



Estudo de autodepuração do rio Paraíba do Sul após lançamento do efluente de uma ETE

Luciana Nascimento Rosário
lunrosario@gmail.com
AEDB

Juliana Gonçalves Fernandes
jugfernandes@gmail.com
AEDB

Resumo: O presente trabalho foi realizado com o objetivo de elaborar um estudo e análise dos impactos causados pelo lançamento do efluente tratado pela ETE Volta Grande IV, localizada na cidade de Volta Redonda, RJ. O objeto de estudo foi o rio Paraíba do Sul, no trecho onde estão localizados a montante e a jusante da ETE Volta Grande IV. O tratamento do efluente é feito via reator anaeróbio de fluxo ascendente UASB. A eficiência de remoção de DBO chega a 80% e o efluente é lançado no rio Paraíba do Sul. Para o desenvolvimento e análise de resultados foi utilizado o método de Streeter-Phelps. Os principais parâmetros de qualidade estudados foram o oxigênio dissolvido e a demanda bioquímica de oxigênio. Após o cálculo das equações de Streeter-Phelps foi feita uma análise do comportamento do rio Paraíba do Sul. Foi gerado um gráfico com o perfil de oxigênio dissolvido após a mistura entre o esgoto e o rio. Neste gráfico é possível observar que a concentração de OD logo após a mistura foi de 6,8 mg/L, sua concentração mínima, aproximadamente 3,0 mg/L, ocorreu no quilômetro 50 e a partir do quilômetro 60 a concentração de OD começou a aumentar.

Palavras Chave: Autodepuração - Streeter-Phelps - Saneamento - -



1. INTRODUÇÃO

A conscientização sobre a importância do saneamento ambiental aconteceu de maneira muito tardia no Brasil. A Lei do Saneamento, uma das mais importantes sobre esse assunto, data de 2007. Esta lei define o que é o saneamento básico e define as diretrizes sobre o assunto, servindo como modelo para as políticas adotadas. Dentre as formas existentes de poluição, o lançamento de matéria orgânica é o que gera mais malefícios ao ambiente aquático.

Ao lançar a matéria orgânica, há aumento da atividade bacteriana aeróbia, gerando uma diminuição na quantidade de oxigênio dissolvido no meio e dificultando assim, a respiração de seres vivos de maior porte. A autodepuração dos corpos hídricos é um processo natural em que, através de mecanismos biológicos, o rio volta às suas condições iniciais depois do lançamento de um agente poluidor com alta concentração de matéria orgânica em suas águas.

Pensando na preservação dos recursos hídricos, o enquadramento é uma ferramenta essencial para a manutenção e preservação dos rios. A partir da resolução CONAMA 357, de 17 de março de 2005, os corpos hídricos são classificados de acordo com o uso preponderante da água. A resolução CONAMA 430, de 13 de maio de 2011, é complementar à resolução CONAMA 357 e define os parâmetros de lançamento de efluentes. No Estado do Rio de Janeiro são utilizados os parâmetros descritos na DZ 215-215.R-4 e NT-202.R-10 do INEA, que são mais restritivas que as resoluções da CONAMA e por isso, os seus valores são utilizados para a análise.

O rio Paraíba do Sul, objeto de estudo está localizado na cidade de Volta Redonda, interior do estado do Rio de Janeiro. A cidade não possui autossuficiência no tratamento de esgoto sanitário e conta com sete ETEs operantes. Uma delas é a Estação de Tratamento de Esgoto Volta Grande IV. Esta ETE é responsável pelo tratamento do efluente gerado por uma população de 4.506 pessoas, utiliza o reator anaeróbio de fluxo ascendente UASB e a sua eficiência na remoção de DBO chega a 80%, de acordo com dados fornecidos pelo SAAE-VR.

Através dos cálculos realizados com as equações propostas por Streeter-Phelps, foi possível analisar os parâmetros demanda bioquímica de oxigênio e oxigênio dissolvido no ponto a jusante do lançamento de efluente tratado da ETE Volta Grande IV. Esses parâmetros de qualidade são importantes para metrificar a poluição e acompanhar o processo de autodepuração que é ocasionado por este lançamento e identificar o percurso crítico ao longo do rio que é necessário para que o processo de autodepuração seja completo.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. SANEAMENTO NO BRASIL

A Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007, estabelece as diretrizes nacionais de saneamento básico e define:

“Saneamento básico é o conjunto de serviços, infraestruturas e instalações operacionais de abastecimento de água potável, esgotamento sanitário, limpeza urbana e manejo dos resíduos sólidos e drenagem e manejo das águas pluviais, limpeza e fiscalização preventiva das respectivas redes urbanas. O esgotamento sanitário compreende o conjunto de atividades, infraestruturas e instalações operacionais de coleta, transporte, tratamento e disposição final adequados dos esgotos sanitários, desde as ligações prediais até o lançamento final no meio ambiente.”

No Brasil, de acordo com o Diagnóstico dos Serviços de água e esgoto de 2015, apenas 50,3% da população é atendida com o serviço de coleta de esgoto e 42,7% dos esgotos gerados é tratado (BRASIL,2016). O Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento –



SNIS é o maior sistema de informações sobre saneamento no Brasil, sendo administrado pelo Governo Federal e suas informações são fornecidas anualmente pelos municípios.

O Plano Nacional de Saneamento Básico - PLANSAB, previsto na Lei 11.445/2007 - artigo 52, é resultado de um estudo sobre o saneamento básico no Brasil. Desse estudo foi indicada a necessidade de investimento de R\$304 bilhões para que os serviços de água tratada, coleta e tratamento de água e esgoto sejam universalizados no período de 20 anos (BRASIL, 2013).

2.2. SANEAMENTO EM VOLTA REDONDA

Volta Redonda é uma cidade do estado do Rio de Janeiro localizada às margens do rio Paraíba do Sul, na Região do Médio Paraíba do Sul, nas coordenadas 22° 31'31" latitude Sul e 44°6'14" longitude Oeste. De acordo com o último censo publicado pelo IBGE (2010), Volta Redonda possui uma população de 257.803 habitantes.

O Sistema Autônomo de Água e Esgoto de Volta Redonda (SAAE-VR), criado em 1967, é o responsável pelos serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário no município. São sete estações de tratamento de esgoto responsáveis por tratar aproximadamente 40% de todo o efluente gerado pela população. O restante é lançado no rio Paraíba do Sul e seus afluentes sem qualquer tipo de tratamento.

