

# **AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA DE UM TRECHO DO RIO CAPIBARIBE ATRAVÉS DO MODELO QUAL-UFMG**

**Renato Alves Pereira**

renato.pereira@cprm.gov.br

**Ioná Maria Beltrão Rameh Barbosa**

ionarameh@yahoo.com.br

---

## **RESUMO**

A bacia hidrográfica do rio Capibaribe apresenta sérios problemas de poluição. Isto se deve à falta de infraestrutura sanitária dos municípios que margeiam o rio atrelado às baixas taxas de vazões. Modelos matemáticos de qualidade da água são importantes ferramentas no estudo dos efeitos da poluição por fontes pontual e não pontual, bem como a avaliação de cenários, visando o cumprimento da legislação. Este artigo apresenta os resultados da modelagem matemática da qualidade da água, utilizando o modelo QUAL-UFMG, especificamente no trecho localizado entre o ponto da estação de monitoramento (39150000) e a (39188000), totalizando um trecho de 41,2 km, que compreende os municípios de Paudalho, São Lourenço da Mata e Camaragibe na bacia do rio Capibaribe, em Pernambuco. A pesquisa obteve os dados de entrada requeridos pelo modelo, efetuou-se a calibração dos parâmetros e, em seguida, realizou-se a validação para o ano de 2011 referentes ao Oxigênio Dissolvido e a Demanda Bioquímica de Oxigênio. Como conclusão, observou-se que o esgoto doméstico advindo dos municípios de Paudalho, São Lourenço da Mata e Camaragibe e do matadouro localizado em São Lourenço da Mata, contribuem consideravelmente para a poluição do rio Capibaribe neste trecho.

Palavras-Chave: Poluição. QUAL-UFMG. Oxigênio Dissolvido. Demanda Bioquímica de Oxigênio.

## **WATER QUALITY ASSESSMENT IN A SPECIFIC STRETCH OF THE CAPIBARIBE RIVER USING THE QUAL-UFMG MODEL**

### **ABSTRACT**

The catchment area of the Capibaribe river presents serious water quality problems. This is due the lack of sanitation infrastructure in the municipalities bordering the Capibaribe river coupled up to low flows rate. Mathematical models of water quality are important tools in the study of pollution effects, specifically point and non-point sources, as well as on the scenarios evaluation, aiming to comply with the legislation. This article shows the results from a mathematical modeling of water quality using the QUAL-UFMG model in the Capibaribe river basin specifically the portion situated between the station (39150000) and (39188000), totaling 41,2km (approximately 25,60mi), which includes the city of Paudalho, São Lourenço da Mata and Camaragibe in the Capibaribe river, located in Pernambuco. The study obtained the input data required by the model and made the calibration parameters and then there was the validation for the year 2011 related to Dissolved Oxygen and Biochemical Oxygen Demand. It was concluded that the domestic sewage arising from the cities of Paudalho, São Lourenço da Mata and Camaragibe and the slaughterhouse located in São Lourenço da Mata contribute significantly to the pollution of the Capibaribe river in this area.

Keywords: Pollution. QUAL-UFMG. Dissolved Oxygen. Biochemical Oxygen Demand.

## 1 INTRODUÇÃO

Apesar de todos os avanços sociais conseguidos nos últimos anos no Brasil, em se tratando de cobertura de serviços de esgotamento sanitário, (PNSB, 2008), pouco mais da metade dos municípios brasileiros (55,2%) tinham serviço de esgotamento sanitário por rede coletora. Em relação ao tratamento adequado, esse quadro é muito mais preocupante, pois, apenas 28,5% dos municípios brasileiros fizeram tratamento de seu esgoto (IBGE, 2010). Partindo para uma análise por região brasileira, o Nordeste desponta como uma região que, pela própria natureza, demanda atenção especial no tocante à oferta de água, particularmente o Nordeste Setentrional (Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba e Pernambuco), que tem 87,8% do seu território no Semiárido (ANA, 2017).

Como se sabe, nas últimas décadas, os cursos d'água têm sido destino dos resíduos e efluentes gerados nas grandes cidades brasileiras e, dessa forma, a qualidade das águas tem sido permanentemente alterada. A industrialização e o crescimento da população sem o devido controle das fontes poluidoras têm ocasionado alterações dos parâmetros físicos, químicos e biológicos da água, resultando, assim, em problemas ambientais ligados aos recursos hídricos. A ausência de planos e de uma gestão integrada e eficiente dos recursos hídricos contribui para que problemas dessa natureza continuem existindo, ocasionando a diminuição da oferta de água e aumentando os conflitos pelo seu uso.

Diante desse cenário, é premente a busca por ferramentas que possibilitem o controle da poluição hídrica, através da geração de cenários futuros e a identificação de fontes poluidoras. Estudos de modelagem da qualidade da água se apresentam como impor-

tante ferramenta para auxiliar na definição de ações estratégicas na gestão e no planejamento de bacias hidrográficas. É possível, através da modelagem, obter e utilizar os resultados para antever as alterações na qualidade da água bem como o comportamento hídrico face ao aumento ou decréscimo da poluição existente, decorrente de fonte pontual ou difusa de poluição. Dessa forma, a modelagem matemática da qualidade da água subsidia a tomada de decisão por parte do poder público, podendo minimizar os efeitos negativos sobre a qualidade da água.

A importância do conhecimento do comportamento qualitativo do corpo d'água frente a um lançamento de efluente é de extrema relevância, tendo em vista que a legislação ambiental determina limites de alguns parâmetros em cursos d'água, de acordo com os usos de água preponderantes, atuais e futuros na bacia hidrográfica (CONAMA, 2005).

Diante do modelo denominado QUAL2E, criado pela United States Environmental Protection Agency (Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos – UESPA), o pesquisador (VON SPERLING, 2007), desenvolveu o modelo denominado de QUAL-UFMG, saindo da condição de uma linguagem computacional para a plataforma em planilha de Excel. Isso proporcionou maior clareza em cada etapa da modelagem, ficando o processo mais simples. O modelo simula os parâmetros: Oxigênio Dissolvido (OD), Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), Nitrogênio e suas frações, Fósforo e suas frações e Coliformes Termotolerantes.

Tonon (2014) observou que o modelo QUAL-UFMG se mostrou de fácil manuseio e entendimento, necessitando de conhecimento em

planilha Excel, pois trata-se de uma ferramenta “mais amigável” que os modelos originais, o que facilita um maior uso no meio acadêmico, científico e profissional.

