



III *Sustentare* – Seminários de Sustentabilidade da PUC-Campinas
VI WIPIS – Workshop Internacional de Pesquisa em Indicadores de Sustentabilidade
16 a 18 de novembro de 2021

MODELAGEM DA QUALIDADE DE ÁGUA NO RIO SIRINHAÉM EM PONTO DE BARRA DE GUABIRABA, AGRESTE PERNAMBUCANO

Jocimar Coutinho Rodrigues Junior, PPGE/UFPE, jocimar.junior@ufpe.br;
Anderson Luiz Ribeiro Paiva, PPGE/UFPE, anderson.paiva@ufpe.br;
Leidjane Maria Maciel Oliveira, PPGE/UFPE, leidjane.oliveira@ufpe.br.

Resumo

Grande parte dos municípios brasileiros surgiram inicialmente no entorno de rios, córregos e demais cursos hídricos. Em vista disso, a urbanização distinguiu-se como uma das principais causas que resultam na alteração e deterioração da paisagem dos recursos ambientais. Neste sentido, com o passar do tempo novos estudos foram necessários para adequar as atividades urbanas frente ao desenvolvimento sustentável e ao planejamento adequado dos recursos hídricos, visando integrar o crescimento econômico e urbano, com a conservação ambiental. Neste contexto, o presente trabalho busca avaliar o comportamento da qualidade de água no rio Sirinhaém, no trecho do município de Barra de Guabiraba, a partir do lançamento de carga poluidora. Para isso, foi realizada a modelagem matemática simplificada por meio do modelo de Streeter-Phelps, para verificar o comportamento dessa carga poluidora, sob perspectivas de 3 cenários, que consideram o tratamento de esgoto para a projeção do ano de 2035. A modelagem de Streeter-Phelps comprovou que a carga poluidora doméstica lançada no rio Sirinhaém possui comportamentos diferentes, dependendo da estação do ano e vazão do rio Sirinhaém. Também ficou evidenciado que o planejamento adequado dos recursos hídricos, estão intrinsecamente relacionados aos serviços de saneamento.

Palavras-chave: Recursos Hídricos, Carga Poluidora, Streeter-Phelps.

1. Introdução

O crescimento das cidades e áreas urbanas durante o século XX ocorreu de maneira intensificada e rápida, colocando em segundo plano questões ambientais e de equidade social. Assim, houve um desenvolvimento não planejado que culminou no agravamento de diversos riscos socioambientais (SANTOS, 2008).

Com a urbanização e industrialização aceleradas, as áreas urbanas brasileiras, em sua maioria, foram deficientes em termo de planejamento. Destarte, Santos (2004) afirmou que o desenvolvimento dos municípios se distanciou inicialmente do ponto de vista da sustentabilidade, que enxerga o desenvolvimento integrado das peculiaridades locais, que envolve gestão dos resíduos gerados, tratamento de efluentes, abastecimento de água, locomoção dos habitantes, entre outros.

Nesse contexto, a urbanização atinge os recursos hídricos, ocasionando diversos impactos sobre o mesmo, incluindo a poluição hídrica. Assim, deve-se salientar a necessidade de verificar o comportamento dos aportes de carga nos cursos hídricos (IPCC, 2014).

O comportamento da água, sob efeitos de ações antrópicas, é bastante complexo. De forma geral, sabe-se que o comportamento da qualidade de cursos hídricos varia conforme ocorre intervenções inadequadas. Nesse sentido, se torna fundamental que os recursos hídricos tenham condições físicas e químicas que estejam em conformidade com os seus usos possíveis.



III *Sustentare* – Seminários de Sustentabilidade da PUC-Campinas
VI WIPIS – Workshop Internacional de Pesquisa em Indicadores de Sustentabilidade
16 a 18 de novembro de 2021

Essa poluição que é proveniente principalmente de despejos de efluentes domésticos, pode provavelmente contém elevadas concentrações de matéria orgânica. O aporte de matéria orgânica em um curso hídrico, pode ser estimada através da Demanda Bioquímica de Oxigênio – DBO ou do Oxigênio Dissolvido – OD, que configuram como parâmetros fundamentais para o controle e mitigação da poluição das águas a partir da matéria orgânica (ESTEVES, 1998; PIVELI & KATO, 2005).

Desta maneira, para conhecer o comportamento da carga poluidora ao longo do curso hídrico, destaca-se o modelo matemático Streeter-Phelps, que consiste em um método de aplicação simples, contando com resultados que se aproximam do observado em situações reais.

Pesquisas com o modelo matemático Streeter-Phelps são importantes em trechos de rios que recebem forte carga poluidora da área urbana, a exemplo do rio Sirinhaém, em Barra de Guabiraba – PE, onde conforme o SNIS (2012), apenas 3,91% da população tem acesso ao tratamento de esgoto. Diante do exposto, este trabalho objetivou avaliar a qualidade de água do rio Sirinhaém, a partir da modelagem simplificada de Streeter-Phelps, a fim de verificar o comportamento do aporte de carga poluidora no curso d'água, em Barra de Guabiraba.

2. Fundamentação teórica

2.1. Qualidade e poluição dos recursos hídricos

A disponibilidade dos recursos hídricos é essencial para o desenvolvimento de diversos setores da sociedade. Assim, a água deve atender requisitos não apenas em quantidade, mas também que em padrões de qualidade, para que seja possível suprir as necessidades de um determinado objetivo (SANTOS, 2001).

No que tange a importância da água, a sua utilização para as atividades humanas, envolvendo qualquer finalidade, resulta na deterioração da sua qualidade, evidenciando a limitação do seu potencial de uso. Portanto, o ingresso de matéria orgânica em um determinado ponto de um corpo de água, resulta no consumo de oxigênio dissolvido. Por conseguinte, se inicia o processo de estabilização da matéria orgânica, que é efetuado por meio das bactérias decompositoras aeróbias, que usam o oxigênio como aceptor final de elétrons na sua respiração (TUNDISI, 2003).

Deste modo, há o consumo de oxigênio em meio líquido e, de forma quase simultânea, também a existe o processo de recuperação do nível desse oxigênio por meio do fenômeno da autodepuração dos cursos de água. Segundo Andrade (2010), o referido fenômeno está relacionado com o novo estabelecimento do oxigênio dissolvido, ou seja, com o reequilíbrio no meio.

