

AValiação DA AUTODEPURAÇÃO DO Córrego Mula EM SANTA FÉ DO SUL – SP, COM SIMULAÇÕES NO AD'ÁGUA 2.0.

*Lucas M. Felizardo*¹, GlauCIA A. Faria², Tsunao Matsumoto³, Jefferson N. de Oliveira⁴*

Resumo – O lançamento dos mais diversos tipos de cargas poluidoras é um grande problema encontrado nos rios brasileiros. O conhecimento da autodepuração é uma informação importante para a gestão. Nesse trabalho simulamos a autodepuração do córrego Mula em Santa Fé do Sul após o lançamento da estação de tratamento de esgoto Mula, foi usado o software AD'Água 2.0, que baseia-se no modelo matemático de Streeter- Phelps, e vazões regionalizadas obtidas com o DAEE para uma área de drenagem de 68 km² nas vazões Q7-10, Q7-15 e Q7-20 e a média de vazões mensais de janeiro a dezembro no ano de 2004 do córrego do Cabrito – em Votuporanga, semelhante ao córrego avaliado. O córrego do Cabrito tem uma área de drenagem de 68,1 km² enquanto o Mula apresenta 68,5 km², a ETE Mula trata 180 m³h⁻¹/dia, com base nos dados do efluente e dados do corpo hídrico de lançamento. Como resultado gerou-se 15 relatórios com o comportamento da autodepuração, onde se verificou que não ocorre a autodepuração no trecho do córrego Mula. Para que houvesse a autodepuração a vazão mínima do rio deveria ser de 0,142 m³s⁻¹, em um trecho de 8,53 Km, além disso dever-se-ia implantar o pós-tratamento na ETE Mula.

Palavras-chave – Autodepuração, Streeter-Phelps, Ad'Água 2.0

EVALUATION OF SELF-PURIFICATION IN THE STREAM MULA IN THE SANTA FÉ DO SUL - SP WITH SIMULATIONS AD'ÁGUA 2.0.

Abstract – The launch of several types of pollutant loads is a major problem encountered in Brazilian rivers. Knowledge of self-purification is important information for management. In this work we simulate the depuration stream Mula Santa Fe South after the release of sewage treatment plant Mula was used AD'Água 2.0 software, which is based on the mathematical model of Streeter-Phelps, and flow rates obtained with regionalized DAEE for a drainage area of 68 km² in flows Q7-10 Q7-15 Q7-20 and the average monthly streamflow from January to December in 2004 the stream of Cabrito - in Votuporanga, similar to stream evaluated. The stream Cabrito has a drainage area of 68.1 km² while the Mule has 68.5 km², TEE Mule 180 comes m³h⁻¹/dia, based on data from the effluent and water body data release. As a result generated up to 15 reports the behavior of self-purification, where it was found that there is a stretch of stream self-purification in Mula. For there to depuration the minimum flow of the river should be 0,142 m³ s⁻¹, on a stretch of 8.53 km, besides duty would deploy posttreatment in ETE Mule.

Keywords – self-purification, Streeter-Phelps, Ad'Água 2.0

*¹ Pos-graduando FEIS/UNESP – lucas-menfel@aluno.feis.unesp.br

² Docente FEIS/UNESP – glauCIAamorim@hotmail.com

³ Docente FEIS/UNESP – tsunao@dec.feis.unesp.br

⁴ Docente FEIS/UNESP – jeffno@dec.feis.unesp.br

Introdução

Os corpos hídricos são o destino final dos esgotos sanitários e industriais em praticamente todo lugar. Além de oferecerem a capacidade de levar os rejeitos para longe, os corpos receptores têm a capacidade natural de autodepuração. Sendo assim, conseguem recuperar suas condições naturais dependendo de suas características e das características do esgoto recebido. Mas para não comprometer essa capacidade natural, deve-se escolher corretamente que corpo receptor tem as melhores condições de autodepuração, além da quantidade e nível de tratamento do esgoto a ser lançado. Nesse sentido, uma ferramenta muito útil na escolha do corpo receptor e do nível de tratamento que deve ser despejado é a modelagem matemática das condições de autodepuração dos cursos d'água.

