

IV-057 - ESTUDO DA CAPACIDADE DE AUTODEPURAÇÃO NO CÓRREGO LAGOA

Lucio Henrique Pereira⁽¹⁾

Engenheiro Ambiental, UFMS.

Ciomara de Souza Miranda⁽²⁾

Mestranda em Tecnologias Ambientais, UFMS.

Anderson Teodoro⁽³⁾

Engenheiro Ambiental, UFMS.

Maria Lucia Ribeiro⁽⁴⁾

Professora Doutora em Recurso Hídrico e Saneamento Ambiental, UFMS.

Endereço^(1,2,3,4): Rua Cidade Universitária – Campo Grande - MS - CEP: 79052-170 - Brasil - e-mail: lucio.ambiental@hotmail.com, ciomara.miranda@gmail.com, anderson_teo@gmail.com, ribeirol@nin.ufms.br

RESUMO

A modelagem da qualidade da água está sendo cada vez mais reconhecida como uma ferramenta útil para a aquisição de informações valiosas, imprescindíveis para a excelência na gestão da qualidade da água. Este trabalho utilizou a modelagem matemática para avaliar a capacidade de autodepuração do Córrego Lagoa na região Oeste de Campo Grande com a utilização da plataforma em Excel QUAL-UFMG. Foi realizada uma campanha para a coleta de água e medição de vazão no mês de agosto de 2010 em três pontos, sendo analisados a DBO₅ e o OD. A área escolhida possui dois lançamentos de efluentes industriais. Os dados de lançamento utilizados foram os do mês de abril de 2009. Concluiu-se que o Córrego Lagoa não é capaz de receber os efluentes ali lançados, havendo a necessidade de um aumento na eficiência do tratamento das indústrias. Outro ponto a salientar foi o desacordo da classificação daquele corpo d'água com a resolução CONAMA 357/2005.

PALAVRAS-CHAVE: modelagem matemática, QUAL_{UFMG}, efluentes industriais.

INTRODUÇÃO

A utilização prudente dos recursos hídricos tem sido, nas últimas décadas, uma questão importante nas políticas públicas. Muito esforço tem sido despendido no desenvolvimento de estratégias eficazes de gestão da qualidade, suficientes para garantir o abastecimento de água de alta qualidade (Eatherall *et al.*, 1998; Elshorbagy e Ormsbee, 2006; Horn *et al.*, 2004; Ning *et al.*, 2001).

De acordo com Gastaldini *et al.*, (2002) é cada vez mais urgente a necessidade da identificação e diagnóstico dos fatores que afetam a qualidade da água, bem como a previsão dos impactos de determinados eventos ou condições específicas, para melhor auxiliar a administração dos recursos hídricos com propostas ou alternativas concretas e realmente eficazes.

Modelos de qualidade da água são ferramentas essenciais para a avaliação do impacto das mudanças nos corpos d'água, em resposta a variáveis de entrada, bem como as interações que ocorrem dentro do sistema. Têm sido importantes ferramentas para a gestão eficaz dos sistemas hídricos e para a simulação e otimização dos regimes de descarga. Por outro lado, podem ser utilizados para estabelecer procedimentos de vigilância e ajudam no processo de tomada de decisão para que os objetivos ambientais possam ser respeitados, com a definição de margens de segurança adequadas a um custo realista (Lopes *et al.*, 2008).

Largamente utilizados no controle de qualidade da água e de simulações decorrentes do estado de ocupação da bacia, os modelos matemáticos têm sua aplicação também no prognóstico de impactos decorrentes da implantação de novos empreendimentos. Um dos modelos mais bem conceituados e utilizados na simulação da qualidade da água de rios é o QUAL2E (Chapra, 1997).

O QUAL2E é um modelo de qualidade da água que a partir do ponto de origem do impacto, pode simular os parâmetros de DBO₅, OD, temperatura, algas (clorofila a), nitrogênio orgânico, amônia, nitrito, nitrato, fósforo

orgânico, fósforo inorgânico dissolvido, coliformes, uma variável não-conservativa arbitrária, três variáveis conservativas arbitrárias (EPA, 1987).

