

IV-135 - A IMPORTÂNCIA DA IMPLANTAÇÃO DO TRATAMENTO DE ESGOTOS NA SEDE MUNICIPAL DE CARATINGA PARA A QUALIDADE DA ÁGUA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO CARATINGA

Ana Maria Alvim⁽¹⁾

Engenheira Civil pela Escola de Engenharia da UFMG, com mestrado em Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos da USP. Atualmente Analista de Recursos Hídricos da COPASA-MG.

Célia Regina Alves Rennó

Engenheira Civil pela Escola de Engenharia da UFMG, com especialização em Engenharia Sanitária e Ambiental, em Gestão de Recursos Hídricos e MBA em Gestão de Empresa de Saneamento pela FJP e FDC. Atualmente Coordenadora de Projetos Especiais da COPASA-MG.

Endereço⁽¹⁾: Rua Leopoldina 850/402– Santo Antonio –Belo Horizonte– MG –CEP:30330230- Brasil
Ana.alvim@copasa.com.br

RESUMO

Visando fornecer subsídios para a priorização da implantação do tratamento de esgotos nas comunidades de diversas bacias hidrográficas, de forma a maximizar os seus efeitos sobre os cursos d'água, o presente trabalho simula o balanço de oxigênio dissolvido nos respectivos mananciais, mostrando as situações anteriores e posteriores à implantação das ETEs. Apresenta-se aqui os estudos desenvolvidos para a bacia do rio Caratinga. Para isto, efetuou-se a simulação do balanço de oxigênio para cenários críticos, utilizando-se a modelagem clássica de Streeter e Phelps (VON SPERLING, 2007). A calibração do modelo foi efetuada a partir dos registros de qualidade da água para os rios Preto e Caratinga, disponibilizados pelo IGAM no programa Águas de Minas. A estimativa das características hidráulicas das seções transversais e das vazões consideradas nos cenários estudados foi realizada a partir dos registros de medições de vazão do rio Caratinga nas estações Caratinga, Dom Cavati e Barra do Cuieté, disponibilizados pela Agência Nacional de Águas em sua rede básica Nacional de monitoramento hidrológico. Efetuou-se também em outubro de 2011, uma campanha de medições de vazão nas cabeceiras do rio Caratinga e no rio Preto, seu principal efluente, visando a estimativa do potencial hídrico do rio Preto. Estimou-se inicialmente com a população atual, qual seria a evolução das concentrações de oxigênio dissolvido e DBO ao longo do rio nos anos estudados e, uma vez calibrado o coeficiente de reaeração K_2 , simulou-se tal evolução para a vazão mínima $Q_{7,10}$. Simulou-se qual seria a alteração destes cenários após a implantação das ETEs, com as eficiências de remoção de 65% e 85%. Em seguida, tais cenários foram simulados considerando-se a população estimada para o ano de 2030.

PALAVRAS-CHAVE: Recursos Hídricos, Qualidade da Água, Balanço de Oxigênio Dissolvido, Esgoto.

INTRODUÇÃO

A implantação do tratamento de esgotos tem por finalidade a melhoria das condições de qualidade das águas nos corpos receptores e a garantia dos usos dos recursos hídricos. Para que a implantação das Estações de Tratamento se dê de forma a maximizar os seus efeitos sobre os cursos d'água, é importante se utilizar de ferramentas que auxiliem esta avaliação. De acordo com os dados publicados no Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (2009), 44,5% da população brasileira está conectada a um Sistema de Esgotamento Sanitário. Do esgoto coletado, 37,9% é tratado. É muito importante aumentar este índice, implantando e melhorando as eficiências das Estações de Tratamento, de maneira a trazer um maior benefício para os mananciais onde os esgotos são lançados in natura.

O presente trabalho visa fornecer subsídios para esta escolha, simulando as situações anteriores e posteriores à implantação das ETEs em localidades de diversas bacias hidrográficas, no que diz respeito à concentração de oxigênio dissolvido dos respectivos mananciais. Apresenta-se aqui os estudos desenvolvidos para a bacia do rio Caratinga. Tais simulações possibilitam também uma avaliação do percentual de remoção de DBO necessário para que os níveis de oxigênio dissolvido nos mananciais receptores de esgotos estejam dentro dos padrões exigidos pela legislação. Buscou-se com isto avaliar a relevância da implantação do tratamento de esgotos na sede municipal da Caratinga para o enquadramento da qualidade de água do rio Caratinga dentro dos padrões exigidos pela legislação.

METODOLOGIA

A metodologia utilizada adota estimativas populacionais para os anos de início e final de projeto na simulação do balanço de oxigênio dissolvido dos mananciais, em um cenário crítico de estiagem, que é a ocorrência da vazão mínima $Q_{7,10}$. Simularam-se quais seriam as alterações deste cenário após a implantação das Estações de Tratamento de Esgoto nas localidades, com eficiências de 65% e 85%. Utilizou-se para isto a modelagem clássica de Streeter e Phelps (VON SPERLING, 2007). Optou-se por esta modelagem devido à sua simplicidade conceitual e menor necessidade de parâmetros e dados de entrada. Acredita-se que este modelo atenda às condições requeridas, além de estar adaptado às atuais disponibilidades de dados. Nesta simulação, a calibração do balanço de oxigênio dissolvido foi efetuada a partir dos registros de qualidade da água para os rios Preto e Caratinga, disponibilizados pelo Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM) no programa Águas de Minas. A metodologia utilizada está apresentada de forma sucinta nos itens a seguir.

• EQUACIONAMENTO

As simulações do balanço de oxigênio dissolvido foram efetuadas utilizando o modelo de Streeter-Phelps, onde as cinéticas da desoxigenação e da reaeração acontecem somente sob o efeito da dispersão longitudinal (Von Sperling, 2007).

Considerando que a taxa de oxidação da matéria orgânica seja proporcional à matéria orgânica ainda remanescente em um tempo qualquer, a progressão da DBO ao longo do tempo pode ser descrita pela equação 1 a seguir.

$$L = L_0 \cdot e^{-K_1 t} \quad (1)$$

Onde

L = DBO remanescente em um tempo t qualquer (mg/l)

L_0 = DBO remanescente em $t=0$ (mg/l)

K_1 = coeficiente de desoxigenação (base e) (dia^{-1})

O coeficiente de desoxigenação observado em rios é um pouco mais elevado que aquele determinado através do teste da DBO em laboratório devido aos processos de sedimentação e remoção de DBO pelo lodo de fundo. Sendo assim o coeficiente de decomposição da DBO no rio, incorporando a decomposição da matéria orgânica pela biomassa suspensa na massa líquida, bem como pela biomassa no lodo de fundo, é denominado K_d .

