidrográfica



Fonte: Atlas das microbacias da região hidrográfica médio Paraíba do Sul, 2017.

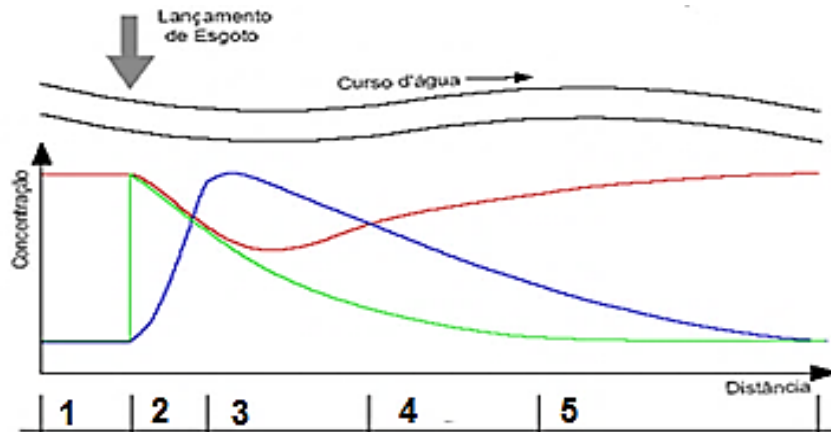
3.2 Autodepuração

A autodepuração é um processo natural, no qual cargas poluidoras, de origem orgânica, lançadas em um corpo d'água são neutralizadas. De acordo com Von Sperling (2005), a autodepuração pode ser entendida como um fenômeno de sucessão ecológica, em que o restabelecimento do equilíbrio no meio aquático, ou seja, a busca pelo estágio inicial encontrado antes do lançamento de efluentes é realizada por mecanismos essencialmente naturais.

De acordo com Sperling (2005), a queda dos níveis de oxigênio dissolvido é a consequência mais nociva gerada pelo despejo de matéria orgânica nos corpos d'água. Por conta de sua importância na comunidade aquática, o oxigênio dissolvido é tradicionalmente utilizado para determinar o grau de poluição da autodepuração em corpos hídricos. Os principais fenômenos envolvidos no balanço de OD relativos ao consumo são a oxidação da matéria orgânica, demanda bentônica e nitrificação, enquanto os relativos à produção são reaeração atmosférica e a fotossíntese (SPERLING, 2005).

O crescimento populacional desacelerado, o desenvolvimento industrial e outras atividades humanas exigem cada vez mais o uso da água. Esta crescente demanda por água acarreta a geração de resíduos líquidos que são muitas vezes lançados “*in natura*” nos corpos hídricos, alterando assim suas características naturais. O lançamento de um efluente líquido em um rio provoca um consumo de Oxigênio Dissolvido (OD). São necessários teores mínimos de OD nos rios para a existência da biodiversidade do corpo hídrico. Esse consumo de OD e remoção de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) podem ser caracterizados como sendo um fenômeno de autodepuração, que consiste em um processo natural de recuperação de um curso d'água, após ocorrência de interferências externas. Essa autodepuração é causada por microrganismos presentes no corpo hídrico que, degradam a matéria orgânica lançada e conseqüentemente consomem o oxigênio dissolvido presente no meio líquido. Após a total degradação da matéria, o curso d'água tende a se recuperar naturalmente, voltando às suas condições anteriores. Esta situação é ilustrada na Figura 2.

Figura 2 - Perfil das zonas de autodepuração ao longo do curso d'água



Fonte: VON SPERLING, 2005

1 – Águas Limpas	Matéria Orgânica	—
2 – Degradação	Oxigênio Dissolvido	—
3 – Decomposição Ativa	Bactérias	—
4 – Recuperação		
5 – Águas Limpas		

Segundo Von Sperling (2005), o

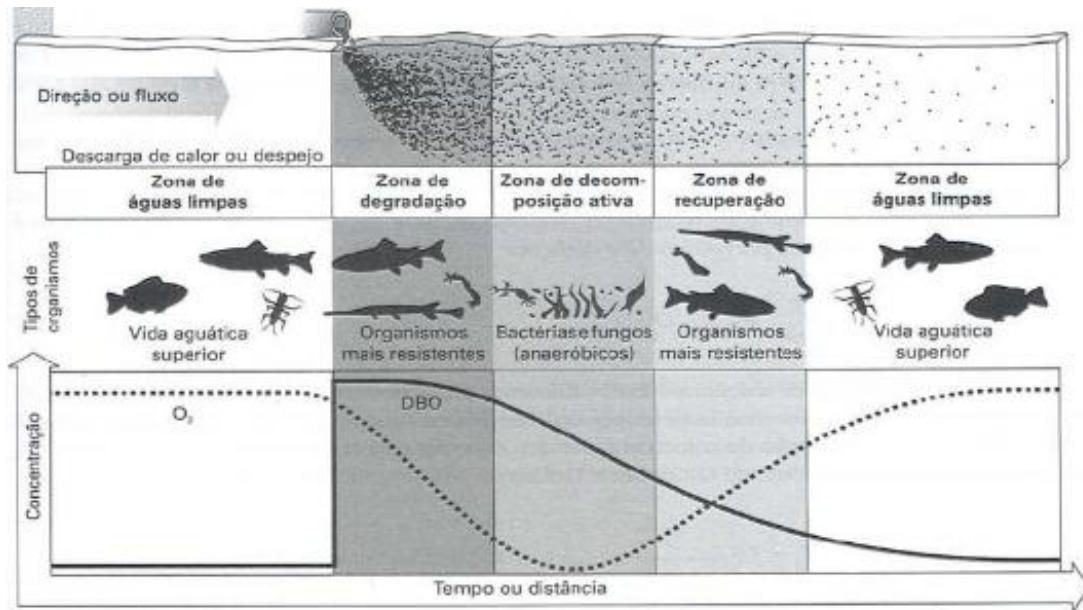
fenômeno da autodepuração está vinculado ao restabelecimento do equilíbrio no meio aquático, por mecanismos essencialmente naturais, após as alterações induzidas pelos despejos efluentes e apresenta a mesma relatividade que o conceito de poluição. A água pode ser considerada depurada mesmo que não esteja totalmente purificada em termos higiênicos, apresentando, por exemplo, organismos patogênicos. De acordo com Dezotti (2008), a degradação e metabolização por microrganismos da matéria orgânica presente em um despejo ocorre quando esse é lançado naturalmente em um curso de água.

3.2.1 Zonas de autodepuração

No decorrer do processo de autodepuração, é possível constatar, ao longo do trecho, 4 zonas no qual as concentrações de oxigênio dissolvido (OD) e DBO variam significativamente, além de outras substâncias, como: fósforo e nitrogênio.

A Figura 3 ilustra perfeitamente como estas variações de concentrações afetam diretamente a vida aquática e a biota em cada uma das zonas.

Figura 3 – Zonas de autodepuração e os tipos de microrganismos em cada zona.



Fonte: BRAGA *et al*, 2005.

3.2.1.1 Zona de águas limpas

A primeira zona identificada, é a de águas limpas, zona a montante do ponto de lançamento do efluente no corpo receptor. Nesta zona, o efluente irá se misturar com a água do corpo receptor, e com isso teremos uma nova concentração no ponto, denominada: concentração de mistura (VON SPERLING, 2005).

3.2.1.2 Zona de degradação

Após percorrer um determinado trecho no corpo receptor após o seu lançamento, o efluente passa a se dispersar no meio aquático de forma mais significante, diminuindo o consumo de oxigênio dissolvido e ao entrar na zona de degradação ocorre uma estabilização seguida de um pequeno decréscimo da DBO.

Embora a diversidade bacteriana se diminua, em função da diminuição do consumo de oxigênio, há a resistência de alguns deles aos poluentes.

Além disso, nesta zona, o fundo do corpo receptor permanece em condições anaeróbicas, fazendo com que ocorra a produção de gás sulfídrico, potencial gerador de mau odor (VON SPERLING, 2005).

3.2.1.3 Zona de decomposição ativa

Nesta zona, os microrganismos decompositores começam a dominar o ambiente, e o ecossistema começa a se estruturar. Na zona de decomposição ativa, a qualidade da água está em seu estado mais deteriorado.

Geralmente, as zonas de degradação exibem alterações nas cores de suas águas (mais escuras). Há também, o depósito de lodo no fundo do corpo receptor, existindo o decréscimo de bactérias e aumento de protozoários (VON SPERLING, 2005).

3.2.1.4 Zona de recuperação

Na zona de recuperação, a concentração de oxigênio dissolvido na água começa a se recuperar, crescendo a níveis próximos a zona de águas limpas, visto que, o oxigênio utilizado pelas bactérias é recomposto através da reaeração. Além disso, há processos físicos que ocorrem ao longo do trecho que pode fazer com que a concentração de oxigênio dissolvido (OD) se eleve ainda mais (VON SPERLING, 2005).