Os métodos de tratamento utilizados nas ETEs são: processo aeróbio por batelada, processo anaeróbio reator UASB e processo conjunto de reator UASB, biofiltro e decantador secundário (PMVR, 2015).

2.2.1. ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO VOLTA GRANDE IV

A estação de tratamento de esgoto Volta Grande IV utiliza sistema de tratamento com reator anaeróbio de fluxo ascendente UASB, a eficiência de remoção de matéria orgânica do tratamento chega a 80,0% (março de 2017), o corpo receptor do efluente tratado é o rio Paraíba do Sul, sua capacidade nominal é de 7,68 l/s, a vazão de operação é 16,88 l/s e a DBO de entrada é 612,0 mg/L (PMVR, 2015). A população estimada atendida é de 4.506 pessoas (AGEVAP, 2013).

Os pontos de coleta de amostras do rio Paraíba do Sul são realizados a montante e a jusante, a montante o ponto de coleta é na ponte próxima a Ilha São João e o ponto de coleta a jusante é a avenida Lúcio Meira (ponte entre bairro Dom Bosco e São Luís). A distância entre o ponto a montante e a ETE Volta Grande IV é de 1.804 metros, enquanto a distância entre o ponto a jusante e a ETE Volta Grande IV é de 1.443 metros.

O reator anaeróbio de manta de lodo, mais conhecido como reator UASB é um sistema de tratamento de águas residuais anaeróbio e tem como principais subprodutos gerados, o biogás e o lodo anaeróbio. A vantagem do uso de reator UASB para tratamento de efluentes é a economia de espaço, visto que o reator é um tambor que pode ser utilizado a céu aberto ou enterrado, como no caso da ETE Volta Grande IV (CAMPOS, 2006).

Na figura 1 é possível observar o fluxograma de tratamento da ETE Volta Grande IV. O efluente bruto chega para tratamento e passa por um gradeamento grosso, logo após ele passa por um gradeamento fino e então o efluente entra no reator UASB. Após tratamento, o efluente é lançado no rio Paraíba do Sul, os gases gerados são lançados na atmosfera e o lodo formado é recolhido, porém não foi indicado como é feita a sua disposição final.

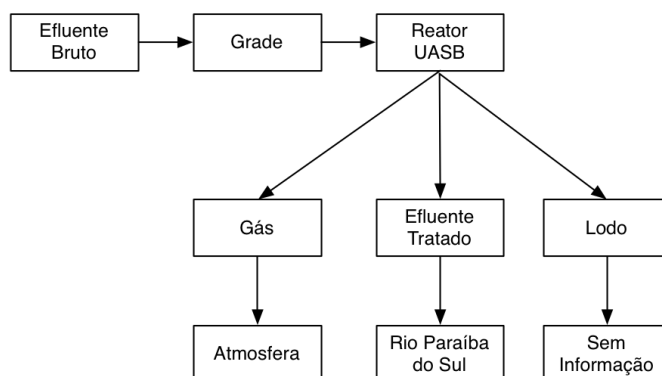


Figura 1: Fluxograma de tratamento da ETE Volta Grande IV.

Fonte: Realizado pela autora, 2017.

Os principais parâmetros de qualidade de efluente monitorados podem ser visualizados na tabela 1. Os valores indicados são médias calculadas utilizando 18 amostras colhidas pelo SAAE-VR, durante um período não especificado. Analisando os valores é possível observar que os dados do efluente de RNFT, DBO e NH₄ estão fora dos padrões de lançamento exigidos pela DZ-215.R4 de 2007 do INEA e da Resolução CONAMA 430 de 2011.

Tabela 1: Principais parâmetros da ETE Volta Grande IV nos pontos de coleta no rio Paraíba do Sul

Parâmetros	Padrão de lançamento de efluentes conforme INEA DZ-215.R4/07 e CONAMA 430/11	Pontos de coleta			
		Afluente da ETE	Efluente da ETE	Montante	Jusante
pH	5 a 9	-	7,36	7,50	7,40
DBO	40 mg/L máximo	499,13	104,87	16,00	13,00
DQO	-	692,27	144,20	24,00	20,00
OD	5 mg/L	-	-	3,40	3,50

pH: potencial Hidrogeniônico
 DBO: Demanda Bioquímica de Oxigênio
 DQO: Demanda Química de Oxigênio
 OD: Oxigênio Dissolvido

Fonte: SAAE-VR, 2017.

2.3. POLUIÇÃO POR MATÉRIA ORGÂNICA E AUTODEPURAÇÃO DOS CORPOS HÍDRICOS

A poluição dos corpos d'água causada pelo lançamento de esgotos é um dos principais problemas de poluição no Brasil e países em desenvolvimento devido ao consumo do oxigênio dissolvido. Segundo a Pesquisa Nacional de Saneamento Básico 2008 (IBGE, 2010), 2.495 municípios não dispõem de atendimento ao serviço de esgotamento sanitário, sendo este o serviço que apresenta a menor abrangência dentre os serviços de saneamento.

De acordo com Sperling (2005), a introdução de matéria orgânica em um corpo d'água resulta imediatamente no consumo de oxigênio dissolvido presente na água. Os processos de estabilização da matéria orgânica são realizados por bactérias decompositoras que utilizam o oxigênio dissolvido no meio líquido para a sua respiração.



A autodepuração é um processo que se desenvolve ao longo do curso d'água de maneira predominantemente longitudinal. Ao longo do tempo é possível identificar fisicamente quatro zonas: zona de degradação, zona de decomposição ativa, zona de recuperação e zona de águas limpas. A montante do lançamento dos efluentes situa-se a zona de águas limpas, em equilíbrio ecológico e elevada qualidade da água. As zonas podem ser melhor observadas na figura 2.

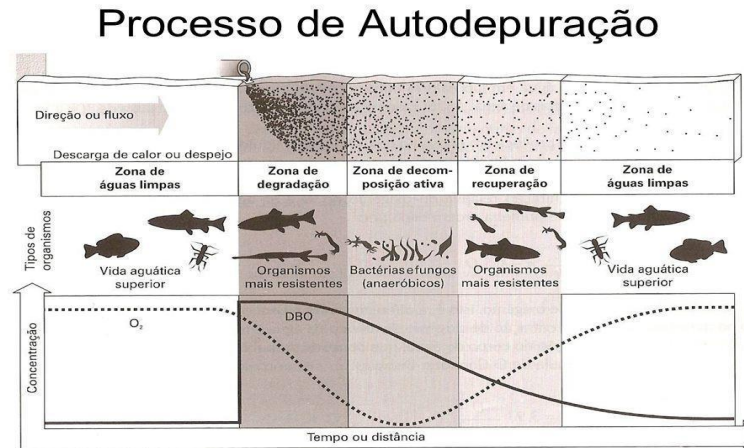


Figura 2: Zonas de autodepuração de um corpo hídrico.