No processo de reaeração atmosférica, a taxa de absorção de oxigênio é diretamente proporcional ao déficit existente. Para a situação relativamente simples em que se considera apenas a desoxigenação e a reaeração atmosférica no balanço do oxigênio dissolvido, a integração da equação diferencial que expressa a taxa de variação do déficit de oxigênio com o tempo, a qual é advinda da interação das equações de desoxigenação e reaeração leva à equação 2 a seguir para expressar a concentração de oxigênio dissolvido em um instante de tempo t .

$$C_t = C_s - \left\{ \frac{K_d \cdot L_0}{K_2 - K_d} \left(e^{-K_d t} - e^{-K_2 t} \right) + (C_s - C_0) e^{-K_2 t} \right\} \quad (2)$$

Onde:

C_t = Concentração de oxigênio em um instante de tempo t (mg/l)

C_0 = Concentração inicial de oxigênio, logo após a mistura (mg/l)

C_s = Concentração de saturação de oxigênio (mg/l)

K_2 = Coeficiente de reaeração (base e) (dia^{-1})

K_d = Coeficiente de remoção da DBO (base e) (dia^{-1})

Para utilização desta equação, todos os coeficientes e variáveis são constantes, à exceção de C_t e t . Assim para diversos valores de t , ou diversas distâncias a partir do ponto inicial do rio, foram calculados os valores de C_t correspondentes.

Neste modelo, os cálculos são baseados na demanda última de oxigênio (L_0), e não na demanda de cinco dias (DBO_5). A conversão da demanda de cinco dias em demanda última é efetuada pelo fator de conversão K_t .

$$L = L_0 \cdot e^{-K_1 t} \quad (3)$$

L = DBO remanescente em um tempo t qualquer (mg/L)

L_0 = DBO remanescente em $t=0$ (mg/L)

K_1 = Coeficiente de desoxigenação

Sendo o fator de conversão K_t definido por:

$$K_t = \frac{DBO_u}{DBO_5} = \frac{1}{1 - e^{-5 \cdot K_1}} \quad (4)$$

Nos pontos de entrada dos diversos tributários do rio principal e dos esgotos, as concentrações de OD e DBO resultantes da mistura das águas dos esgotos, do rio e dos tributários são dadas pelas equações 5 e 6 a seguir.

$$C_0 = \frac{Q_r \cdot OD_r + Q_e \cdot OD_e + Q_t \cdot OD_t}{Q_r + Q_e + Q_t} \quad (5)$$

$$DBO_{5_0} = \frac{(Q_r \cdot DBO_r + Q_e \cdot DBO_e + Q_t \cdot DBO_t)}{Q_r + Q_e + Q_t} \quad (6)$$

onde:

C_0 = Concentração inicial de oxigênio, logo após a mistura (mg/L)

Q_r = Vazão do rio a montante do lançamento dos despejos (m^3/s)

Q_t = Vazão do tributário (m^3/s)

Q_e = Vazão de esgoto (m^3/s)

OD_r = Concentração de oxigênio dissolvido no rio, a montante do lançamento dos despejos (mg/l)

OD_t = Concentração de oxigênio dissolvido no tributário

OD_e = Concentração de oxigênio dissolvido no esgoto

DBO_{5_0} = Concentração de DBO₅, logo após a mistura (mg/l)

DBO_r = Concentração de DBO₅ do rio (mg/l)

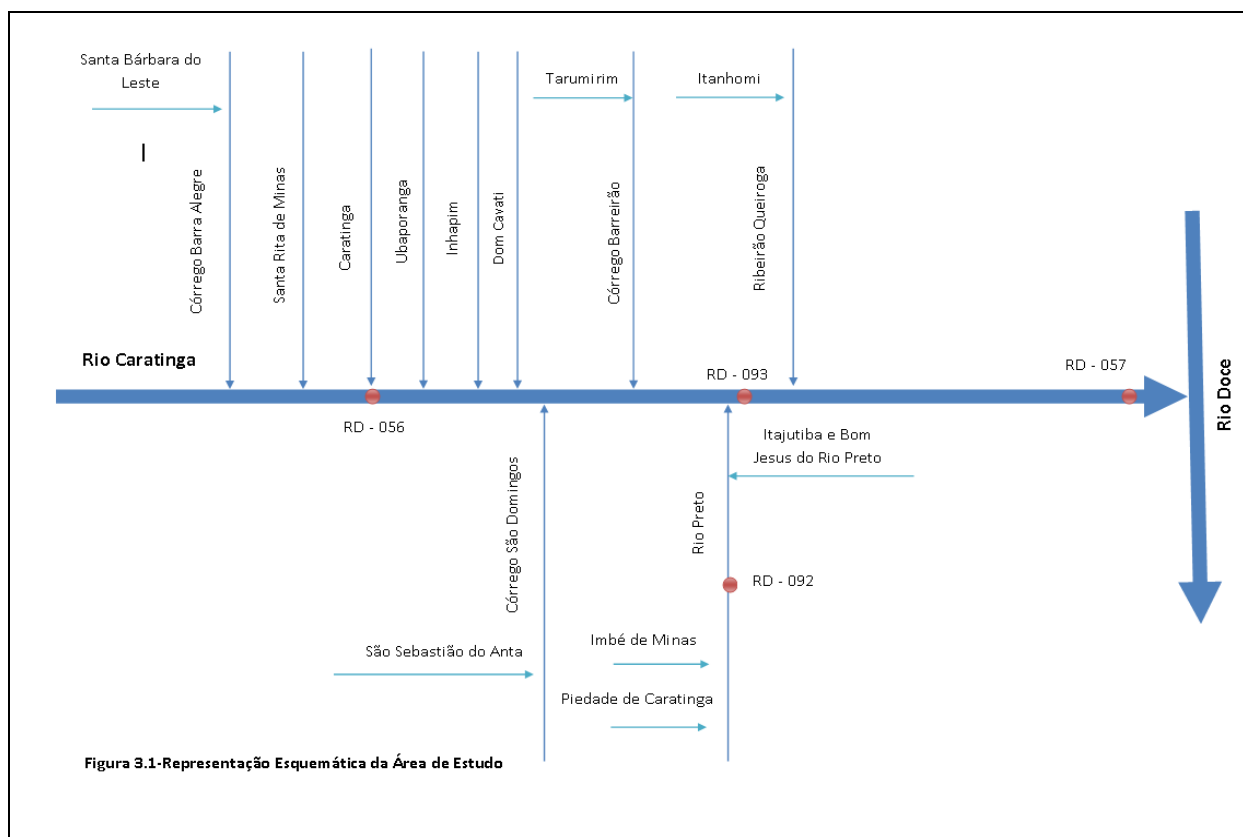
DBO_t = Concentração de DBO₅ do tributário (mg/l)

DBO_e = Concentração de DBO₅ esgoto

As equações acima apresentadas foram englobadas em uma planilha Excel, e solucionadas para os diversos trechos ao longo do rio. A estimativa dos valores adotados para os coeficientes e variáveis desta modelagem está apresentada a seguir.