Ao final do método ocorrido na zona de recuperação, o corpo receptor passa a apresentar, praticamente, os mesmos níveis de concentrações verificados na zona de águas limpas, voltando ao equilíbrio natural do corpo receptor.

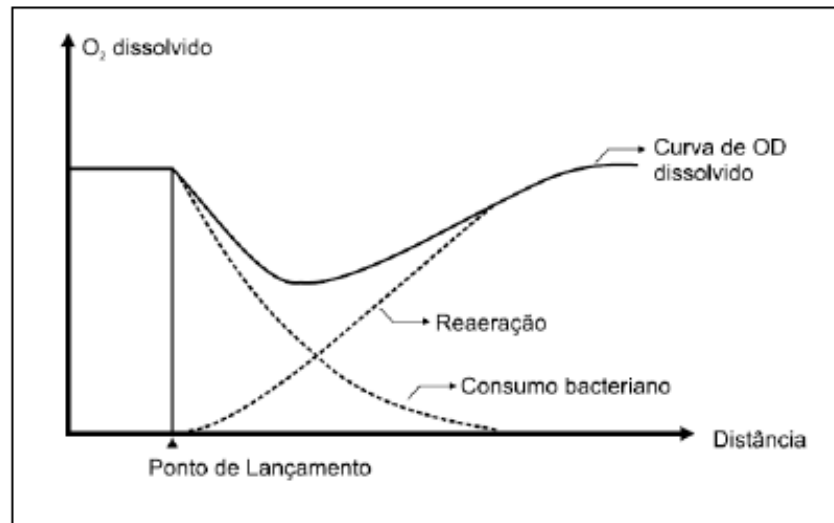
Em síntese, a autodepuração pode ser entendida como um fenômeno decorrente da associação de vários processos de natureza física (diluição, sedimentação e reaeração atmosférica), química e biológica (oxidação e decomposição).

Todo esse processo nos rios pode ser avaliado através de estudos de autodepuração, com o emprego de modelos matemáticos adequados aos estudos que se desejam e podem ser feitos para a DBO ou para nutrientes e coliformes (VON SPERLING, 2005).

Segundo Mansor et al. (2006), os corpos hídricos são atingidos por dois tipos de fontes poluentes, pontuais e não-pontuais, ou também chamadas poluição difusa. As fontes pontuais de poluição são caracterizadas por meio perceptível, confinado ou desviado de transporte de poluentes para as águas superficiais, são descargas de indústrias, rede de esgotos, e facilmente identificadas. As de fonte difusa, são aquelas advindas da superfície terrestre e atmosféricas, de maneira intermitente, dependente da duração e da intensidade das chuvas, e da área em que é drenada, estas por sua natureza, são mais difíceis de identificar, mensurar e controlar.

A Figura 4 ilustra o efeito do lançamento de um efluente biodegradável sobre o nível de oxigênio dissolvido de um corpo receptor, demonstrando a reaeração, bem como a zona de recuperação.

Figura 4 - Efeito do lançamento de um efluente sobre o oxigênio dissolvido de um curso de água.



Fonte: DEZOTTI, 2008.

De acordo com a Figura 4, é possível observar que, próximo ao lançamento do efluente, se concentra uma população microbiana que consome as substâncias orgânicas consumindo o oxigênio dissolvido da água.

3.3 Oxigênio Dissolvido

Segundo a Agência Nacional de Águas (2005), o oxigênio dissolvido é vital para a preservação da vida aquática, já que vários organismos precisam de oxigênio para respirar. As águas poluídas por esgotos apresentam baixa concentração de oxigênio dissolvido, pois o mesmo é consumido no processo de decomposição da matéria orgânica. Por outro lado, as águas limpas apresentam concentrações de oxigênio dissolvido mais elevadas, geralmente superiores a 5 mg/L, exceto se houverem condições naturais que causem baixos valores deste parâmetro.

3.4 Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)

Segundo Braile (1993), a DBO de uma água é a quantidade de oxigênio necessária para oxidar a matéria orgânica por decomposição microbiana aeróbia para uma forma inorgânica estável. A DBO é normalmente considerada como a quantidade de oxigênio

consumido durante um determinado período de tempo, numa temperatura de incubação específica.

A DBO é considerada como um importante parâmetro para o controle da poluição das águas por matéria orgânica biodegradável. Em águas naturais, representa a demanda potencial de oxigênio dissolvido que poderá ocorrer devido à estabilização dos compostos orgânicos biodegradáveis, o que poderá reduzir os níveis de oxigênio nas águas abaixo dos exigidos pela vida aquática (VON SPERLING, 2005)

3.5 Fósforo

O fósforo em suas várias formas aparece em águas naturais e em efluentes domésticos e industriais, oriundo de várias fontes.

Nos sistemas de abastecimento os polifosfatos podem ser empregados como controladores de corrosão, para estabilizar o carbonato de cálcio. Nas instalações industriais são empregados para controlar a formação de incrustações em caldeiras. Os esgotos domésticos são naturalmente ricos em fósforo, e a concentração de fosfatos ultimamente vem aumentando, dado o uso sempre crescente de detergentes sintéticos, que contém fosfatos. Os organismos envolvidos nos processos biológicos de tratamento de despejos industriais e domésticos requerem fósforo para sua reprodução e síntese.

Esgotos domésticos contém fósforo em quantidade suficiente para mineralização da matéria orgânica, tanto que aparecem em quantidades razoáveis em efluente de estações de tratamento de esgotos; já quando se trata de efluentes industriais pode ser necessário adicionar fosfato ao efluente a ser biologicamente tratado.

O fósforo é essencial ao crescimento dos organismos das águas superficiais, especialmente algas; pode ser o nutriente que limita a produtividade dessas águas, e nesse caso o lançamento de despejos tratados ou não, ou o carregamento de fertilizantes para as águas superficiais que podem estimular o crescimento excessivo de organismos (BAIRD, 2011).

3.6 Nitrogênio

Das formas bioquimicamente interconvertíveis (que podem-se converter entre si) do ciclo do nitrogênio, as que têm maior interesse no estudo de águas e de águas residuárias são o nitrato, o nitrito, a amônia, e o nitrogênio orgânico.

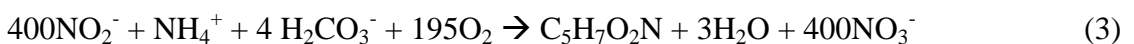
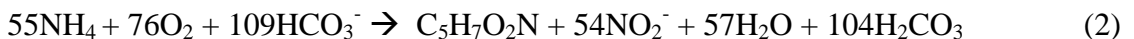
Nitrogênio orgânico é definido como aquele nitrogênio organicamente ligado e no estado de oxidação -3. Inclui materiais naturais tais como proteínas e peptídeos, ácidos nucleicos, ureia, e substâncias orgânicas sintéticas. Ocorrem em águas naturais em concentrações de 10 µ g/l ou menos, e em águas residuais em concentrações superiores a 10 mg/l. Nos processos de tratamento biológico de águas residuais as determinações de nitrogênio orgânico são feitas para verificar se a quantidade de nitrogênio presente é suficiente para o bom desenvolvimento dos microrganismos e para controlar os processos de aeração.

O método de determinação do nitrogênio orgânico é o da determinação desse nitrogênio em forma de amônia (VON SPERLING, 2005).

Os processos de reação que ocorrem no ciclo do nitrogênio em meio aquático incluem: fixação biológica, indicada pela Equação química 1, (ocorre através de bactérias, tal como as cianobactérias), nitrificação (Equações 2 e 3) e desnitrificação (Equação 4), compreendidas a seguir, conforme evidencia Silva (2019):



A nitrificação consiste na oxidação do amônio a nitrito e nitrato por microrganismos de forma aeróbia.



A desnitrificação é o inverso da nitrificação. A partir da matéria orgânica consumida, ocorre a etapa de obtenção do nitrogênio gasoso (N_2).



3.7 Vazão

Os corpos hídricos são cursos d'água que representam maior parte do abastecimento de água para as cidades. Segundo Gomes (2011), no planeta Terra existem 1,4 milhões de quilômetros cúbicos de água, mas apenas 2,5% desse total, são de natureza doce. Sendo 2,14% de geleiras e calotas polares e apenas 0,26% de rios, lagos e reservatórios, de onde é retirada a maior parte para consumo. A água é essencial para a vida humana. Suas principais funções podem ser caracterizadas como: manutenção da saúde pública, desenvolvimento econômico, recreação e preservação do equilíbrio ecológico. Por isso a manutenção e medições periodicamente da vazão dos rios e seus afluentes é de suma importância (BENETTI, 2003).

Vazão é o volume de água que passa em uma seção do rio por um determinado tempo. A vazão oscila de acordo com o clima, aumentando em dias chuvosos e diminuindo durante os dias secos. Ela também pode ser influenciada pela caracterização geológica do rio, erosões e meandro ao longo de sua extensão (PALHARES *et al.*, 2007).