Os processos que envolvem a autodepuração são ocasionados por meio de mecanismos essencialmente naturais, que passam a ocorrer após as alterações induzidas pelos despejos de matéria orgânica. Neste contexto, os compostos orgânicos são convertidos em compostos inertes e, passam não prejudicar o ambiente, sob o ponto de vista ecológico (BRAGA *et al.*, 2005).

Após a decomposição total da matéria orgânica lançada, o curso hídrico começa a recuperar a sua concentração de oxigênio dissolvido, no trecho da zona de recuperação. De acordo com Fuzinato (2009), esse oxigênio, que é utilizado pelo consumo realizado pelas bactérias, é recomposto através do processo de reaeração.



III *Sustentare* – Seminários de Sustentabilidade da PUC-Campinas
VI WIPIS – Workshop Internacional de Pesquisa em Indicadores de Sustentabilidade
16 a 18 de novembro de 2021

Portanto, com o passar do espaço e do tempo, ao final do processo ocorrido na zona de recuperação, o curso hídrico adentra novamente as zonas de águas limpas. Assim, o meio aquático passa a dispor de quase todos os mesmos níveis de concentrações que são ocorrentes na referida zona de águas limpas, alcançando novamente o equilíbrio natural, caso não haja novos lançamento de matéria orgânica.

2.2. A importância da DBO e OD

Para averiguar as condições de qualidade de um corpo hídrico, se tem a possibilidade de utilizar diversos parâmetros, que atestam a qualidade da água. Com isso, os padrões de qualidade da água consistem em um conjunto de parâmetros, que possuem determinadas concentrações limitantes para ocorrer em um corpo d'água, sem interferir na qualidade natural.

Acerca destes parâmetros que podem indicar níveis de poluição dos recursos hídricos de uma área, há o oxigênio dissolvido (OD), que tem fundamental importância no tratamento da vida aquática do ecossistema. Deste modo, o oxigênio dissolvido, basicamente consiste na concentração de oxigênio (O₂), que está presente na água (VON SPERLING, 2007).

Neste contexto, os organismos aquáticos que possuem alimentação a partir do consumo da matéria orgânica, necessitam do oxigênio dissolvido no processo de respiração biológica. Portanto, o aporte de matéria orgânica nos corpos d'água ocasiona significativamente a redução dos níveis de OD, que considera os processos de estabilização da matéria orgânica lançada nos corpos receptores. Assim, ocorre a desoxigenação do local, que passa a perder o oxigênio dissolvido na água.

As características de OD, são quimicamente diversas, possuindo várias nomenclaturas. Com isso, Fiorucci e Benedetti Filho (2005), ressaltaram que a solubilidade de oxigênio dissolvido atmosférico varia de 14,6 mg L⁻¹, sob temperatura de 0 °C, até 7 mg L⁻¹, sob temperatura de 35 °C, em água doce, com pressão atmosférica de 1 atm.

Em relação a Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) de um curso hídrico, consiste na quantidade de oxigênio, que é de necessário para ocorrer a oxidação da matéria orgânica, por intermédio de decomposição microbiana aeróbia para uma forma inorgânica estável (VON SPERLING, 2014a).

Além disso, a DBO é comumente considerada como a quantidade de oxigênio que vem a ser consumido, durante um determinado período de tempo. Sendo assim, em um período de 5 dias numa temperatura de incubação de 20°C é frequentemente usado e referido como DBO_{5,20} (CETESB, 2009).

O despejo de efluentes sanitários, está totalmente relacionado com os compostos orgânicos, influenciando relevantemente nas concentrações de OD e DBO. Assim, há uma série de substância que são causadoras da poluição dos rios, córregos e lagos.

O consumo da matéria orgânica, expressa em termos de DBO nos cursos hídricos, propicia o fenômeno da desoxigenação, que consiste no decréscimo dos teores de oxigênio dissolvido. Logo, a queda nos níveis de oxigênio dissolvido em uma referida água, está associada à respiração de microrganismos, bem como o consumo de matéria orgânica, envolvidos no processo de depuração de efluentes.

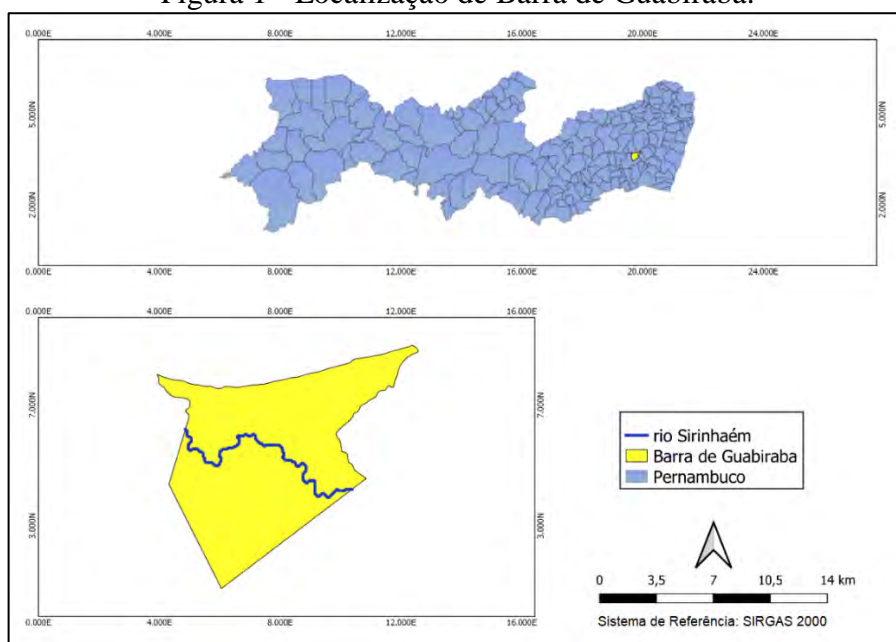


III *Sustentare* – Seminários de Sustentabilidade da PUC-Campinas
 VI WIPIS – Workshop Internacional de Pesquisa em Indicadores de Sustentabilidade
 16 a 18 de novembro de 2021

3. Metodologia

O município de Barra de Guabiraba está situado no estado de Pernambuco, na mesorregião do Agreste e na Microrregião do Brejo Pernambucano. A Figura 1, mostra a localização do município no estado, bem como o rio Sirinhaém que corta o local, em sentido oeste-leste. De acordo com o censo 2010 (IBGE, 2010), a população residente total é de 12.776 habitantes, com densidade demográfica de 111,43 hab/km², sendo 89,1% da população residente na zona urbana e 10,9 % residente na zona rural.

