

## A CAPACIDADE DE AUTODEPURAÇÃO DO RIBEIRÃO DO ABREU A PARTIR DO MODELO MATEMÁTICO DE *STREETER-PHELPS* NO MUNICÍPIO DE TAGUATINGA – TO: UM ESTUDO DE CASO

Gabriel Antonio Ribeiro Souza (UFT) E-mail: [gabrielrss.souza@gmail.com](mailto:gabrielrss.souza@gmail.com)  
Trajano Machado Gontijo Neto (UFT) E-mail: [trajanogontijo@gmail.com](mailto:trajanogontijo@gmail.com)  
Matheus Felipe Foggia Albernaz (UFT) E-mail: [matheusalbernaz@hotmail.com](mailto:matheusalbernaz@hotmail.com)  
Marcelo Mendes Pedroza (UFT) E-mail: [mendes@ifto.edu.br](mailto:mendes@ifto.edu.br)  
Giulliano Guimarães e Silva (UFT) E-mail: [giullianogsilva@gmail.com](mailto:giullianogsilva@gmail.com)

### Resumo:

No presente trabalho foi utilizado o modelo matemático de *Streeter-Phelps* para a quantificação da capacidade de autodepuração do Ribeirão do Abreu, localizado no Município de Taguatinga – TO, a partir de cenários de tratamento de efluentes domésticos comumente utilizados no Brasil. Levando em consideração as características utilizadas pelo modelo, foram analisados os parâmetros físico-químicos e microbiológicos do Ribeirão do Abreu. Além disso, foram aferidos dados referentes a características físicas do manancial, como profundidade, largura e velocidade. A partir dos resultados obtidos foi possível chegar as seguintes conclusões: a) A utilização do modelo de *Streeter-Phelps* se mostrou consistente para auxiliar na concessão ou não de outorgas para lançamento de efluentes b) A partir da análise gráfica, é possível observar a existência de uma relação linear entre a vazão do manancial necessária para neutralizar a carga orgânica, com as concentrações de matéria orgânicas lançadas no corpo aquático c) Não é possível afirmar que o Ribeirão do Abreu retomará as suas características a montante do ponto de lançamento, em decorrência da presença de hormônios e fármacos. Substâncias que não são removidas por sistemas de tratamento convencionais d) Mesmo para o período de estiagem, a vazão do Ribeirão é capaz de autodepurar a matéria orgânica para qualquer cenário simulado, sem que haja comprometimento permanente dos níveis de Oxigênio Dissolvido abaixo do mínimo permitido pela Resolução CONAMA nº 357/05, para águas doces de Classe 2.

**Palavras-chave:** Modelo matemático, autodepuração, *Streeter-Phelp*, parâmetros, características.

## THE SELF-PURIFICATION CAPACITY OF RIBEIRÃO DO ABREU FROM THE MATHEMATICAL MODEL OF *STREETER-PHELPS* IN THE CITY OF TAGUATINGA – TO: A CASE STUDY

**Abstract:** In the present work, the Streeter-Phelps mathematical model was used to quantify the self-purification capacity of ribeirão do Abreu, located in the municipality of Taguatinga - TO, from scenarios of treatment of domestic effluents commonly used in Brazil. Taking into account the characteristics used by the model, the physicochemical and microbiological parameters of Ribeirão do Abreu were analyzed. In addition, data regarding physical characteristics of the spring, such as depth, width and velocity, were measured. From the results obtained it was possible to reach the following conclusions: a) The use of the Streeter-Phelps model proved to be consistent in assisting in the granting or not of grants for effluent release b) From the graphic analysis, it is possible to observe the existence of a linear relationship between the flow of the spring necessary to neutralize the organic load, with the concentrations of organic matter released in the aquatic body c) It is not possible to affirm that Ribeirão do Abreu will resume its characteristics upstream of the launch point, due to the presence of hormones and drugs. Substances that are not removed by conventional treatment systems d) Even for the dry season, the flow rate of the Stream is able to self-debug organic matter for any simulated scenario, without permanent compromise of dissolved oxygen levels below the minimum allowed by CONAMA Resolution No. 357/05 for Class 2 freshwaters.