Fonte: Sperling, 2005.

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).

2.4. LEGISLAÇÃO BÁSICA

Enquadramento de um corpo hídrico é o estabelecimento de metas e objetivos a serem alcançadas e/ou mantidas assegurando a qualidade da água de acordo com seu uso predominante de atendimento a comunidade ao longo de um período definido (BRASIL, 2005). A Resolução CONAMA 357 de 17 de março de 2005 classifica os corpos d'água e dispõe sobre diretrizes ambientais e padrões de lançamento de efluentes. Esta resolução foi alterada e complementada em 13 de maio de 2011 pela Resolução CONAMA 430.

O enquadramento, segundo o artigo 9º da Lei 9.433 de 8 de janeiro de 1997, Política Nacional de Recursos Hídricos, visa:

- I - Assegurar às águas qualidade compatível com os usos mais exigentes a que forem destinadas;
- II - Diminuir os custos de combate à poluição das águas, mediante ações preventivas permanentes;



2.4.1. LEGISLAÇÃO FEDERAL

2.4.1.1. RESOLUÇÃO CONAMA 357

O Artigo 42 da Resolução CONAMA 357, prevê que para os corpos hídricos que não tenham seu enquadramento aprovado, será utilizada a Classe 2 de diretrizes de qualidade para as águas doces, excetuando-se quando a qualidade for melhor, nesse caso sendo aplicada uma classe mais rigorosa (BRASIL, 2005).

2.4.1.2. RESOLUÇÃO CONAMA 430

A Resolução CONAMA 430 prevê que o lançamento dos efluentes nos corpos d'água deve obedecer aos padrões estabelecidos em cada classe, nas condições de vazão de referência ou volume disponível. Na seção III, inciso I, da Resolução são definidos os padrões de lançamento de efluentes oriundos de sistemas de tratamento de esgotos sanitários (BRASIL, 2011).

I - Condições de lançamento de efluentes:

- a) pH entre 5 e 9;
- b) temperatura: inferior a 40°C, sendo que a variação de temperatura do corpo receptor não deverá exceder a 3°C no limite da zona de mistura;
- c) materiais sedimentáveis: até 1 ml/L em teste de 1 hora em cone Imhoff. Para o lançamento em lagos e lagoas, cuja velocidade de circulação seja praticamente nula, os materiais sedimentáveis deverão estar virtualmente ausentes;
- d) Demanda Bioquímica de Oxigênio-DBO 5 dias, 20°C: máximo de 120 mg/L, sendo que este limite somente poderá ser ultrapassado no caso de efluente de sistema de tratamento com eficiência de remoção mínima de 60% de DBO, ou mediante estudo de autodepuração do corpo hídrico que comprove atendimento às metas do enquadramento do corpo receptor;
- e) Substâncias solúveis em hexano (óleos e graxas) até 100 mg/L; e
- f) Ausência de materiais flutuantes.

2.4.1.3. PORTARIA GM/086

O rio Paraíba do Sul faz parte da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul. Essa bacia compreende três estados (Rio de Janeiro, São Paulo e Minas Gerais), totalizando 184 municípios. O Comitê de Integração da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul - CEIVAP foi criado em 1996 e é atualmente um dos responsáveis pelo gerenciamento dessa bacia (FACIOLI, 2015).

A portaria GM/086, de 4 de junho de 1981 enquadra os rios da bacia hidrográfica do Rio Paraíba do Sul. O trecho que passa pela cidade de Volta Redonda está entre a barragem de Santa Branca e a cidade de Campos, sendo assim enquadrado na Classe 2 e, portanto, deve seguir as recomendações previstas para esta Classe.

2.4.2. LEGISLAÇÃO ESTADUAL

2.4.2.1. DIRETRIZ DZ-215.R-4

O estado do Rio de Janeiro criou através da Lei 5.101 de 4 de outubro de 2007 o Instituto Estadual do Ambiente - Inea. A sua diretriz DZ-215.R-4 - Diretriz de controle de carga orgânica biodegradável em efluentes líquidos de origem sanitária - possui como objetivo o estabelecimento de exigências de controle de poluição das águas visando a redução de carga orgânica biodegradável de origem sanitária.

2.4.2.2. NORMA TÉCNICA NT-202.R-10

A norma técnica NT-202.R-10 – Critérios e padrões para lançamento de efluentes líquidos – tem como objetivo estabelecer os critérios e padrões de lançamento de efluentes



líquidos, como parte integrante do Sistema de Licenciamento de Atividades Poluidoras – SLAP. Esta norma técnica é aplicável aos lançamentos de efluentes líquidos que ocorrem no Estado do Rio de Janeiro.

2.5. USO DE MODELOS PARA AVALIAR A QUALIDADE DA ÁGUA

De acordo com Sperling (2014), um modelo é uma representação da realidade, uma exemplificação simples e geral das características de uma situação real. Os modelos ambientais têm como objetivo representar a realidade observada, porém dificilmente conseguirão abranger todos os seus aspectos devido à tamanha complexidade.

O modelo hidrológico de Streeter-Phelps (1925) foi o primeiro estudo deste tipo a ser lançado sob o título de “O estudo da poluição e purificação natural do rio Ohio” e pode ser considerado como um marco nos estudos da modelagem matemática da qualidade da água.

O modelo representa o balanço entre OD e DBO em equações diferenciais ordinárias de primeira ordem. A partir do lançamento do modelo proposto por Streeter-Phelps outros modelos matemáticos de qualidade da água foram aperfeiçoados e desenvolvidos (CALMON, 2014). Este modelo foi utilizado no desenvolvimento deste trabalho.

3. METODOLOGIA

Foi realizada uma revisão bibliográfica sobre a autodepuração dos corpos hídricos, e a partir dessa pesquisa foi definido o método a ser utilizado neste trabalho. Os dados foram coletados através de informações disponibilizadas pelo SAAE-VR, ANA, PMVR, AGEVAP, etc. e então os cálculos foram realizados pelo modelo desenvolvido por Streeter-Phelps para cálculo de modelagem dos corpos hídricos. Os resultados foram discutidos com base nas normas e legislações vigentes.

