

SUBSÍDIOS PARA A ANÁLISE DAS POSSIBILIDADES DE OUTORGA DE DILUIÇÃO DE CARGA ORGÂNICA NO RIO INFERNINHO, SC

Franciele Zanananda^{1} & Héctor Raúl Muñoz Espinosa²*

Resumo – Este trabalho visa a contribuir para o melhor conhecimento da hidrologia ambiental na bacia hidrográfica do rio Inferninho, SC, e fornecer subsídios para a análise do pedido de outorga de diluição de efluentes de um aterro sanitário localizado nesta bacia. Foram efetuadas medições de vazão visando obter a curva chave numa seção do rio principal e coletadas amostras de água em 6 pontos, em diferentes meses do ano. Calcularam-se as respectivas cargas orgânicas, em que as principais fontes de cargas orgânicas encontradas foram os lançamentos de esgoto das comunidades rurais e a pecuária. Utilizando o modelo de Streeter-Phelps, simulou-se o perfil de OD e de DBO no trecho do rio atingido pelos efluentes do aterro sanitário. Os coeficientes K_1 obtidos foram coerentes com os valores estabelecidos na literatura. Os coeficientes K_2 e K_d foram estimados a partir da calibração do modelo, alcançando pequenos erros na validação. O decaimento da DBO e do OD, simulados em condições de estiagem, mostraram concentrações de DBO acima do permitido no final do trecho simulado, o que não ocorreu para o oxigênio, que se manteve acima do mínimo exigido.

Palavras-chave - Recursos Hídricos, Modelo de Streeter-Phelps, Diluição de Poluentes.

SUBSIDIES FOR ANALYZING THE POSSIBILITIES OF GRANTING DILUTION OF ORGANIC LOAD AT INFERNINHO RIVER, SC

Abstract – This paper aims to contribute for the knowledge of Inferninho river basin environmental hydrology at SC and to provide aids as regard as possible dilution granting required for a landfill located at the basin. Inferninho river stream flow was measured in order to obtain a level flow curve and water samples were collected at 6 points in different months of the year. Organic loads were calculated and the main sources of organic loads in the basin are the release of sewage, untreated, rural communities and livestock. Using the Streeter-Phelps model was simulated the profile of DO and BOD in the stretch of river affected by effluent from the landfill. The coefficients K_1 obtained were consistent with the values established in the literature. The coefficients K_2 and K_d were estimated from the calibration of the model, achieving small errors in the validation. The decay of BOD and DO, simulated at drought conditions, showed concentrations above the permitted to BOD at the end of the simulated stretch, which did not occur for oxygen, which remained above the minimum required.

Keywords - Water Resources, Streeter-Phelps Model, Pollutant Dilution.

INTRODUÇÃO

A bacia hidrográfica do rio Inferninho possui uma área de 147 Km² e pertence a vertente atlântica de Santa Catarina, se alinhando paralelamente com as bacias maiores dos rios Biguaçu e Tijucas, estando entre as coordenadas 27° 18' 47"S e 27° 24' 48"S e 48° 34' 06"W e 48° 50' 07"W.

¹ Engenheira Ambiental - Universidade do Vale do Itajaí - UNIVALI. Itajaí, SC. E-mail: franciele.zanan@gmail.com.

² Universidade do Vale do Itajaí – UNIVALI. CTTMar – Laboratório de Modelagem Ambiental. Itajaí, SC. E-mail: hrmuoze@th.com.br.

Para se conceder ou não a outorga de uso para diluição, deve-se conhecer as características da hidrologia ambiental da bacia hidrográfica em questão, além de entender as características da fonte pontual de lançamento, objeto da outorga. Com isso, o presente trabalho refere-se ao estudo das características quantitativas e qualitativas na bacia do rio Inferninho com vista, principalmente, a fornecer subsídios para analisar as possibilidades de outorga de uso para diluição dos lançamentos – outorga de diluição – provenientes de um aterro sanitário, localizado na bacia, além de analisar as cargas orgânicas em pontos estratégicos ao longo do rio.

METODOLOGIA

Considerando os locais de maior aporte de carga orgânica e tomando como base os mesmos pontos utilizados por Barnette (2006), foram estabelecidos 6 pontos amostrais para coleta de água, conforme apresentado na Figura 1. O ponto #5 refere-se ao canal de lançamento do chorume tratado.