Figura 1 - Localização de Barra de Guabiraba.



A área total municipal consiste em 117,6 km², representando em torno de 0,12% do estado de Pernambuco e estando localizado na bacia hidrográfica do rio Sirinhaém. Quanto a altitude, a sede do município tem em torno de 482 metros, tendo uma distância de 132,6 km de Recife, cujo acesso é feito a partir da BR-232 e PE-103/085 (ITEP, 2011).

Nesse sentido, a cidade em questão contribuí com aportes de efluentes sanitários neste rio comprometendo a qualidade de suas águas. Esse fato associado a baixa abrangência do acesso ao tratamento de esgoto, o município está sujeito a enfrentar problemáticas que afetam os recursos ambientais, econômicos e sociais na região. Portanto, é importante verificar como ocorre o comportamento da carga poluidora lançada pela população no rio Sirinhaém, em Barra de Guabiraba, sendo que de acordo com os dados do SNIS (2012), apenas 500 habitantes tinham acesso ao tratamento de esgoto, sem maiores informações.

Para averiguar como pode ocorrer a poluição sobre os recursos hídricos, foram adotados cenários para estimar a carga poluidora que é aportada no rio Sirinhaém, conforme é detalhado na Tabela 1. Estes cenários levam em consideram um período de projeto até o ano de 2035, caso seja implementado um sistema de tratamento de efluentes mais conciso.



III *Sustentare* – Seminários de Sustentabilidade da PUC-Campinas
 VI WIPIS – Workshop Internacional de Pesquisa em Indicadores de Sustentabilidade
 16 a 18 de novembro de 2021

Tabela 1 - Cenários utilizados no trabalho.

CENÁRIOS	DEFINIÇÕES	CONDIÇÕES SANITÁRIAS
PESSIMISTA	São mantidas condições atuais da cidade de Barra de Guabiraba, onde continuaria sem tratamento relevante de efluentes em longo prazo. Apenas 3,91% da população tem acesso atualmente, de acordo com o SNIS (2012).	Sem maiores condições de tratamento de efluentes domésticos até 2035 para a população, permanece a situação atual.
INTERMEDIÁRIA	Considerações de caráter mais efetivo, com certa efetivação de normas e legislações a longo prazo.	Implementação de um sistema de tratamento de 40% dos efluentes domésticos para a população até 2035.
OTIMISTA	Condições mais adequadas, onde as tomadas de decisões são marcadas pela busca de um desenvolvimento sustentável da cidade, a partir de implementação de medidas conservacionistas em longo prazo.	Implementação de um sistema de tratamento de 80% dos efluentes domésticos para a população até 2035.

Portanto, para a estimativa da carga poluidora ao longo dos anos para aplicar aos cenários adotados, foi necessário realizar a projeção da população do município de Barra de Guabiraba, adotando o ano de 2035. Assim, foi elaborada a projeção populacional geométrica para o referido ano de projeto.

Para estimar a carga poluidora doméstica, foi convencionada a adoção de uma contribuição per capita (CPC) de 0,054 kg de DBO_{5,20}/hab.dia, adotada por Von Sperling (2014a) e Mota (1995), em razão de não haver estudos difundidos acerca da contribuição per capita em locais no Brasil. Assim, para calcular o potencial poluidor da população de Barra de Guabiraba, que lançam o esgoto *in natura* diretamente na bacia do rio Sirinhaém, foi utilizada a Equação 1.

$$PP = \text{população} * CPC \quad (1)$$

onde: PP = Potencial Poluidor (Kg de DBO_{5,20}/dia); CPC = Contribuição per capita (0,054 kg de DBO_{5,20}/hab.dia).

Na atualidade, o município não conta com um sistema de tratamento de esgoto efetivo, onde atualmente apenas 3,91% da população admite-se possuir tratamento de esgoto, conforme foi apontado.

No entanto, como foram definidos cenários que orientem o planejamento, caso ocorra a implementação desse sistema de saneamento que conte com a presença de uma Estação de Tratamento de Efluentes (ETE), a carga remanescente que a mesma iria despejar sobre o rio Sirinhaém, pode ser calculada de acordo com a Equação 2.



III *Sustentare* – Seminários de Sustentabilidade da PUC-Campinas
 VI WIPIS – Workshop Internacional de Pesquisa em Indicadores de Sustentabilidade
 16 a 18 de novembro de 2021

$$CP = \text{população} * CPC * (1 - \text{Atend.} + \text{Atend.}(1 - \text{Ef.T.})) \quad (2)$$

onde: *Atend.* = Abrangência do atendimento (em %); *Ef.T.* = Eficiência do processo, sendo adotado 85 (em %), conforme define a NBR 13969/1997 (ABNT, 1997) para diversos métodos de tratamento de efluentes, como lagoa de estabilização, filtro anaeróbico, filtro de areia, entre outros.

A fim de constatar o comportamento dos aportes de cargas poluidoras domésticas nas águas do rio Sirinhaém no município de Barra de Guabiraba, foi utilizado o modelo Streeter-Phelps, onde é possível averiguar em qual extensão do rio ocorrerá a depuração da matéria orgânica. O referido modelo foi implementado no ano de 1925, para o rio Ohio, nos Estados Unidos, onde seu arcabouço constitui-se como base para modelos matemáticos mais avançados. Este é aplicável em sistemas unidimensionais sem considerar os efeitos da dispersão e sua escolha decorre de sua simplicidade conceitual de aplicação e a menor necessidade de parâmetros nos dados de entrada (VON SPERLING, 2014b).

Logo, a aplicação do Street-Phelps é de certa forma mais simples, em razão de considerar apenas os processos físico-químicos e biológicos mais relevantes para realizar a modelagem da qualidade da água. Deste modo, são considerados: a decomposição da matéria orgânica e o fornecimento de reaeração física e produção fotossintética (MANNINA; VIVIANI, 2010).