A plataforma em Excel QUAL_{UFMG} desenvolvida por von Sperling (2007) é baseada no modelo clássico QUAL2E. É uma planilha versátil, de modelagem unidimensional e fácil utilização, capaz de simular a reaeração atmosférica e seus efeitos no balanço de oxigênio dissolvido, o decaimento de matéria orgânica e coliformes, além de abranger as séries de fósforo e nitrogênio. O QUAL_{UFMG} possui uma estrutura muito parecida com a do QUAL2E, excluindo-se o componente algas de sua modelagem por motivos de simplificação técnica e também pela pequena importância das mesmas na simulação de ambientes lóticos. (Teodoro, 2010).

A etapa de calibração do modelo é de grande importância, pois permite que os parâmetros das equações matemáticas sejam ajustados para a realidade física, química e biológica do ambiente modelado, produzindo assim, uma simulação com precisão aceitável para as características reais do corpo hídrico (Oppa, 2007 e Bäumle, 2005).

A taxa com que a matéria orgânica é degradada no meio líquido é representada pelo coeficiente de desoxigenação (k_1) (Oppa, 2007 e Rodrigues, 2005). Esse é um parâmetro de grande relevância na modelagem do oxigênio dissolvido, seu valor depende das características da matéria orgânica presente no meio hídrico, da temperatura e da presença de substâncias inibidoras (von Sperling, 1996 e Oppa, 2007).

Ao se comparar o coeficiente de desoxigenação observado no curso d'água com o determinado em laboratório através do teste da DBO₅ encontram-se valores maiores para o primeiro caso. Isso se deve à incorporação da decomposição da matéria orgânica pela biomassa do lodo de fundo, além da suspensão na massa líquida. A referida diferença é representada pelo coeficiente de decomposição (k_d), sendo este sempre maior ou igual ao k_1 determinado em laboratório (EPA, 1985).

A reaeração é o processo de troca de oxigênio entre a atmosfera e o corpo d'água, caracterizando-se como a absorção física do oxigênio da atmosfera pela água em movimento (Siqueira & Cunha, 1997). A taxa com que essa absorção ocorre é chamada de coeficiente de reaeração (k_2) e é expresso em d^{-1} (Bárbara, 2006).

O coeficiente k_2 é calculado por meio das características hidráulicas do sistema a ser modelado (Siqueira & Cunha, 1997), podendo ser obtido através de fórmulas empíricas e semi-empíricas ou por técnicas de medição de campo (Rodrigues, 2005). Entre as diversas formas de determinar o coeficiente de reaeração, a mais aceitável é a dos traçadores gasosos, podendo quantificar o valor de k_2 independente de outras fontes e sumidouros de oxigênio na água (Bennett & Rathbun, 1972; Barbosa, 1989 e Barbosa e Giorgetti, 1995 *apud* Bárbara, 2006). Porém, a quantificação desse coeficiente implica em exaustivos trabalhos de campo e de laboratório, equipamentos e profissionais especializados (Rodrigues, 2005).

O enquadramento de um corpo d'água em classes segundo a resolução CONAMA 357/2005 visa ao estabelecimento de um nível de qualidade a ser alcançado ou mantido em um dado segmento do corpo hídrico. Dessa maneira, ao corpo d'água será assegurada a qualidade compatível com os usos mais exigentes a que forem destinadas suas águas, reduzindo os custos de combate à poluição mediante ações preventivas permanentes.

A Resolução CONAMA 357/2005 classifica os recursos hídricos em 13 classes para as águas doces, salinas e salobras do Território Nacional. Nesse sentido, o termo gerenciamento de qualidade da água implica no aproveitamento dos recursos hídricos de maneira que mantenha esta qualidade nos níveis estabelecidos para os usos pré-definidos. Seguindo o determinado nesta resolução, quando um corpo d'água não apresenta classificação normativa, as águas doces deverão ser consideradas pertencentes à classe 2.