3.1. DADOS REFERENTES ÀS CARACTERÍSTICAS DOS ESGOTOS

Os dados obtidos do esgoto, necessários para a modelagem hidrológica foram a vazão média (Q_e), a demanda bioquímica de oxigênio (DBO_e) e o oxigênio dissolvido no esgoto (ODE). Esses dados permitiram a caracterização do efluente e foram adquiridos através do relatório de operação da ETE Volta Grande IV de março de 2017, emitido pelo SAAE-VR, tabela 1.

3.2. DADOS REFERENTES ÀS CARACTERÍSTICAS DO CURSO D'ÁGUA

Para utilizar as equações desenvolvidas por Streeter-Phelps foi necessário utilizar informações sobre o rio Paraíba do Sul. A classe de enquadramento foi obtida através de pesquisa nas legislações federais e estaduais. A vazão do rio (Q_r) foi obtida no Relatório Esgotamento Sanitário Municipal (AGEVAP, 2013).

A altitude (h) foi obtida no Plano Municipal de Saneamento Básico de Volta Redonda (PMVR, 2015). A profundidade média (H), foi obtida através do cálculo de batimetria para a seção mais próxima ao ponto de lançamento do efluente tratado. A batimetria permite visualizar a seção transversal do rio e a partir da diferença entre o nível d'água e o leito determinar a profundidade. Os dados de topografia utilizados foram extraídos do Relatório de Levantamento Topobatimétricos (ENGEORPS, 2011).

A velocidade média (v), foi obtida em um estudo “Emprego de traçadores fluorescentes para avaliar a dispersão transversal em um trecho do rio Paraíba do Sul” (ROLDÃO, 2003). A distância do lançamento à próxima confluência (d) foi medida através do Google Earth. Os dados temperatura média (T) e oxigênio dissolvido mínimo permissível (OD_{min}) foram obtidos considerando a localização mais próxima possível do ponto de lançamento do efluente tratado



pela ETE Volta Grande IV, através de relatório de monitoramento do SAAE-VR de ponto a jusante do lançamento.

3.3 DADOS REFERENTES À MISTURA ESGOTO-RIO

Os dados de concentração de saturação de oxigênio foram obtidos através da análise da tabela 2. O parâmetro foi escolhido através da temperatura e altitude no ponto de lançamento do efluente tratado.

Tabela 2: Concentração de saturação de oxigênio em água limpa

Concentração de saturação de oxigênio em água limpa (mg/L)				
Temperatura (°C)	Altitude (m)			
	0	500	1000	1500
10	11,3	10,7	10,1	9,5
11	11,1	10,5	9,9	9,3
12	10,8	10,2	9,7	9,1
13	10,6	10,0	9,5	8,9
14	10,4	9,8	9,3	8,7
15	10,2	9,7	9,1	8,6
16	10,0	9,5	8,9	8,4
17	9,7	9,2	8,7	8,2
18	9,5	9,0	8,5	8,0
19	9,4	8,9	8,4	7,9
20	9,2	8,7	8,2	7,7
21	9,0	8,5	8,0	7,6
22	8,8	8,3	7,9	7,4
23	8,7	8,2	7,8	7,3
24	8,5	8,1	7,6	7,2
25	8,4	8,0	7,5	7,1
26	8,2	7,8	7,3	6,9
27	8,1	7,7	7,2	6,8
28	7,9	7,5	7,1	6,6
29	7,8	7,4	7,0	6,6
30	7,6	7,2	6,8	6,4

Fonte: Sperling, 2005.

O coeficiente de desoxigenação K_1 foi escolhido através da tabela 3 de acordo com a origem do efluente lançado no corpo d'água. Após a escolha do coeficiente K_1 , foi feita a conversão da temperatura corrigida através da equação 1.

$$K_{1T} = K_1 \times 1,047^{T-20} \quad \text{Equação 1}$$

Sendo: K_{1T} : K_1 a uma temperatura qualquer (dia^{-1}); K_1 : coeficiente de desoxigenação a uma temperatura de 20 °C (dia^{-1}); T: temperatura do líquido (°C).


Tabela 3: Valores típicos de K_1

Valores típicos da K_1 (base e, 20°C)	
Origem	K_1 (dia ⁻¹)
Esgoto bruto concentrado	0,35-0,45
Esgoto bruto de baixa concentração	0,30-0,40
Efluente primário	0,30-0,41
Efluente secundário	0,12-0,24
Curso de água com águas limpas	0,08-0,20

Fonte: Adaptado de Fair et al, 1973; Arceivala, 1981.

O coeficiente de reaeração foi obtido através da análise da tabela 4 de acordo com a velocidade e profundidade do rio Paraíba do Sul próximo ao ponto de lançamento do efluente tratado pela ETE Volta Grande IV. Depois de escolhido, o coeficiente K_2 foi corrigido para a temperatura ambiente através da equação 2.

$$K_{2T} = K_2 \times 1,024^{T-20} \quad \text{Equação 2}$$

Sendo: K_2 : coeficiente de reaeração a temperatura de 20 °C (dia⁻¹); K_{2T} : coeficiente de reaeração para uma temperatura qualquer (dia⁻¹); T: temperatura do líquido (°C).

Tabela 4: Coeficientes de reaeração K_2 .

v (m/s)	Coeficientes de reaeração K_2 (dia ⁻¹) (base e, 20°C)									
	H (m)									
	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0
0,2	35,4	9,8	3,6	2,3	1,7	1,3	1,0	0,8	0,7	0,6
0,3	46,5	12,9	4,4	2,9	2,0	1,6	1,2	1,0	0,8	0,7
0,4	56,3	15,6	5,1	3,3	2,4	1,8	1,4	1,2	1,0	0,8
0,5	65,4	18,1	5,7	3,7	2,6	2,0	1,6	1,3	1,1	0,9
0,6	73,9	20,5	6,2	4,0	2,9	2,2	1,7	1,4	1,2	1,0
0,7	82,0	22,7	6,7	4,4	3,1	2,4	1,9	1,5	1,3	1,1
0,8	89,6	24,9	9,5	5,8	4,0	3,0	2,3	1,8	1,5	1,3
0,9	97,0	26,9	10,6	6,6	4,5	3,3	2,6	2,1	1,7	1,4
1,0	104,1	28,9	11,7	7,3	5,0	3,7	2,9	2,3	1,9	1,6

Fonte: Adaptado de Fair et al, 1973; Arceivala, 1981.