Nesse cenário o uso do modelo de Streeter-Phelps é uma excelente ferramenta sendo utilizada já a muito tempo. O modelo de Streeter-Phelps foi desenvolvido em 1925 por Harold Warner Streeter e Earle Bernard Phelps a partir de um estudo do processo de oxidação e aeração no rio Ohio nos Estados Unidos com base em dados obtidos desde maio de 1914 a abril de 1915.

O modelo de Streeter-Phelps é um modelo matemático que relaciona o oxigênio dissolvido (OD) e demanda biológica de oxigênio (DBO) em um curso de água superficial que recebe a descarga de águas residuais com a decomposição de matéria orgânica, e aeração de oxigênio.

O corpo d'água antes do lançamento de despejos encontra-se usualmente em um estado de equilíbrio. Após a entrada de uma fonte de poluição, esse equilíbrio é afetado, resultando numa desorganização inicial, seguida por uma tendência posterior à reorganização esse comportamento e dividido em quatro zonas: zona de degradação que ocorre logo após o lançamento do efluente; zona de decomposição ativa com o aporte de nutrientes advindos do efluente a o crescimento de microrganismos decompositores; zona de recuperação ocorre após a fase de intenso consumo de material orgânico e de degradação do ambiente aquático, inicia-se a etapa de recuperação; zona de águas limpas trecho em que as águas são limpas, voltando às suas condições iniciais.

O interesse principal na simulação é determinar, baseados em dados previamente conhecidos, as variações de concentrações de certo aporte de poluente em função da posição e do tempo. Isto obviamente passa por conhecimentos básicos de transportes de massa molecular e convectiva, e de cinética das reações biológicas envolvidas no processo Santos *et al.* (2010).

O programa AD'Água 2.0 foi desenvolvido na Universidade Federal de Viçosa – UFV no departamento de engenharia agrícola – DEA atualizado por Alexandre Rosa dos Santos como exigência para obtenção do título de Doctor Scientiae, elaborado para simular a autodepuração em curso d'água permitindo estudos com a determinação do oxigênio dissolvido e da degradação da demanda biológica de oxigênio ao longo de cursos d'água.

A modelagem é sem dúvida uma ferramenta importante para tomada de decisão a partir de dados previamente conhecidos auxiliando na gestão de cursos d'água. A autodepuração é um fator para a autorização da outorga para despejo de efluente proveniente de estações de tratamento de esgoto, a simulação de seu comportamento ao longo do tempo auxilia na tomada de decisões referentes ao gerenciamento desses corpos d'água.

Metodologia

O córrego Mula fica situado na bacia São Jose dos Dourados em São Paulo nas coordenadas 20°09'15"S e 50°09'18" O e a Estação de Tratamento de Esgoto Mula em Santa Fé do Sul situada nas mesmas coordenadas é responsável pelo tratamento de 60% (sessenta por cento) do volume de esgoto gerado na cidade de Santa Fé do Sul – SP aproximadamente 180 m³ h⁻¹. A ETE é composta de 03 lagoas em série: sendo uma lagoa anaeróbia seguida de uma lagoa facultativa com chicana e uma lagoa de maturação com chicana, Figura1. Matsumoto, (2010).



Figura 1 – ETE Mula em Santa Fé do Sul e o córrego Mula no canto inferior esquerdo.
Fonte: Google 2010

No site DAEE foi obtido as vazões regionalizadas Q7-10, Q7-15 e Q7-20 para uma área de contribuição de 68 km² para as coordenadas do córrego Mula, no DAEE foi obtido as vazões do córrego do Cabrito que é localizado na cidade de Votuporanga em São Paulo nas coordenadas 20°31'23"S e 49°59'52"O no ano de 2004 para os meses de Janeiro a dezembro obtendo as medias mensais para utilização no programa AD'Água 2.0.Figura 2.