A autodepuração dos recursos hídricos se faz através da diluição e assimilação de esgotos e resíduos através de processos físicos, químicos e bacteriológicos. As características hidráulicas, morfológicas, climatológicas e biológicas são aspectos limitantes da capacidade de autodepuração, envolvendo a quantidade e qualidade de recursos hídricos existentes, portanto, esses são fatores indissociáveis para o gerenciamento dos recursos hídricos (Aneel e Ana, 2001 *apud* Souza, 2004).

O fenômeno de decomposição natural da matéria orgânica presente em um corpo d'água é conhecido como autodepuração, onde a água retoma gradualmente suas características anteriores, com relação às concentrações

de matéria orgânica (representada pela DBO_5) e oxigênio dissolvido (OD). Este processo é compreendido pela degradação, sedimentação, dispersão, diluição, reaeração, fotossíntese, dentre outros (Rodrigues, 2005).

Conforme Bárbara, (2006), devido às diferentes capacidades de autodepuração existentes entre corpos hídricos, torna-se necessário a realização de estudos específicos, visando conhecer a quantidade de efluentes que cada rio é capaz de receber e diluir sem que suas características naturais sejam prejudicadas.

O atual estudo tem como objetivo avaliar a capacidade de autodepuração e de diluição do Córrego Lagoa localizado na cidade de Campo Grande. Nessa região se instalaram um matadouro/frigorífico de grande porte e um curtume, potenciais fontes pontuais de poluição. Há preocupação com o impacto ambiental proveniente da instalação de indústrias na região da bacia do Córrego Lagoa, uma vez que o Plano Diretor atual não prevê esta atividade para a região.

MATERIAIS E MÉTODOS

A Bacia do Córrego Lagoa está localizada na região oeste da zona urbana de Campo Grande e possui baixa densidade demográfica, por estar constituída de vazios urbanos. É abrangida pelo bairro União e parte dos bairros: Sobrinho, Santo Antônio, Taveirópolis, Santo Amaro, Caiçara, Leblon, São Conrado, Tijuca, Caiobá, Batistão, Coophavilla II e Tarumã. Compõem a microbacia cuja área é de 36,6 km², os Córregos Buriti, Seriema, Zardo e Lagoa. A população total da região é 76.668 habitantes, o que proporciona uma densidade populacional de 2.092,3 hab/km².

Foram realizadas coletas de amostras de água em três pontos do córrego, para análise dos parâmetros físico-químicos, e medição de velocidade através de molinete fluviométrico para determinação das vazões no córrego. A Figura 1 apresenta as seções de monitoramento, bem como os pontos de lançamento utilizados para a modelagem no rio. O ponto 1 está logo a montante do efluente da primeira indústria matadouro/frigorífico, o ponto 2 localiza-se entre os lançamentos industriais, imediatamente a montante do curtume e o ponto 3 encontra-se a jusante dos lançamentos dos efluentes.

As figuras 1 e 2 contêm resultados comparativos, obtidos em ensaios, da eficiência do cloreto férrico em relação ao sulfato de alumínio (produto normalmente utilizado na ETA).