De acordo com Ayres (2001) não é simples a verificação de velocidade média em um curso d'água. A velocidade é a variável em diferentes pontos em uma linha transversal ao rio, sendo superior na superfície no meio do canal e no fundo do rio, a velocidade é nula devido à fricção. Os métodos para a medição de vazão são diversos. Sendo alguns deles conhecidos como: método do vertedor, método gravimétrico e volumétrico, método da diluição química, método das calhas venturi métricas, método do molinete e método dos flutuadores.

Entre os vários métodos utilizados para aferição de vazões destacam-se o vertedor, que utilizam simples aberturas ou entalhes na parte superior de uma parede por onde o líquido escoar; medição direta, utilizando pás ou hélices que giram impulsionadas pela velocidade de escoamento; e o flutuador, podendo ser utilizada uma garrafa plástica, boia, entre outros para determinar a velocidade superficial do escoamento com o auxílio de um cronômetro. Estes métodos são de baixo custo, fáceis de manusear e podem ser adotados tanto por técnicos e produtores rurais sem maiores complicações (SANTOS, 2019).

4. METODOLOGIA

O Município de Vassouras possui área territorial de 538,129 km² e está localizado na região Centro-Sul Fluminense. Localiza-se nas coordenadas: Latitude Sul - 22°24'14" S e Longitude Oeste - 43°39'46" W. Sua altitude em relação ao nível do mar é de 434 m. Os municípios limítrofes são: Barra do Piraí, Engenheiro Paulo de Frontin, Mendes, Miguel Pereira, Paraíba do Sul, Paty do Alferes, Rio das Flores e Valença (Figura 5).

Figura 5 – Localização de Vassouras em relação aos municípios limítrofes



Fonte: IBGE, 2010

O Município pertence à região que compreende toda a área drenada pelo Rio Paraíba do Sul, situada entre as Serras do Mar e da Mantiqueira, do cotovelo Guararema até os primeiros afluentes com maior descarga: Piabanha e Paraibuna, próximos a cidade de Três Rios.

O município de Vassouras/RJ se desenvolve entre vales drenados por cursos d'água de pequeno porte, todos afluentes do Rio das Mortes. De acordo com o Atlas Região Hidrográfica Médio Paraíba do Sul, a microbacia do Rio das Mortes, localizada no município de Vassouras - RJ, a cerca de 6 km da sede do município, seu curso recebe o nome de Rio das Mortes, após a união de três córregos no centro do município de Vassouras e sua foz é no mesmo município na margem direita do Rio Paraíba do Sul. Com uma área de contribuição de 48,59 km², trata-se de uma região com uso do solo predominantemente voltado a pastagens, apenas com manchas de áreas florestais e culturas temporárias. A microbacia sofre grande

pressão urbana, devido à extensa área urbana localizada na área. Possui uma extensão de 6,03 Km e 14 afluentes.

O município está inserido na Bacia Hidrográfica do Médio Paraíba do Sul que compõe a Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul. A disponibilidade hídrica em relação às águas superficiais é significativa, em função dos corpos hídricos existentes.

O desenvolvimento da bacia do Rio Paraíba do Sul vem proporcionando a degradação da qualidade de suas águas e redução de sua disponibilidade hídrica. Ao longo do Rio Paraíba e de seus principais afluentes, indústrias se instalaram e cidades cresceram, lançando efluentes em suas águas, na maioria das vezes sem qualquer tipo de tratamento.

O saneamento básico engloba o conjunto dos serviços e instalações de abastecimento de água, esgotamento sanitário, limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos, e drenagem e manejo das águas pluviais urbanas.

Quando esses serviços de saneamento são prestados de maneira adequada proporcionam melhor qualidade de vida da população e a conservação do meio ambiente. Segundo o Ministério das Cidades (2012), as ações de saneamento são consideradas preventivas para a saúde quando garantem a qualidade da água de abastecimento, a coleta, o tratamento e a disposição adequada de dejetos humanos. Essas também são necessárias para prevenir a poluição dos corpos de água e a ocorrência de enchentes e inundações.

O presente estudo foi realizado em quatro pontos do rio, situados no trecho entre o município de Vassouras até sua foz em Barão de Vassouras, com distâncias variáveis entre eles, sendo estas apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1. Distâncias entre os pontos estudados ao longo do Rio das Mortes

Pontos	Distância (m)
1-2	1364,95
2-3	1906,34
3-4	2755,20

Analisou-se aproximadamente 6 km do rio, dividindo-o em 4 pontos, evidenciando ainda as respectivas coordenadas em UTM Datum horizontal SIRGAS2000, conforme apresentado a Figura 6.

Figura 6 – Pontos de Monitoramento no Rio das Mortes



Fonte: O autor

Conforme apresentado nas Figuras 7A e 7B, o ponto 1 é a área de maior recebimento de despejos residuais escoando-se a céu aberto, correspondente ao maior receptor de cargas pontuais e difusas.

Figura 7A - Ponto 1 - Monitoramento no Rio das Mortes



Fonte: O autor

A Figura 7B demonstra o encontro de três córregos sem denominação, identificados como: 1, 2 e 3, que formam o Rio das Mortes segundo o Atlas das Bacias Hidrográficas da Região do Médio Paraíba do Sul (2017).

Figura 7B - Início - Monitoramento no Rio das Mortes



Rio das Mortes

Fonte: O autor

Conforme apresentado nas Figuras 8A e 8B, o ponto 2 corresponde a uma área intermediária e encontra-se no bairro do Matadouro, ainda na área urbana.

Figura 8A - Ponto 2 - Monitoramento no Rio das Mortes



Fonte: O autor

Neste ponto, continuou-se observando o despejo in natura de efluentes domésticos, a presença de espuma (surfactantes) na Figura 8B evidencia este fato. Além disto, sacolas com resíduos sólidos são comumente descartados ao redor do rio.

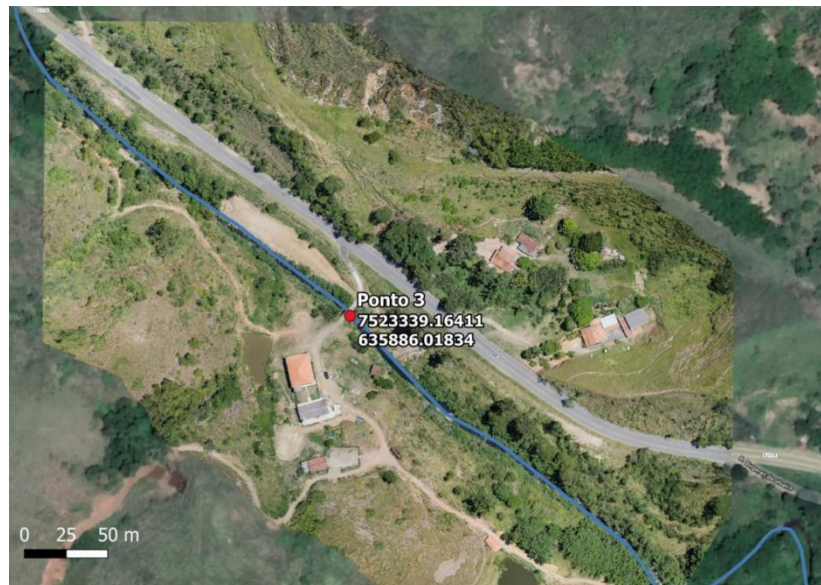
Figura 8B - Área intermediária - Monitoramento no Rio das Mortes



Fonte: O autor

Conforme apresentado nas Figuras 9A e 9B, o ponto 3 está localizado em uma área privativa, apresentando uma zona com manejo de pastagem.

Figura 9A - Ponto 3 - Monitoramento no Rio das Mortes



Fonte: O autor

O Ponto 3 tem uma menor contribuição de cargas pontuais, porém, sendo área de pastagem, conforme Figura 9B, há contribuições de fontes difusas.

Figura 9B - Área de pastagem - Monitoramento no Rio das Mortes



Fonte: O autor

Conforme apresentado nas Figuras 10A e 10B, o ponto 4 é onde o Rio das Mortes deságua no Rio Paraíba do Sul, principal rio da região.

Figura 10A - Ponto 4 - Monitoramento no Rio das Mortes



Fonte: O autor

Este ponto (Ponto 4), também é caracterizado por um fluxo mais lento do Rio das Mortes, devido a vazão elevada do Rio Paraíba do Sul.

Figura 10B - Ponto de deságue - Monitoramento no Rio das Mortes



Fonte: O autor

O município tem um clima predominante tropical. Com uma temperatura que varia entre 12 °C a 32 °C ao longo do ano. No período de verão a temperatura máxima média diária é acima de 32 °C. O período mais chuvoso ocorre ao longo do mês de janeiro, com acumulação total média de 224 milímetros (WEATHER SPARK, 2019).

A amostragem foi realizada nos meses de maio, julho, outubro e dezembro de 2019 com o objetivo de avaliar o comportamento do processo de autodepuração.