O tempo de percurso, t, foi calculado a partir da equação 3 e usando os valores de velocidade e distância percorrida por uma partícula em metros, o resultado foi dado em dias.

$$t = d / v \times 86.400 \quad \text{Equação 3}$$

Sendo: t: tempo de percurso (dia); d: distância percorrida (m); v: velocidade do curso d'água (m/s).

A concentração de oxigênio da mistura foi calculada de acordo com a equação 4 e o resultado foi dado em mg/L.

$$C_0 = Q_r \times OD_r + Q_e \times OD_e / Q_r + Q_e \quad \text{Equação 4}$$

Sendo: C_0 : concentração inicial de oxigênio, logo após a mistura (mg/L); Q_r : vazão do rio a montante do lançamento (m³/s); OD_r : concentração de oxigênio dissolvido do rio a montante do ponto de lançamento do efluente (mg/L); Q_e : vazão de efluente (m³/s); OD_e : concentração de oxigênio dissolvido do efluente (mg/L).



O déficit de oxigênio, D_0 , após a mistura entre o rio e o esgoto lançado foi calculado pela equação 5.

$$D_0 = C_s - C_0 \quad \text{Equação 5}$$

Sendo: D_0 : déficit de oxigênio após a mistura (mg/L); C_s : concentração de saturação do oxigênio no rio (mg/L); C_0 : concentração inicial de oxigênio, logo após a mistura (mg/L).

A concentração de DBO_5 é o valor de DBO logo após a mistura entre o rio e o esgoto lançado e foi calculada pela equação 6. Através dela foi possível obter também o valor do coeficiente da demanda última de oxigênio, L_0 , através da equação 7 e a constante K_t , utilizada para a transformação da DBO_5 a L_0 como pode ser observado na equação 8.

$$DBO_5 = Q_r \times DBO_r + Q_e \times DBO_e / Q_r + Q_e \quad \text{Equação 6}$$

Sendo: DBO_5 : concentração de DBO_5 logo após a mistura (mg/L); Q_r : vazão do rio a montante do lançamento (m^3/s); DBO_r : concentração de DBO_5 do rio (mg/L); Q_e : vazão de efluente (m^3/s); DBO_e : concentração de DBO_5 do efluente (mg/L).

$$L_0 = DBO_5 \times K_t \quad \text{Equação 7}$$

Sendo: L_0 : demanda última de oxigênio, após a mistura (mg/L); DBO_5 : concentração de DBO_5 logo após a mistura (mg/L); K_t : constante para transformação da DBO_5 a L_0 .

$$K_t = L_0 / DBO \quad \text{Equação 8}$$

Sendo: K_t : constante para transformação da DBO_5 a L_0 ; L_0 : demanda última de oxigênio, após a mistura (mg/L); DBO : concentração de DBO_5 logo após a mistura (mg/L).

O tempo crítico é um valor em dias, referente ao tempo em que o rio sofre mais impacto com o lançamento do esgoto e foi calculado através da equação 9.

$$t_c = 1 / K_2 - K_1 \times \ln \{ K_2 / K_1 [1 - (C_s - C_0) \times (K_2 - K_1) / L_0 \times K_1] \} \quad \text{Equação 9}$$

Sendo: K_1 : coeficiente de desoxigenação (dia^{-1}); K_2 : coeficiente de reaeração (dia^{-1}); C_s : concentração de saturação do oxigênio no rio (mg/L); C_0 : concentração inicial de oxigênio, logo após a mistura (mg/L); L_0 : demanda última de oxigênio, após a mistura (mg/L).

O déficit crítico de oxigênio é a concentração mínima de oxigênio que o rio vai apresentar depois de receber o esgoto e foi calculado através da equação 10.

$$D_c = (K_1 / K_2) \times L_0 \times e^{-K_1 t_c} \quad \text{Equação 10}$$

Sendo: D_c : déficit crítico de oxigênio (mg/L); K_1 : coeficiente de desoxigenação (dia^{-1}); K_2 : coeficiente de reaeração (dia^{-1}); L_0 : demanda última de oxigênio, após a mistura (mg/L); t_c : tempo crítico (dia).

A concentração crítica de oxigênio dissolvido dada em mg/L foi calculada através da equação 11 e indica o valor mínimo crítico de oxigênio no rio, após o lançamento do esgoto.

$$C_c = C_s - D_c \quad \text{Equação 11}$$

Sendo: C_c : concentração crítica (mg/L); C_s : concentração de saturação do oxigênio no rio (mg/L); D_c : déficit crítico de oxigênio (mg/L).

A distância crítica, dada em metros, é o percurso crítico do rio após o lançamento do esgoto, ou seja, é a distância que o rio mais sofre impacto da poluição, e seu valor foi calculado pela equação 12.

$$\text{Distância crítica} = t_c \times v \times 86.400 \quad \text{Equação 12}$$

Sendo: t_c : tempo crítico (dia); v : velocidade do curso d'água (m/s).



4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para o cálculo do perfil de oxigênio dissolvido de um corpo d'água após o lançamento do efluente, os dados de entrada são correspondentes às características do esgoto, às características do curso d'água e aos dados estimados.

4.1. CARACTERIZAÇÃO DOS ESGOTOS

A vazão média de esgotos (Q_e) é a vazão média de esgoto considerada para o dia e a hora de menos consumo. Este dado foi solicitado ao SAAE-VR que retornou o valor de 0,00519 m³/s, ou seja, é a quantidade de esgoto bruto que chega para ser tratado pela ETE Volta Grande IV.

A demanda bioquímica de oxigênio (DBO_e) do afluente bruto que chega à ETE Volta Grande IV para tratamento é 499,13 mg/L de acordo com dados fornecidos pelo SAAE-VR. Após o tratamento, o efluente tratado passa a ter uma DBO_e de 104,87 mg/L, apresentando assim uma eficiência de remoção de 79%. De acordo com Sperling (2005), os esgotos domésticos possuem DBO de ordem de 300 mg/L.

Devido à alta concentração de matéria orgânica no esgoto não tratado e consequentemente à alta atividade de microrganismos aeróbios, o valor de oxigênio dissolvido de esgoto (OD_e) costuma ser nulo ou um valor próximo de zero, sendo assim o valor utilizado nos cálculos deste trabalho foi 0,0 mg/L.