Neste contexto, de forma geral, o modelo incorpora dois fenômenos integrantes do balanço de Oxigênio Dissolvido (OD). A desoxigenação, relacionada numa reação cinética de primeira ordem do decaimento da matéria orgânica em água é exposta nas Equações 3, 4 e 5.

$$dL/dt = -k_1 * L \quad (3)$$

$$L = L_0 e^{(-k_1 * t)} \quad (4)$$

$$y = L_0 * (1 - e^{(k_1 * t)}) \quad (5)$$

onde: *L* é a concentração de DBO remanescente em tempo qualquer (mg/L); *t* é tempo (dia); *K1* é o coeficiente de desoxigenação (dia⁻¹); *L₀* é a concentração de DBO remanescente em *t=0* (mg/L); *y* é a concentração de DBO exercida em um tempo *t* (*y = L₀ - L*) (mg/L).

Ademais, a reaeração, as trocas de oxigênio em água em uma reação de primeira ordem, são evidenciadas nas Equações 6 e 7.

$$dD/dt = -k_2 * D \quad (6)$$

$$C = C_s - (C_s - C_0) * e^{-k_2 * t} \quad (7)$$

onde: *D* é o déficit de OD em tempo qualquer (mg/L); *t* é tempo (dia); *K2* é o coeficiente de reaeração (dia⁻¹); *D₀* é o déficit de OD em *t=0* (mg/L); *C* é a concentração de OD em um tempo *t* (mg/L).

É válido salientar que a cidade de Barra de Guabiraba realiza o despejo de seus efluentes domésticos *in natura*, sem ocorrência de tratamento efetivo amplo. Como todo o município está



III *Sustentare* – Seminários de Sustentabilidade da PUC-Campinas
 VI WIPIS – Workshop Internacional de Pesquisa em Indicadores de Sustentabilidade
 16 a 18 de novembro de 2021

inserido na bacia do rio Sirinhaém, onde o mesmo percorre as imediações da cidade, foi considerado que o despejo de esgoto ocorre nas proximidades após a saída da cidade, a jusante do ponto de monitoramento de qualidade da água da Agência Estadual de Meio Ambiente (CPRH).

Assim, levando em consideração que o rio Sirinhaém é enquadrado como classe 2 e água doce, em razão de seus usos preponderantes, de acordo com a Resolução CONAMA 357/2005 (BRASIL, 2005), a DBO deve atingir no máximo 5 mg/l e o OD no mínimo 5 mg/l. Para executar, o modelo foi utilizado uma planilha de cálculo computacional e os dados de entrada foram apresentados na Tabela 2. Com a entrada destes dados no modelo, obtém-se no final, como dado de saída, a distância a partir do ponto de lançamento da carga poluidora, em que o curso hídrico se encontra em equilíbrio, atingindo valor de DBO e OD estabelecidos pela legislação.

Tabela 2 - Parâmetros e variáveis de entrada no modelo.

Parâmetros	Valor	Fonte
$K1$ (1/d)	0,45	Von Sperling (2014b) a 20 °C.
Temperatura (°C)	25	Considerada a temperatura de 25 °C.
$K2$ (1/d)	-	Estimado de acordo com O'Connor e Dobbins (1958).
OD saturação (mg/l)	9	Von Sperling (2014b) e Montgomery <i>et al.</i> (1964).
Vazão do rio na estação da seca (m ³ /s)	Adotada a vazão mínima para o mês de dezembro, considerado como período de seca, conforme consta no histórico de monitoramento da estação fluviométrica 39450000 no rio Sirinhaém, segundo o Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH) da ANA (2020).	
Vazão do rio na estação chuvosa (m ³ /s)	Adotada a vazão mínima para o mês de junho, considerado como período de seca, conforme consta no histórico de monitoramento da estação fluviométrica 39450000 no rio Sirinhaém, ANA (2020).	
Vazão do efluente (m ³ /s)	Estimado a partir de um coeficiente de retorno de 80% da demanda de água para a população, considerando uma demanda per capita de água de 200 L/hab.dia, conforme recomendações da NBR 9649/1986 (ABNT, 1896).	
DBO5 do rio (mg/l)	Adotado de acordo com o monitoramento realizado pela Agência Estadual de Meio Ambiente (CPRH) de 2010 até 2018, no rio Sirinhaém próximo a cidade de Barra de Guabiraba, antes do aporte de carga poluidora. Assim, foi realizada uma média da DBO5 do rio na estação da chuva (mês de junho) e, outra na estação da seca (mês de dezembro).	



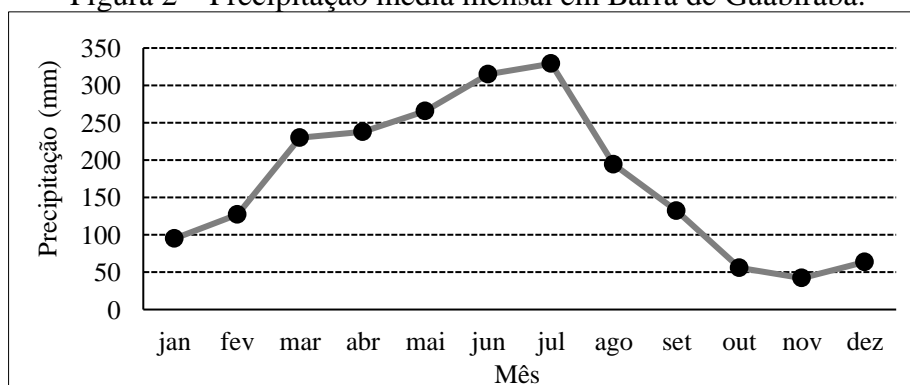
III *Sustentare* – Seminários de Sustentabilidade da PUC-Campinas
 VI WIPIS – Workshop Internacional de Pesquisa em Indicadores de Sustentabilidade
 16 a 18 de novembro de 2021

Parâmetros	Valor	Fonte
DBO5 do efluente (mg/l)	Estimados de acordo com Von Sperling (2014a) para os cenários do município de Barra de Guabiraba, conforme foi explanado.	
OD do rio (mg/l)	Adotado de acordo com o monitoramento realizado pela Agência Estadual de Meio Ambiente (CPRH) de 2010 até 2018, no rio Sirinhaém próximo a cidade de Barra de Guabiraba, antes do aporte de carga poluidora. Assim, foi realizada uma média da OD do rio na estação da chuva (mês de junho) e, outra na estação da seca (mês de dezembro).	
OD do efluente (mg/l)	0,00	Considera-se o efluente bruto, sem presença de oxigênio.
Velocidade do rio (m/s)	Adotada uma velocidade mínima para o mês de dezembro (estação seca) e outra velocidade mínima para o mês de junho (estação chuvosa), conforme consta no histórico de monitoramento da estação fluviométrica 39450000 no rio Sirinhaém, em Barra de Guabiraba, ANA (2020).	
Altura do rio (m)	Adotada uma altura mínima para o mês de dezembro (estação seca) e outra altura para o mês de junho (estação chuvosa), conforme consta no histórico de monitoramento da estação fluviométrica 39450000 no rio Sirinhaém, em Barra de Guabiraba, ANA (2020).	