O monitoramento da temperatura do rio e da determinação do oxigênio dissolvido, presente nas amostras analisadas, foi realizado no local, com auxílio de um oxímetro digital, conforme apresentado na Figura 11. O medidor de oxigênio dissolvido portátil, facilita ao determinar a qualidade da água, sendo uma medição mais precisa em relação à outros métodos laboratoriais.

Figura 11 - Oxímetro Digital.



Fonte: O autor.

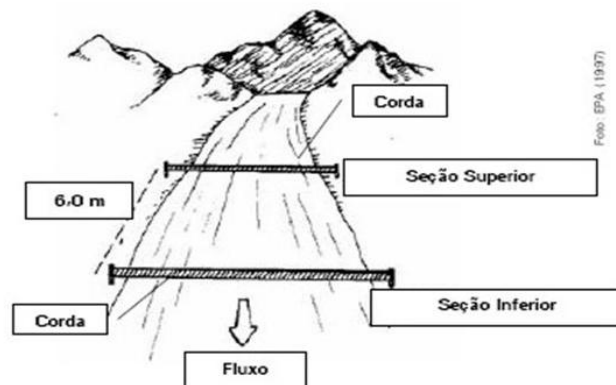
Para as análises realizadas em laboratório, foi utilizada uma caixa de isopor com gelo para acondicionamento das amostras até que fossem conduzidas ao laboratório, no prazo não superior a 24 horas. A coleta foi feita mergulhando o frasco e rinçando duas a três vezes nas águas onde foram realizadas as coletas.

As análises de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), Fósforo e Nitrogênio, foram realizadas por um laboratório credenciado seguindo as normas do *Standard Methods for*

Examination of Water and Waste Water (2017) e os parâmetros analisados de acordo com a resolução CONAMA nº 430 de 2011.

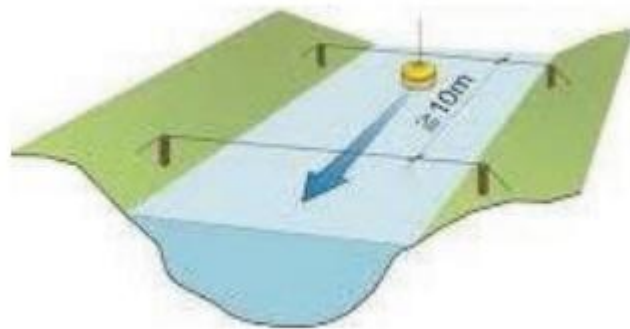
Os dados de vazão, velocidade do curso d'água, profundidade e distância do percurso foram levantados através de medições em campo. Para a medição da vazão, utilizou-se o método dos flutuadores, conforme Comunicado Técnico da Embrapa publicado por Palhares *et al.* (2007), ilustrado pelas Figuras 12 e 13.

Figura 12 - Marcação do trecho no rio.



Fonte: PALHARES *et al.*, 2007

Figura 13 - Ilustração do método do flutuador para medição de vazão



Fonte: SILVA, 2007.

No momento da medição optou-se pela escolha de pontos mais acessíveis e com poucas obstruções. Utilizou-se uma corda para marcação lateral do rio, estacas métricas para a medição de diferentes profundidades em diversos pontos da seção transversal e um flutuador para determinar o tempo de percurso entre dois pontos situados a uma distância superior a 10m. A vazão foi determinada de acordo com a Equação 1.

$$Q_v = \frac{(A \times L \times C)}{T}$$

(1)

Onde:

Q_v (m^3/s) = Vazão no ponto medido.

A (m^2) = Área da seção transversal do rio.

L (m) = Comprimento da região de medição (maior ou igual a 10 metros).

C = Fator de correção (adimensional) (varia de 0,8 a 0,9 conforme as características do rio).

T (s) = Tempo que o flutuador leva para percorrer a distância L .

A utilização de um coeficiente ou fator de correção segundo Palhares *et al.*, (2007) deve ser considerado no cálculo devido o fato de a água se deslocar mais rápido na superfície em comparação ao fundo do rio. Comumente utilizam-se 0,8 para rios com fundo pedregoso ou 0,9 para rios com fundo com turbidez alta.

A área da seção transversal do rio é o produto da sua largura pela profundidade. Utilizando uma estaca métrica mediu-se a profundidade do rio (em centímetros) em quatro pontos lineares à seção escolhida.

De acordo com a literatura, o trecho escolhido para medição da vazão deve ser reto (sem curvas) e não ser uma área de águas paradas e deverá ser maior ou igual a 10 metros. A Figura 14 ilustra a medição em um dos pontos.

Figura 14 - Medição em campo em um dos pontos estudados.



Fonte: O autor

Determinou-se também a largura do rio (margem a margem) com o auxílio de uma trena. De acordo com a literatura, o trecho escolhido para medição da vazão deve ser reto (sem curvas) e não ser uma área de águas paradas e deverá ser maior ou igual a 10 metros.

Com o auxílio de um cronômetro determinou-se o tempo de deslocamento do flutuador do ponto superior até o ponto inferior da área demarcada.

Nos estudos de autodepuração é importante estimar a vazão de esgotos lançada em um corpo receptor. A vazão doméstica média de esgoto lançada no Rio das Mortes foi obtida utilizando-se dados de população e contribuição per capita de acordo com a Equação 2.

$$Q_{dméd}(L/s) = \frac{Pop \times QPC \times R}{86400} \quad (2)$$

Onde:

$Q_{dméd}$ = vazão doméstica média de esgotos (L/s);

QPC = quota per capita de água (L/hab.d);

R = coeficiente de retorno esgoto/água.

Segundo o último censo do IBGE (2010) a população da cidade de Vassouras é de 34.410 habitantes. Para a estimativa da vazão de esgoto foi considerado o quantitativo referente a população urbana, sendo 24.672 habitantes, de acordo com o Plano Municipal de Saneamento Básico da cidade. De acordo com Von Sperling (2005) o coeficiente de retorno é denominado como a fração da água que adentra uma rede de coleta na forma de esgoto (vazão de esgotos/vazão de água) podendo ser adotado para os cálculos o valor de 0,8. Considerou-se a quota per capita de água (QPC) de 160 L/hab.d. A concentração (DBO) do despejo foi estimada a partir da relação 3 e 4:

$$\text{Carga} = \text{População} \times \text{carga per capita} \quad (3)$$

$$\text{Concentração} = \text{Carga} \times \text{Vazão} \quad (4)$$

A quota (ou carga) per capita representa a contribuição de cada indivíduo (expressa em termos de massa do poluente) por unidade de tempo. Comumente, assume-se que cada pessoa contribui em média com o equivalente a 54 gramas de DBO (54 g/hab.d).

Após a coleta dos dados de um estudo experimental, utilizou-se a estatística descritiva para especificar características relevantes dos mesmos. A estatística é aplicada em diversas áreas do conhecimento, fornecendo métodos para coleta, organização, análise e interpretação dos dados. O poder estatístico é uma parte inerente de estudos experimentais, os quais empregam testes de significância, essenciais para o planejamento, interpretação e validade das conclusões de um estudo. Experimento é uma inquirição empírica e envolve, ao menos, um tratamento, uma medida de resultado, unidades de atribuição e algumas comparações, a partir das quais a mudança pode ser inferida e atribuída ao mesmo.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A vazão estimada de esgotos lançada no Rio das Mortes, considerando a contribuição da população urbana foi de 0,036 (m³/s) com uma contribuição de DBO de 421,8 mg/L. Os resultados dos parâmetros do monitoramento analisados são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 – Resultados dos parâmetros analisados no monitoramento do Rio das Mortes (mg/L)