Barbosa e Paz (2010) observaram que o modelo QUAL-UFMG se mostrou uma importante ferramenta para analisar os efeitos da poluição por fontes pontual e não pontual e para avaliação de cenários, objetivando o cumprimento da legislação pertinente.

Dessa forma, o modelo QUAL-UFMG vem se mostrando uma ferramenta precisa e indispensável para a composição de qualquer sistema

de monitoramento da qualidade de água.

O objetivo deste artigo é avaliar a qualidade da água de um trecho do rio Capibaribe, utilizando o modelo QUAL-UFMG, especificamente entre a estação fluviométrica 39150000 (Paudalho) e o posto CB-80 de monitoramento de qualidade de água da Agência Estadual de Meio Ambiente (CPRH), totalizando um trecho de aproximadamente 41,2 km, que compreende os municípios de Paudalho, São Lourenço da Mata e Camaragibe na bacia do rio Capibaribe, localizada no estado de Pernambuco.

## **2 METODOLOGIA**

### **2.1 Bacia do Capibaribe e trecho estudado**

A bacia hidrográfica do rio Capibaribe fica localizada na porção Nordeste do estado de Pernambuco, possui uma área que corresponde a aproximadamente 7,58% do território Pernambucano (SRH-PE, 2010). O rio Capibaribe nasce entre as cidades de Jataúba e Poção, e escoar por vários centros urbanos, percorrendo uma extensão de 240 km, onde serve para drenar os efluentes industriais e domésticos. É um dos principais patrimônios hídricos do Estado de Pernambuco, podendo abastecer 42 municípios e 3.474.198 habitantes que residem na região do Agreste e zona urbana da Região Metropolitana de Recife (SILVA et al., 2011).

Segundo a Agência Nacional de Águas, na bacia do Capibaribe, em Pernambuco, se verifica a menor disponibilidade de água per capita do Brasil (ANA, 2005). Adicionalmente a isto, o Capibaribe apresenta um quadro de poluição gerado pelo lançamento de resíduos sólidos e líquidos, orgânicos e

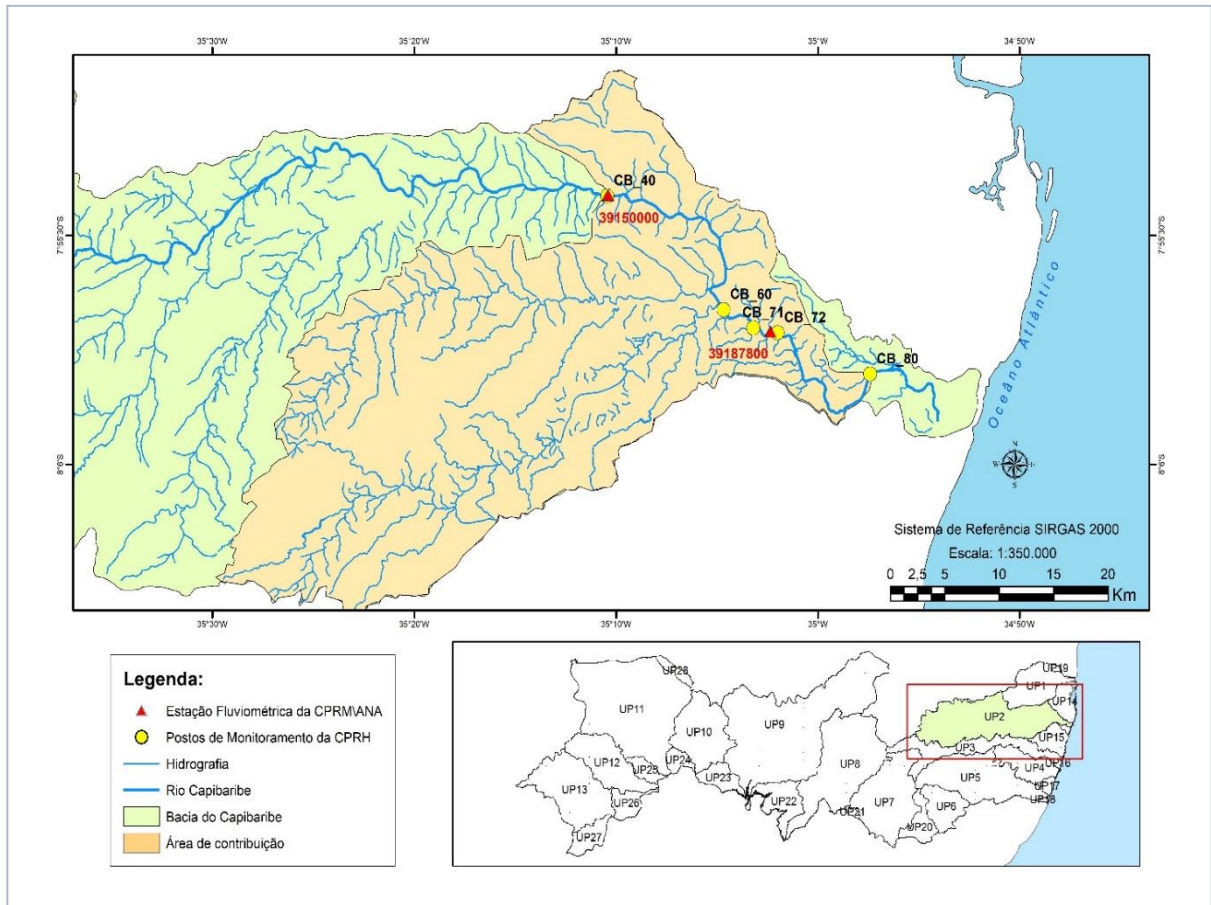
inorgânicos, industriais e agrícolas gerados pela população de seu entorno, pelo polo de confecções no Alto Capibaribe e pela cadeia produtiva sucroalcooleira, situada no terço médio a baixo da bacia (SRH-PE, 2010).

A escolha do trecho a modelar foi determinada em função de alguns fatores, dentre eles, a disponibilidade de dados, assim como a escolha de um segmento com a ausência de barramentos (reservatórios), uma vez que estes interferem consideravelmente nas condições hidráulicas do rio.

O trecho escolhido está localizado entre a estação fluviométrica 39150000 (Paudalho) e o posto de monitoramento de qualidade de água da CPRH (CB-80), totalizando uma extensão de 41,2 km de distância (Figura 1). Nesse trecho há cinco pontos de monitoramento da qualidade da água que são operados pela CPRH, além de dois postos fluviométricos operados pela Companhia de

Pesquisas de Recursos Minerais (CPRM) em parceria com a Agência Nacional de Águas (ANA).