Figura 2 – Córrego do Cabrito em Votuporanga – SP

Fonte: Google Earth 2013

Os modelos de qualidade das águas de rios vêm sendo utilizados desde o desenvolvimento do modelo clássico de OD e DBO, de Streeter e Phelps, em 1925 Santos, (2010) *apud* Von Sperling, (2007). O modelo Streeter-Phelps foi o pioneiro para os modelos atuais, abordando unicamente dois aspectos importantes: o consumo de oxigênio pela oxidação da matéria orgânica e a produção de oxigênio pela reaeração atmosférica. É um modelo determinístico e estático.

O modelo de Streeter e Phelps necessita dos seguintes dados: vazão do rio, a montante do lançamento (Q_r); vazão de esgotos (Q_e); oxigênio dissolvido no rio, a montante do lançamento (OD_r); oxigênio dissolvido no esgoto (OD_e); DBO5 no rio, a montante do lançamento (DBO_r); DBO5 do esgoto (DBO_e); coeficiente de desoxigenação (K^1); coeficiente de reaeração (K^2); velocidade de percurso do rio (v); tempo de percurso (t); concentração de saturação de OD (C_s); oxigênio dissolvido mínimo permissível (OD_{min}).

A hipótese básica no modelo Streeter e Phelps é que o processo de decomposição da matéria orgânica no meio aquático segue uma reação de primeira ordem. Assim, nesse tipo de reação, a taxa de redução da matéria orgânica é proporcional à concentração de matéria orgânica presente em um dado instante de tempo Santos, (2010) *apud* Braga, *et al.*, (2003). A equação é descrita da seguinte forma:

$$DBO_t = L_o \cdot e^{-Kt}$$

em que:

DBO_t = é a quantidade de oxigênio dissolvido consumido desde o instante inicial até o instante t ;

L = é a DBO imediata após o ponto de lançamento, ou seja, a quantidade total de oxigênio necessária para completa estabilização da matéria orgânica;

K = é a constante de desoxigenação que depende do tipo de efluente;

t = tempo em dias.

O equacionamento de Streeter e Phelps para o cálculo da concentração de OD combina os processo de reaeração e desoxigenação pelo decaimento da matéria orgânica, conforme a Equação:

Sabendo-se que:

$$C_t = C_s - D_t$$

Tem-se a concentração de OD em um instante de tempo t :

$$C_t = C_s - \left[\frac{K_1 \cdot L_0}{K_2 - K_1} (e^{-K_1 \cdot t} - e^{-K_2 \cdot t}) + (C_s - C_0) \cdot e^{-K_2 \cdot t} \right]$$

onde:

C_t = concentração do oxigênio dissolvido no tempo t ($mg L^{-1}$);

C_s = concentração de saturação de oxigênio ($mg L^{-1}$);

C_0 = concentração inicial de oxigênio, logo após a mistura ($mg L^{-1}$);

K_1 = coeficiente da taxa de desoxigenação (dia^{-1});

K_2 = coeficiente da taxa de reaeração (dia^{-1});

L_0 = concentração de determinado poluente, no corpo receptor, após a mistura com o despejo ($mg L^{-1}$);

D_t = déficit inicial de oxigênio dissolvido no ponto de mistura ($mg L^{-1}$).

Como dados de entradas no programa AD'Água 2.0 temos:

Para o efluente: vazão de esgotos (Q_e); oxigênio dissolvido no esgoto (OD_e); DBO5 do esgoto (DBO_e); coeficiente de desoxigenação (K^1). Para curso d'água: classe; altitude; profundidade; distancia; vazão do rio, a montante do lançamento (Q_r); velocidade; temperatura; oxigênio

dissolvido no rio, a montante do lançamento (ODr); DBO5 no rio, a montante do lançamento (DBOr); coeficiente de reaeração (K^2);

Os valores de entrada do programa AD'Água 2.0 no tocante a vazões do rio foram adquiridos junto ao DAEE em seu site, utilizando valores de regionalização para as vazões Q7-10, Q7-15 e Q7-20 encontrados na Tabela 1 para uma área de contribuição de 68 km² e a vazões mensais do córrego do Cabrito por ter área de contribuição semelhante e esta situado na mesma bacia hidrográfica, média dos valores de vazões mensais encontrados na Tabela 2.