• CARACTERIZAÇÃO DO TRECHO ESTUDADO

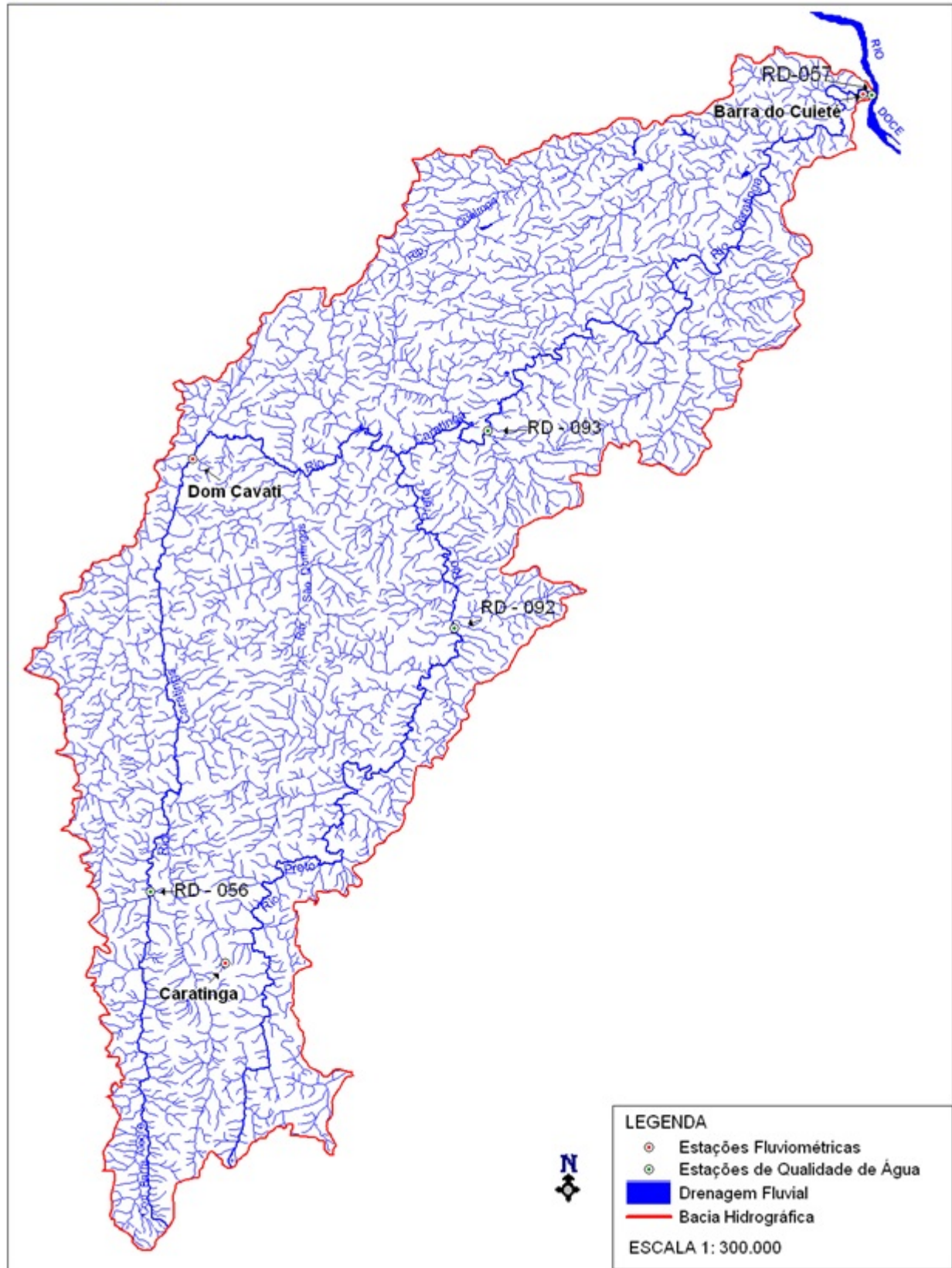
O rio Caratinga e seus afluentes foram representados por trechos seqüenciais, de acordo com a entrada de tributários ou efluentes de ETEs, representados de forma esquemática na figura 3.1, para os quais foram admitidas como constantes as características físicas, hidráulicas e os coeficientes de reação dos diferentes parâmetros em estudo. A estimativa das áreas das bacias e distâncias entre os nós foi efetuada pelo programa Map-Info, e a base cartográfica digitalizada do Geominas. O mapa da bacia está apresentado a seguir. Todas as alterações de vazões e cargas poluidoras foram processadas no início de cada trecho, onde são lançadas as vazões dos tributários com as suas respectivas concentrações dos parâmetros de qualidade, e as vazões incrementais de montante, que engloba os tributários menos significativos e as contribuições diretas para o trecho estudado.



COPASA

RIO CARATINGA - HIDROGRAFIA

PONTOS DE MONITORAMENTO DE QUALIDADE E QUANTIDADE



- **VARIÁVEIS HIDRÁULICAS E HIDROLÓGICAS**

A estimativa das características hidráulicas das seções transversais e das vazões consideradas nos cenários estudados foi efetuada a partir dos registros de monitoramento hidrológico do rio Caratinga, disponibilizados pela Agência Nacional de Águas em sua Rede Básica Nacional de Monitoramento Hidrológico. As estações fluviométricas utilizadas foram Caratinga (56925000), Dom Cavati (56935000) e Barra do Cuieté (56940000), indicadas no mapa da bacia.

As vazões $Q_{7,10}$ nas estações acima relacionadas foram estimadas através do estudo de frequência de vazões médias mensais mínimas anuais, onde foram obtidas as vazões $Q_{30,10}$, estimando-se que as vazões $Q_{7,10}$ fossem consideradas como sendo 10% menores que as respectivas vazões $Q_{30,10}$. A distribuição de frequência utilizada foi a de Weibull, por ser mais apropriada para o estudo de eventos extremos mínimos. Os resultados obtidos para as vazões específicas estão apresentados na tabela 1.