Figura 1- Localização do trecho estudado na bacia do Capibaribe localizada no estado de Pernambuco



Fonte: o próprio autor (2019)

Vale ressaltar que nesse trecho, o rio Capibaribe recebe contribuição de diversos afluentes ao longo de seu

percurso, o que faz com que a sua vazão aumente ao decorrer de seu percurso (Figura 2).

Figura 2 – Diagrama Unifilar do trecho estudado



Fonte: o próprio autor (2019)

A localização das estações fluviométricas e dos postos de monitoramento da qualidade de água

estudados estão descritos na (Tabela 1).

Tabela 1. Localização dos postos de qualidade da água da CPRH das estações fluviométricas da CPRM/ ANA

Posto / Estação	Corpo d'água	Localização
CB-40	Rio Capibaribe	A jusante da cidade de Paudalho, na ponte da BR-408, no município de Paudalho.
CB-60	Rio Capibaribe	Rio Capibaribe, Após receber seus afluentes, rios Goitá e Tapacurá, na ponte à montante da Usina Tiúma, captação da Compesa, no município de São Lourenço da Mata
CB-71	Rio Capibaribe	Rio Capibaribe, na captação da Compesa - Castelo, no município de São Lourenço da Mata
CB-72	Rio Capibaribe	Rio Capibaribe, a jusante da cidade de São Lourenço da Mata, no local da antiga Barragem, no município de São Lourenço da Mata
CB-80	Rio Capibaribe	Na ponte da Av. Caxangá, na cidade do Recife.
39150000	Rio Capibaribe	Na ponte da BR 408 que liga Paudalho a São Lourenço da Mata
39187800	Rio Capibaribe	A 100 metros à montante da ponte da Avenida Oito de Maio, no município de São Lourenço da Mata.

Fonte: o próprio autor (2015)

## 2.2 Modelo e Dados Requeridos

Foi utilizado o modelo QUAL-UFMG (VON SPERLING, 2007) para modelagem do Oxigênio Dissolvido (OD) e Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) na área de estudo. Tal modelo se baseia no QUAL2E, desenvolvido pela U.S Environmental Protection Agency (USEPA) que, por sua vez, utiliza as equações de Streeter-Phelps e foi escolhido devido à larga utilização em rios brasileiros, à simplicidade conceitual e à menor necessidade de parâmetros e dados de entrada para realização dos cálculos (VON SPERLING, 2007).

A escolha do período estudado se deu em função da menor disponibilidade hídrica, ou seja, no período de estiagem, onde a água se encontra em níveis críticos e a diluição

dos efluentes se torna mais difícil. Foi escolhido os meses de outubro a março no período de 2001 a 2013.

O modelo QUAL-UFMG (2007) necessita dos seguintes dados de entrada:

- Vazão do rio, a montante do lançamento ( $Q_r$ ) e vazão de esgotos ( $Q_e$ );
- Oxigênio Dissolvido no rio, a montante do lançamento ( $OD_r$ );
- Oxigênio Dissolvido no esgoto ( $OD_e$ );
- $DBO_{5,20^\circ C}$  no rio, a montante do lançamento ( $DBO_r$ ) e  $DBO_{5,20^\circ C}$  do esgoto ( $DBO_e$ );
- Coeficiente de desoxigenação ( $K_1$ ) e coeficiente de decomposição ( $K_d$ );
- Coeficiente de reaeração ( $K_2$ );
- Velocidade de percurso do rio ( $v$ ) e profundidade do rio ( $H$ );

- Tempo de percurso (t) e temperatura do líquido (T);
- Concentração de saturação de OD ( $C_s$ );
- OD mínimo permissível ( $OD_{\min}$ ) e DBO máxima permissível ( $DBO_{\max}$ ).

Para a calibração, validação e simulação de cenários futuros foram necessárias, entre outros dados, as séries históricas de vazão dos postos fluviométricos contidos no trecho estudado, além dos parâmetros hidráulicos de velocidade e profundidade do rio, aos quais foram obtidos da Agência Nacional de Águas (ANA) no Sistema de Informações Hidrológicas (Hidroweb) e os dados de OD, DBO e temperatura do rio obtidos da Agência Estadual de Meio Ambiente (CPRH).

### **2.3 Vazão de esgotos, OD e DBO nos esgotos**

Para aplicação no modelo, foi considerada a carga orgânica proveniente dos esgotos domésticos das cidades de Paudalho, Camaragibe e São Lourenço da Mata e de um matadouro localizado neste último município, aos quais lançam seus efluentes sem o devido tratamento.

Para a determinação da carga orgânica média lançada ao rio pelos núcleos urbanos das referidas cidades foi preciso obter a vazão média de efluentes (domésticos e do matadouro) e a sua concentração. A vazão média de esgoto doméstico utilizou a população média no período estudado obtida do Censo Demográfico do IBGE (IBGE, 2010) e foi atualizada em função da taxa de crescimento demográfico médio verificada no período de estudo.

Em relação ao OD e à DBO, considerou-se os valores de 0 mg/L e 300 mg/L, respectivamente, conforme apresentado por Von Sperling (2007).

O cálculo da vazão média do matadouro de São Lourenço da Mata utilizou o número de cabeças de gado, porcos e cabritos abatidos por dia, levando-se em consideração que a alta estação de abate se encontra entre os meses de outubro e dezembro. A determinação da  $DBO_{5,20^{\circ}C}$  do matadouro levou em conta valores de referência apresentados por Von Sperling (1996).

Para a concentração de DBO nos esgotos, a quota per capita de esgoto é de 250 L/hab.dia, dessa forma, a concentração de DBO para o esgoto de Camaragibe, São Lourenço da Mata e Paudalho foram de 209 mg/L, 201 mg/L e 271 mg/L, respectivamente. No caso do matadouro a concentração de DBO utilizada foi de 6805,07mg/L. Estes valores foram obtidos levando em consideração a quantidade média de cabeças de bois, porcos e cabritos e os devidos coeficientes de carga média de DBO produzidos por estes animais.

### **2.4 OD, DBO e temperatura do rio ao longo do trecho**

Os dados médios observados de OD, DBO e temperatura nos meses de estiagem ao longo do trecho estudado foram obtidos da série histórica de qualidade de água dos postos de monitoramento CB-40, CB-60, CB-71, CB-72 e CB-80 da Agência Estadual de Meio Ambiente (CPRH). A frequência do monitoramento foi bastante variada no período de 2001 a 2013, porém a maioria das coletas se deu a cada três meses.