Tabela 1 – Valores das vazões regionalizadas obtidas no DAEE.

Vazões	Q7-10 (m ³ s ⁻¹)	Q7-15 (m ³ s ⁻¹)	Q7-20 (m ³ s ⁻¹)
Valores	0,1089	0,1034	0,1003

Tabela 2 – Valores da média de vazões mensais córrego do Cabrito ano de 2004 obtidos no site DAEE na área regionalização.

Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Qr (m ³ s ⁻¹)	0,86	0,70	0,42	0,56	0,40	0,32	0,27	0,25	0,19	0,20	0,25	0,30

Para a simulação dos dados das vazões regionalizadas foi utilizado a media anual da tabela 2 e a média anual de DBO, OD e temperatura da Tabela 3.

Os valores coletados na ETE Mula e utilizados no programa como dados de entradas foram amostrados de abril de 2009 a março de 2010 e são encontrados na Tabela 3.

Tabela 3 – valores de parâmetros encontrados na ETE mula. Matsumoto, (2010)

Local amostral	Mês	Temperatura °C	DBO mg L ⁻¹	OD mg L ⁻¹
Montante	Abril	29	4,0	6,4
Jusante		29	8,0	6,5
Afluente		29	3,0	6,7
Montante	Maio	25,1	1,0	9,5
Jusante		26,8	11,0	4,2
Afluente		25,6	7,0	3,9
Montante	Junho	22,2	2,0	5,64
Jusante		22,9	8,0	5,85
Afluente		22,5	4,0	4,48
Montante	Julho	22,2	1,0	4,9
Jusante		22,9	8,0	7,7
Afluente		22,5	4,0	3,3
Montante	Agosto	22,1	2,0	4,8
Jusante		23,0	19,0	3,7
Afluente		22,8	0,1	5,1
Montante	Setembro	24,5	2,0	8,8
Jusante		26,8	21,0	5,4
Afluente		27,8	1,0	4,8
Montante	Outubro	26,3	0,7	6,9
Jusante		28,0	7,0	6,9
Afluente		28,2	0,5	6,3
Montante	Novembro	29,9	1,0	7,0
Jusante		32,3	14,0	6,4
Afluente		32,5	1,0	6,6
Montante	Dezembro	27,3	2,0	5,3
Jusante		28,1	6,0	6,4
Afluente		28,4	1,0	6,7
Montante	Janeiro	28,8	1,0	3,1
Jusante		29,2	2,0	5,7
Afluente		29,1	1,0	5,9
Montante	Fevereiro	29,1	0,2	6,1
Jusante		30,5	1,0	5,3
Afluente		30,4	0,4	4,9
Montante	Março	28,2	1,0	5,0
Jusante		30,1	4,8	4,8
Afluente		30,4	0,7	5,3

Resultados e discussões

Com as medias mensais do ano de 2004 do córrego do Cabrito realizamos a simulação encontradas na Tabela 4 com referencia aos meses de janeiro a dezembro utilizando os valores de oxigênio dissolvido, demanda biológica de oxigênio e temperatura do córrego Mula. Com a vazão regionalizada para o córrego Mula encontrado no site do DAEE na área regionalização para uma área de contribuição de 68 km² foi encontrado os valores de vazões mínimas Q7-10, Q7-15 e Q7-20, sendo 0,108 m³s⁻¹, 0,103 m³s⁻¹ e 0,100 m³s⁻¹ respectivamente.

A partir da media das vazões mínimas obtidas na regionalização obtemos os valores encontrado na primeira linha da tabela 4.

A vazão do efluente tratado medida na calha parshall na ETE Mula foi de $0,11 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$. SAAE, (2013).

Tabela 4 – Valor de distancia critica e tempo critico obtidos na simulação com o AD'Água 2.0 .