4. Resultados

Diante dos problemas relacionados com o aporte de carga poluidora no rio Sirinhaém em Barra de Guabiraba, foi conveniente estudar a influência da mesma sob a perspectiva de qualidade da água do referido rio. A Figura 2 mostrou os índices pluviométricos médios mensais históricos em Barra de Guabiraba.

Figura 2 – Precipitação média mensal em Barra de Guabiraba.



Fonte: CRPH (2018).



III *Sustentare* – Seminários de Sustentabilidade da PUC-Campinas
 VI WIPIS – Workshop Internacional de Pesquisa em Indicadores de Sustentabilidade
 16 a 18 de novembro de 2021

É perceptível a diferença de água precipitada entre dezembro, mês de período seco e junho, mês de período chuvoso, onde a carga poluidora possui diferentes comportamentos, em razão da grande discrepância da quantidade de água disponível no local, que influencia totalmente na vazão do rio Sirinhaém.

No que tange aos valores de DBO e OD (Tabela 3), salienta-se que os valores adotados foram as médias de junho (chuva) e dezembro (seca), contidos nos relatórios de monitoramento CPRH (2018). Ressalta-se que na época da seca, no mês de dezembro, os dados mostraram valores de OD, já em desconformidade significativa com a Resolução CONAMA 357/2005 (BRASIL, 2005), que determina para rios doces de classe 2, o mínimo de OD seja 5 mg/l. Assim, o valor médio da OD adotado, consiste em um valor um pouco abaixo de 5 mg/l.

Deste modo, foi fatível a aplicação do modelo simplificado de Streeter-Phelps, que depende de determinados dados de entrada. Com o levantamento realizado para averiguação dos referidos dados, conforme foi apontado nos procedimentos metodológicos, foram obtidos os valores detalhados na Tabela 3.

Tabela 3 – Valores de dados para utilização no modelo.

Parâmetros e/ou variáveis	Valor
Vazão de referência do rio na estação seca (m ³ /s)	3,391
Vazão de referência do rio na estação chuvosa (m ³ /s)	4,28
Vazão do efluente (m ³ /s)	0,063
DBO5 do rio (mg/l)	Estação Seca, dezembro – 3,48 Estação Chuvosa, junho - 2,22
DBO5 do efluente (mg/l)	Cenário pessimista -187 Cenário intermediário – 127, 5 Cenário otimista - 67,5
OD do rio (mg/l)	Estação Seca, dezembro – 4,62 Estação Chuvosa, junho –5,88
OD do efluente (mg/l)	0,00
Coef. desoxigenação - K1 (1/d) a 20 °C	0,45
Temperatura ambiente do rio (°C)	Considerada 25 °C (ambiente)
Coef. reaeração - K2 (1/d)	0,19
OD saturação (mg/l)	9
Velocidade do rio na estação seca (m/s)	0,081



III *Sustentare* – Seminários de Sustentabilidade da PUC-Campinas
 VI WIPIS – Workshop Internacional de Pesquisa em Indicadores de Sustentabilidade
 16 a 18 de novembro de 2021

Parâmetros e/ou variáveis	Valor
Velocidade do rio na estação chuvosa (m/s)	0,138
Altura do rio na estação seca (m)	1,98
Altura do rio na estação chuvosa (m)	1,63

Portando, com os valores expostos na Tabela 3, foi aplicado o modelo simplificado de Street-Phelps, a partir de uma planilha computacional, que gera como dados de saída a distância em quilômetros em que a DBO e OD entram em equilíbrio, passando a atender a legislação ambiental vigente.

Ressalta-se que para corpos d'água de água doce classe 2, como é o caso rio Sirinhaém, a DBO deve ser menor do que 5 mg/l e a OD maior do que 5 mg/l, para manter um equilíbrio frente aos usos preponderantes do local.

Assim, a Tabela 4 expõe como ocorre o comportamento da carga poluidora lançada frente aos cenários adotados, que tratam do atendimento ao tratamento de efluentes. Com isso, relatou-se nos dados de saída, a distância em que o rio alcançará o equilíbrio, passando a ter valores de DBO e OD dentro dos parâmetros da legislação, tanto no período de seca, quanto no período de chuva.

Tabela 4 – Dados de saída frente aos cenários adotados.

Dados de entrada e saída / Cenários		Pess.	Inter.	Otim.	Pess.	Inter.	Otim.
		Seca			Chuva		
Entrada	População em 2035 (hab)	18.834	18.834	18.834	18.834	18.834	18.834
	Atendimento da população	3,91%	40%	80%	3,91%	40%	80%
Saída	Regularização da DBO (DBO < 5 mg/l), após lançamento da carga	A partir de 1,7 km após o lançamento	A partir de 0,77 km após o lançamento	Atende no início.	Atende no início.	Atende no início.	Atende no início.
	Regularização da OD (OD > 5 mg/l), após lançamento da carga	A partir de 20,29 km após o lançamento	A partir de 18,20 km após o lançamento	A partir de 15,68 km após o lançamento	Atende no início.	Atende no início.	Atende no início.

Foi evidente que ocorreu uma diferença discrepante no comportamento da carga poluidora entre as estações chuvosa e seca. Inicialmente, isso ocorre em razão dos valores de OD



III *Sustentare* – Seminários de Sustentabilidade da PUC-Campinas
 VI WIPIS – Workshop Internacional de Pesquisa em Indicadores de Sustentabilidade
 16 a 18 de novembro de 2021