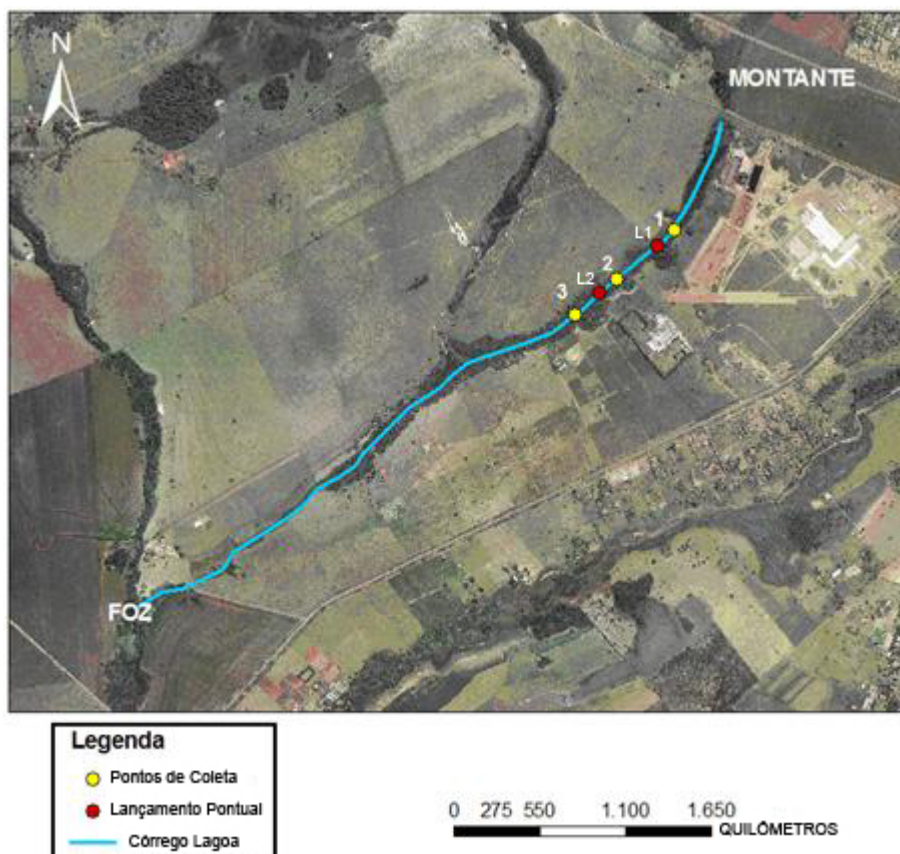


Figura 1: Seções de monitoramento e pontos de lançamentos sobre imagem Geomorena.
Fonte: Instituto de Planejamento Urbano de Campo Grande Modificado (2010).

As amostras foram coletadas e preservadas de maneira adequada até o momento do procedimento laboratorial. Foram determinados o OD e DBO₅. As análises foram realizadas no Laboratório de Qualidade de Água – LAQUA, da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul – UFMS, de acordo com as técnicas preconizadas pelo *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 21th ed. (APHA; AWWA; WPCF, 2005).

As medições de vazão foram realizadas com molinete fluviométrico para determinar a velocidade média do fluxo. A área molhada da seção foi determinada por meio de batimetria, onde são medidas as profundidades e as larguras dos pontos ao longo da seção. A distância entre cada vertical depende da largura do rio e da regularidade do escoamento.

De posse das velocidades médias calculadas para cada vertical e respectiva profundidade, e das distâncias entre verticais, foi possível calcular a vazão das seções escolhidas para o córrego Lagoa como mostra a Figura 2. O método empregado foi o da seção média, em que a descarga líquida em cada seção é obtida pelo somatório dos produtos da velocidade média em cada segmento de área pela área do mesmo. A velocidade média de cada segmento de área é igual à média aritmética entre as velocidades médias nas verticais que limitam o segmento.