### **2.5 Vazão do rio ( $Q_r$ )**

De todas as variáveis que influenciam a capacidade de assimilação de poluentes, a vazão do rio é a de maior importância (VON SPERLING, 2007). Para o cálculo da vazão média do posto de inicial do trecho (39150000) localizado no

município de Paudalho, foram coletados os valores das vazões de todos os meses entre os anos de 2001 a 2013 das estações fluviométricas.

$$Q_{CB-40} = \sum Q_i(2001 - 2013) \quad (01)$$

$$Q_{esp} = \frac{Q_s - Q_p}{A_s - A_p} \quad (02)$$

Onde:

$Q_{CB-40}$  é a vazão média de entrada ( $m^3/s$ );

$\sum Q_i(2001 - 2013)$  é a média histórica das vazões entre 2001-2013 da estação fluviométrica (39150000) nos meses de estiagem (outubro a março);

$Q_{esp}$  é a vazão específica incremental entre os postos fluviométricos de Paudalho e São Lourenço da Mata ( $m^3/s/km^2$ );

$Q_s$  é a vazão média do posto fluviométrico de São Lourenço da Mata ( $m^3/s$ );

$Q_p$  é a vazão média do posto fluviométrico de Paudalho ( $m^3/s$ );

$A_s$  é a área de drenagem do posto fluviométrico de São Lourenço da Mata ( $km^2$ );

$A_p$  é a área de drenagem do posto fluviométrico de Paudalho ( $km^2$ ).

As vazões incrementais ao longo do percurso a cada 100 metros, metodologia utilizada no modelo de Streeter e Phelps (1925), foram calculadas com base nos dados de vazão dos postos fluviométricos de São Lourenço da Mata (39187800) e Paudalho (39150000).

$$Q_{li} = Q_{linear} \times 0,1 \quad (03)$$

$$Q_{linear} = \frac{Q_{inc}}{L_{CB-40-São L.M}} \quad (04)$$

Onde:

$Q_{li}$  é a vazão linear incremental entre a estação inicial localizada em Paudalho e a estação fluviométrica de São Lourenço da Mata, por incremento de trecho, a cada 100 metros (0,1km), conforme solicita o modelo QUAL-UFMG ( $m^3/s$ );

$Q_{linear}$  é a vazão incremental linear por km entre a estação inicial localizada em Paudalho e o posto fluviométrico de São Lourenço da Mata ( $m^3/s/km$ );

$Q_{inc}$  é a vazão incremental entre a estação inicial localizada em Paudalho e o posto fluviométrico de São Lourenço da Mata ( $m^3/s$ );

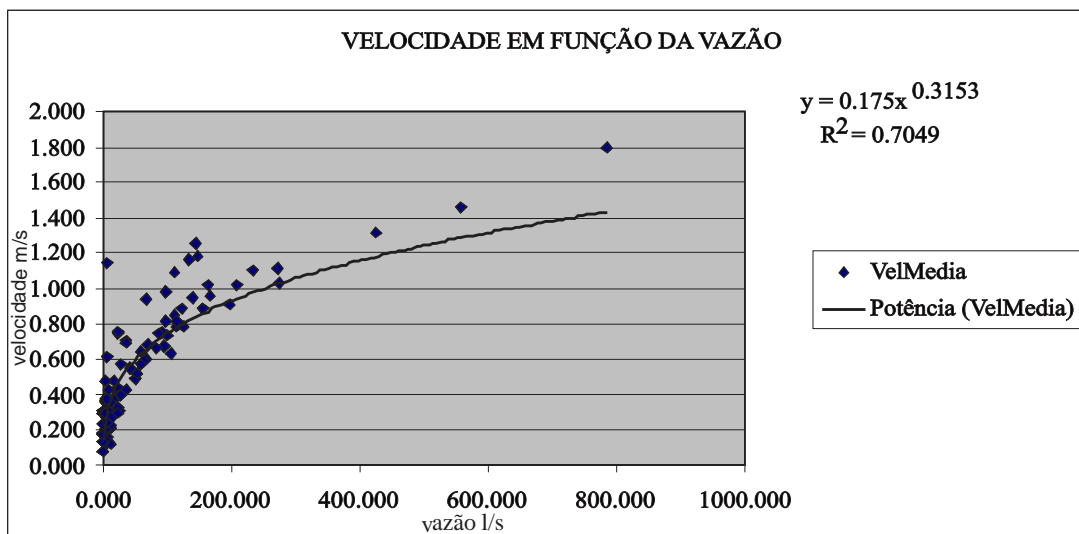
$L_{CB-40-São L.M}$  é o comprimento do percurso do rio Capibaribe entre a estação inicial localizada em Paudalho e o posto fluviométrico de São Lourenço da Mata (km);

## 2.6 Velocidade de percurso (v) e profundidade do rio (H)

Pelo posto fluviométrico da cidade de Paudalho, obteve-se os valores históricos de velocidade (Figura 3) e profundidade (Figura 4). Com esses dados realizou-se uma estimativa da velocidade e profundidade através da correlação com a vazão observada no posto fluviométrico localizado no trecho estudado, conforme indicado por Von Sperling (2007), quando se deseja estimar a velocidade da massa líquida num curso d'água.

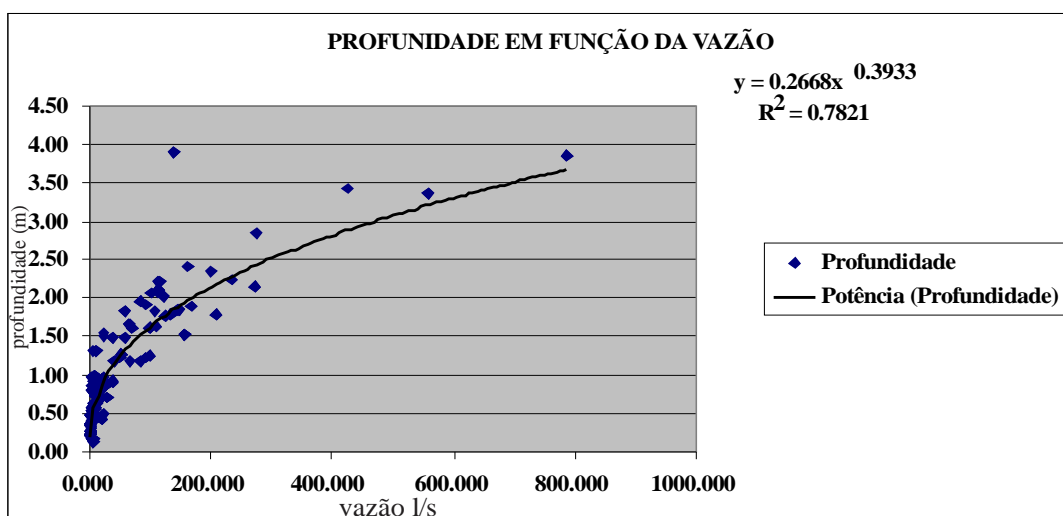


Figura – 4 Correlação da velocidade em função da vazão



Fonte: o próprio autor (2019)