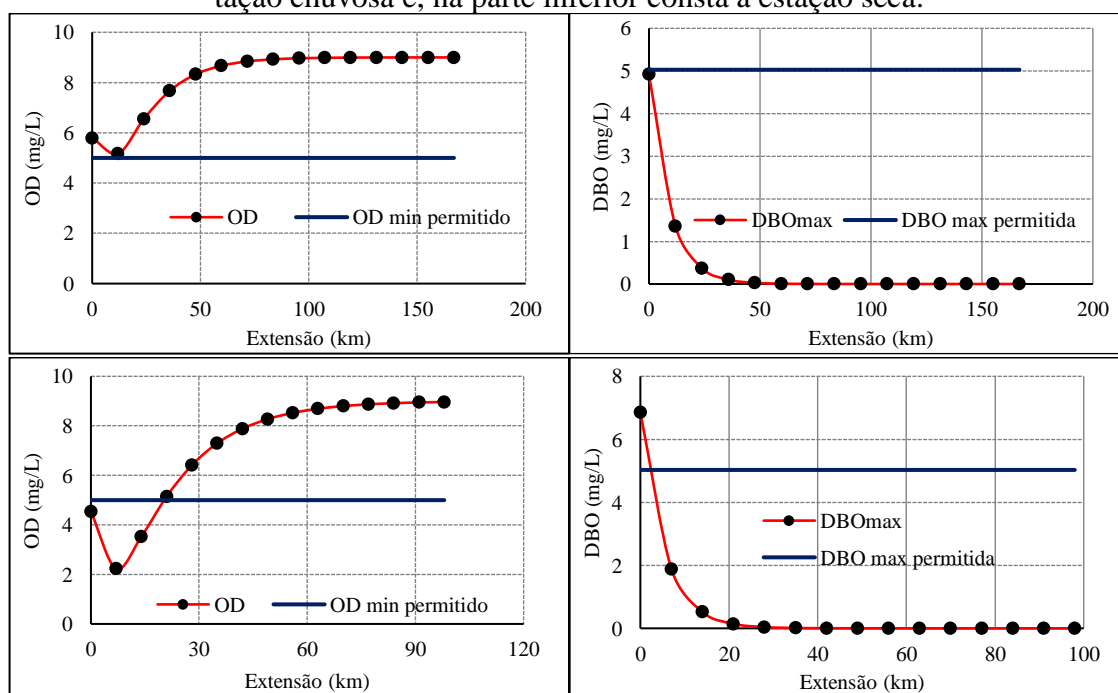
para as duas estações que consta nos relatórios de monitoramento da CPRH. Enquanto em dezembro, a média de OD corresponde a 4,62 mg/l, em junho corresponde a 5,88 mg/l.

Além disso, os valores de vazão também são maiores na estação chuvosa, contribuindo para uma diluição mais rápida da carga poluidora, onde o poder de autodepuração do rio, nesta época, foi maior. Sendo assim, na estação chuvosa em nenhum dos cenários, a DBO ou a OD ficaram em desconformidade com a legislação, já na estação da seca, no pior cenário leva 1,7 km para regularização da DBO e mais de 20,29 km para regularização da OD.

Mediante os resultados obtidos, a estação chuvosa possui um melhor comportamento, onde o lançamento da carga poluidora de Barra de Guabiraba não atinge negativamente a qualidade da água do rio Sirinhaém, possivelmente em razão dos fatores apontados como valores de vazão, OD e DBO do rio, que se encontram em melhores condições para contribuir para uma degradação mais rápida da carga orgânica. As Figuras 3 a 5 mostraram o comportamento da curva de DBO e OD nos diferentes cenários adotados.

Na Figura 3, onde mostrou o cenário pessimista, perpetuando as condições atual, em que não há tratamento efetivo dos efluentes, apenas de 3,91% da população tem esse acesso. Na estação seca, o comportamento de OD configura como desregular por 20,29 km, quando atinge 5 mg/l, já o comportamento de DBO atinge valores menores do que 5 mg/l em 1,7 km. Conforme foi mostrado na Tabela 4, em todos os cenários, na estação chuvosa, o lançamento de carga poluidora não influenciou relevantemente no comportamento de DBO e OD, inclusive no cenário pessimista, como mostra a Figura 3.

Figura 3 - Comportamento da DBO e OD no cenário pessimista, na parte superior consta a estação chuvosa e, na parte inferior consta a estação seca.

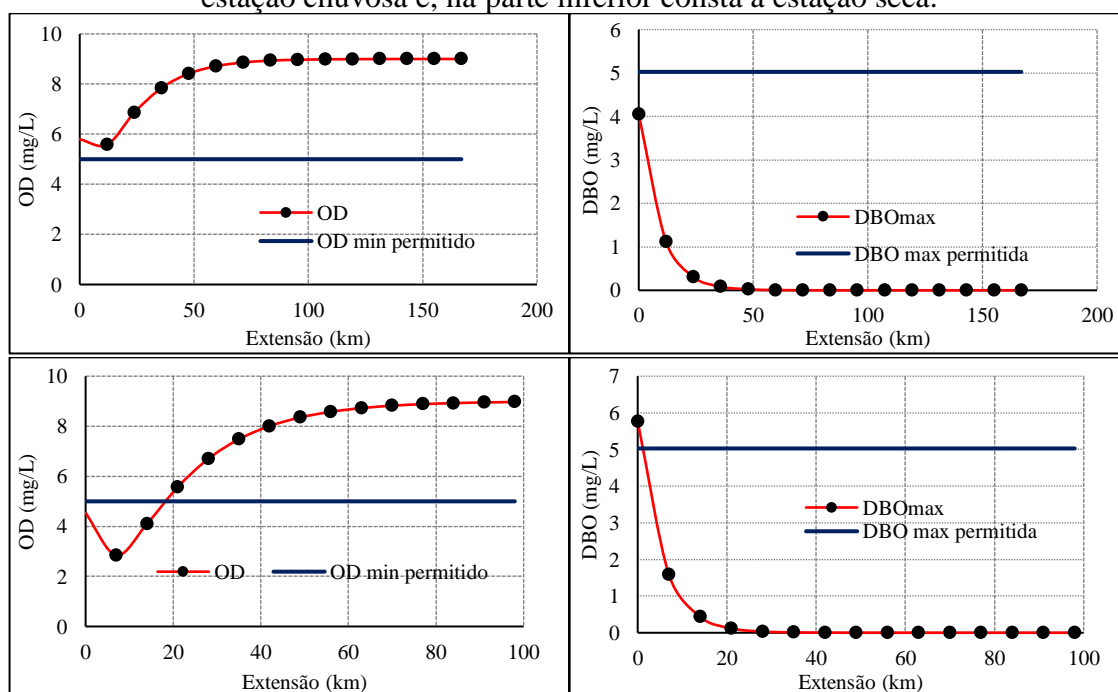




III *Sustentare* – Seminários de Sustentabilidade da PUC-Campinas
 VI WIPIS – Workshop Internacional de Pesquisa em Indicadores de Sustentabilidade
 16 a 18 de novembro de 2021

Na Figura 4, onde mostrou o cenário intermediário, considerou-se que as condições terão maiores efetividades legais, em que tratamento efetivo dos efluentes terão alcance de 40% da população, na estação da seca o comportamento de DBO configura como desregular por 0,77 km de extensão do rio, quando atinge 5 mg/l, já comportamento de OD atinge valores maiores do que 5 mg/l em 18,20 km de extensão.