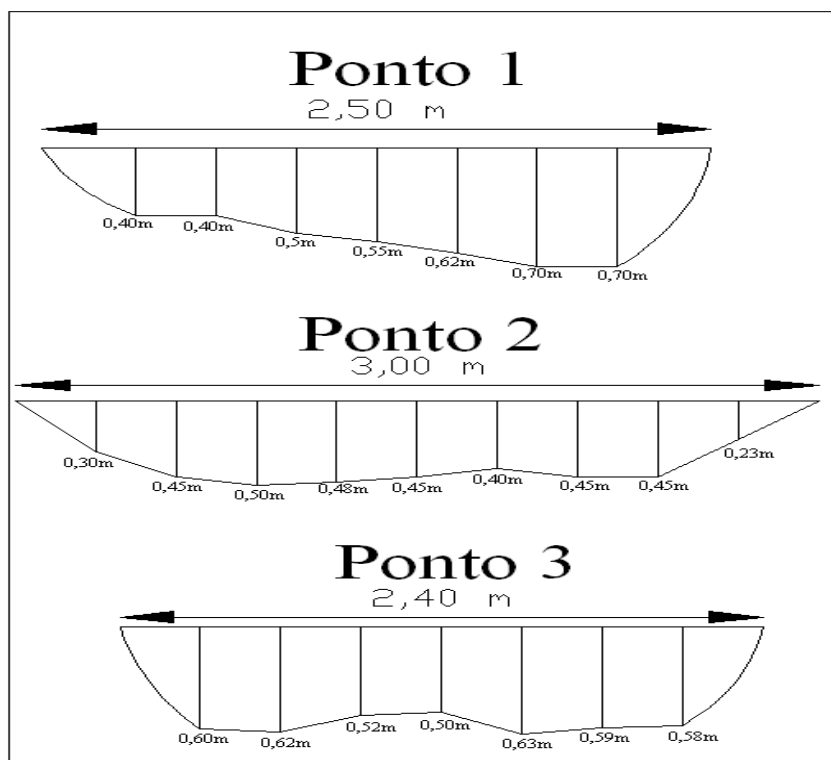


Figura 2: Seções de monitoramento.

Situações de estiagem dão maior confiabilidade na precisão da modelagem, pois caso o rio depure os lançamentos em tais condições estará apto para depurar em situações de maior vazão. Por essa razão as amostras foram coletadas após um período de 40 dias de estiagem, no dia 27 de agosto de 2010. Segundo INMET (Instituto Nacional de Meteorologia) a chuva que antecedeu a coleta foi a do dia 19 de julho onde foi registrado 0,8mm de chuva.

Os parâmetros hídricos como vazão, altura d'água e velocidade das águas, obtidos em campo, foram utilizados para a determinação do coeficiente de reaeração k_2 , por meio da fórmula hidráulica encontrada na literatura técnica desenvolvida pelo pesquisador Owens *et al* (apud Branco 1978) e aplicadas a cada par de valores de velocidade e altura d'água.

A determinação do k_1 e k_d , foi feita pela metodologia encontrada na literatura técnica através das características do esgoto lançado, medidas em uma única coleta, devido a falta de mais campanhas para a devida calibração. Foram determinados valores que assumiram um menor erro dentro das faixas de variação dos coeficientes de acordo com a Tabela 1, em destaque os valores utilizados.

Tabela 1: Faixa de variação de k_1 , e k_d .

Origem	k_1 (dia ⁻¹)	K_d (dia ⁻¹)
Curso d'água recebendo esgoto bruto concentrado	0,35 - 0,40 - 0,45	0,50 - 1,00 - 1,00
Curso d'água recebendo efluente secundário	0,12 - 0,20	0,12 - 0,24

Fonte: Adaptado von Sperling (2007).

O curtume localizado no município de Campo Grande possui capacidade de processamento de aproximadamente de 3.000 couros.dia⁻¹. Segundo Gomes, M. R. (2006) a vazão de lançamento prevista é de 35 m³.h⁻¹, possui um sistema de tratamento secundário com a utilização de tanque de aeração. Sua eficiência média na remoção de DBO5 para o ano de 2009 foi de 80%. O matadouro/frigorífico possui uma capacidade de abater diariamente 3.500 bovinos e seu sistema de tratamento é o de lagoas de estabilização modelo Australiano, sendo que no ano de 2009 obteve uma eficiência média de 90% na remoção de DBO. Gasta em

média de 2m³ a 3m³ de água por unidade de boi, considerando que foi projetado para funcionar 24 horas por dia.

Foram analisados dois cenários: um com o funcionamento das duas indústrias simultaneamente e outro somente com o matadouro/frigorífico. Essa segunda condição foi estudada devido à existência de dias em que não há funcionamento do curtiúme.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

A disposição do perfilamento dos pontos foi feita de modo simplificado, através de diagrama unifilar como ilustrado pela Figura 3. Este diagrama representa o perfil longitudinal do rio para o primeiro cenário onde há somente o funcionamento do matadouro/frigorífico, condição para o dia de coleta, identificando as suas localizações ao longo do trecho estudado.