**Keywords:** Mathematical model, self-debugging, Streeter-Phelp, parameters, characteristics.

## 1. Introdução

A água representa um constituinte essencial à vida, sendo elemento indispensável em diversas atividades humanas. A história da água acompanha a evolução científica e tecnológica da humanidade e se relaciona diretamente com o crescimento populacional, graus de urbanização e os seus diferentes usos que afetam sua qualidade e disponibilidade (TUNDISI, 2013).

Problemas decorrentes da escassez da água são cada vez mais comuns. Uma das principais causas para esses problemas é a degradação da sua qualidade, decorrentes do mau uso. Em decorrência disso, surgiram em algumas regiões do Brasil problemas relacionados a escassez de água, acarretando a necessidade da elaboração de mecanismos de planejamento e coordenação para os usos dos recursos hídricos (ANA, 2017).

Com o intuito de disciplinar os usos dos corpos de água, bem como processos de assimilação de efluentes, criaram-se leis para a gestão integrada dos recursos hídricos mais voltadas a assegurar a disponibilidade hídrica para futuras gerações e com os devidos padrões de qualidade em seus respectivos usos (NAHON, 2006).

Nesse sentido, a construção e implantação de modelos matemáticos adequados à avaliação da qualidade da água em bacias hidrográficas, permitem auxiliar no entendimento das relações de causa e efeito em corpos aquáticos, que alteram a qualidade da água desses ambientes, além de subsidiar entidades regulamentadoras e fiscalizadoras no auxílio de planejamento, gerenciamento e tomada de decisões acerca dos recursos hídricos.

Este trabalho apresenta uma metodologia, com base no modelo matemático de *Streeter-Phelps* que permite calcular o consumo de oxigênio dissolvido no corpo hídrico para diversos cenários de lançamento de efluentes, permitindo assim, a verificação da capacidade de diluição desse corpo, dentro dos padrões preconizados na legislação existente.

## 2. Materiais e métodos

Localizada no município de Taguatinga - TO, a Bacia do Ribeirão do Abreu se encontra situada na região sudeste do estado sob as coordenadas geográficas de latitude  $12^{\circ}22'57.57''$  S a  $12^{\circ}24'46.30''$  S e longitude de  $46^{\circ}19'25.94''$  O a  $46^{\circ}24'25.26''$  O. A pesquisa ocorreu no período de estiagem que compreende os meses de maio a setembro. O mapa da área de estudo pode ser visualizado na Figura 1 abaixo.

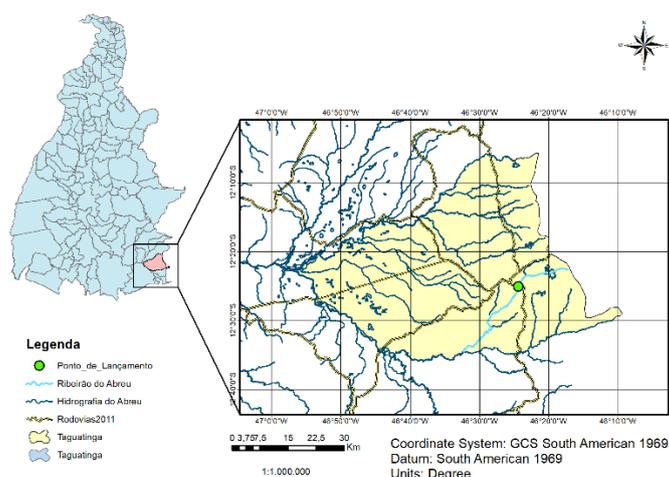


Figura 1 - Mapa hidrográfico de Taguatinga

A partir dos dados coletados em visita ao local do estudo, foi possível a caracterização física e da qualidade da água do manancial. Para a primeira caracterização, tornou-se necessário a obtenção de dados de velocidade média e vazão do ribeirão em questão para a posterior aplicação segundo o modelo matemático de *Streeter-Phelps*. Utilizando-se da técnica do flutuador, foi montado um circuito em um pequeno trecho retangular do ribeirão e então com o auxílio de fita métrica, uma mira stadimétrica e um cronômetro foram anotados os valores de profundidades e o tempo necessário que a água levou para transcorrer o circuito. As Tabelas 1 e 2 abaixo fornecem os resumos dos dados obtidos em campo.