4.2 CARACTERIZAÇÃO DO CURSO D'ÁGUA

A classe do rio Paraíba do Sul, Classe 2 segundo a resolução CONAMA 357 foi descrita no capítulo Enquadramento dos corpos d'água. A partir da determinação da classe foi possível analisar os resultados de acordo com os parâmetros definidos pela resolução.

A vazão do rio é uma característica que indica principalmente o quanto o rio é capaz de diluir a matéria lançada. A disponibilidade hídrica no ponto de lançamento é 92,0 m³/s de acordo com o Relatório Esgotamento Sanitário Municipal (AGEVAP, 2013).

A DBO do rio Paraíba do Sul é um dado referente ao ponto de coleta a montante da ETE Volta Grande, de forma a documentar os dados do rio antes do lançamento do efluente tratado pela estação, o valor de DBO a montante utilizado foi de 16,00 mg/L. Este valor foi retirado do relatório apresentado pelo SAAE-VR em março de 2017.

A altitude média da cidade de Volta Redonda é 350 m nas margens do rio Paraíba do Sul de acordo com as informações do Plano Municipal de Saneamento (PMVR, 2015).

A temperatura média do rio Paraíba do Sul é 27,50 °C nos pontos a montante e a jusante da ETE Volta Grande IV, na medição realizada pelo SAAE-VR em março de 2017 (SAAE-VR, 2017).

A profundidade média no local de lançamento do efluente é de 2,8 m de acordo com a seção topobatimétrica do rio Paraíba do Sul, representada na figura 3. (ENGECORPS, 2011).

A seção topobatimétrica de um rio é uma representação do leito submerso do reservatório, evidenciando as características daquela seção, como a rugosidade do leito, nível d'água e a geométrica do local (CEMIG, 2006; ANA, 2011). A partir de dados da elevação e da distância em metros, é possível observar a curva correspondente ao leito do rio Paraíba do Sul, representada na linha de cor vermelha. Enquanto a linha de cor azul representa o nível d'água medido. Os pontos mais baixos ocorrem na distância próxima aos 25,0 m e 100,0 m.



Volta Redonda - Rio Paraíba do Sul

Régua = 2,795 m - Novembro de 2011

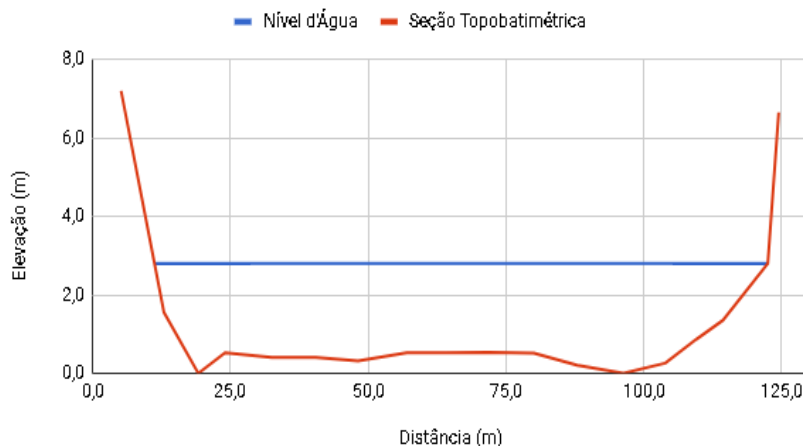


Figura 3: Seção topobatimétrica do rio Paraíba do Sul.

Fonte: Realizado pela autora, 2017.

A velocidade média utilizada para o cálculo deste trabalho foi de 0,6 m/s, calculada através de um ensaio para avaliação da capacidade de dispersão transversal do rio através de traçadores fluorescentes (ROLDÃO, 2003). A distância do lançamento do efluente tratado até a próxima confluência ocorre a 21.117,27 metros de distância da ETE Volta Grande IV. O oxigênio dissolvido mínimo permissível é 5,00 mg/L de acordo com a resolução do CONAMA 430/2011 para rios Classe 2.

4.3 CARACTERIZAÇÃO NA ZONA DE MISTURA

A concentração de saturação de oxigênio (C_s) foi obtida através da tabela 2, com os valores de temperatura 27,5°C e altitude 350 m. Assim o valor de C_s é 7,5 mg/L e o valor de oxigênio dissolvido no rio Paraíba do Sul, 6,8 mg/L. O valor de oxigênio dissolvido está acima do que é exigido pela resolução CONAMA 357, que é maior ou igual a 5 mg/L.

O coeficiente de desoxigenação (K_1) foi escolhido considerando a origem do efluente como esgoto bruto concentrado e assim, o valor utilizado para os cálculos foi $K_1 = 0,45$. Este valor foi convertido para temperatura ambiente utilizando a equação 4 e o resultado final de K_{1T} foi 0,64.

O coeficiente de reaeração (K_2) foi escolhido a partir da tabela 4, correlacionando os valores de velocidade e profundidade do rio Paraíba do Sul, sendo assim o valor encontrado foi 1,0 e depois de corrigido para a temperatura ambiente pela equação 4, o resultado encontrado foi $K_{2T} = 1,19$.

De acordo com o cálculo da equação 2, o valor encontrado para a concentração de oxigênio na mistura foi de 6,75 mg/L. O resultado do déficit de oxigênio calculado foi 0,75 mg/L e a constante Kt calculada foi 1,04. A DBO_5 calculada foi 16,0 mg/L e o coeficiente de demanda última, L_0 , calculado foi 16,7 mg/L.

O tempo crítico calculado foi 1,06 dias, ou seja, é o tempo de percurso até o ponto crítico. O déficit crítico de oxigênio calculado foi 4,54 mg/L e a concentração crítica 2,96 mg/L. A distância crítica calculada foi 54.795,36 metros, que é a distância do processo de autodepuração do rio Paraíba do Sul.

A partir dos dados obtidos foi possível desenvolver um perfil do oxigênio dissolvido, representado na figura 4, em função da concentração de oxigênio dissolvido e da distância. A



partir do lançamento do efluente tratado na distância zero, é possível observar que a partir do quilômetro 1 a concentração de oxigênio dissolvido no rio Paraíba do Sul decresce e chega ao seu menor valor no quilômetro 50, 2,96 mg/L, e a partir do quilômetro 60 a concentração começa a aumentar novamente. A concentração de OD após a mistura de esgoto ficou abaixo do que é prescrito na resolução CONAMA 357, que exige que a concentração de oxigênio dissolvido seja maior ou igual a 5 mg/L.