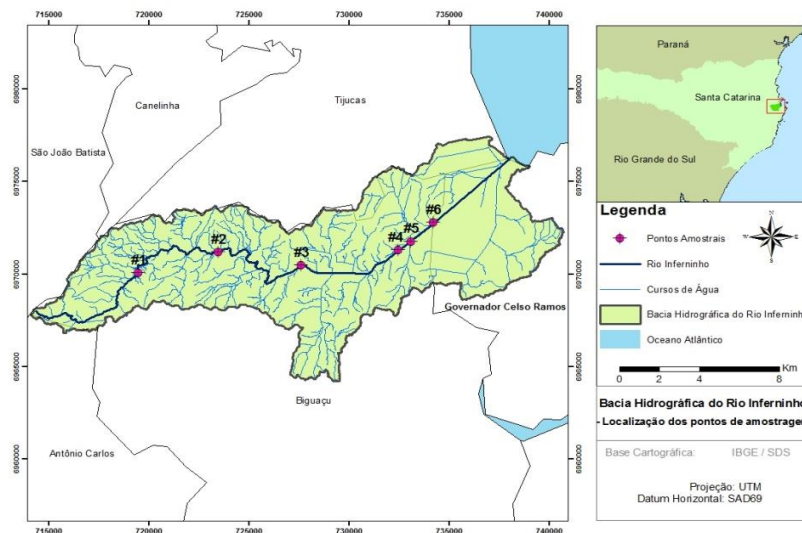


Figura 1 - Distribuição espacial dos pontos amostrais ao longo da bacia hidrográfica do rio Inferninho. Fonte: Própria.

Saídas de campo para a coleta de dados foram realizadas entre os meses de março a julho de 2012, com frequência aproximada de uma a cada mês. Nessas datas foi sempre analisado o cenário pluviométrico, bem como o efeito da maré nos horários de coleta.

Para os 6 pontos estabelecidos foram feitas medições das concentrações de oxigênio dissolvido (OD) e temperatura. Também foram coletadas amostras de água para posterior determinação da $DBO_{5,20}$ realizadas no Laboratório de Microbiologia Aplicada da Univali, conforme o método manométrico. No ponto #2, ademais dos parâmetros já citados, foram realizadas medições da vazão e do nível do rio, a vazão nos demais pontos foi determinada através da vazão específica. A determinação da carga orgânica - fluxo de massa orgânica - foi estimada pelo correspondente produto da vazão e concentração de $DBO_{5,20}$ em cada ponto.

Usando o modelo de Streeter-Phelps foram reproduzidas as condições de qualidade ao longo do rio, com o uso do *Software MATLAB*. Para a obtenção de K_1 , foi realizada em laboratório, também através do método manométrico, a medição dos valores da concentração de DBO do primeiro ao quinto dia de incubação, com amostras de água provenientes de uma coleta no dia 06 de julho para o ponto #1 e no dia 01 de junho para o ponto #5. A obtenção de K_1 foi realizada utilizando regressão não linear, em que a curva teórica foi ajustada aos vários pontos experimentais de tempo e DBO, para assim se obter a estimativa do valor de K_1 , de acordo com Von Sperling (2007). Para aplicação deste método foi empregada a ferramenta SOLVER do *Software Microsoft Excel*.

Para a calibração utilizaram-se apenas os dados observados da variável OD, com base nos dados do rio em estudo para o dia 01 de junho. O modelo também foi validado para o trecho do lançamento utilizando-se como dados de entrada, os valores obtidos na saída do dia 06 de julho e os coeficientes obtidos na calibração.

A simulação do perfil de DBO e OD para o trecho do rio Inferninho onde existe o lançamento, do ponto #4 até o ponto #6, foi feita supondo condições de estiagem. No caso, representadas por 50% da vazão Q_{98} obtida a partir da regionalização hidrológica de vazões adotada para o Estado de Santa Catarina apresentado em Santa Catarina (2006), e os dados da coleta em que se mediu a menor vazão. Os coeficientes de reaeração (K_2) e decomposição (K_d) utilizados foram os determinados através da calibração do modelo para o trecho em questão.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

As medições de vazão realizadas nas 6 campanhas de campo, somadas às medições efetuadas em 2004 e 2005 por Barnetche (2006), permitiram estabelecer para o ponto #2, a seguinte equação:

$$Q = 0,0515 \cdot h^{5,9221} \quad (1)$$

Em que Q é expresso em $[m^3/s]$ e h em [m]; e que apresentou um $R^2 = 0,9625$.