Tabela 1 - Profundidades em cada seção transversal

Leitura (m)	Seção 01	Seção 02	Seção 03
1 <sup>a</sup>	0,15	0,05	0,32
2 <sup>a</sup>	0,59	0,60	0,58
3 <sup>a</sup>	1,00	0,95	0,86
4 <sup>a</sup>	1,25	1,15	0,90
5 <sup>a</sup>	1,18	1,10	0,93
6 <sup>a</sup>	1,04	1,04	0,86
7 <sup>a</sup>	1,04	1,00	0,84
8 <sup>a</sup>	0,88	1,00	0,80
9 <sup>a</sup>	-	0,92	0,36
10 <sup>a</sup>	-	0,73	0,22

Fonte: Autor, 2020.

Tabela 2 - Leitura dos tempos de percurso

Leitura (s)	Garrafa cheia	Garrafa vazia
1 <sup>a</sup>	17,97	17,28
2 <sup>a</sup>	15,26	15,63
3 <sup>a</sup>	37,73	19,09
4 <sup>a</sup>	16,46	15,44
5 <sup>a</sup>	21,49	15,03
6 <sup>a</sup>	17,22	14,38
7 <sup>a</sup>	19,17	27,04
8 <sup>a</sup>	15,34	17,02
9 <sup>a</sup>	21,94	15,99
10 <sup>a</sup>	14,58	16,14

Fonte: Autor, 2020.

No que diz respeito a caracterização da qualidade da água, foram realizados ensaios de ordem físico-química e microbiológicos necessários à aplicação do modelo matemático de *Streeter-Phelps*. Para isso, foram selecionados quatro pontos de coleta, sendo um deles o atual ponto de descarte do esgoto doméstico produzido. Na Tabela 3 abaixo são apresentados os pontos de coleta das amostras, bem como suas coordenadas e respectivos pontos de referência.

Tabela 3 - Coordenadas das amostras

ID	Coordenadas	Referência
Amostra 01	S 12°24'44.50" W 46°24'24.80"	Captação da ETA

Amostra 02	S 12°24'52.90" W 46°24'25.10"	Prainha
Amostra 03	S 12°24'44.20" W 46°24'28.40"	Ponto a jusante da ETA
Amostra 04	S 12°24'28.40" W 46°25'60.00"	Galeria de esgoto

Fonte: Autor, 2020.

O resumo dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos adotados, bem como as suas respectivas metodologias de ensaio, estão descritos na Tabela 4 abaixo.

Tabela 4 - Resumo dos ensaios e metodologia utilizada

Parâmetro	Unidade	Método/ Equipamento
Oxigênio Dissolvido	mg/L	Método de Winkler
pH	-	Medidor de pH com eletrodo
Sólidos dissolvidos totais	mg/L	Gravimetria com dessecador
Condutividade	μS/cm	Condutímetro
Turbidez	uT	Turbidímetro
Temperatura	°C	Medidor de temperatura com eletrodo
Cloretos	mg/L	Titulação com nitrato de prata
Alcalinidade	mg/L de CaCO	Titulação com ácido sulfúrico
Escherichia Coli	NMP/100 ml	Substrato cromogênico

Fonte: Autor, 2020.

### 3. Resultados e discussões

A partir dos dados coletados através da metodologia do flutuador, foi possível realizar o cálculo da velocidade média do Ribeirão do Abreu, conforme observado na equação abaixo.

#### Equação 1

$$V_{\text{média}} = \frac{\Delta S}{\Delta T} \quad (1)$$

$$V_{\text{média}} = \frac{18,51}{10}$$

$$V_{\text{média}} = 0,54 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Após o cálculo da velocidade média do ribeirão, passou-se a calcular a vazão média do manancial, conforme visualizado na equação abaixo.