Perfil de OD (mg/L)

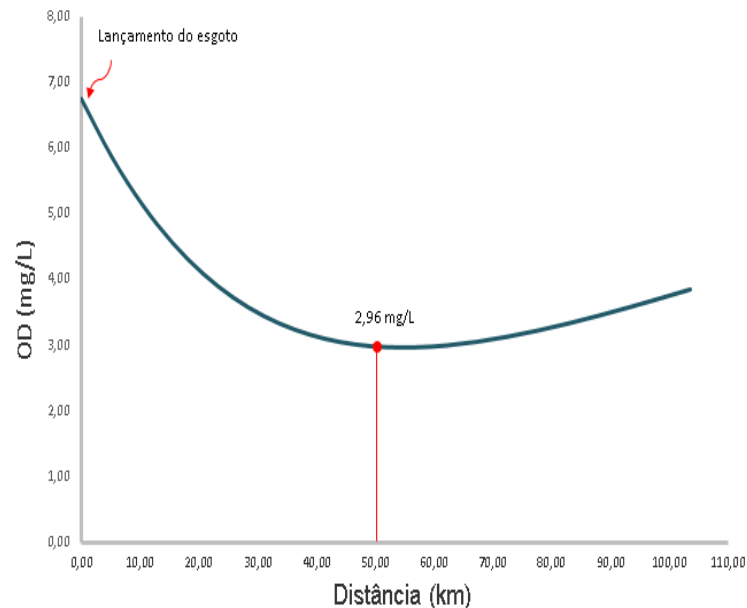


Figura 4: Perfil de oxigênio dissolvido.

Fonte: Realizado pela autora, 2017.

Os valores de OD e DBO são inversamente proporcionais, quanto maior o valor de OD, maior a disponibilidade de oxigênio dissolvido na água para o ecossistema aquático do local e quanto menor for o valor de demanda bioquímica de oxigênio, menor é a concentração de matéria orgânica biodegradável, medida de forma indireta pela respiração de microrganismos aeróbios.

De acordo com os resultados obtidos, foi possível comparar alguns dos parâmetros de qualidade exigidos pelas legislações vigentes. A tabela 5 mostra de forma resumida os resultados calculados de DBO_e , OD e DBO_r . O valor da DBO para o efluente que foi lançado no rio Paraíba do Sul deve obedecer ao descrito na diretriz estadual DZ-215.R-4 por ser mais restritiva que a exigência da resolução CONAMA 430, sendo assim o valor informado pelo SAAE-VR está acima do permitido. O valor de DBO_e foi medido e fornecido pelo SAAE-VR.

O valor de oxigênio dissolvido não é regulamentado pela diretriz DZ-215.R-4, somente pelo CONAMA 357 que exige que o valor seja maior ou igual a 5 mg/L. O valor crítico de oxigênio dissolvido durante o processo de autodepuração calculado foi de 2,96 mg/L. Sendo assim, o valor está em desconformidade com a legislação por não atingir o valor mínimo.

A DBO_r é o valor característico de demanda bioquímica de oxigênio que deve ser medido no rio após o lançamento do efluente tratado, a resolução CONAMA 357 define que este valor deve ser menor que 5 mg/L, de acordo com cálculos realizados o valor para a DBO_r foi de 16,7 mg/L, estando em desacordo com a legislação.



De acordo com a medição realizada pelo próprio SAAE-VR, no ponto a jusante da ETE Volta Grande IV, o valor de DBO e OD no rio Paraíba do Sul eram em março de 2017, 13,00 mg/L e 3,5 mg/L, respectivamente. Em relação aos valores calculados, o valor de DBO_r e de OD estão próximos das medições realizadas pelo SAAE-VR.

Tabela 5: Comparação entre os resultados e legislações

Parâmetro	Resultados obtidos		Padrão preconizado por cada legislação	
	Calculado	Medido (SAAE-VR)	DZ-215.R-4	CONAMA 357 e 430
DBO _e (mg/L)	-	104,87	40	120
OD (mg/L)	2,96	3,50	-	≥ 5
DBO _r (mg/L)	16,70	13,00	-	5

Fonte: Realizado pela autora, 2017.

A partir da análise entre os valores medidos e calculados e os valores padrões das legislações vigentes é possível afirmar que no trecho analisado, o rio Paraíba do Sul não possui capacidade de suporte para receber o lançamento do efluente tratado pela ETE Volta Grande IV. O ideal é que a ETE Volta Grande IV invista em novas tecnologias para aumentar a eficiência do tratamento de remoção da carga orgânica.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho teve como principais objetivos confirmar o enquadramento do rio Paraíba do Sul no trecho que recebe o lançamento da ETE Volta Grande IV e calcular a autodepuração do rio devido a este lançamento. No trecho que passa pela ETE Volta Grande IV, de acordo com a portaria GM/086, o rio Paraíba do Sul é classificado como Classe 2. O enquadramento dos rios é fundamental para a correta interpretação dos dados calculados.

De acordo com as informações transmitidas pelo SAAE-VR, o efluente tratado pela ETE Volta Grande IV possui DBO de 104,87 mg/L depois de passar pelo tratamento aeróbio do reator UASB. A diretriz DZ-215.R-4 exige que o valor máximo de DBO do efluente lançado seja 40 mg/L. Sendo assim, conclui-se que esse dado se encontra fora dos padrões exigidos.

A resolução do CONAMA 357 exige que o rio enquadrado na Classe 2, como o rio Paraíba do Sul, tenha o padrão de qualidade DBO5 menor que 5 mg/L. Os resultados obtidos pelas equações de Streeter-Phelps concluem que após o lançamento do efluente tratado pela ETE Volta Grande IV, o rio apresenta o valor de DBO5 igual a 16,0 mg/L. O valor de DBO5 é quase três vezes maior do que é permitido pela resolução, evidenciando um alto grau de poluição por matéria orgânica que não foi autodepurada após o lançamento no corpo hídrico.

A concentração de oxigênio dissolvido deve ser maior ou igual a 5 mg/L de acordo com a resolução do CONAMA 357, o valor calculado utilizando as equações de Streeter-Phelps foi igual a 2,96 mg/L no ponto mais crítico. O valor calculado está fora dos limites estabelecidos, configurando baixa disponibilidade de oxigênio para os organismos aquáticos presentes no rio Paraíba do Sul, a jusante do lançamento de efluente tratado da ETE Volta grande IV.