Variação de Carga Orgânica

Para as datas das amostragens que apresentaram o menor número de falhas nas medições de $DBO_{5,20}$, foram calculadas as cargas orgânicas. Como a vazão foi medida apenas no ponto #2, a vazão nos outros pontos foi estimada mediante relação de áreas, exceto para o ponto #5 onde a vazão utilizada foi a vazão média estimada para o lançamento do aterro. As cargas orgânicas em cada ponto a partir das vazões encontradas nas respectivas datas seguem apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 - Carga orgânica calculada para cada ponto amostral nas respectivas datas.

Data	Pontos	$DBO_{5,20}$ [mg/L]	Q [L/s]	Carga Orgânica [mg/s]
04/mai	#1	3,2	214,7	687,2
	#2	7,1	520,0	3692,0
	#3	n.d	845,9	n.d
	#4	7,6	1355,9	10305,2
	#6	9,8	1609,7	15775,3
01/jun	#1	1,6	99,1	158,6
	#2	1,92	240,0	460,8
	#3	n.d	390,4	n.d
	#4	6,5	625,8	4067,8
	#6	n.d	746,0	n.d
06/jul	#1	2,7	66,1	178,4
	#2	2,7	160,0	432,0
	#3	4,3	260,3	1119,2
	#4	6	417,2	2503,3
	#6	5,4	499,2	2695,6

n.d – não detectado

A carga orgânica sofre influência dos lançamentos e estes aumentam gradativamente ao longo do rio na direção nascente foz. A partir do ponto #3 começam aparecer núcleos populacionais, e também há um aumento nas áreas de pastagens. Os pontos #1 e #2 apresentaram baixos valores de carga orgânica comparados aos outros pontos localizados no rio Inferninho, exceto o ponto #2 no

dia 04 de maio, quando o valor de concentração de $DBO_{5,20}$ foi alto, provavelmente por alguma interferência pontual, pois nos demais dias este ponto obteve baixos valores. Estes dois pontos encontram-se em áreas bem preservadas, com presença de mata nativa em quase toda totalidade das suas áreas de drenagem, o que explica os baixos valores de carga orgânica encontrada.

Coefficiente de Desoxigenação (K_1)

Na Figura 2, a seguir, são apresentados os valores da DBO exercida e as curvas de correlação ajustadas.

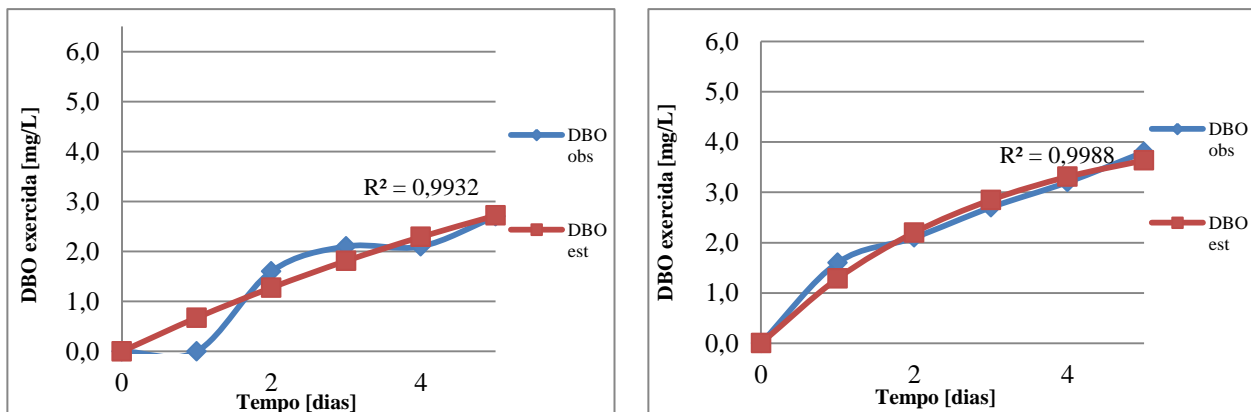


Figura 2 - Concentrações de DBO observadas e estimadas ao longo dos dias para os pontos #1 e #5, respectivamente.