#### Equação 2

$$Q_{\text{média}} = A * V_{\text{média}} \quad (2)$$

$$Q_{\text{média}} = 7,78 * 0,54$$

$$Q_{\text{média}} = 4,201 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

As figuras 2 e 3 abaixo apresentam os resultados dos dois ensaios mais importantes em termos de qualidade da água segundo a metodologia de cálculo da capacidade de autodepuração segundo o modelo matemático de *Streeter-Phelps*. O primeiro deles diz respeito aos níveis de oxigênio dissolvido no corpo aquático, que segundo Jordão e Pessoa (2006), é considerado o melhor parâmetro para caracterização dos efeitos da poluição das águas por despejos orgânicos. Já o segundo parâmetro diz respeito a *Escherichia coli*, uma espécie do grupo dos coliformes termotolerantes e que sua presença em mananciais está diretamente associada a poluição doméstica desse meio.

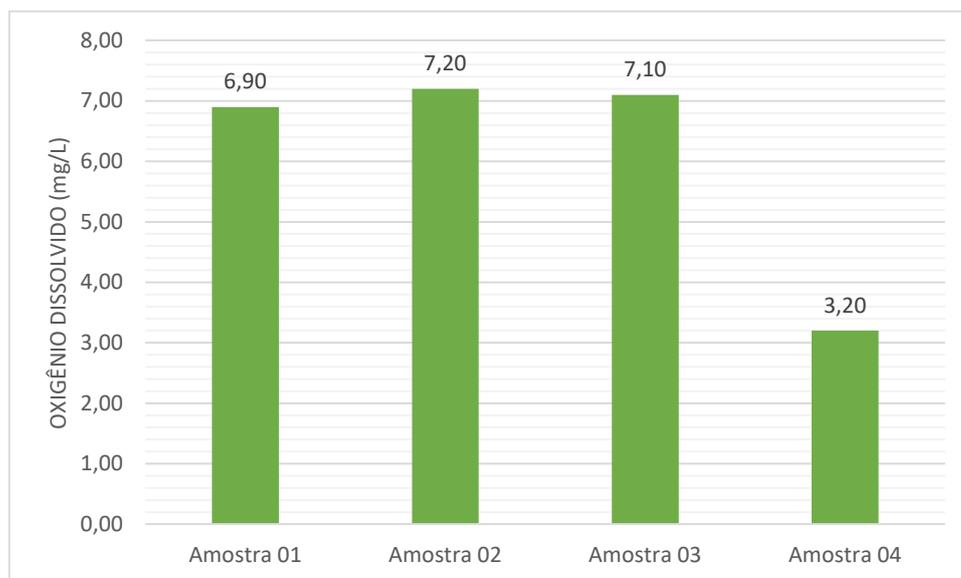
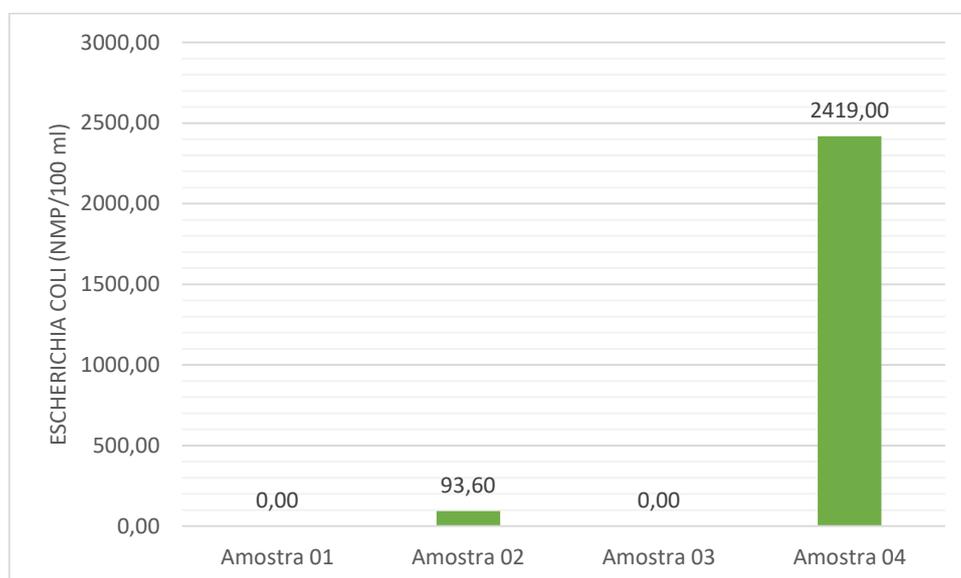


Figura 2 - Valores de oxigênio dissolvido nas amostras

Figura 3 - Valores de *Escherichia Coli* nas amostras

Os demais resultados dos ensaios encontram-se na distribuídos na Tabela 5 abaixo.