Tabela 1 – Vazões Mínimas $q_{7,10}$ nas Estações Fluviométricas Estudadas

Manancial	Estação	Vazão $Q_{7,10}$ (m ³ /s)	Área de Drenagem (Km ²)	Vazão específica $q_{7,10}$ (l/s/Km ²)
Rio Caratinga	Caratinga	0,526	176	2,98
Rio Caratinga	Dom Cavati	1,86	819	2,27
Rio Caratinga	Barra do Cuieté	6,75	3220	2,096

Para o cálculo dos coeficientes K_2 , efetuou-se em cada estação fluviométrica as correlações entre as vazões medidas e as respectivas velocidades e profundidades médias nos dias das medições. As equações que expressam as velocidades em função das vazões foram determinadas por regressão linear. Com estas equações, foram determinadas as respectivas velocidades médias para as vazões na calibração e nos cenários simulados. De forma similar, foram efetuadas as correlações entre as vazões medidas e as respectivas profundidades médias. As velocidades nas seções onde não existem estações fluviométricas foram determinadas adotando-se as correlações vazão/velocidade da estação mais próxima.

Efetuuou-se também em outubro/2011 uma campanha de medições de vazão no alto Caratinga e no rio Preto, seu principal afluente, visando a estimativa do potencial hídrico do rio Preto. Foram observadas vazões específicas em torno de 4,0 l/s/Km². Verificou-se que o coeficiente de correlação entre a vazão específica do rio Caratinga em Dom Cavati com a do rio Preto em Itajutiba, na mesma data, foi de 1,1. O rendimento do rio Preto em Itajutiba foi então estimado como sendo 10% superior ao do rio Caratinga em Dom Cavati. Esta mesma correlação foi transferida para os outros tributários do rio Caratinga. Sendo assim, as vazões específicas dos dias de coleta nos tributários do rio Caratinga foram estimadas como sendo equivalentes àquelas relativas à estação Dom Cavati multiplicadas pelo fator 1,1. De forma similar foi efetuada a estimativa das vazões teóricas $Q_{7,10}$ destes tributários.

Verifica-se que os resultados obtidos para as vazões específicas $q_{7,10}$ nas estações estudadas variam em torno de 2,5 l/s/Km². Adotou-se o valor de 2,98 l/s/Km², correspondente à específica da estação Caratinga, para representar a vazão específica $Q_{7,10}$ dos trechos localizados à montante de Caratinga. Para os seus tributários e o rio Preto, adotou-se 2,5 l/s/Km², valor equivalente à específica de Dom Cavati multiplicada pelo fator 1,1. Para os trechos do rio Caratinga localizados entre Caratinga e a confluência com o ribeirão Queiroga, adotou-se o valor de 2,27 l/s/Km², que é a específica de Dom Cavati. À jusante da confluência com o ribeirão Queiroga, foi adotado o valor de 2,12 l/s/Km², que é a específica de Barra do Cuieté. Os resultados obtidos para as vazões mínimas $Q_{7,10}$ nas seções estudadas, juntamente com as distâncias entre as seções, estão apresentados nas tabelas 2 e 3.

Na calibração do coeficiente de reaeração K_2 , foi necessário estimar as vazões nos dias das amostragens de qualidade da água em todas as seções. Como a estação Caratinga foi desativada em 1965, tal estimativa foi efetuada adotando-se as vazões específicas diárias das estações fluviométricas de Dom Cavati e Barra do Cuieté nos respectivos dias de amostragem. Tais resultados estão apresentados na tabela 4 a seguir.

Tabela 2 - Vazões Q_{7,10} Estimadas no Rio Caratinga nas Diversas Seções do Trecho Estudado

Manancial	seção	Área de drenagem (Km ²)	Vazão específica Q _{7,10} (l/s/Km ²)	Vazão Q _{7,10} (l/s)	Distância entre as seções (Km)
Rio Caratinga	Enc. c/ cor. Barra Alegre	65,65	2,98	196	6,53
Rio Caratinga	Santa Rita de Minas	100	2,98	300	17,0
Rio Caratinga	Caratinga	289	2,98	862	17,08
Rio Caratinga	Ubaporanga	392	2,27	891	10,31
Rio Caratinga	Inhapim	581	2,27	1 321	21,74
Rio Caratinga	Dom Cavati	783	2,27	1 779	14,46
Rio Caratinga	Enc. c/ cor. S. Domingos	1 094	2,27	2 484	9,9
Rio Caratinga	Enc. c/ cor. Barreirão	1 237	2,27	2 810	9,2
Rio Caratinga	Encontro com rio Preto	2 043	2,27	4 638	15,2
Rio Caratinga	RD 093	2 256	2,27	5 122	64,8
Rio Caratinga	Encontro c/ rio Queiroga	3 160	2,12	6 701	19,9
Rio Caratinga	Enc. c/ rio Doce – RD057	3 241	2,12	6 871	

Tabela 3 - Vazões Q_{7,10} Estimadas nas Diversas Seções dos Tributários do Rio Caratinga

Manancial	seção	Área de drenagem (Km ²)	Vazão específica Q _{7,10} (l/s/Km ²)	Vazão Q _{7,10} (l/s)	Distância entre as seções (Km)
Córrego Barra Alegre	Santa Bárbara do Leste	15,72	2,5	39	7,97
Córrego Barra Alegre	Encontro c/ rio Caratinga	35,31	2,5	88	
Córrego S. Domingos	S. Sebastião do Anta	148,06	2,5	370	11,0
Córrego S. Domingos	Encontro c/ rio Caratinga	210,23	2,5	526	
Córrego Barreirão	Tarumirim	12,91	2,5	32	13,5
Córrego Barreirão	Encontro c/ rio Caratinga	106	2,5	265	
Ribeirão do Imbé	Imbé de Minas	68,5	2,5	171	10,4
Ribeirão do Imbé	Encontro c/ rio Preto	101,53	2,5	254	48,83
Rio Preto	Piedade de Caratinga	175,7	2,5	439	48,83
Rio Preto	Encontro c/ rib. do Imbé	489,03	2,5	1223	13,08
Rio Preto	RD 092	583,23	2,5	1458	13,8
Rio Preto	Itajutiba	720,33	2,5	1801	10,0
Rio Preto	Encontro c/ rio Caratinga	778,12	2,5	1945	
Ribeirão Queiroga	Itanhomi	62,06	2,5	155	40,82
Ribeirão Queiroga	Encontro c/ rio Caratinga	322,56	2,5	806	

Tabela 4 - Vazões Específicas Adotadas na Calibração do Balanço de Oxigênio para os dias de Amostragem da Qualidade de Água