Figura 5 – Correlação da profundidade em função da vazão



Fonte: o próprio autor (2019)

## 2.7 Determinação dos coeficientes iniciais $K_1$ , $K_d$ , $K_s$ e $K_2$

Conforme Ide e Ribeiro (2008), a calibração do modelo é realizada pelo ajuste de coeficientes, que podem variar dentro de faixas determinadas, permitindo adequar as equações matemáticas às realidades físicas da área de estudo. Mancuso e Santos, (2003) afirmam que o coeficiente  $K_1$  representa a taxa de decomposição da matéria orgânica biodegradável, a qual,

por sua vez, depende de uma série de fatores físicos, químicos e biológicos.

Entre tais fatores destacam-se principalmente a temperatura e a composição do efluente. O coeficiente  $K_d$  é a incorporação da decomposição da matéria orgânica pela biomassa suspensa na massa líquida, bem como pela biomassa no lodo de fundo. O  $K_s$  representa o quociente entre a velocidade de sedimentação do material orgânico sedimentável (DBO

sedimentável) e a profundidade do rio (VON SPERLING, 2007).

Como dado requerido pelo modelo QUAL-UFMG, a determinação dos coeficientes  $K_1$ ,  $K_2$  e  $K_d$  foi feita de acordo com valores citados em literatura (Tabela 2).

O trecho modelado é considerado raso e recebe esgoto bruto concentrado, portanto os valores médios iniciais de  $K_1$ ,  $K_d$  e  $K_s$  são, respectivamente, 0,4, 0,75 e 0,22 a 20°C. Já o  $K_2$  é o coeficiente de reaeração e depende da difusividade

do oxigênio na água e da intensidade da turbulência do escoamento, aumentando seu valor, quanto mais intensa for a turbulência. O coeficiente  $K_2$  também é estimado, conforme mostra a (Quadro 1). Estes valores foram tomados como ponto de partida para a calibração do modelo, visando obter coeficientes mais condizentes com a realidade da bacia, que levem a menor diferença entre os dados de qualidade observados e estimados pelo modelo. Deve ser ressaltado que o valor dos coeficientes depende da temperatura, pois essa variável exerce uma grande influência.

Tabela 2. Valores típicos dos coeficientes de remoção de DBO ( $K_1$  e  $K_d$ ) (base e, 20°C).

Origem	$K_1$	Rios rasos			Rios profundos		
		Decomp. $K_d$	Sediment. $K_s$	Remoção $K_r$ ( $=K_s+k_d$ )	Decomp. $K_d$	Sediment. $K_s$	Remoção $K_r$ ( $=K_s+k_d$ )
Curso d'água recebendo esgoto bruto concentrado	0,35-0,45	0,50 - 1,00	0,10 - 0,35	0,60 - 1,35	0,35 - 0,50	0,05 - 0,20	0,40 - 0,70
Curso d'água recebendo esgoto bruto de baixa concentração	0,30-0,40	0,40 - 0,80	0,05 - 0,25	0,45 - 1,05	0,30 - 0,45	0,00 - 0,15	0,30 - 0,60
Curso d'água recebendo efluente primário	0,30-0,40	0,40 - 0,80	0,05 - 0,10	0,45 - 0,90	0,30 - 0,45	0,00 - 0,05	0,30 - 0,50
Curso d'água recebendo efluente secundário	0,12-0,24	0,12 - 0,24	-	0,12 - 0,24	0,12 - 0,24	-	0,12 - 0,24
Curso d'água com águas limpas	0,08-0,20	0,08 - 0,20	-	0,08 - 0,20	0,08 - 0,20	-	0,08 - 0,20

Fonte: (FAIR et al.; ARCEIVALA; VON SPERLING; 1973, 1981, 2007)

Quadro 1. Valores típicos de  $K_2$  (base e, 20° C).

Origem	$K_2$ (d <sup>-1</sup> )	
	Decomp. $K_d$	Sediment. $K_s$
Pequenas lagoas	0,12	0,23
Rios vagarosos, grandes lagos	0,23	0,37
Grandes rios com baixa velocidade	0,37	0,46
Grandes rios com velocidade normal	0,46	0,69
Rios rápidos	0,69	1,15

Fonte: Von Sperling (2007)

A calibração do modelo se deu de forma manual e o trecho estudado foi dividido em quatro partes, delimitados pelos postos de qualidade, resultando em valores diferentes para

os coeficientes do modelo ( $k_1$ ,  $k_d$ ,  $k_2$ ) em cada trecho. A (Tabela 3) mostra os valores obtidos para cada coeficientes.

Tabela 3. Valores de  $K_1$ ,  $K_d$ ,  $K_s$  e  $K_2$  obtidos através da calibração manual do modelo para os quatro trechos

Trecho	$K_1$	$K_d$	$K_s$	$K_2$
CB-40 /CB-60	1.00	1.10	0.60	1.29
CB-60 /CB-71	1.03	0.05	0.10	4.50
CB-71 /CB-72	0.11	4.39	2.10	4.00
CB-72 /CB-80	0.30	0.65	0.76	1.92

Fonte: o próprio autor (2019)

Segundo Von Sperling (2007), os teores de Oxigênio Dissolvido mínimo a serem mantidos nos corpos d'água são estipulados através da legislação aplicável no país ou na região. No Brasil, os valores variam em função da classe em que o corpo

d'água está enquadrado. Os teores mínimos permissíveis de OD e máximos de DBO nos corpos d'água doce em função da classe a que pertencem estão apresentados na (Tabela 4), segundo a Resolução CONAMA 357/2005.

Tabela 4. Teores mínimos de OD e máximos de DBO permissíveis, segundo as classes

Classe	OD mínimo (mg/L)	DBO máxima (mg/L)
Especial	Não são permitidos lançamentos, mesmo tratados	Não são permitidos lançamentos, mesmo tratados
1	6,0	3,0
2	5,0	5,0
3	4,0	10,0
4	2,0	-

Fonte: (Brasil, 2005)

Dessa forma, nos trechos que estão fora dos padrões recomendados, deve-se considerar uma determinada redução de matéria orgânica, traduzida em termos de DBO, proporcionada pelo nível de eficiência da ETE, para que os efluentes sejam lançados em consonância com a legislação ambiental.