Figura 4 - Comportamento da DBO e OD no cenário intermediário, na parte superior consta a estação chuvosa e, na parte inferior consta a estação seca.



Na Figura 5, denotou o cenário mais positivo, em que se considerou que as condições de acesso ao tratamento de efluentes estarão próximos da universalidade, definindo que o tratamento efetivo dos efluentes terão alcance de 80% da população, a modelagem mostrou dados que seguem a mesma lógica dos outros cenários.

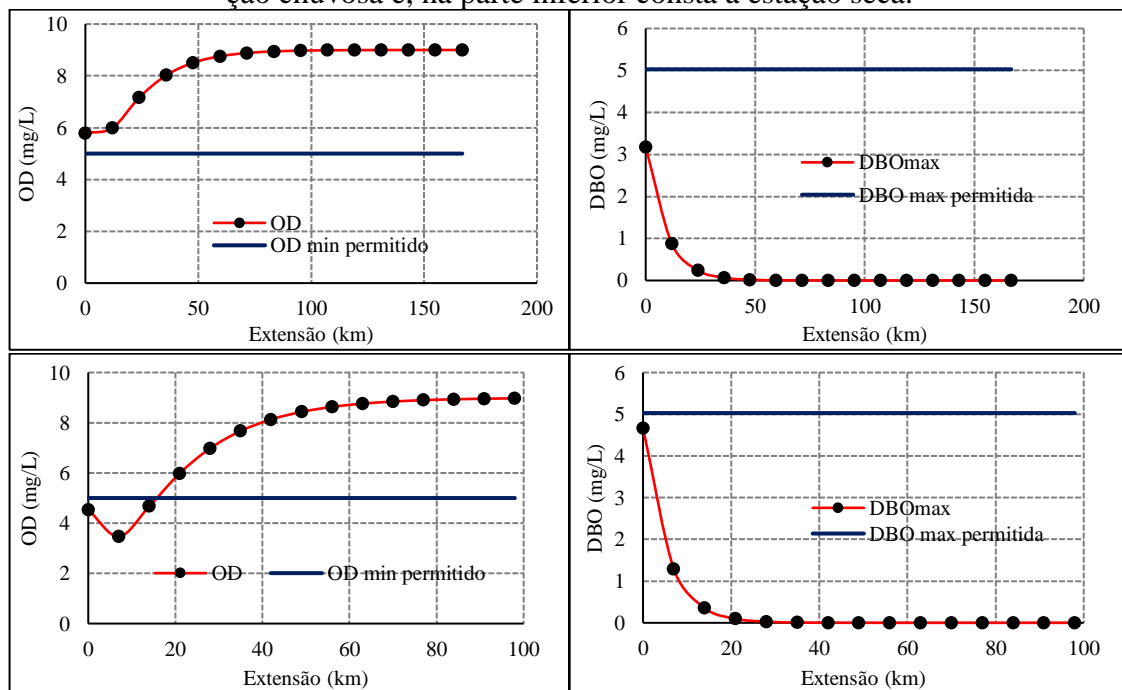
Na estação da seca, o comportamento de DBO não se configurou como desregular em nenhum trecho da extensão do rio, já o comportamento de OD atingiu valores maiores do que 5 mg/l em 15,68 km de extensão. Como neste cenário a situação foi a melhor projetada, confirmou-se a configuração de regularização da DBO de acordo com a legislação vigente e, a regularização da OD em extensões um pouco mais curtas do que os outros cenários.

A partir da aplicação do modelo de Streeter-Phelps, salienta-se a importância do tratamento universal de efluentes domésticos, bem como a adoção e aplicação de políticas de saneamento que contribuem na efetivação do desenvolvimento sustentável urbano, além de auxiliar no planejamento de recursos hídricos.



III *Sustentare* – Seminários de Sustentabilidade da PUC-Campinas
 VI WIPIS – Workshop Internacional de Pesquisa em Indicadores de Sustentabilidade
 16 a 18 de novembro de 2021

Figura 5 - Comportamento da DBO e OD no cenário otimista, na parte superior consta a estação chuvosa e, na parte inferior consta a estação seca.



Levando em consideração o tratamento mínimo necessário para remoção da DBO nos períodos de seca, foi estimado que para o rio atender a Resolução CONAMA 357/2005 (BRASIL, 2005), essa remoção deve ser de pelo menos 53,42% da carga poluidora, para o rio Sirinhaém não ultrapassar a DBO5 em 5 mg/l. Para atender a OD, são necessárias maiores investigações, pois o referido rio, pode já estar com valores em desconformidade com a legislação, chegando em Barra de Guabirada, com condições irregulares no que tange a OD, durante o período seco.

Nesse sentido, Morais (2011), em estudo sobre a qualidade da água do Igarapé Santa Isabel no Pará, com a aplicação do modelo de Streeter-Phelp, indicou que em determinados trechos de extensão, há a deficiência na autodepuração, pois a DBO e OD não obedecem aos padrões estabelecidos pelo Resolução CONAMA 357/2005 (BRASIL, 2005). Destaca-se que neste caso, não há uma presença efetiva dos órgãos ambientais no que tange a fiscalização da qualidade deste recurso hídrico, havendo deficiências no controle da quantidade de carga poluidora de efluentes que é lançada no referido igarapé.

Ademais, Chaves (2017) também com a utilização do Streeter-Phelps, avaliou a qualidade da água do riacho Carabeirinhas no estado de Alagoas. Neste estudo, obteve-se resultados que também evidenciaram a influência inadequada do lançamento de efluentes com altas concentrações de matéria orgânica, alterando a DBO e OD do referido curso hídrico, dependendo das suas condições de vazão. A comunidade de ribeirinhos habitantes da área, consiste na principal fonte de poluição na localidade.