Estação Dom Cavati			Estação Barra do Cuieté		
Data	Vazão (m ³ /s)	Vazão específica (l/s/km ²)	Data	Vazão (m ³ /s)	Vazão Específica (l/s/km ²)
02/11/2000	3,33	4,26	31/10/2000	5,1	1,58
30/10/2001	1,89	2,44	28/10/2001	11,5	3,57
30/10/2002	-	-	28/10/2002	10,7	3,32
28/10/2003	4,9	6,32	26/10/2003	29,8	9,25
26/10/2004	4,14	5,34	24/10/2004	12,8	3,98
11/10/2005	4,57	5,9	09/10/2005	19,4	6,02
set/2007	3,04	3,92	Set/2007	9,81	3,05
Set/2008	1,91	2,46	Ago/2008	7,09	2,2
julho/2009	5,61	7,23	Julho/2009	23,1	7,17
Ago/2010	3,04	3,92	Set/2010	9,01	2,8

• PARÂMETROS DE QUALIDADE DA ÁGUA

A calibração do modelo do balanço de oxigênio dissolvido foi efetuada a partir dos registros de qualidade da água para os rios Caratinga e Preto, disponibilizados pelo IGAM no programa Águas de Minas. Foram utilizados os registros de qualidade da água do rio Caratinga nas seções RD-56, RD-57, relativos ao período de 2000 a 2010. Para a seção RD-93 deste mesmo manancial, só existem registros a partir do ano de 2008. Para o rio Preto, na seção RD-92, também só foram disponibilizados registros de qualidade a partir de 2008. Foram utilizadas as informações sobre concentrações de OD e DBO coletadas em períodos de estíagem. Estas seções têm suas localizações indicadas no mapa da bacia e na figura 3.1. Os registros utilizados estão apresentados na tabela 5.

As concentrações iniciais de oxigênio dissolvido nas águas de cabeceiras dos mananciais envolvidos foram consideradas como sendo iguais à concentração de saturação deste parâmetro, que depende da temperatura e altitude. Foi adotado o valor de 8,5 mg/l para esta bacia (VON SPERLING, 2007). A DBO das águas de cabeceira foram consideradas iguais a 2,0 mg/l, que é o menor valor detectável nas análises deste parâmetro. Uma vez caracterizada a qualidade das águas de cabeceira, foram sendo introduzidas as cargas de DBO dos esgotos das comunidades localizadas nesta bacia hidrográfica. Considerou-se nesta simulação todas as comunidades constantes dos mapas do IBGE, as quais estão relacionadas no próximo item.

Tabela 5 – Concentrações de Oxigênio Dissolvido nas Estações de Qualidade, Utilizadas na Calibração

Data	Concentrações de Oxigênio Dissolvido (mg/l)			
	RD-56 (rio Caratinga)	RD-57 (rio Caratinga)	RD-93 (rio Caratinga)	RD-92 (rio Preto)
Out/2000	3,2	8,5	-	-
Out/2001	3,3	7,5	-	-
Out/2002	4,6	8,0	-	-
Out/2003	4,7	6,8	-	-
Out/2004	3,8	7,8	-	-
Out/2005	5,7	8,4	-	-
Out/2007	3,9	7,7	-	-
Out/2008	2,4	8,0	7,1	8,1
Out/2009	3,9	7,8	7,4	8,1
Out/2010	3,2	7,8	7,7	8,7

• VAZÕES DE ESGOTO

As vazões de esgoto das localidades desta bacia hidrográfica foram estimadas a partir do consumo de água das respectivas populações, considerando a vazão de esgoto como sendo equivalente a 80% do consumo de água. O consumo per capita de cada localidade foi estimado a partir de informações sobre as vazões micromedidas, disponibilizadas nos relatórios operacionais da COPASA, IBO-IBG. Na tabela 6 estão apresentadas as populações e as vazões de esgoto das localidades desta bacia hidrográfica, com os respectivos pontos de lançamento considerados na modelação.

Foram simuladas as eficiências de 65% (eficiência mínima de tratamento) e 85% (tratamento secundário) de remoção para as remoções de DBO nas ETEs. Desta forma, as DBOs residuais do esgoto produzido, estimada em 300 mg/l, serão de 105 mg/l e 45 mg/l, respectivamente.

No início de cada trecho, as equações de mistura 5 e 6 foram utilizadas para estimar as concentrações iniciais dos parâmetros de qualidade no trecho estudado. Nesta mistura, foram contabilizadas as concentrações dos parâmetros nos esgotos provenientes das localidades desta bacia, juntamente com as concentrações dos parâmetros no rio, no ponto estudado. A vazão dos mananciais da bacia no início de cada trecho é dada pela somatória da vazão destes mananciais no final do trecho anterior com a vazão dos tributários afluentes ao ponto estudado e as vazões incrementais provenientes das entradas de água entre o início do trecho estudado e o final do trecho anterior. As concentrações dos parâmetros nas vazões incrementais foram estimadas como sendo equivalentes àquelas do final do trecho anterior.

Tabela 6 – Vazões de Esgoto das Comunidades da Bacia Hidrográfica

Município	Corpo Receptor do Esgoto	Per Capita	População 2010	População 2030	Vazão de esgoto de 2010 (l/s)	Vazão de esgoto de 2030 (l/s)
Caratinga	Rio Caratinga	115	77789	92458	82,83	98,45
Dom Cavati e Taruaçu	Rio Caratinga	97	7446	8965	6,69	8,05
Imbé de Minas	Ribeirão do Imbé	87	1900	2823	1,53	2,27
Inhapim	Rio Caratinga	122	14939	22194	16,88	25,07
Itanhomi	Ribeirão Queiroga	115	10612	14294	11,30	15,22
Piedade de Caratinga	Rio Preto	100	4336	6195	4,01	5,74
Santa Bárbara do Leste	Córrego Barra Alegre	85	3881	5544	3,05	4,36
Santa Rita de Minas	Rio Caratinga	89	5581	8794	4,60	7,25
São Domingos das Dores	Córrego São Domingos	87	1996	3269	1,61	2,63
São Sebastião do Anta e Coração de Maria	Córrego São Domingos	78	4467	7685	3,23	5,55
Tarumirim e Café Mirim	Córrego Barreirão	112	9643	12243	10,00	12,70
Ubaporanga	Rio Caratinga	97	6160	9241	5,53	8,30
Bom Jesus do Rio Preto e Itajutiba	Rio Preto	120	1690	2485	1,88	2,76
Novorizonte e Vai e Volta	Rio Caratinga	120	1926	2834	2,14	3,15

• COEFICIENTES DE REAERAÇÃO

A estimativa do coeficiente de oxigenação K_2 em cada trecho foi efetuada pelos modelos apresentados por O'Connor & Dobbins e Owens (VON SPERLING, 2007). Utilizou-se o modelo proposto por Owens nas seções com profundidade inferior a 60 cm e o modelo de O'Connor & Dobbins nas seções mais profundas. A calibração do coeficiente K_2 foi efetuada a partir dos registros de oxigênio dissolvido e DBO disponibilizados pelo projeto Águas de Minas, nas seções de monitoramento da qualidade da água dos rios Caratinga (RD-56, RD57 e RD-93) e Preto (RD-92). Para o coeficiente K_1 , adotou-se o valor constante igual a $0,17 \text{ dia}^{-1}$ e para o coeficiente de decaimento bacteriano K_b , adotou-se o valor de $1,0 \text{ dia}^{-1}$, ambos recomendados por Arceivala (VON SPERLING, 2007).