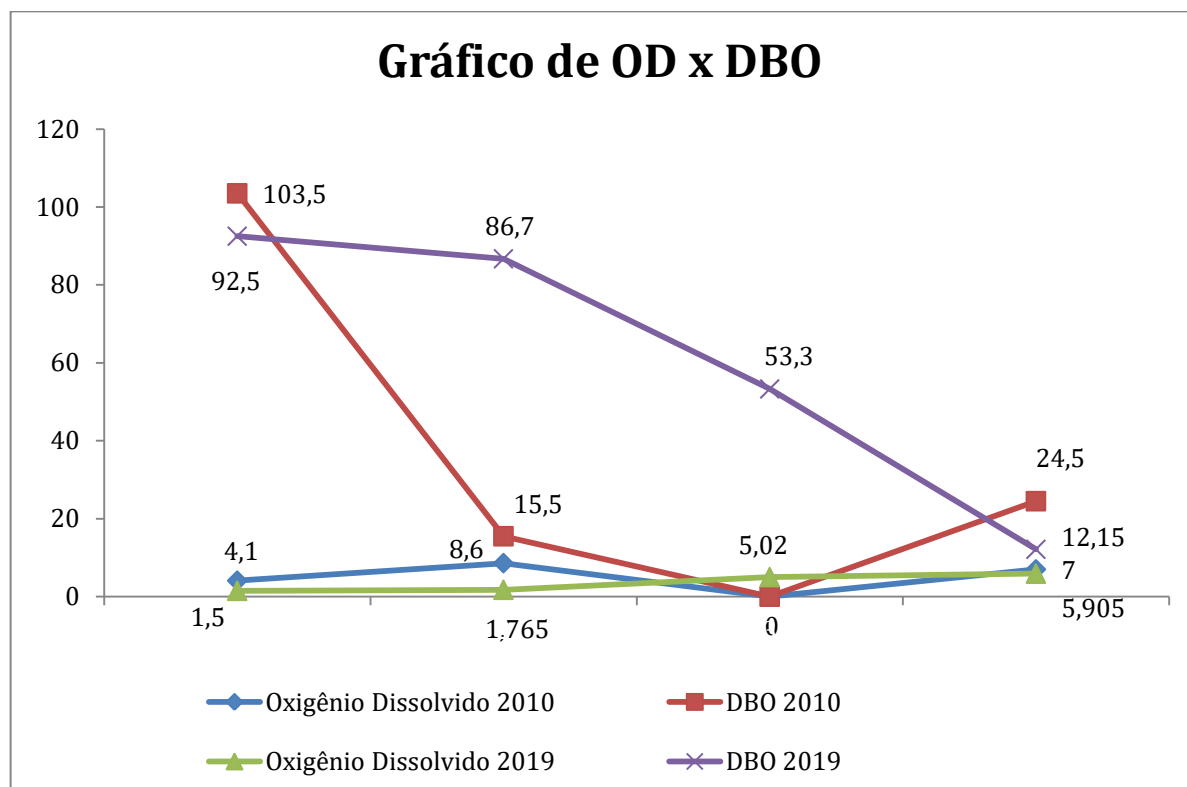
Ponto	Mês (2019)	Temperatura (°C)	Oxigênio Dissolvido	DBO	Fósforo	Nitrogênio Amoniacal
1	Maio	23,2	1,41	-	-	13,64
2		23,8	1,45			15,62
3		23,1	5,43			12,6
4		22,5	5,49			10,3
1	Julho	17,3	1,59	160	2,7	18,6

2		16,5	2,08	86,7	1,9	16,5
3		17,1	4,86	53,3	2,9	18,2
4		15,7	6,32	13,3	3,3	15,2
1		24,4	1,79		1,3	17,1
2	Outubro	23,6	3	-	0,2	9,8
4		24,1	6,39		0,7	14,8
1		27,9	1,28	25	5,38	12,98
2	Dezembro	27,8	1,16	-	1,77	15,63
3		29,5	5,02	-	1,70	15,19
4		29,4	4,39	11	1,58	11,68
1		23,2	1,5	92,5	2,7	15,37
2	Média	22,9	1,76	86,7	1,77	15,62
3		23,2	5,02	53,3	2,3	15,19
4		22,9	5,905	12,15	1,58	13,24
VALOR DE REFERÊNCIA CONAMA 430/2011			> 4	< 5	< 0,05	< 3,7

Fonte: O autor.

O teor mínimo permissível de oxigênio dissolvido nos corpos de água doce, classificados como classe 2 é de 5 mg/L (Resolução 430/2011 da CONAMA) na qual se enquadra o Rio das Mortes. De acordo com os resultados dos parâmetros de oxigênio dissolvido e DBO, observa-se uma capacidade autodepurativa do rio desde o ponto 1 (área de maior despejo de esgoto) até o ponto 4 (área de encontro do Rio das Mortes com o Rio Paraíba do Sul). A Figura 15 apresenta o comportamento dos parâmetros de OD e DBO (média dos dados) durante o período avaliado nos 4 pontos de monitoramento.

Figura 15 – Evolução dos parâmetros OD e DBO durante monitoramento realizado em 2019.



Fonte: O autor

Objetivando-se avaliar se ocorreram alterações no Oxigênio Dissolvido e a Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) do rio em 2011 e 2019, os resultados obtidos foram comparados aos dados de Ricciardone et al., (2011). Com os resultados dos parâmetros de OD e DBO, observa-se uma capacidade autodepurativa do rio em todos os meses avaliados.

Com o intuito de comparação deste estudo de autodepuração com o de Mendonça *et al.* (2020) no rio Lambari em Poços de Caldas-MG, pode-se verificar a similaridade inversamente proporcional no quesito oxigênio dissolvido. Isto se deu por fontes poluidoras mais intensas ao longo do rio, prejudicando a capacidade do mesmo se autodepurar.

Cabe destacar que os níveis das cargas poluidoras encontradas no Rio das Mortes são provenientes de redes de esgotamento: domésticas, comerciais, de postos de gasolina, entre outros. E em relação à contribuição difusa, destacam-se as pastagens, que ocorrem de forma predominante nos pontos estudados, com exceção do Ponto 1, além de postos de gasolina que estão situados nas proximidades dos córregos que formam o rio principal (das Mortes).

Para os parâmetros de fósforo e nitrogênio amoniacal, o nível de poluição continuou elevado.

As Tabela 3 e 4 apresentam os resultados da vazão do Rio das Mortes nos 4 pontos estudados determinadas nos meses de maio e julho de 2019.

Tabela 3 - Dados de medição da vazão do Rio das Mortes realizada no mês de maio em 2019.

PONTO	TEMPO (S)	ÁREA (m²)	COMPRIMENTO (m)	VAZÃO (m³/s)
1	25,0	0,63	10	0,25
2	39,7	0,70	10	0,14
3	38,3	0,45	10	0,09
4	25,0	0,28	10	0,14

Fonte: O autor

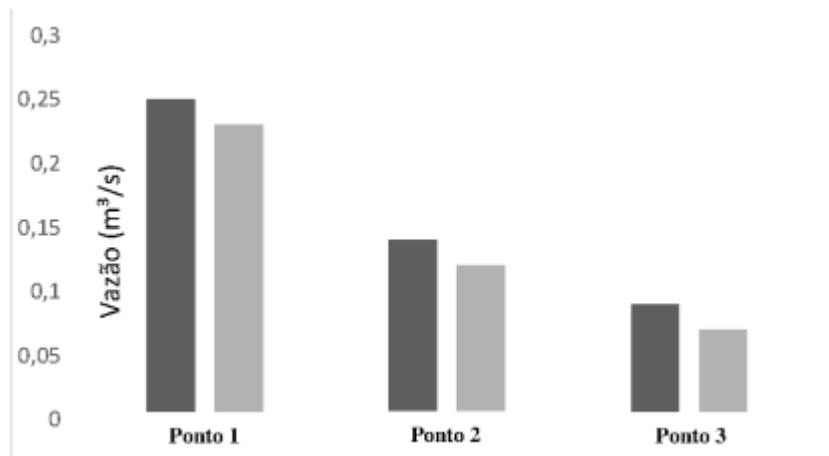
Tabela 4 - Dados de medição da vazão do Rio das Mortes realizada no mês de julho em 2019.

PONTO	TEMPO (S)	ÁREA (m²)	COMPRIMENTO (m)	VAZÃO (m³/s)
1	22,0	0,51	10	0,23
2	38,8	0,58	10	0,12
3	45,8	0,42	10	0,07
4	-	-	-	-

Fonte: O autor

O monitoramento da vazão no ponto 4 (foz do rio das Mortes) no mês de maio não foi possível ser realizado devido o volume do Rio Paraíba do Sul estar represando o Rio das Mortes, dificultando o percurso do flutuador. A Figura 16 ilustra uma comparação dos dados de vazão entre os meses Maio (preto) e Julho (cinza) de 2019 respectivamente.

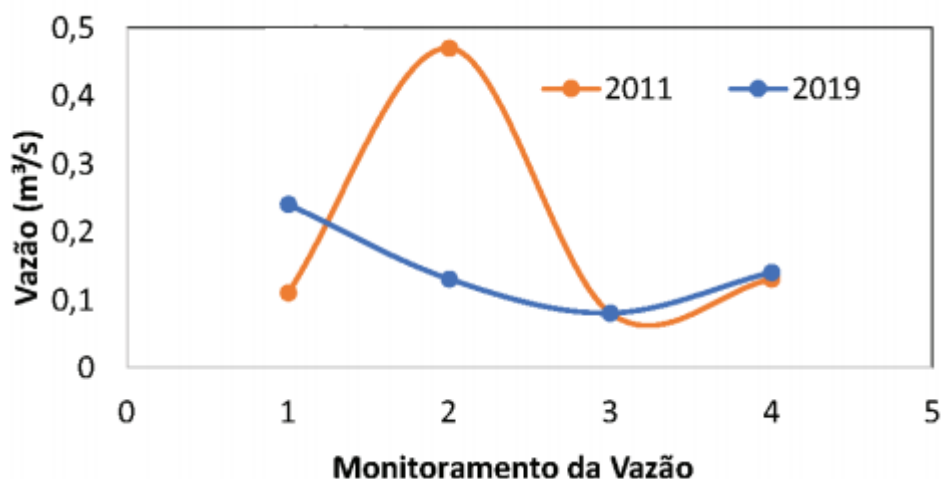
Figura 16 – Vazão média (m^3/s) do Rio das Mortes



Fonte: O autor

Objetivando-se avaliar se ocorreram alterações na vazão do rio em 2011 e 2019, os resultados obtidos foram comparados aos dados de Ricciardone et al., (2011).