Os valores do coeficiente de desoxigenação apresentados para os pontos medidos foram ainda corrigidos em função da temperatura observada para o curso d'água na data de coleta, resultando nos valores de $K_1 = 0,10 \text{ dia}^{-1}$ para o ponto #1 e $K_1 = 0,17 \text{ dia}^{-1}$ para o ponto #5, pois a temperatura na data de coleta estava em torno de 20°C .

Segundo Von Sperling (2007), valores de K_1 que se encontram entre $0,08$ e $0,20 \text{ dia}^{-1}$ representam valores típicos de cursos d'água com águas limpas, o que corresponde ao ponto #1, que obteve o valor de $0,10 \text{ dia}^{-1}$, e é o ponto mais à montante localizado no rio, próximo a uma das nascentes e se encontra sob pouca influência antrópica. O ponto #5, que representa o canal de lançamento de efluentes, apresentou um valor que se encontra dentro da faixa estabelecida para efluentes secundários, de K_1 entre $0,12 - 0,24 \text{ dia}^{-1}$. Segundo Von Sperling (2007), efluentes tratados possuem uma taxa de degradação mais lenta devido ao fato da maior parte de matéria orgânica facilmente assimilável já haver sido consumida durante o tratamento, restando apenas a parcela de estabilização mais vagarosa.

O valor de K_1 do ponto #1 foi utilizado na calibração do modelo, enquanto o valor do ponto #5 foi utilizado na simulação das condições do trecho onde ocorre o lançamento.

Calibragem e Validação do Modelo

A minimização do erro percentual na calibração conduziu aos valores de K_2 e K_d apresentados na Tabela 2 para cada trecho de acordo com suas características físicas e hidrológicas. Uma representação gráfica dos valores de OD estimados pelo modelo, a partir da adoção dos valores ótimos encontrados e dos valores de OD medidos em campo, é apresentada na Figura 3. Os resultados obtidos através do modelo proposto mostraram-se acurados para o presente estudo, em que os erros percentuais entre os valores observados e calculados, variaram de $0,57\%$ a $8,02\%$, sendo que este máximo corresponde ao ponto #2. Essa maior diferença pode ser explicada pela presença de uma queda d'água à montante deste ponto, que causa uma maior oxigenação da água neste local, esta queda d'água não foi considerada na simulação.

Tabela 2 - Valores de K_d e K_2 obtidos na calibração do modelo.

Trecho	K_d [dia ⁻¹]	K_2 [dia ⁻¹]
1-2	0,15	10
2-3	0,15	8
3-4	0,4	4
4-6	1	3

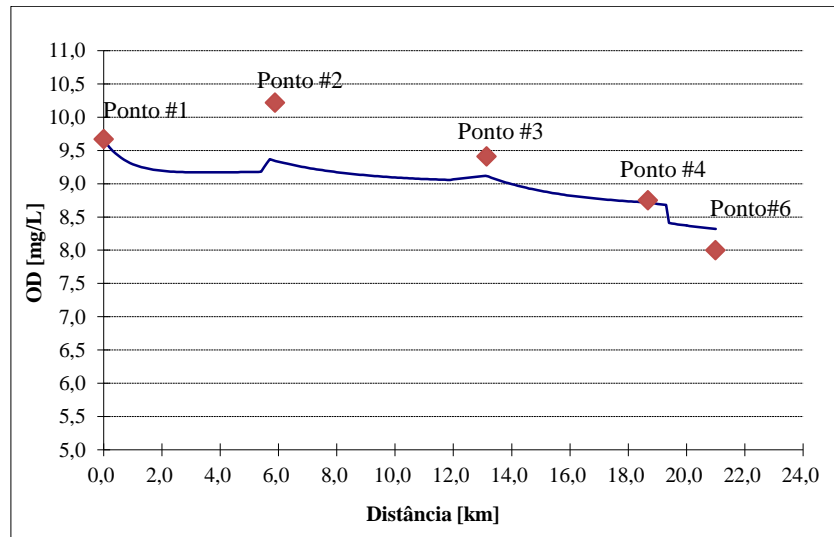


Figura 3 - Decaimento das concentrações de OD na calibração do oxigênio no modelo de Streeter-Phelps.

Depois de calibrados os parâmetros do modelo, realizou-se a validação para o trecho de interesse, do ponto #4 ao ponto #6. Para validação utilizaram-se os valores obtidos na saída do dia 06 de julho. Os resultados estão apresentados na Figura 4.