Para calibração, estimou-se o valor do K_2 em cada seção, para cada vazão observada nos dias de coleta. Para cada dia de coleta, os valores de K_2 em cada um dos nós do trecho estudado foram multiplicados por coeficientes de ajustes para que as concentrações de oxigênio dissolvido simuladas se ajustassem àquelas observadas nestes mesmos dias, nas estações de monitoramento da qualidade da água.

Observou-se que dentro do período estudado (2000 a 2010), foram obtidas melhores calibrações nos períodos de estiagem dos anos mais secos. Sendo assim, nos anos relacionados na tabela 7, ao se multiplicar o coeficiente K_2 em cada trecho, pelos coeficientes de ajuste listados nesta tabela, foram obtidos os ajustes apresentados na figura 2, para os anos mais secos. Os valores dos coeficientes K_2 ajustados estão apresentados na tabela 8. Como a vazão $Q_{7,10}$ é uma vazão de estiagem muito severa, estes

coeficientes de ajuste foram também utilizados nas simulações do balanço de oxigênio para os cenários com esta vazão.

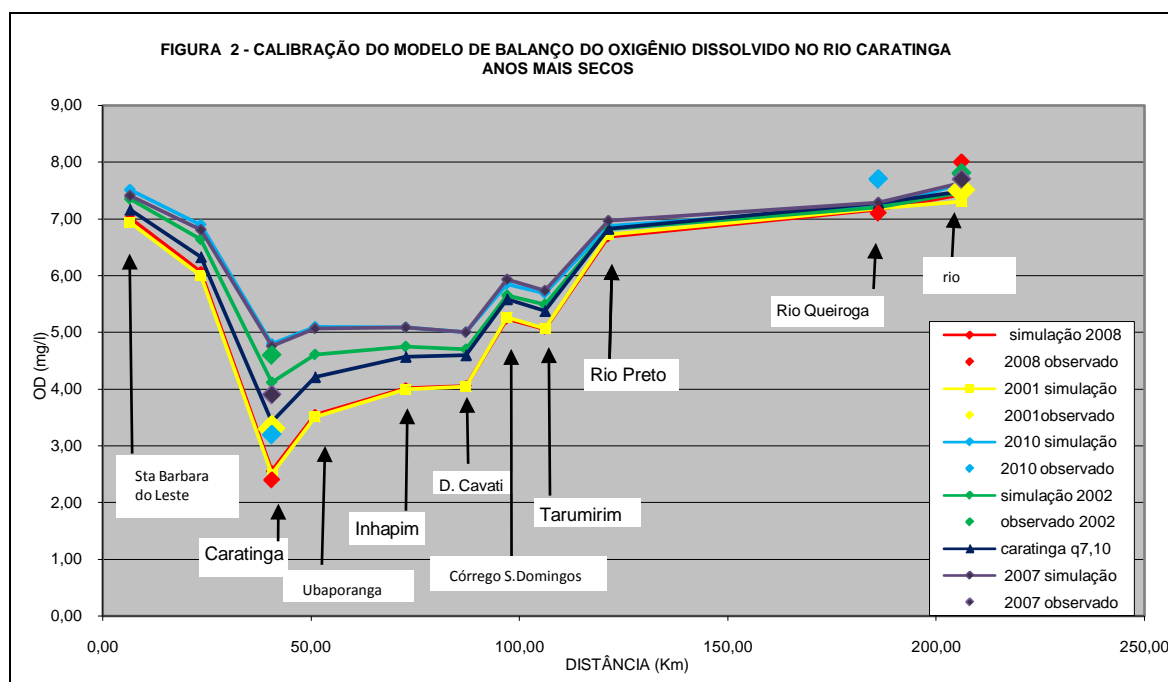
Verifica-se na figura 2 que a simulação do balanço de oxigênio para a vazão $Q_{7,10}$ se encontra bem no centro da envoltória das simulações dos anos mais secos. Os valores das concentrações de OD simuladas, juntamente com aquelas observadas nas seções de amostragem da qualidade da água estão apresentados na tabela 8.

Tabela 7 - Calibração do Coeficiente K_2 – Coeficientes de Ajuste para os Tributários do rio Caratinga

Manancial	Coeficiente de Ajuste	Valores do Coeficiente K_2 – Anos mais Secos					
		2001	2002	2007	2008	2010	$Q_{7,10}$
Córrego Barra Alegre	0,2	1,99	2,01	2,02	1,99	2,03	1,98
Córrego S. Domingos	0,2	2,39	2,48	2,5	2,39	2,52	2,37
Córrego Barreirão	0,2	1,98	2,00	2,0	1,98	2,01	1,97
Ribeirão do Imbé	0,2	2,19	2,26	2,31	2,19	2,31	2,17
Rio Preto Piedade de Caratinga	0,2	2,44	2,52	2,56	2,44	2,56	2,42
Rio Preto Encontro com rib. Imbé	0,2	2,6	2,53	2,46	2,60	2,46	2,61
Rio Preto RD 092	0,2	2,57	2,45	2,34	2,57	2,36	2,59
Rio Preto-Itajutiba	0,2	2,50	2,31	2,17	2,5	2,17	2,53
Ribeirão Queiroga	0,2	2,17	2,21	2,04	2,17	2,28	2,16
Rio Caratinga-encontro c/cor.Barra Alegre	0,1	1,08	1,11	1,13	1,08	1,13	1,1
Rio Caratinga Santa Rita de Minas	0,1	1,13	1,17	1,19	1,13	1,19	1,16
Rio Caratinga-Caratinga	0,1	1,27	1,3	1,3	1,27	1,3	1,29
Rio Caratinga-Ubaporanga	0,2	2,39	2,26	2,19	2,38	2,19	2,41
Rio Caratinga-Inhapim	0,2	2,22	2,07	1,97	2,22	1,97	2,26
Rio Caratinga-Dom Cavati	0,2	2,07	1,89	1,78	2,07	1,78	2,11
Rio Caratinga -encontro c/cor. S. Domingos	0,4	2,58	2,34	2,2	2,58	2,2	2,63
Rio Caratinga -encontro c/cor. Barreirão	0,4	2,49	2,24	2,1	2,48	2,1	2,54
Rio Caratinga Encontro com rio Preto	0,6	3,11	2,7	2,49	3,1	2,49	3,2
Rio Caratinga- RD 093	0,6	2,98	2,57	2,69	2,97	2,8	3,07
Rio Caratinga Encontro c/ rio Queiroga	0,6	2,89	2,89	2,97	3,24	3,04	3,27
Rio Caratinga-Encontro c/ rio Doce (RD 057)	0,6	2,87	2,87	2,95	3,22	3,02	3,25