Figura 17 – Vazão média (m^3/s) do Rio das Mortes no ano de 2011 e 2019



Fonte: O autor

De acordo com a Figura 17, observa-se um ponto com uma expressiva diferença dos dados do ponto 2 no ano de 2011 aos demais dados. Tal diferença pode ser explicada devido o monitoramento da vazão em campo ter ocorrido em dia próximo a dias de chuva. De forma geral não ocorreram mudanças significativas da vazão do Rio das Mortes ao longo destes 8 anos.

Para a verificação da normalidade dos resultados de vazão, utilizou-se o Teste de normalidade de ShapiroWilk e os resultados são apresentado na Tabela 5. Este teste foi utilizado, pois a quantidade de amostras era menor que 50.

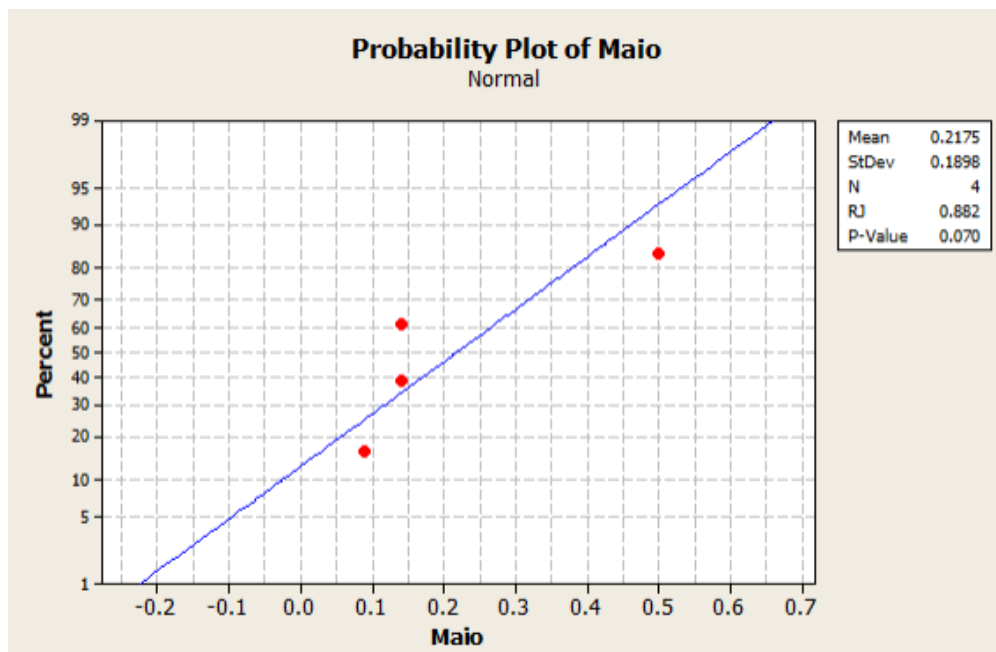
Tabela 5- Vazões dos meses de maio e junho de 2019

Ponto	Maio	Junho
1	0,50	0,23
2	0,14	0,12
3	0,09	0,07
4	0-14	-

Fonte: O autor

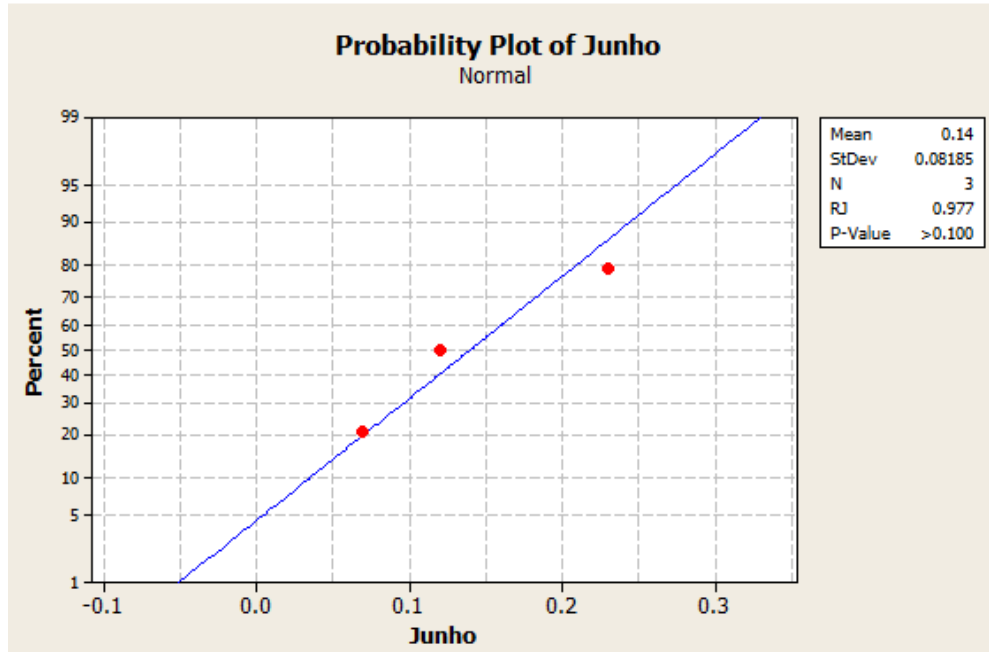
Segundo o Teste de ShapiroWilk, as hipóteses são: H_0 – os dados seguem uma distribuição normal e H_1 – os dados não seguem a distribuição normal. As Figuras 18 e 19 apresentam o resultado da análise para os dados de vazão obtidos em maio e junho. Para os dados de maio $p=0.07$, como é maior que o índice de significância (0.05) não se rejeita a hipótese H_0 . O mesmo acontece para os dados de junho.

Figura 18 - Teste de normalidade de ShapiroWilk para os dados de vazão (Mês de Maio)



Fonte: O autor

Figura 19- Teste de normalidade de ShapiroWilk para os dados de vazão (Mês de Junho)



Fonte: O autor

Para verificar a homocedasticidade, utilizou-se o teste F. e os resultados são apresentados na Figura 20. Consideraram-se as hipóteses H_0 como os dados tendo variâncias iguais e H_1 como os dados tendo variâncias diferentes. Executando-se o teste, o valor de F foi 5.38 e o valor de p 0.322. Como o valor de p é maior que o índice de significância (0,05), não há indícios de que a hipótese nula seja rejeitada, portanto, pode-se dizer que as variâncias para os dois grupos são iguais.

Figura 20 - Análise do Teste F para os resultados obtidos de vazão do rio

Tests				
Method	DF1	DF2	Test Statistic	P-Value
F Test (normal)	3	2	5.38	0.322
Levene's Test (any continuous)	1	5	0.22	0.662

Fonte: O autor

Com a normalidade e a variância verificadas, utilizou-se um teste paramétrico para completar a análise. O teste escolhido foi o teste t de student (Figura 21). As hipóteses

escolhidas foram as seguintes: H0 – as vazões, em média, são iguais, H1 – as vazões, em média, são diferentes.

Figura 21 - *Teste t de Student* para os resultados obtidos de vazão do rio

```
Difference = mu (Maio) - mu (Junho)
Estimate for difference: 0.078
95% CI for difference: (-0.229, 0.384)
T-Test of difference = 0 (vs not =): T-Value = 0.65 P-Value = 0.544 DF = 5
Both use Pooled StDev = 0.1559
```

Fonte: O autor

De acordo com os resultados observa-se que como o valor de p (0,544) é maior que o índice de significância (0,05), logo, não há indícios para rejeitar a hipótese nula, ou seja, em médias as vazões nos dois meses são iguais, considerando um índice de significância de 0.05. A diferença existente entre as médias não é significativa.

Para análise estatística dos resultados obtidos para o parâmetro oxigênio dissolvido optou-se por fazer uma análise de variância usando o teste ANOVA. Para isso considerou-se duas hipóteses: H0 – O OD é o mesmo em todos os meses; H1 – O OD é diferente entre os meses; Índice de significância: 5%. O resultado do teste ANOVA é apresentado na Figura 22.