Os valores encontrados para os pontos #4 e #6, e os valores medidos neste ponto, juntamente com o erro percentual obtido para OD e $DBO_{5,20}$, seguem apresentados na Tabela 3. A diferença entre os valores medidos e os valores encontrados foi baixa, o que representa que a calibração foi eficiente para o trecho do rio em questão.

Tanto a calibração como a validação, foram realizadas com os dados das datas em que a maré estava vazante, diminuindo assim o risco de represamento à jusante, o que tornaria o regime não uniforme e não permanente. Também se consideraram que nestas datas a vazão estava menor comparada as outras datas de medições, sendo então mais representativas da situação crítica, a qual será simulada.

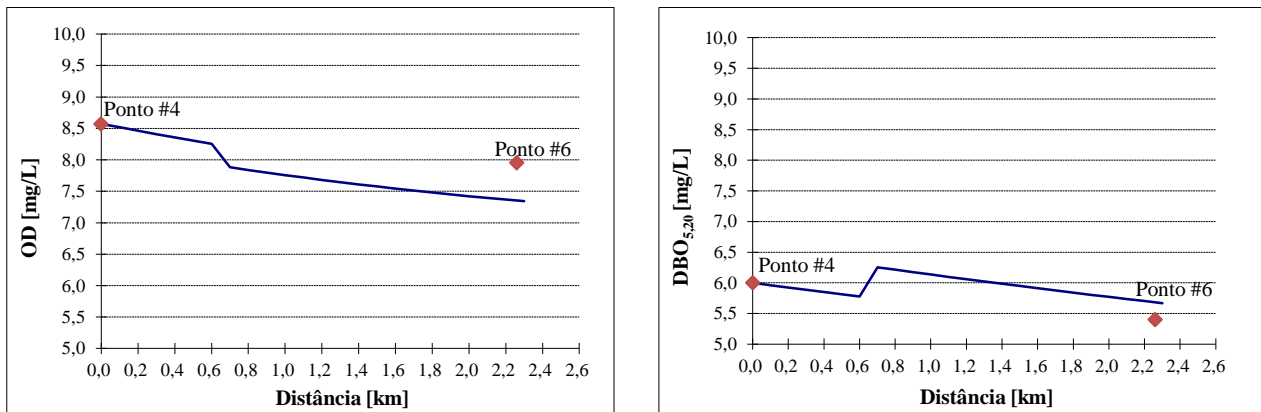


Figura 4 - Decaimento das concentrações de OD e DBO_{5,20}, respectivamente, na validação do modelo para o dia 06 de julho.

Tabela 3 - Erro percentual de OD e DBO_{5,20} por ponto amostral obtido na validação do modelo.

Ponto	O ₂ [mg/L] Medido	O ₂ [mg/L] Modelo	Erro (%)	Ponto	DBO _{5,20} [mg/L] Medido	DBO _{5,20} [mg/L] Modelo	Erro (%)
#4	8,57	8,57	0	#4	6	6	0
#6	7,95	7,3	7,7	#6	5,4	5,7	5,5

Simulações no Trecho de Lançamento

Simulações foram feitas, utilizando o software MATLAB, para obter os valores de OD e DBO, em condições de estiagem, no trecho afetado pelo lançamento dos efluentes do aterro sanitário. Trata-se do trecho que vai da ponte da localidade da Estiva (ponto #4) até o ponto sobre a BR 101 (ponto #6), com uma extensão de aproximadamente 2,26 km.

Considerou-se um regime permanente e uniforme em relação ao escoamento, e em condições de canal sem influência da maré. Portanto os resultados a serem apresentados são válidos somente em condições de maré vazante.

Os coeficientes de reaeração (K_2) e decomposição (K_d) utilizados foram os determinados através da calibração do modelo para o trecho em questão. Vale salientar que como o coeficiente K_2 varia de acordo com a velocidade e com a profundidade, o valor de K_2 para a vazão de estiagem poderia ser maior, porém como o valor utilizado é menor, este representa um fator de segurança, pois traz uma menor reaeração do rio. Quanto ao coeficiente de desoxigenação (K_1), o valor utilizado foi o valor determinado para o ponto #5, que se refere ao canal onde ocorre o lançamento.