## 2.8 Calibração dos coeficientes do modelo QUAL-UFMG

Todos os dados iniciais obtidos foram introduzidos na planilha QUAL-UFMG. Após o preenchimento da planilha foi realizada a calibração do modelo, uma das etapas mais difíceis da modelagem. Para Sperling (2007), a calibração consiste em obter um bom ajuste entre os dados observados e estimados (calculados pelo modelo) por meio da variação dos coeficientes do modelo. Segundo Reis (2006), a calibração depende de uma combinação de dados hidráulicos, hidrológicos e de qualidade da água.

Assim, é uma atividade que demanda tempo e certa estrutura de apoio de campo, laboratorial e computacional.

Von Sperling (2007) mostra que a calibração pode ser realizada de duas formas: manualmente, variando os valores dos parâmetros de forma que a soma dos quadrados dos erros diminua, até que se obtenha um ajuste satisfatório, ou de forma automatizada, por meio de métodos de otimização que faça a busca entre possíveis valores dos coeficientes e conduza à menor soma dos quadrados dos erros. Para a modelagem do trecho em estudo foi realizada as duas formas de calibração, para posterior comparação de qual metodologia mostrou-se mais adequada.

Primeiramente foi utilizada a calibração automatizada, através da ferramenta Solver do Excel, muito utilizada para otimização e solução de equações. Depois foi realizada a calibração manual, na qual o trecho foi dividido em três, separados pelos postos de monitoramento da qualidade, para assim se obter valores adequados à cada situação. Foi utilizado para as duas calibrações o Coeficiente de Determinação (CD) para indicar o método mais adequado. Este é um dos indicadores estatísticos mais úteis de ajuste dos dados estimados aos dados observados, sendo expresso como:

$$CD = 1 - \frac{\sum (Y_{obs} - Y_{est})^2}{\sum (Y_{obs} - Y_{obsméd})^2} \quad (05)$$

Onde:

$Y_{obs}$  é o valor observado;

$Y_{est}$  é o valor estimado;

$Y_{obsméd}$  é a média dos valores observados.

Os valores de CD podem variar entre  $-\infty$  e  $+1$ . Coeficiente de determinação igual a 1 indica perfeito

ajuste entre os dados observados e estimados.

Para a calibração do modelo, fez-se necessária a distribuição da carga orgânica em vários afluentes, devido ao lançamento de esgoto doméstico dos municípios ao longo do rio, levando em consideração que estes escoam por canais de drenagem ou afluentes que contribuem para a vazão do Capibaribe no trecho estudado. O Google Earth foi de grande auxílio nesta etapa de identificação dos pontos de contribuição.

### 3 RESULTADOS E ANÁLISE

Em Pernambuco, os rios ainda não foram enquadrados conforme preconiza a Resolução 357/2005 do CONAMA. Sendo assim, esta Resolução determina que enquanto não aprovados os respectivos enquadramentos, as águas doces serão consideradas classe 2, as salinas e salobras classe 1.

O rio Capibaribe, no trecho estudado, por ser tratar de água doce foi considerado Classe 2. Portanto, o teor mínimo de OD e máximo de DBO no rio deve ser de 5,0 mg/L.

Após o preenchimento dos dados iniciais, foi obtido o percentual da extensão do trecho que atende à Resolução CONAMA 357/2005, para rios de Classe 2, que foi de 5,1% e 62,2% para os perfis de Oxigênio Dissolvido e Demanda Bioquímica de Oxigênio, respectivamente. A aplicação do modelo QUAL-UFMG possibilitou verificar que o rio Capibaribe não conseguiu se autodepurar em boa parte do trecho estudado, com apenas 5,1% de todo o trecho que atende aos padrões de oxigênio dissolvido da Resolução 357/2005 para a Classe 2. Já para o parâmetro de Demanda Bioquímica de Oxigênio, o rio Capibaribe mostrou um desempenho melhor ao longo de seu trecho, ou seja,

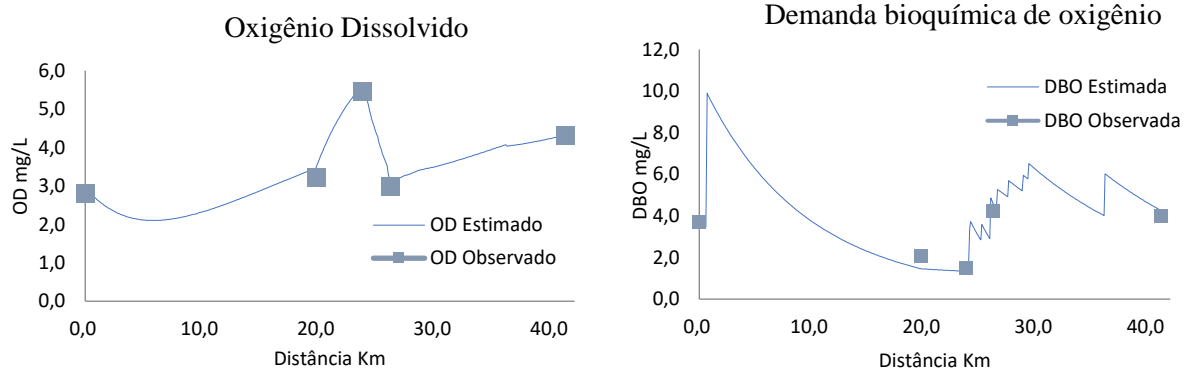
62,2% do trecho ficou abaixo de 5,0mg/L.

O resultado confirma um quadro de degradação ambiental bem acentuado no trecho estudado, com vários lançamentos de esgoto bruto diretamente no rio e nos afluentes do rio Capibaribe no trecho em estudo. Outra fonte importante de degradação é constituída pelo matadouro localizado no município de São Lourenço da Mata.

Tomando-se como critério o coeficiente de determinação, a calibração manual mostrou-se bem

mais eficiente que a automatizada, visto que essa apenas obtém um valor médio constante ao longo do trecho, o que não ocorre na realidade. Com a calibração do modelo, observou-se uma boa concordância entre os valores estimados e observados tanto para o DBO quanto para a OD, com um coeficiente de determinação (CD) de **0,904** **0,974**, respectivamente (Figura 6).