Além dos apontamentos que devem ser frisados no que tange o acesso ao saneamento básico e tratamento de efluentes, é de grande relevância conhecer o comportamento do rio nas



III *Sustentare* – Seminários de Sustentabilidade da PUC-Campinas
VI WIPIS – Workshop Internacional de Pesquisa em Indicadores de Sustentabilidade
16 a 18 de novembro de 2021

diferentes estações do ano, em que o mesmo apresentou variadas dinâmicas envolvendo vazão, velocidade e dados de qualidade.

Portanto, com a utilização da modelagem simplificada de Streeter-Phelps, foi possível visualizar sob diferentes horizontes, transformados em cenários, evidenciando como o planejamento urbano, acerca do tratamento de efluentes, impacta a qualidade dos recursos hídricos, dependendo das características dos mesmos.

5. Conclusões

A modelagem de Streeter-Phelps apontou que a carga poluidora doméstica lançada no rio Sirinhaém possui comportamentos diferentes, dependendo da estação do ano e vazão do rio Sirinhaém.

Foi nítido que o alcance da conservação da qualidade de água, principalmente em áreas urbanas, como o município de Barra de Guabiraba - PE, depende de aspectos de infraestrutura, como acesso a coleta e tratamento de efluentes sanitários. Assim, percebeu-se que o planejamento adequado dos recursos hídricos, estão intrinsecamente relacionados aos serviços de saneamento.

6. Agradecimentos

Os autores agradecem a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa de Pós-Graduação do primeiro autor.

7. Referências bibliográficas

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA. Ministério do Desenvolvimento Regional. Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos - SNIRH. 2020.

ANDRADE, L. N. Autodepuração dos corpos d'água. Revista da Biologia, vol. 5, I.B., USP, São Paulo, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13.969: Tanques sépticos - Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos - Projeto, construção e operação. Rio de Janeiro, 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9.649: Projeto de redes coletoras de esgoto sanitário. Rio de Janeiro, 1986.

BRAGA, B.; HESPANHOL, I.; CONEJO, J.; MIERZAWA, J.; BARROS, M.; SPENCER, M.; PORTO, M. Introdução à engenharia ambiental: o desafio do desenvolvimento sustentável. 2 ed. São Paulo: Ed. Person, 2005.

BRASIL. 2005. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Resolução nº 357/2005, de 17 de março de 2005. Disponível em < <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=459>>. Acesso em 5 mai. 2020.

CETESB – COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. Índices de qualidade das águas interiores do Estado de São Paulo. São Paulo, 2009.

CHAVES, L. C. Análise da autodepuração no riacho Caribeirinhas através do modelo matemático de Streeter-Phelps. Monografia (Engenharia Civil) – Universidade Federal de Alagoas. Delmiro Gouveia, 2017.



III *Sustentare* – Seminários de Sustentabilidade da PUC-Campinas
VI WIPIS – Workshop Internacional de Pesquisa em Indicadores de Sustentabilidade
16 a 18 de novembro de 2021

CPRH - AGÊNCIA ESTADUAL DE MEIO AMBIENTE. Relatório de monitoramento da qualidade da água de bacias hidrográficas do estado de Pernambuco. Governo do estado de Pernambuco, 2018.

ESTEVES, F.A. Fundamentos de Limnologia. Editora Interciências, 2a ed, 575p, Rio de Janeiro, 1998.

FIORUCCI, A. R.; BENEDETTI FILHO, E. A Importância do Oxigênio Dissolvido em Ecossistemas Aquáticos. Revista Química Nova na Escola (QNEsc). Seção “Química e sociedade”, nov. 2005.

FUZINATTO, C. F. Avaliação da qualidade da água de rios localizados na ilha de Santa Catarina utilizando parâmetros toxicológicos e o índice de qualidade de água. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina. Centro Tecnológico. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental. Florianópolis, 2009.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. Censo Demográfico - Barra de Guabiraba. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. IBGE: 2010.

IPCC. Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III of the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Ed. Core Writing Team, R. K. Pachauri and L.A. Meyer. Geneva, Switzerland: IPCC, 2014.

ITEP - INSTITUTO DE TECNOLOGIA DE PERNAMBUCO. Relatório de impacto ambiental – RIMA: sistema de controle de cheias da bacia do rio Sirinhaém, barragem Barra de Guabiraba. ITEP, Recife, 2011.

MANNINA G., VIVIANI G. Water quality modelling for ephemeral rivers: Model development and parameter assessment. Journal of Hydrology, 2010, 393, pp. 186–196.

MONTGOMERY, H. A. C.; THOM, N. S.; COCKBURN, A. Determination of dissolved oxygen by the Winkler method and the solubility of oxygen in pure water and sea water. J. appl. Chem., 14: 280-296, 1964.

MORAIS, K. M. C. Autodepuração do Igarapé Santa Isabel no município homônimo – Aplicação do modelo de Streeter-Phelps. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Pará. Belém, 2011.

MOTA, S. Preservação de Recursos Hídricos. 2 ed. São Paulo, ABES, 1995.

O’CONNOR, D.J. & DOBBINS, W.E. Mechanism of reaeration in natural streams. Transactions of the American Society of Civil Engineers. Vol. 123, p. 641-666. 1958.

PIVELI, R.P.; KATO, M.T. Qualidade das águas e poluição: aspectos físico-químicos. São Paulo: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 285 p., 2005.

SANTOS, M. Manual de Geografia Urbana. 3ª.ed. São Paulo: Edusp, 2008.

SANTOS, R. Planejamento ambiental: teoria e prática. 1.ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2004.

SANTOS, L. D. Segurança e defesa na viragem do milênio. Sintra: Publicações EUROPA-AMÉRICA 2001.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO - SNIS. Diagnóstico do Município de Barra de Guabiraba. Ministério das Cidades, 2012.

TUNDISI, J. G. Água no século 21: enfrentando a escassez. RIMA/IEE, 2003. 247p.

VON SPERLING, M. Estudos e modelagem da qualidade da água de rios. Belo Horizonte: UFMG, 2007.



III *Sustentare* – Seminários de Sustentabilidade da PUC-Campinas
VI WIPIS – Workshop Internacional de Pesquisa em Indicadores de Sustentabilidade
16 a 18 de novembro de 2021

VON SPERLING, Marcos. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. 4 ed. Belo horizonte: Editora UFMG, 2014a.

VON SPERLING, Marcos. Estudos e modelagem da qualidade da água dos rios. 2. ed. Belo Horizonte, MG: UFMG, 2014b.