Figura 22. Análise do Teste ANOVA para o parâmetro Oxigênio Dissolvido

Source	DF	SS	MS	F	P
Mês	3	1.46	0.49	0.10	0.960
Error	11	55.25	5.02		
Total	14	56.71			

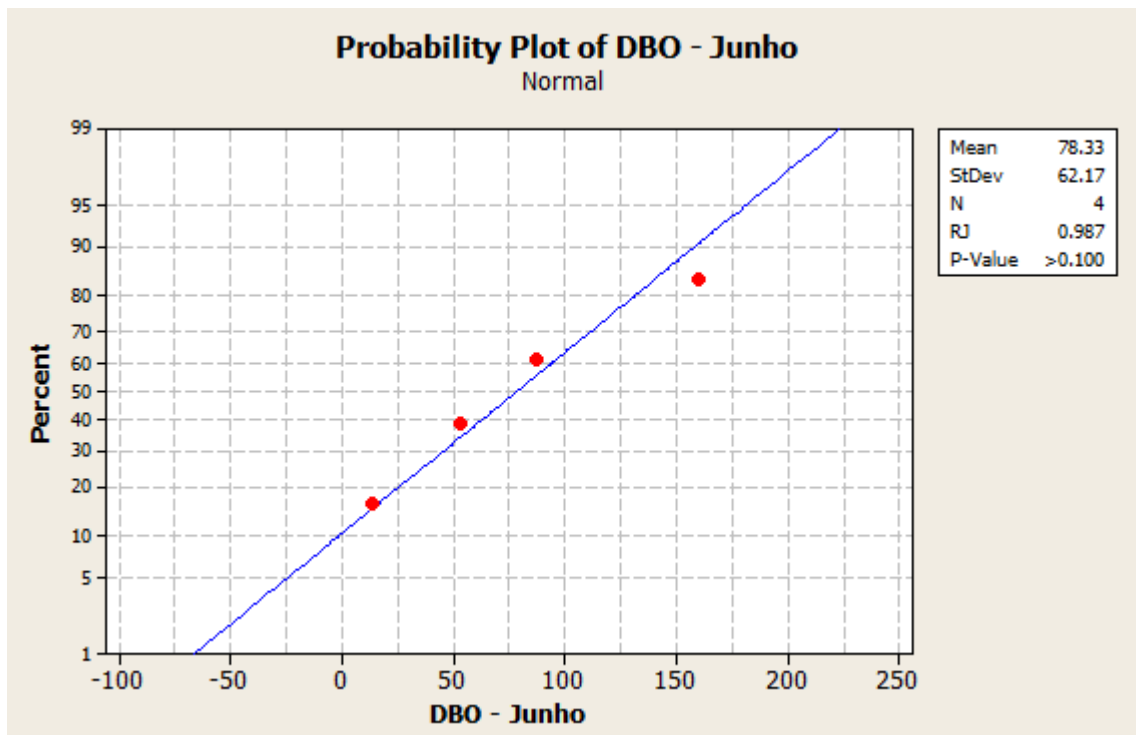
Fonte: O autor

Como p (0,960) é maior que índice de significância 0,05, Não se rejeita a hipótese H0, logo, pode-se considerar que OD é o mesmo em todos os meses.

Segundo o Teste de Shapiro-Wilk, para análise do DBO, as hipóteses foram: H0 - os dados seguem uma distribuição normal e H1 - os dados não seguem a distribuição normal. As

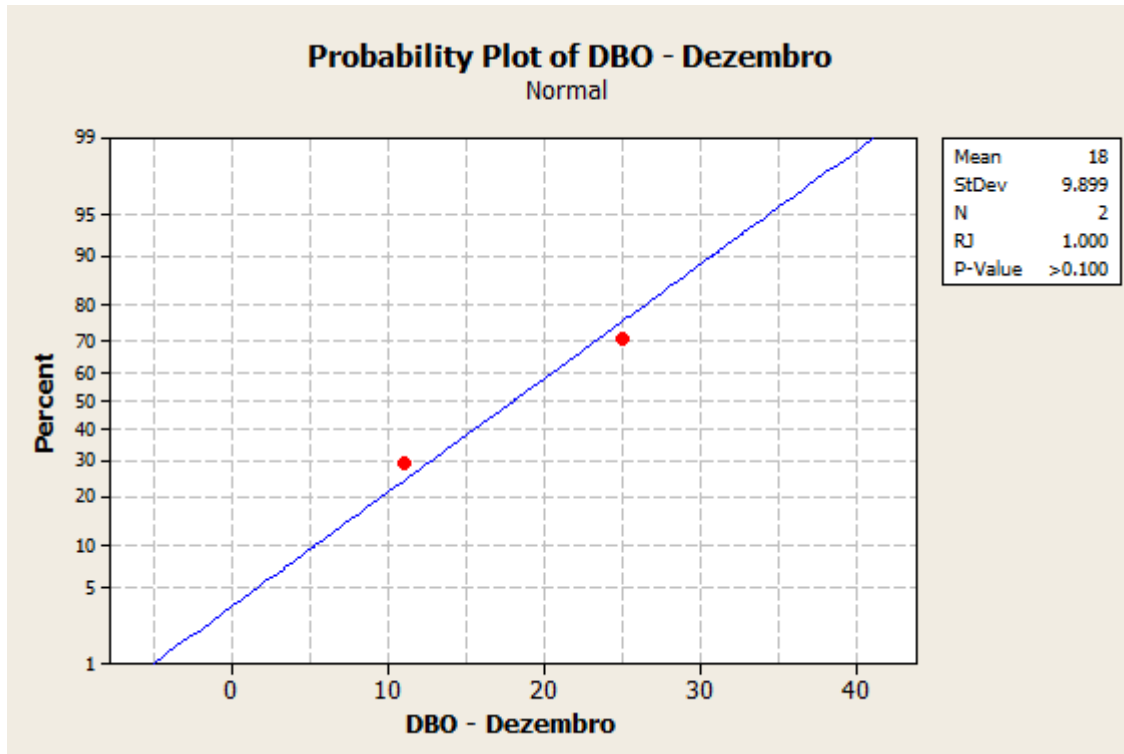
figuras 23 e 24 a mostra o resultado da análise para os dados junho e dezembro. para os dados junho $p > 0.1$, como é maior que o índice de significância (0.05) não rejeita-se a hipótese H_0 . O mesmo acontece para os dados de dezembro. Assim, os dados seguem uma distribuição normal.

Figura 23 - Teste de normalidade de ShapiroWilk para o parâmetro DBO (Mês de Junho)



Fonte: O autor.

Figura 24 - Teste de normalidade de ShapiroWilk para o parâmetro DBO (Mês de Dezembro)



Fonte: O autor.

Para verificar a homocedasticidade, utilizou-se o teste F conforme apresentado na Figura 25. Consideraram-se as hipóteses H0 como os dados tendo variâncias iguais e H1 como os dados tendo variâncias diferentes. Executando-se o teste, o valor de p 0,233. Como o valor de p é maior que o índice de significância (0,05), não há indícios de que a hipótese nula seja rejeitada, portanto, pode-se dizer que as variâncias para os dois grupos são iguais.

Figura 25 - Análise do Teste F - DBO

<u>Method</u>	<u>DF1</u>	<u>DF2</u>	<u>Statistic</u>	<u>P-Value</u>
<u>F Test (normal)</u>	3	1	39.44	0.233

Fonte: O autor

Com a normalidade e a variância verificadas, utilizou-se um teste paramétrico para completar a análise. O teste escolhido foi o *teste t de student* com índice de significância igual

a 5%. As hipóteses escolhidas foram as seguintes: H0 – o DBO, em média, são iguais, H1 – o DBO, em média, são diferentes.

Figura 26 - *Teste t Student* - DBO

```
Difference = mu (DBO - Junho) - mu (DBO - Dezembro)
Estimate for difference: 60.3
95% CI for difference: (-41.1, 161.7)
T-Test of difference = 0 (vs not =): T-Value = 1.89 P-Value = 0.155 DF = 3
```

Fonte: O autor

De acordo com os resultados observa-se que como o valor de p (0,155) é maior que o índice de significância (0,05), logo, não há indícios para rejeitar a hipótese nula, ou seja, em médias o DBO nos dois meses são iguais, considerando um índice de significância de 0.05. A diferença existente entre as médias não é significativa.

Para a análise estatística do parâmetro fósforo realizou-se o teste de variância usando o teste ANOVA, conforme apresentado na Figura 27. Para isso consideraram-se duas hipóteses, utilizando Índice de significância: 5%: H0 – O fósforo é o mesmo em todos os meses; H1 – O fósforo é diferente entre os meses.

Figura 27 - Análise ANOVA - Fósforo

Source	DF	SS	MS	F	P
Mês Fósforo	2	8.06	4.03	2.71	0.126
Error	8	11.91	1.49		
Total	10	19.98			

Fonte: O autor

Como p (0,126) é maior que índice de significância 0,05, Não rejeita-se a hipótese H0, logo, pode-se considerar que o fósforo é o mesmo em todos os meses.

Para a análise estatística do parâmetro nitrogênio utilizou-se a análise de variância usando o teste ANOVA conforme apresentado na Figura 28. Para isso consideraram-se duas hipóteses, utilizando Índice de significância: 5%: H0 – O Nitrogênio é o mesmo em todos os meses; H1 – O Nitrogênio é diferente entre os meses.

Figura 28 - Análise ANOVA - Nitrogênio

Source	DF	SS	MS	F	P
Mês Nitrogênio	3	38.75	12.92	2.35	0.128
Error	11	60.43	5.49		
Total	14	99.18			

Fonte: O autor

Como p (0,128) é maior que índice de significância 0,05, Não se rejeita a hipótese H0, logo, pode-se considerar que o Nitrogênio é o mesmo em todos os meses.