Tabela 8 - Calibração do Balanço de Oxigênio – Concentrações de Oxigênio Dissolvido Simuladas e Observadas nas Estações de Qualidade – Anos mais Secos

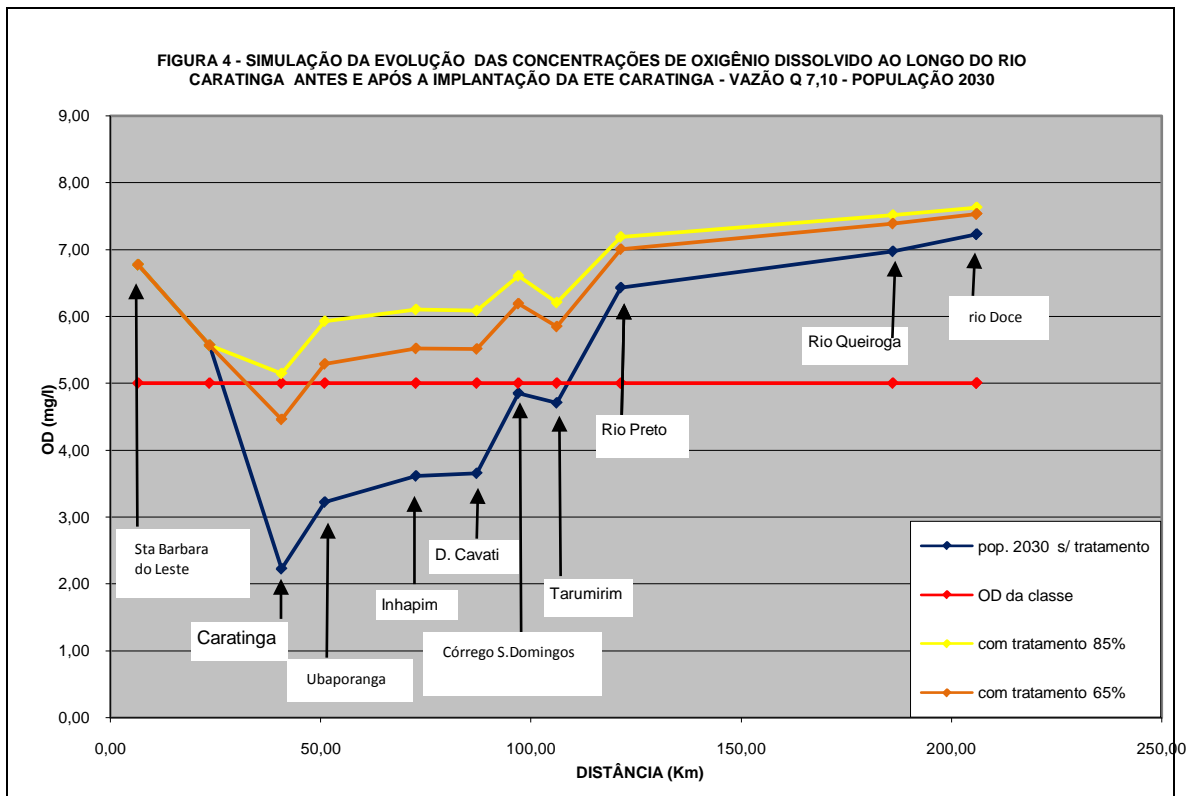
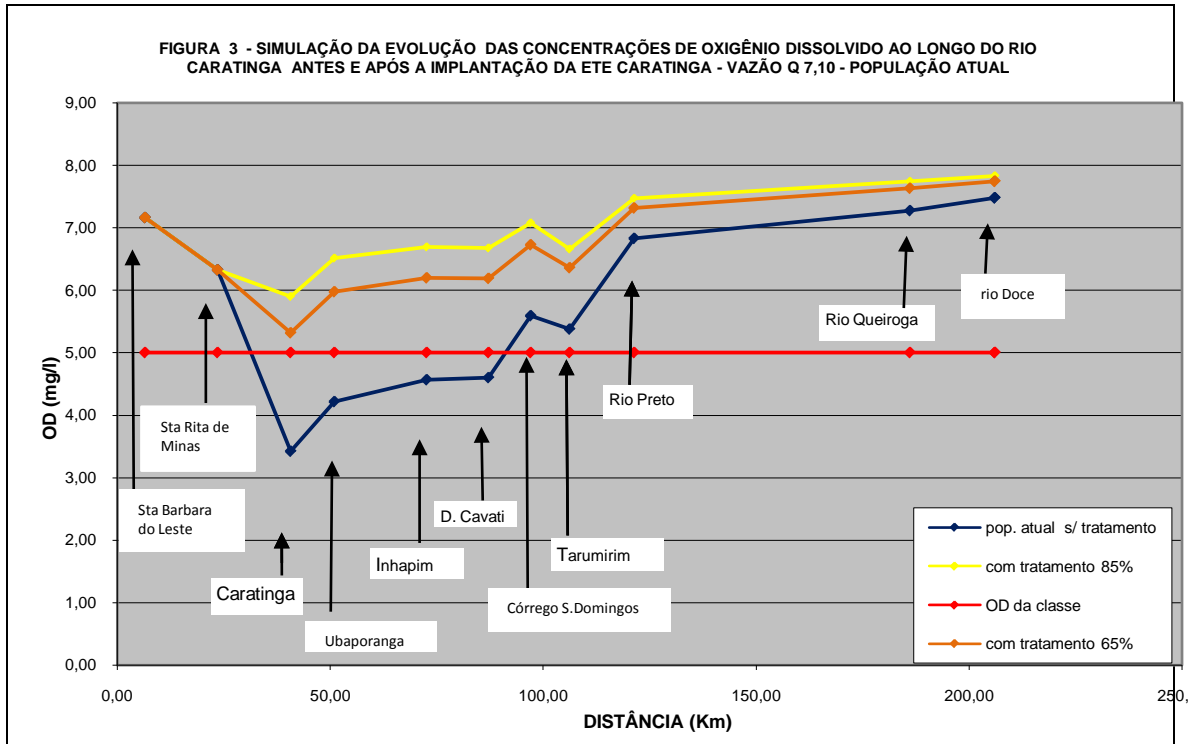
ANOS	Seção RD-056		Seção RD-056		Seção RD-092		Seção RD-093	
	OD Simul. (mg/l)	OD observ. (mg/l)	OD Simul. (mg/l)	OD observ. (mg/l)	OD Simul. (mg/l)	OD observ. (mg/l)	OD Simul. (mg/l)	OD observ. (mg/l)
2001	2,5	3,3	7,3	7,5	-	-	-	-
2002	4,12	4,8	7,47	7,8	-	-	-	-
2007	4,68	3,9	7,64	7,7	-	-	-	-
2008	2,56	2,4	7,43	8,0	8,16	8,1	7,16	7,1
2010	4,8	3,2	7,62	7,8	8,18	8,7	7,21	7,7