Figura 6 - Comparação dos valores estimados e observados do perfil de oxigênio dissolvido e demanda bioquímica de oxigênio



Fonte: o próprio autor (2019)

Em seguida, a área de estudo foi avaliada em toda sua extensão, observando a qualidade da água e a possibilidade de emissão de outorgas no cenário atual, para um cenário hipotético. A análise aqui proposta tem como finalidade assegurar a qualidade necessária para a manutenção do rio na classe 2 de enquadramento, segundo a Resolução CONAMA 357/2005.

Após calibração e validação do modelo QUAL-UFGM, foram simulados cenários de tratamento com eficiência de 30%, 70% e 95% de redução da carga orgânica dos efluentes lançados no rio Capibaribe para OD (Figura 7) e

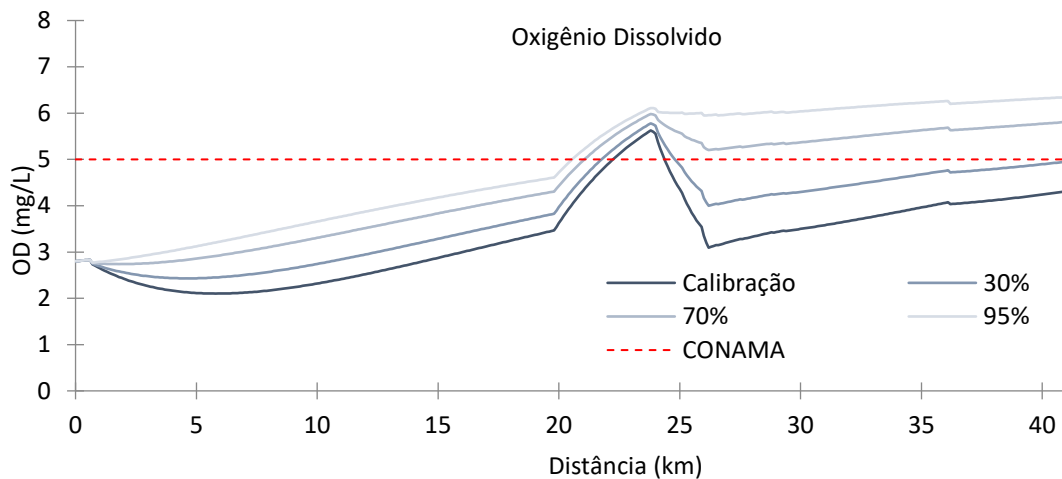
DBO (Figura 8), advindos dos municípios de Camaragibe e São Lourenço da Mata e do matadouro existente neste último município. O primeiro cenário, com tratamento de 30% dos efluentes, resultou no aumento de 5,1% (calibração) para 7,3% do trecho do rio estudado que está dentro dos padrões do CONAMA, para a concentração de oxigênio dissolvido. No segundo cenário, com tratamento de 70% dos efluentes, resultou no aumento de 5,1% (calibração) para 49% do trecho do rio estudado que está dentro dos padrões do CONAMA, para a concentração de oxigênio dissolvido. E no último

cenário, com tratamento de 95% dos efluentes, o percentual do trecho do rio dentro dos padrões foi de 50,2%.

Já para o parâmetro de DBO, o primeiro cenário com tratamento de 30% dos efluentes, resultou no aumento de 62,62% (calibração) para 89,3% do trecho do rio estudado que está dentro dos padrões do CONAMA, para a concentração de Demanda Bioquímica de Oxigênio. No segundo

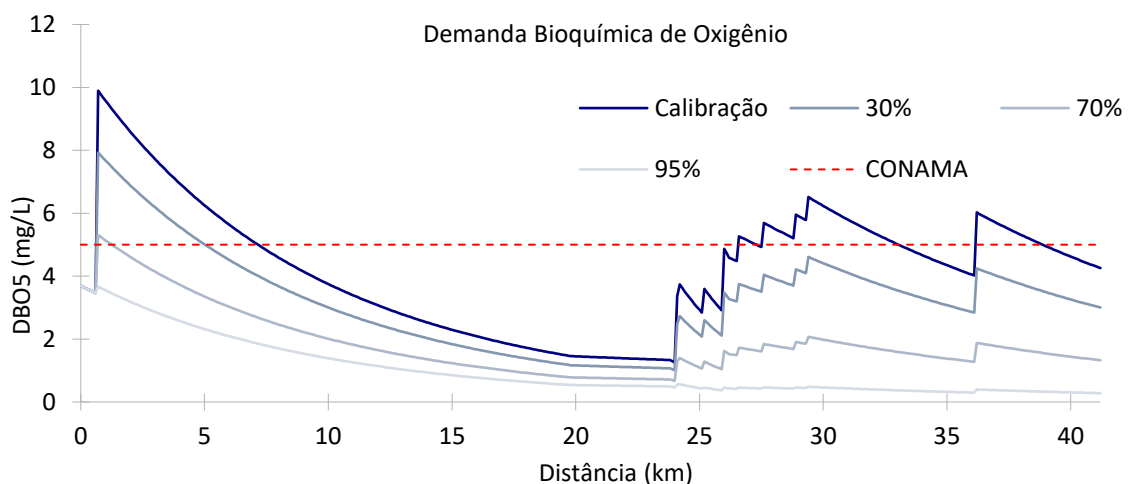
cenário, com tratamento de 70% dos efluentes, resultou no aumento de 62,62% (calibração) para 98,5% do trecho do rio estudado que está dentro dos padrões do CONAMA, para a concentração de Demanda Bioquímica de Oxigênio. Por fim, no último cenário, 100% do trecho do rio, ou seja, os 41,2 km de extensão, estão dentro dos padrões da Resolução CONAMA 357/2005 (Figura 9).