Tabela 5 - Resultados dos ensaios por amostra

Parâmetro	Amostra 01	Amostra 02	Amostra 03	Amostra 04
pH	6,70	7,50	7,30	7,10
Sólidos dissolvidos totais (mg/L)	0,0031	0,0350	0,0130	0,0105
Condutividade ( $\mu$ S/cm)	14,65	14,70	16,42	257,00
Turbidez (uT)	1,39	1,54	2,28	5,03
Temperatura ( $^{\circ}$ C)	28,30	28,00	27,80	27,70
Cloretos (mg/L)	7,95	9,94	7,95	24,35
Alcalinidade (mg/L de CaCO)	31,20	30,90	28,70	49,30

Fonte: Autor, 2020.

A simulação segundo o modelo matemático de *Streeter-Phelps* consistiu em verificar o comportamento da curva de Demanda Bioquímica de Oxigênio para dois cenários de

tratamento de efluentes domésticos. O primeiro cenário leva em consideração um lançamento de esgoto bruto sem tratamento diretamente no manancial, e o segundo leva em consideração um tratamento por reatores de lodo ativado seguido de remoção de nutrientes.

Para o presente estudo, o cálculo da contribuição média de esgoto bruto gerado pelas unidades residenciais do município de Taguatinga – TO foi obtido conforme demonstrado na equação abaixo.

### Equação 1

$$Q_{esg} = \frac{P * q * K_1 * K_2 * CR}{86400} \quad (3)$$

$$Q_{esg} = \frac{15051 * 180 * 1,2 * 1,5 * 0,8}{86400}$$

$$Q_{esg} = 45,153 \frac{L}{s}$$

Onde:

P = População do município segundo o IBGE (Censo 2010);

q = Per capita populacional diária (L/hab\*dia);

K<sub>1</sub> = Coeficiente do dia de maior consumo;

K<sub>2</sub> = Coeficiente da hora de maior consumo;

CR = Coeficiente de retorno;

A Tabela 6 abaixo traz o resumo dos coeficientes adotados na modelagem matemática de *Streeter-Phelps*.

Tabela 6 - Resumo dos coeficientes adotados

Coeficientes	Unidade	Valor de referência
DBO <sub>e</sub>	mg/L	500,000
OD <sub>e</sub>	mg/L	0,000
Profund. <sub>média</sub>	m	0,804
OD <sub>mont</sub>	mg/L	7,060
Temperatura	°C	28,030
Salinidade	g/L	0,020
V <sub>média</sub>	m/s	0,540
Q <sub>média</sub>	m <sup>3</sup> /s	4,201
K <sub>r2</sub>	dia <sup>-1</sup>	0,460

Fonte: Autor, 2020.

Os coeficientes adotados tiveram seus valores extraídos dos ensaios físico-químico e microbiológicos, além dos ensaios de caracterização física do material. Para os coeficientes de DBO<sub>e</sub> (DBO do efluente) e coeficiente de reaeração (k<sub>r2</sub>) foram adotados os valores de referência conforme descrito por Sperling (1996) em seu livro: *Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos*.

Tabela 7 - Valores típicos para o coeficiente de reaeração

Corpo d'água	k <sub>2</sub> (dia <sup>-1</sup> )	
	Profundo	Raso
Pequenas lagoas	0,12	0,23
Grandes rios com baixa velocidade	0,37	0,46
Rios rápidos	0,69	1,15
Corredeiras e quedas d'água	>1,15	>1,61

Fonte: Autor, 2020.

Por fim, para as estimativas de remoção da DBO, DQO, sólidos suspensos e nutrientes, foram seguidos os valores típicos recomendados conforme descritos na Tabela 8 abaixo.