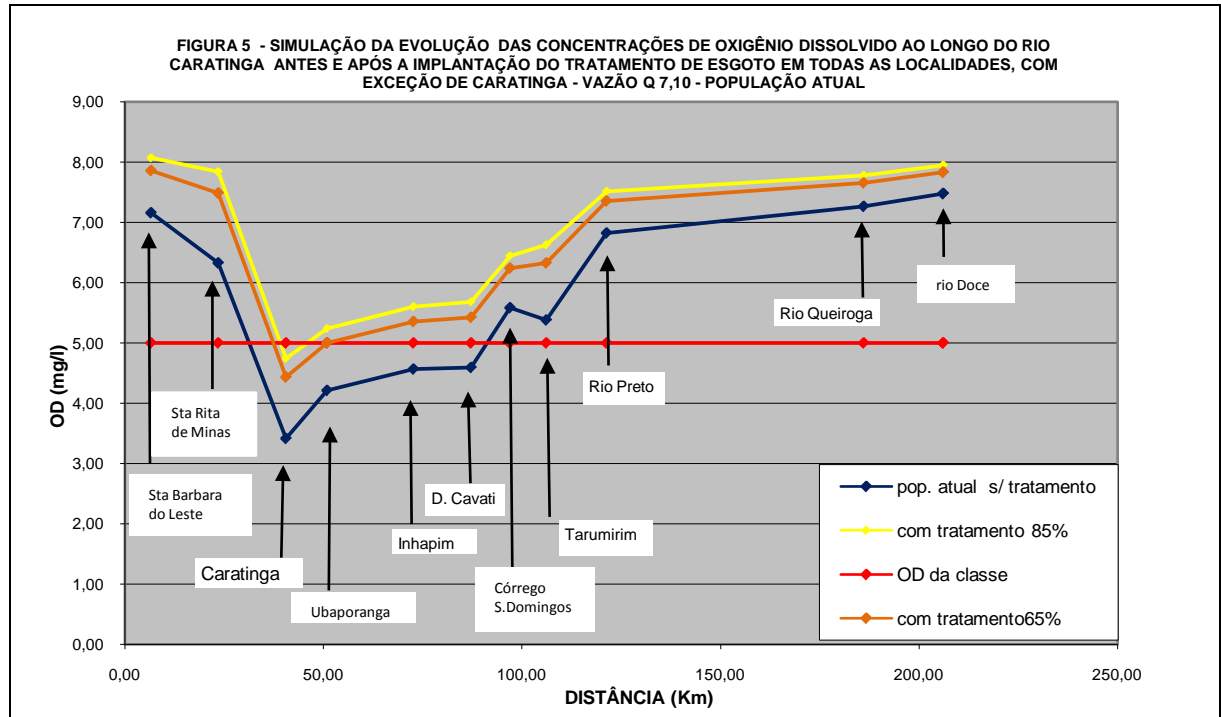


RESULTADOS

O balanço de oxigênio foi simulado na bacia do rio Caratinga para o cenário crítico de ocorrência da vazão mínima $Q_{7,10}$, nas situações anteriores e posteriores à implantação da ETE Caratinga, e em seguida, após a implantação das ETEs nas outras localidades. Considerou-se a população atual e o horizonte populacional de 2030 e os percentuais de remoção de DBO de 85% e 65%. Os resultados obtidos para tais cenários estão apresentados nas figuras 3 a 5.

O rio Caratinga foi enquadrado pelo Conselho Estadual de Recursos Hídricos na classe 2, onde deve ser observada a concentração mínima de 5,0 mg/l de oxigênio dissolvido. Tal padrão está também representado nestas figuras. Verificou-se que a implantação do tratamento de esgoto na sede municipal de Caratinga é essencial para o enquadramento deste manancial dentro dos padrões de OD exigidos pela legislação. O percentual de remoção de 65% não atende tais padrões para o horizonte populacional de 2030. A implantação do tratamento de esgoto somente nas outras localidades não se mostra tão relevante para este propósito, uma vez que a concentração de oxigênio dissolvido ainda permanece abaixo de 5,0 mg/l em alguns trechos.





CONCLUSÕES

Apresentou-se neste trabalho um estudo do modelo de simulação do balanço de oxigênio dissolvido na bacia hidrográfica do rio Caratinga, visando avaliar a relevância das alterações na qualidade da água da bacia com a implantação do tratamento de esgotos, para os percentuais de 65% e 85% de remoção em suas diversas localidades. As alterações de qualidade resultantes da implantação do tratamento de esgotos na sede municipal de Caratinga foram comparadas com aquelas relativas à implantação das ETEs nas outras localidades desta bacia. Os resultados obtidos mostraram que a implantação do tratamento de esgotos em Caratinga com 85% de remoção de DBO provocará um incremento significativo nos níveis de oxigênio dissolvido, se mostrando relevante para o enquadramento da sua qualidade de água dentro dos padrões de OD da classe 2. Com o percentual de remoção de 65%, tal objetivo não é atingido para o horizonte populacional de 2030. A implantação do tratamento de esgoto em todas as outras localidades, exceto Caratinga, não se mostrou suficiente para o enquadramento da qualidade de água do rio Caratinga dentro dos padrões de OD da classe 2.

Cabe-se ressaltar a importância de se fazer um estudo integrado em toda a bacia, considerando as cargas de DBO lançadas em todos os mananciais, possibilitando desta forma a calibração do coeficiente de reaeração. Este procedimento mostrou que os valores deste coeficiente calculados pelas fórmulas existentes na literatura se distanciam muito daqueles estimados a partir de calibração.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. VON SPERLING M. (2007) – *Estudos e modelagem da qualidade da água em rios* - Departamento de Engenharia Ambiental da UFMG. Belo Horizonte, 588p.
2. BRASIL, Ministério das Cidades. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento – *Diagnóstico dos Serviços de Água e esgotos, Brasília, (2009).*