Figura 7 - Perfil de OD ao longo do rio e o limite de atendimento aos padrões classe 2 de águas doces, após simulação de tratamento de 30%, 70% e 95%



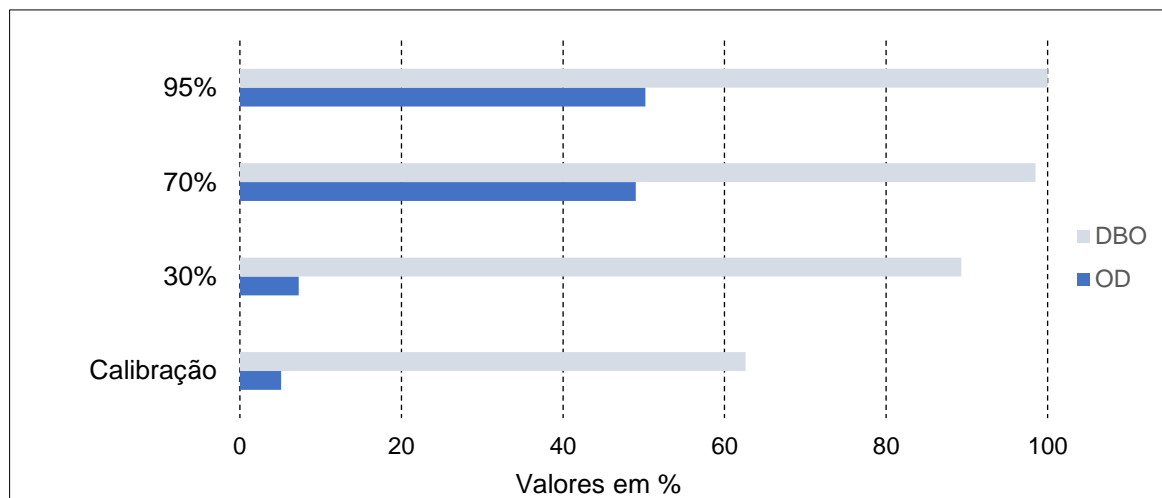
Fonte: o autor (2019)

Figura 8 - Perfil de DBO ao longo do rio e o limite de atendimento aos padrões classe 2 de águas doces, após simulação de tratamento de 30%, 70% e 95%



Fonte: próprio autor (2019)

Figura 9 – Comparação dos valores de OD e DBO na calibração e nas simulações de tratamento de efluentes com 30%, 70% e 95% de eficiência.



Fonte: próprio autor (2019)

## 5 CONCLUSÕES

A indisponibilidade de dados tais como vazão, OD, DBO e temperatura na bacia hidrográfica do rio Capibaribe fez com que fosse necessário trabalhar com média e valores aproximados que nem sempre condiz com a realidade. No entanto, o modelo QUAL-UFMG, mostrou-se bem eficiente e, sendo assim, pode representar muito bem o que realmente ocorre neste trecho do rio. Porém, a necessidade de mais pontos de monitoramento da qualidade da água é evidente, de tal forma, que possa melhorar a modelagem e simular cenários mais próximos da realidade.

Torna-se necessário o tratamento desses efluentes de forma que garanta uma eficiência de 70% (ou mais) de redução de carga orgânica para que

seja atendido o que recomenda à Resolução CONAMA 357/2005.

Os resultados mostram também que o rio Capibaribe, apesar de estar no período de estiagem, possui uma boa capacidade de autodepuração no trecho analisado, mas devido à grande quantidade de esgoto lançado, não consegue encontrar um equilíbrio, visto que em apenas um pequeno trecho do rio alcançou o teor de oxigênio dissolvido mínimo recomendado pela CONAMA 357/05 para rios de água doce que ainda não estão enquadrados.

Conclui-se que o esgoto doméstico advindo dos municípios de Paudalho, São Lourenço da Mata e Camaragibe e do matadouro existente neste último município, contribuem consideravelmente para a poluição do rio Capibaribe neste trecho.

## REFERÊNCIAS

ANA: disponibilidade e demandas de recursos hídricos no Brasil. **Agência Nacional de Águas**, Brasília, 2005. Disponível em: <http://arquivos.ana.gov.br/planejamento/planos/pnrh/VF%20DisponibilidadeDemanda.pdf>. Acesso em: 05 fev. 2016.

ANA: hidroweb – Sistema de Informações Hidrológicas. **Agência Nacional de Águas**, Brasília, 2005. Disponível em: <http://www.ana.gov.br/hidroweb>. Acesso em: 25 set. 2015

ANA: relatório de conjuntura dos recursos hídricos. **Agência Nacional de Águas**, Brasília, 2017.

BRASIL. **Resolução CONAMA nº 357, de 17 de Março de 2005**. Dispõe sobre a classificação dos corpos d'água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>. Acesso em: 20 set. 2015

IBGE. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2010**. Disponível: <https://censo2010.ibge.gov.br/noticiascenso.html?busca=1&id=1&idnoticia=1691&t=pnsb-2008-abastecimento-agua-chega-99-4-municipios-coleta-lixo-100-rede&view=noticia>. Acesso em 03 set. 2015.

IDE, W.R.; RIBEIRO, M.L. **Calibração do modelo de qualidade de água QUAL-UFMG para o Rio Taquarizinho em período de estiagem**. Tese (Doutorado em Engenharia Ambiental) Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Mato Grosso, Belo Horizonte, 2009.

MANCUSO, P.C.S.; SANTOS, H. F. **Reúso da água**. Barueri, Manole. São Paulo, 2003.

PAZ, D.H.I. da; BARBOSA, I.M.B.R. **Estudo da redução da carga orgânica lançada em um trecho do Rio Capibaribe para atendimento à legislação ambiental**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 19., 2010. Anais... Maceió, 2010.

PNSB. **Pesquisa Nacional de Saneamento**, 2008. Disponível: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv45351.pdf>. Acesso em 15 nov. 2015.

REIS, J. S. A., 2006. **Modelagem matemática da qualidade de água para o Alto Rio das Velhas/ MG**. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Ouro Preto. Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental.

SILVA, R.C.P. et al. **Impactos Ambientais na bacia do rio Capibaribe: Avaliação da Poluição de suas águas no centro da cidade do Recife – PE**. In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 19., Maceió. Anais... Maceió: ABRH, 2011.

SRHE. **Plano Hidroambiental do Rio Capibaribe**. 2010. Disponível em: <http://www.sirh.srh.gov.br/hidroambiental/>. Acesso em: 29 nov. 2014.

STREETER, H.W; PHELPS, E.B., 1925. **A study of the pollution and natural purification of the Ohio River**. Public Health Bulletin, Washington.



TONON, K. **Modelagem da qualidade da água utilizando os modelos STREETER-PHELPS e QUAL-UFMG na bacia do rio Lambari - Poços de Caldas (MG). Tese (Doutorado).** Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Alfenas, Poço de Caldas, 2014.

TUCCI, C.E.M. Hidrologia: Ciência e Aplicação. 2.ed. Porto Alegre: Ed. Universidade/UFRGS. ABRH, 2001.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos.** Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais. 243 p. 1996.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental;** Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2006.

VON SPERLING, M. **Estudos e modelagem da qualidade da água de rios.** Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais, 2007.