O tempo crítico calculado foi igual a 1,06 dias e a distância crítica foi igual a 54,7 km. Esses dois dados são correspondentes à autodepuração do rio Paraíba do Sul após receber o efluente tratado da ETE Volta Grande IV, sendo o tempo crítico o tempo onde os níveis de poluição são mais acentuados. Durante o percurso de aproximadamente 55 km, o rio Paraíba do Sul passa pelo processo de autodepuração, e após esse trecho, ele está nas suas condições normais, que é a mesma qualidade do ponto a montante do ponto de lançamento do efluente da ETE Volta Grande IV.



Conclui-se que os valores de DBO5 e OD estão fora dos parâmetros exigidos pela resolução do CONAMA 357 e pela diretriz DZ-215.R-4, a partir da análise do impacto que ocorre, considerando apenas o lançamento de efluente da ETE Volta Grande IV. Contudo, este é um trabalho teórico e realizado de maneira didática, não representando assim, a verdadeira situação atual do rio, que recebe lançamento de efluentes industriais, esgoto bruto e efluentes tratados em outros pontos ao longo do seu percurso.

6. REFERÊNCIAS

AGEVAP. ASSOCIAÇÃO PRÓ GESTÃO DAS ÁGUAS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PARAÍBA DO SUL. Relatório Esgotamento Sanitário Municipal. Atlas de esgotos: Despoluição de bacias hidrográficas. ANA/MCid. 2013.

ANA - AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS. Orientações para atualização das curvas cota x área x volume / Agência Nacional de Águas (ANA); Superintendência de Gestão da Rede Hidrometeorológica. - Brasília: ANA, SGH, 2011. 22p.: il.

BRASIL. Lei 11.445, de 5 de janeiro de 2007. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico. Presidência da República. Casa Civil. Subchefia para Assuntos Jurídicos. Disponível em <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/11445.htm>. Acesso em: 16 de junho de 2017.

BRASIL. MINISTÉRIO DAS CIDADES. SECRETARIA NACIONAL DE SANEAMENTO AMBIENTAL – SNSA. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos – 2015. Brasília: SNSA/MCIDADES, 2016. 212 p. il.

BRASIL. MINISTÉRIO DAS CIDADES. SECRETARIA NACIONAL DE SANEAMENTO AMBIENTAL – SNSA. Plano Nacional de Saneamento Básico: Plansab, Brasília, maio 2013. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental.

BRASIL. Resolução CONAMA nº357, de 17 de março de 2005. Classificação de águas, doces, salobras e salinas do Território Nacional. Publicado no D.O.U. no 053, de 18/03/2005, p. 58-63.

BRASIL. Resolução CONAMA nº430, de 13 de maio de 2011. Condições e padrões de lançamento de efluentes. Publicação D.O.U. nº 92, de 16/05/2011, p. 89.

CALMON, A. P. S., SOUZA, J. C., REIS, J. A. T., MENDONÇA, A. S. F. Subsídios para o Enquadramento dos Cursos de Água da Bacia Hidrográfica do Rio Itapemirim Considerando Aportes de Esgotos Sanitários. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 19, n. 1, p. 255-270, 2014.

CAMPOS, C. M. M. CARMO, F. R., BOTELHO, C. G., COSTA, C. C. Desenvolvimento e operação de reator anaeróbio de manta de lodo (UASB) no tratamento dos efluentes da Suinocultura em escala laboratorial. Ciênc. agrotec., Lavras, v. 30, n. 1, p. 140-147, jan./fev., 2006.

CEMIG. COMPANHIA ENERGÉTICA DE MINAS GERAIS. Levantamento de seções topobatimétricas a jusante dos reservatórios. Disponível em <ftp://ftp.cemig.com.br/segman/Levantamento%20topobatim%20E9trico%20SG_PT/Se%20E7%F5es%20topobatim%20E9tricasPeti.pdf>. Acesso em: 8 de agosto de 2017.

DZ-215.R-4 – Diretriz de controle de carga orgânica biodegradável em efluentes líquidos de origem sanitária. Aprovada pela Deliberação CECA nº 4886, de 25 de setembro de 2007.

ENGEORPS. RSC-ST06 - Relatório de Serviços de Campo dos Levantamentos Topobatimétricos - Rio Paraíba do Sul (Trecho 02) - Tomo II - Desenhos. Engecorps - Brasília: ANA, SUM/SPR, 2011. 36p.

FACIOLI, M. C., BEZERRA, G. Bacia do rio Paraíba do Sul: Conflitos no processo pré- enquadramento de rios federais em classes de uso. XV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Brasília (DF), novembro 2015.

FAIR, G. M.; GEYER, J. C.; OKUN, D. A. Purificación de aguas y tratamiento y remoción de aguas residuales (Water and wastewater engineering). México: Editorial Limusa, 1973. v. 2. 764 p.

IBGE. Censo Demográfico, 2000. Disponível em <www.ibge.gov.br>. Acesso em: 20 de junho de 2017.

PMVR - PREFEITURA MUNICIPAL DE VOLTA REDONDA. Plano Municipal de Saneamento Básico, Secretaria Municipal de Planejamento de Volta Redonda, setembro de 2015. Disponível em <http://www.portalvr.com/projetos/saneamento/mod/consulta_publica_2015/pdf/DOC2_PMSB.pdf> Acesso em: 16 de junho de 2017.



SIMPÓSIO DE EXCELÊNCIA EM GESTÃO E TECNOLOGIA

XVSEGET

Indústria 4.0
e o uso de tecnologias digitais

30, 31/10
e 01/11



ROLDÃO, J. S. F. Emprego de traçadores fluorescentes para avaliar a dispersão transversal em um trecho do rio paraíba do sul. XV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Curitiba (PR), novembro 2003.

SAAE-VR - SISTEMA AUTONOMO DE ÁGUA E ESGOTO VOLTA REDONDA. Ofício nº 627/2017 – GTR. Maio, 2017.

STREETER, H. W., PHELPS, E. B. A study of the natural purification of the Ohio River. Public Health Bulletin 146, U.S. Washington: Public Health Service, 1925. Disponível em <<http://udspace.udel.edu/handle/19716/1590#files-area>>. Acesso em: 16 de julho de 2017.

VON SPERLING, M. Estudos e modelagem da qualidade da água e rios. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; UFMG, 2014.

VON SPERLING, M. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; UFMG, 2005.