O cenário simulado supôs condições de estiagem, utilizando como vazão de entrada, no trecho em análise, 50% da Q_{98} das vazões médias mensais na foz, obtida a partir da regionalização de vazões. Supondo a mesma vazão específica ao longo de todo trecho até a foz, foi calculada a vazão no ponto #4, que possui uma área de drenagem de 90,04 Km², sendo então 50% da mesma igual a 0,31 m³/s. O cenário simulado visa reproduzir as condições críticas para definir se é possível autorizar à diluição do lançamento de efluentes (DBO) do aterro sanitário no rio Inferninho, de acordo com a legislação catarinense, supondo que o mesmo lança diretamente no rio principal.

As concentrações estimadas na saída do efluente foram de 80,0 mg/L para DBO₅ e 1,0 mg/L para OD, considerando concentrações médias de chorume tratado apresentadas por Giordano *et al.* (2002); Latorraca *et al.* (2007); Giordano (2010), com uma vazão efluente de 20 m³/h ou 0,006 m³/s. As concentrações de OD e DBO₅ no rio, utilizadas, foram calculadas a partir das cargas obtidas no ponto #4 na saída do dia 6 de julho, data na qual se encontrou o menor valor de vazão, e então essas foram divididas pela vazão de entrada, obtendo-se os valores de concentração de 9,2

mg/L de OD e 8,1 mg/L de DBO₅. Para temperatura utilizou-se o valor obtido nesta mesma data, igual a 19 °C.

O resultado da simulação de OD e DBO₅ está apresentado, respectivamente, na Figura 5, juntamente com o limite da resolução CONAMA 357/2005 estabelecido para os rios de classe 2. Verifica-se que as concentrações de oxigênio dissolvido, mesmo na sua concentração crítica no final do trecho, encontram-se acima do mínimo exigido pela legislação, pois o rio possui condições hidráulicas, como a baixa profundidade, que favorecem a aeração; o mesmo não ocorre para a DBO₅, que em todo o percurso encontra-se acima do limite permitido.

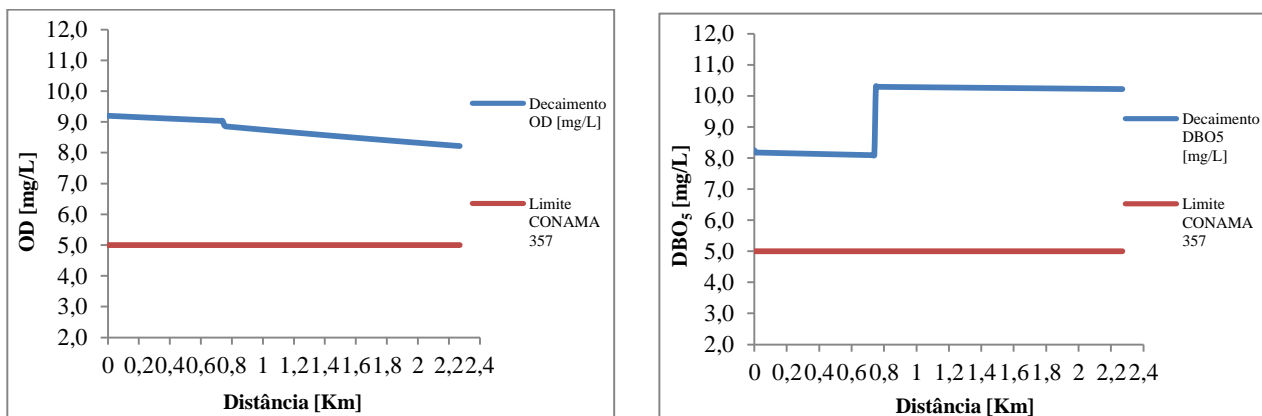


Figura 5- Perfil de OD e de DBO₅, respectivamente, ao longo do trecho e limite do CONAMA 357/2005 para OD e DBO para classe 2.

O modelo fornece as concentrações da DBO última ao longo do trecho, então se dividiu estas concentrações por K_t (constante para transformação da DBO₅ em DBO última) para obtenção do perfil da DBO₅ ao longo do trecho para possível comparação com o CONAMA 357/2005, já que o parâmetro utilizado pela legislação é a DBO₅ e não a DBO última.

Observa-se na Figura 5 que próximo ao Km 0,7 ocorre um forte decaimento do OD, e nesta mesma distância ocorre um forte aumento da concentração da DBO₅ (Figura 5), isso se deve a entrada do lançamento dos efluentes do aterro sanitário no rio principal, que ocorre neste ponto. O rio já não possuía um valor de DBO₅ dentro do limite permitido à montante do lançamento, porém observa-se uma interferência significativa na concentração de DBO₅ após o lançamento. Nota-se que a autodepuração da matéria orgânica, no trecho analisado, não é suficiente para alcançar o limite permitido até o ponto #6.