Mês	Qr	Vr	T	DBOe	DBOr	ODe	ODr	Dc	Tc
Q7-T	0,10	0,07	29	9,2	2,0	5,10	9,7	8,53	1,48
Jan	0,86	0,57	29	2,0	1,0	5,70	3,1	0,0	0,0
Fev	0,70	0,46	29	1,0	1,0	5,30	6,1	0,0	0,0
Mar	0,42	0,28	28	4,8	1,0	4,80	5,0	0,0	0,0
Abr	0,56	0,37	29	8,0	4,0	6,50	6,4	36,66	1,13
Mai	0,40	0,26	25	11,0	1,0	4,20	9,5	45,57	2,03
Jun	0,32	0,21	22	8,0	2,0	5,85	5,6	0,0	0,0
Jul	0,27	0,18	22	8,0	1,0	7,70	4,9	0,0	0,0
Ago	0,25	0,16	22	19,0	2,0	3,70	4,8	4,63	0,33
Set	0,19	0,12	25	21,0	2,0	5,40	8,8	16,78	1,62
Out	0,20	0,13	26	7,0	1,0	6,90	6,9	12,12	1,08
Nov	0,25	0,16	30	14,0	1,0	6,40	7,0	18,11	1,31
Dez	0,30	0,20	27	6,0	2,0	6,40	5,3	0,58	0,03

Q7-T media no tempo 10 – 15 – 20 anos; **Qr** vazão do rio (m^3s^{-1}); **Vr** velocidade do rio (m^3s^{-1}); **T** temperatura ($^{\circ}\text{C}$); **DBOe** demanda biológica de oxigênio do efluente (mg L^{-1}); **DBOr** demanda biológica de oxigênio do rio (mg L^{-1}); **ODe** oxigênio dissolvido efluente (mg L^{-1}); **ODr** oxigênio dissolvido rio (mg L^{-1}); **Dc** distancia critica (Km); **Tc** tempo critico (dias).

Conclusões

As vazões obtidas na regionalização se mostram próxima à realidade embora não tenha sido feita uma validação, a inferência a esse parâmetro se mostra confiável indicando que nas vazões mínimas a carga poluente oriunda da ETE Mula não se autodepura no trecho de 6 km sendo a distancia critica encontrada a 8,53 km, as vazões simuladas utilizando como referencia o córrego do Cabrito de Votuporanga foi encontrado alguns valores discrepantes podendo ter sido gerado pelas correlações dos dados com o córrego em questão serem não significativas.

A informação das vazões mínimas é a base para a outorga de uso do córrego Mula e embora seja necessário um estudo detalhado para obter as vazões especificas do Mula, a inferência nos valores obtidos mostra a necessidade do estudo local para validar os dados e para determina medidas de pós-tratamento do efluente para que esse se enquadre ao córrego em que é despejado.

Referencias

MATSUMOTO, T. - **Monitoramento da estação de tratamento de Esgotos operado pelo SAAE de santa fé do sul e do respectivo corpo receptor** - FEPISA Ilha Solteira - SP agosto 2010 29p.

DAEE – Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo. **Banco de dados Pluviométricos e Pluviográficos do Estado de São Paulo.** Disponível em <http://www.dae.sp.gov.br>

SAAE – Serviço autônomo de água e esgoto Santa Fé do Sul – SP. Disponível em <http://saae.santafedosul.sp.gov.br> .

SANTOS, A. R. dos; SAITO, N. S.; PELUZIO, T. M. de O.; BRAGA, J. C. – **AD'Água 2.0: sistema para simulação de autodepuração em cursos d'água: manual do usuário** – Alegre-ES: CAUFES, 2010 31p.

SPERLING, M. Von. - **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos (princípios do tratamento biológico de águas residuárias)**. - Minas Gerais: ABES 1996. v. 1.

STREETER, H. W., PHELPS, E. B. A - **Study of the natural purification of the Ohio River**. - Public Health Bulletin 146, U.S. Washington: Public Health Service, 1925.