6. CONCLUSÃO

O presente trabalho realizou um estudo de monitoramento da qualidade da água do Rio das Mortes – Vassouras/RJ, avaliando os parâmetros de oxigênio dissolvido, demanda bioquímica de oxigênio, fósforo e nitrogênio amoniacal de acordo com os resultados apresentados nesta dissertação, sendo monitorados quatro pontos de amostragens correspondentes a áreas de maior despejo de esgoto da cidade até o desague do Rio das Mortes no Rio Paraíba do Sul.

Além destes parâmetros, monitoraram-se durante os meses estudados, os dados de vazão média do Rio das Mortes. De acordo com os resultados obtidos observou-se que ao longo do tempo, não foram evidenciadas variações significativas na vazão do rio. Sendo a vazão média compreendida entre 0,20 m³/s (no ano de 2011) e 0,15 m³/s (no ano de 2019).

De acordo com os resultados dos parâmetros de oxigênio dissolvido e demanda bioquímica de oxigênio juntamente com os resultados das vazões, observou-se a capacidade autodepurativa do rio desde o ponto 1 (área de maior despejo de esgoto) até o ponto 4 (área de encontro do Rio das Mortes com o Rio Paraíba do Sul).

No caso do trecho analisado, o Rio das Mortes apesar de apresentar uma concentração normal de OD, o mesmo não atinge a estabilidade, necessitando de uma maior área para que ocorra sua autodepuração. As entradas pontuais de esgotos oriundos de casas e fazendas ao longo do trecho do rio retardam a recuperação desse perfil de OD. O ideal seria localizar todas as fontes poluidoras existentes à montante do trecho de estudo e apresentarem-se propostas alternativas de tratamento de todos os efluentes lançados junto ao Rio das Mortes.

Quanto aos enquadramentos dos corpos d'água através dos resultados da Demanda Bioquímica de Oxigênio, pode-se concluir que sendo o Rio das Mortes enquadrado como um rio de Classe 2, este dado não atende aos limites mínimos necessários exigidos por lei, segundo Resolução CONAMA 430/2011, que limita o valor de DBO (5,0 mg/L).

Com relação aos parâmetros fósforo e nitrogênio amoniacal, as concentrações encontradas estão acima do limite permissível pela legislação (0,05 e 3,7 mg/L).

7. PRODUTO

O trabalho desenvolvido foi financiado pela Associação Pró-Gestão das Águas da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul – de acordo com o edita AGEVAP N° 005/2018 - Estudo de poluentes orgânicos, inorgânicos e microplásticos nas águas dos rios estaduais da RH -III e/ou no rio Paraíba do Sul no trecho da RH-III. Os resultados obtidos até o presente momento estão apresentados sob a forma de um Relatório Técnico (apresentado a seguir) que irá compor o relatório final das atividades do projeto de pesquisa para apresentação ao Comitê de Bacias.

8. REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, Guilherme; FERREIRA, Arian. O saneamento ambiental no Brasil: cenário atual e perspectivas. BNDES, v. 60, p. 272-309, 2012.

AYRES, Mario C. Hidrometria-medição de vazão. Seminário apresentado à Faculdade de Ciências Agronômicas do Campus de Botucatu, UNESP. Botucatu, São Paulo, 2001. Acesso em: 25 jul. 2019.

BAIRD, C.; Química Ambiental; Bookman; Porto Alegre, 2011. 844p

BATTISTI, Iara Denise Endruweit; BATTISTI, Gerson. Métodos estatísticos. 2008.

BENETTI, Antônio D.; LANNA, A. Eduardo; COBALCHINI, Maria Salete. Metodologias para determinação de vazões ecológicas em rios. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 8, n. 2, p. 149-160, 2003.

BRAILE, P.M.; Cavalcanti, J.E. Manual de Tratamento de Águas Residuárias Industriais. São Paulo: CETESB, 1993.

BRAGA, B.; HESPANHOL, I.; CONEJO, J. G. L.; MIERZWA, J. C.; BARROS, M. T. L.; SPENCER, M., PORTO, M.; NUCCI, N.; JULIANO, N.; EIGER, S. Introdução à engenharia ambiental. 2ª ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2005. 313 p.

BRASIL. Panorama da qualidade das águas superficiais no Brasil / Agência Nacional de Águas, Superintendência de Planejamento de Recursos Hídricos. - Brasília: ANA, SPR, 2005.

BRASIL. Plano Nacional de Saneamento Básico (Plansab), 2013.

BRASIL. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). Resolução CONAMA nº 430/2011. Diário Oficial da União, 2011.

CBH – MPS, Atlas das Bacias Hidrográficas da Região do Médio Paraíba do Sul, 2017. Disponível em: <<http://www.cbhmedioparaiba.org.br/conteudo/atlas-CBH-MPS.pdf>>. Acesso em: 30 jan 2019.

DEZOTTI, M. Processo e Técnicas para o Controle Ambiental de Efluentes Líquidos. Série Escola Piloto em Engenharia Química COPPE/UFRJ, v.5, editora e-papers. ISBN 978-85-7650-173-2, 2008.

DYBÅ, Tore; KAMPENES, Vigdis By; SJØBERG, Dag IK. A systematic review of statistical power in software engineering experiments. Information and Software Technology, v. 48, n. 8, p. 745-755, 2006.

GOMES, Marco Antônio Ferreira. Água: sem ela seremos o planeta Marte de amanhã. Embrapa, mar, 2011. Acesso em: 27 jul. 2019.

HAUPT, Jaqueline Patricia de Oliveira. Metodologia para avaliação do potencial de produção de poluição difusa: estudo de caso da bacia do Rio Jundiaí. 2009. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, 2009.

IBGE, Censo Demográfico, 2010. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br>. Acesso em: 20 dez 2019.

JÚNIOR, Rudinei Toneto; SAIANI, Carlos César Santejo. Restrições à expansão dos investimentos no saneamento básico brasileiro. *Revista Econômica do Nordeste*, v. 37, n. 4, p. 572-591, 2006.

LEMOS, M. S. O índio virou pó de café?: A resistência dos índios Coroados de Valença frente à expansão cafeeira no Vale do Paraíba (1788-1836). Dissertação (Mestrado em História Política) - Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, p.228. 2004.

MANSOR, M. T.C.; FILHO, J. T.; ROSTON, D. M. Avaliação preliminar das cargas difusas de origem rural, em uma sub-bacia do Rio Jaguari, SP. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 2006.

MENDONÇA, Thamyris Pereira; PETRECA, Weriton Luis; DE SOUZA, Antonio Donizetti Gonçalves. AUTODEPURAÇÃO DE CORPOS HÍDRICOS: ESTUDO DO LANÇAMENTO DE ESGOTO DOMÉSTICO NO RIO LAMBARI (POÇOS DE CALDAS/MG). *Geoambiente On-line*, n. 36, p. 85-103, 2020.

PALHARES, Júlio César Pascale et al. Medição da vazão em rios pelo método do flutuador. *Embrapa Suínos e Aves-Comunicado Técnico (INFOTECA-E)*, 2007.

RICCIARDONE, Pedro; DOS SANTOS PEREIRA, Orlando; PEREIRA, Cristiane de Souza Siqueira. Avaliação da Capacidade de Autodepuração do Rio das Mortes no Município de Vassouras/RJ. *Revista Eletrônica TECCEN, Vassouras*, 2011.

SANTOS, Cleiton Oliveira; ASSIS FERREIRA, Josenilson. Método do flutuador como ferramenta para monitoramento do comportamento hidrológico de córrego urbano. *Holos Environment*, v. 19, n. 4, p. 614-639, 2019.

SHIKLOMANOV, Igor. World Fresh Water Resources. In *Water in crisis: a guide to the world's fresh water resources*, Peter H.Gleick, ed.1993.

SILVA, Damiana Beatriz da. Dinâmica e balanço de massa das espécies de nitrogênio na bacia hidrográfica do Lago Paranoá. 2019. xiii, 94 f., il. Tese (Doutorado em Tecnologias Química e Biológica)—Universidade de Brasília, Brasília, 2019.

SILVA, B. C. Medição de Vazão. In: *Hidrometria*. [S.l.]: Universidade Federal de Itajubá.

SJOBERG, Dag IK; DYBA, Tore; JORGENSEN, Magne. The future of empirical methods in software engineering research. In: *Future of Software Engineering, 2007. FOSE'07*. IEEE, 2007. p. 358-37

TUCCI, C. E. M. *Hidrologia: ciência e aplicação*. 2.ed. Porto Alegre: ABRH/Editora da UFRGS, 1997. (Col. ABRH de Recursos Hídricos, v.4), 1997.

VON SPERLING, M. *Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos*. Editora UFMG, 2005.

WEATHER SPARK. Condições meteorológicas médias de Vassouras, 2019. Acesso em: 27 jul. 2019