Entretanto, tendo em conta que o parâmetro de maior interesse para a manutenção da vida no ecossistema aquático é o OD e não a DBO, os resultados da simulação se constituem em um indicador não impeditivo em relação à outorga de lançamento, no referente aos impactos sobre o parâmetro OD no curso do rio Inferninho.

CONCLUSÕES

As principais fontes de cargas orgânicas na bacia são devido ao lançamento de esgoto das comunidades rurais e à pecuária, caracterizando as principais atividades da bacia, aumentando na direção nascente foz, estando diretamente relacionado ao fato da urbanização encontrar-se próxima à costa, ou seja, nas áreas mais planas, o que ocorre em quase todo o litoral brasileiro. Isso torna cada vez mais importante a implantação de tratamentos de esgotos, sendo mais favorável a esta situação, tratamentos individuais, pois estas comunidades são caracterizadas por casas distantes uma das outras, em locais que não possuem infraestrutura. A situação se torna ainda mais urgente

ao observar-se o crescimento da região, que vem se expandindo devido aos seus grandes atrativos, tanto econômicos como paisagísticos.

Os coeficientes K_1 obtidos demonstraram-se coerentes com os valores estabelecidos na literatura para as mesmas características, da mesma forma que os valores obtidos para os coeficientes K_2 e K_d , estimados a partir da calibração do modelo.

Como o elemento de maior importância é o OD, usando esse parâmetro como critério, os resultados do presente trabalho sugerem que a outorga poder-se-ia conceder, especialmente levando em consideração a dificuldade de medir com exatidão a concentração de DBO. Entretanto, tratando-se de um aterro sanitário, não basta apenas a análise de matéria orgânica e de OD para a outorga de lançamento; outros elementos podem ser potencialmente importantes, como por exemplo, metais. Por outro lado, a disponibilidade da equação (1), correspondente à curva “cota x vazão” no ponto #2, permitirá a realização de estudos complementares, baseados em novas coletas de amostras de água, através de campanhas que não deverão implicar na necessidade de medição de vazões, mas somente do nível d’água no ponto #2. Com as novas informações poderá ser aferida a validação do modelo usando um espectro maior de situações observadas.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Governo do Estado de Santa Catarina pelo financiamento da bolsa de pesquisa através da Pró-Reitoria de Pesquisa, Pós-Graduação, Extensão e Cultura (ProPPEC) da UNIVALI que permitiu o desenvolvimento deste trabalho e também aos técnicos da Diretoria de Recursos Hídricos da Secretaria de Estado do Desenvolvimento Econômico, SDS/SC, pela parceria e contribuições em todas as saídas de campo.

REFERÊNCIAS

- BARNETCHE, D. (2006). *Hidrologia das Águas Superficiais da Bacia do Rio Inferninho, Biguaçu - SC*. Dissertação (Mestrado) - UFSC, Florianópolis - SC, 95 p.
- BRASIL. (2005). Resolução do CONAMA n. 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. *Diário Oficial da União*, Brasil, 2005.
- GIORDANO, G. *et al.* (2002). Tratamento do Chorume do Aterro Metropolitano de Gramacho – Rio de Janeiro - Brasil. In *Anais do XXVIII Congresso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental*, Cancún, Out. 2002.
- GIORDANO, G. (2010). Processos Físico-químicos e Biológicos Associados para Tratamento de Chorume. In *Anais do VII Simpósio Internacional de Qualidade Ambiental*, Porto Alegre, Mai. 2010.
- LATORRACA, T. J. F. *et al.* (2007). Análise do Sistema de Proteção dos Recursos Hídricos em um Aterro Sanitário – Estudos por meio de dados de monitoramento. In *Anais do I Simpósio de Recursos Hídricos do Norte e Centro Oeste*, Cuiabá, Jun. 2007.
- SANTA CATARINA. (2006). *Regionalização de Vazões das Bacias Hidrográficas do Estado de Santa Catarina*. Florianópolis- SC, 141 p. Disponível em: <http://www.aguas.sc.gov.br/>. Acesso em: 01 abr. 2012.
- VON SPERLING, M. (2007). *Estudos e Modelagem da Qualidade da Água de Rios*. DESA/UFMG Belo Horizonte- MG, 588 p.