Tabela 8 - Eficiências típicas de sistemas de tratamento na remoção da DBO

Sistema de tratamento	Eficiência na remoção da DBO (%)
Tratamento primário	35 - 40
Lagoa facultativa	70 - 85
Lagoa anaeróbia - Lagoa facultativa	70 - 90
Lagoa aerada facultativa	70 - 90
Lagoa aerada de mistura completa - Lagoa de decantação	70 - 90
Lodos ativados convencional	85 - 93
Aeração prolongada	93 - 98
Filtro biológico (baixa carga)	85 - 93
Filtro biológico (alta carga)	80 - 90
Biodisco	85 - 93
Reator anaeróbio de manta de lodo	60 - 80
Fossa séptica - Filtro anaeróbio	70 - 90
Infiltração lenta no solo	94 - 99
Infiltração rápida no solo	86 - 98
Infiltração superficial no solo	90 - 98
Escoamento superficial no solo	85 - 95

Fonte: Autor, 2020.

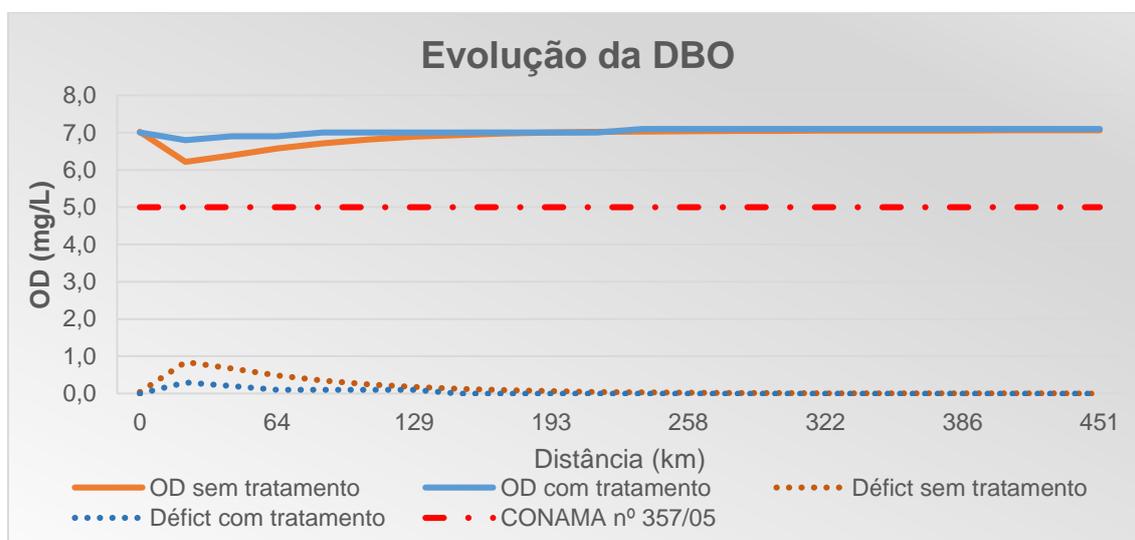


Figura 4 – Comparativo da curva de OD para os cenários simulados

Conforme apresentado na Figura 4 acima, é possível analisar a partir da curva de depleção do oxigênio dissolvido sem a presença de um sistema de tratamento, que o nível mínimo de OD atingido é de 6,3 mg/L, localizado a 21,4 Km do ponto de lançamento. Segundo a Resolução do CONAMA nº 357/05, justificada no Art 42, que diz: “Enquanto não aprovados os respectivos enquadramentos, as águas doces serão consideradas classe 2”. Portanto, em termos de oxigênio dissolvido, observa-se que o limite mínimo para águas doces de Classe 2 é respeitado (5 mg/L).

Para a curva do OD remanescente no meio aquático após a entrada de esgoto doméstico com tratamento de efluentes a nível terciário, a partir da utilização do sistema de Lodos

Ativados seguido de remoção de nutrientes, é possível observar que o consumo de OD é quase nulo, tendo seu valor mínimo em 6,8 mg/L, à distância de aproximadamente 21,5 km do ponto de lançamento.

Em sua pesquisa, Ricciardone et al (2011), observou uma condição de anaerobiose ao simular, segundo o modelo de *Streeter-Phelps*, a curva de depleção do oxigênio dissolvido. Tornando-se conclusivo que o efluente doméstico, para aquela situação, apresentava uma carga orgânica em quantidades acima da capacidade de assimilação desse material pelo corpo receptor

Segundo Sperling (1996), quando a curva de depleção do OD atinge valores negativos, o modelo não pode ser validado devido ao surgimento de um terceiro parâmetro não considerado no modelo, a ausência de oxigênio no meio aquático.

Vale ressaltar que o modelo proposto por *Streeter-Phelps* leva em consideração apenas duas variáveis, desoxigenação e reaeração, indicando suas limitações frente ao surgimento de demais parâmetros.

É possível observar no gráfico, o impacto positivo no que diz respeito as taxas de DBO remanescentes e exercidas provenientes de sistemas de tratamento de esgotos mais eficientes, como os reatores de Lodos Ativados seguidos de remoção de nutrientes. Onde a curva tendeu a se aproximar de uma reta, indicando que as taxas de consumo de oxigênio dissolvido por microrganismos aeróbios foram baixas, mesmo quando observado no ponto mais crítico da curva.

Segundo Ferreira e Caraiola (2008), que avaliaram a eficiência média de um sistema por lodos ativados com aeração convencional e em fluxo contínuo, chegaram a uma faixa de eficiência de remoção de DBO de 95% a 98%, se aproximando da faixa de valores atribuídos por Sperling (1996), conforme tabelado em seu livro Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos.

Portanto, para a pesquisa em questão, em ambas as simulações, o limite mínimo de oxigênio dissolvido no corpo aquático é respeitado, conforme preconizado pela Resolução CONAMA nº 357/05, sendo um indicativo de baixa poluição no corpo receptor, além de indicar que a vazão do Ribeirão do Abreu é capaz de assimilar toda a matéria orgânica oriunda do esgoto doméstico local.

#### 4. Conclusões

A partir dos resultados obtidos, podemos chegar as seguintes conclusões na pesquisa:

- Conforme expressado por Guedes (2009) a modelagem matemática pode auxiliar órgãos ambientais em processos de licenciamento ambiental, outorga de uso da água e outorga de lançamento de efluentes.
- A utilização do modelo consagrado de *Streeter-Phelps* para o cálculo da capacidade de autodepuração do Ribeirão do Abreu se mostrou consistente para auxiliar na concessão ou não de outorgas para lançamento de efluentes.
- A partir da análise gráfica, é possível concluir a existência de uma relação linear entre a vazão do manancial necessária para neutralizar a carga orgânica com as concentrações de matéria orgânica lançadas no corpo aquático.
- Não é possível afirmar que o Ribeirão do Abreu retomará as suas características a montante do ponto de lançamento, em decorrência da presença de hormônios e fármacos. Substâncias que não são removidas por sistemas de tratamento convencionais

- Por fim, a pesquisa mostrou que, mesmo para o período de estiagem, a vazão do Ribeirão é capaz de autodepurar a matéria orgânica para qualquer cenário simulado, sem que haja comprometimento permanente dos níveis de Oxigênio Dissolvido abaixo do mínimo permitido pela Resolução CONAMA nº 357/05, para águas doce de Classe 2

### **Referências**

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2017: relatório pleno. 2017.

CONAMA, Resolução. 357, de 17 de março de 2005. **Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA**, v. 357, 2005.

NAHON, Iuri Machado. Sistema de apoio à análise de outorga de lançamento de efluentes para a variável demanda bioquímica de oxigênio: estudo de caso da bacia do Alto Iguaçu. **Curitiba (PR). Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental)**, 2006.

STRAŠKRABRA, Milan; TUNDISI, José Galizia. **Gerenciamento da qualidade da água de represas: diretrizes para gerenciamento de lagos**. Oficina de Textos, 2013.

VON SPERLING, Marcos. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. Editora UFMG, 1996.

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.

FERREIRA, Fabiana Dian; CORAIOLA, Márcio. Eficiência do lodo ativado em fluxo contínuo para tratamento de esgoto. **Revista Acadêmica Ciência Animal**, v. 6, n. 2, p. 259-279, 2008.

GUEDES, Hugo Alexandre Soares et al. **Modelagem da qualidade da água e da capacidade de autodepuração do Rio Pomba**. 2009.