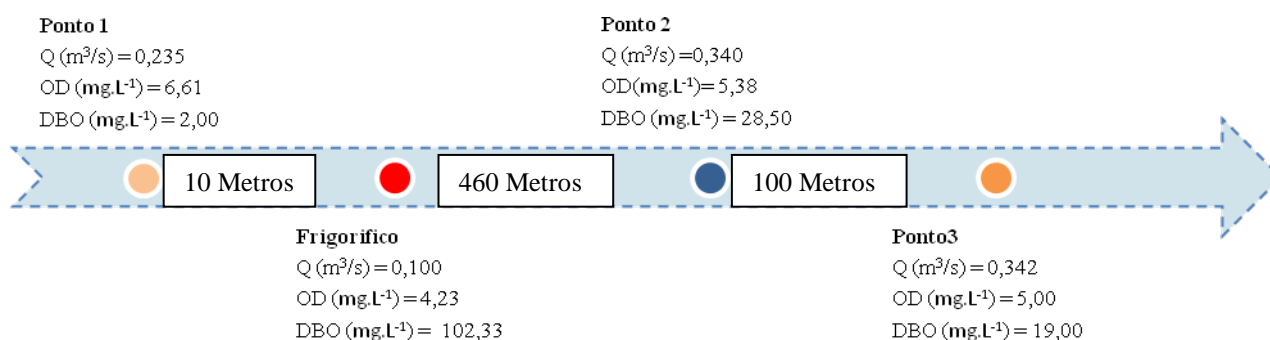


Figura 3: Diagrama unifilar

A extensão total do trecho estudado foi de 4,5 km, sendo que, cada trecho foi subdividido em elementos computacionais, de comprimento aproximado de 5 m e uma vazão incremental de 0,06 l.s-1a cada subdivisão. A Tabela 2 mostra as características das seções de monitoramento e também alguns parâmetros hidráulicos do Córrego Lagoa. Vale salientar que no dia da visita in loco, o cenário era somente com lançamento do frigorífico.

Tabela 2: Características das seções de monitoramento

Ponto	Vazão (m³/s)	Velocidade (m/s)	Largura (m)	Profundade Média (m)	Área (m²)
01	0,235	0,20	2,5	0,47	1,19
02	0,340	0,31	3,0	0,42	1,11
03	0,342	0,28	2,4	0,58	1,21

A Figura 4 apresenta o crescimento de vazão do primeiro ponto de coleta até a foz no córrego Imbirussu. Com os dados de vazão monitorados através da campanha foi possível descrever o comportamento da descarga líquida ao longo do rio. Nota-se que o Córrego Lagoa não é um corpo d'água de grande porte, podendo não atender às necessidades hídricas futuras de empreendimentos na bacia.

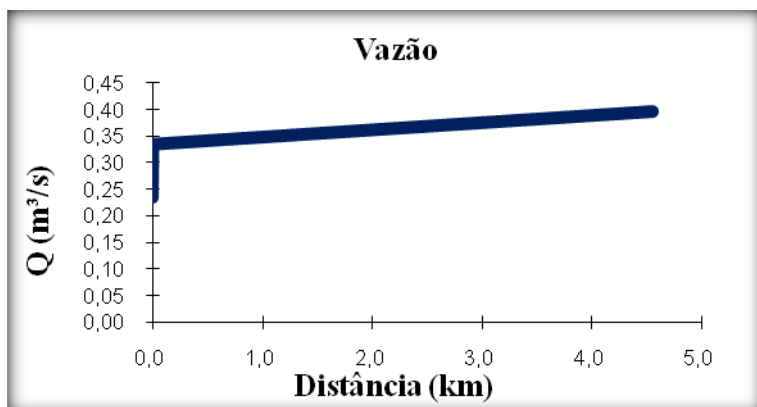


Figura 4: Variação da vazão no Córrego Lagoa para o dia da coleta.

Além da determinação da descarga líquida nas seções de interesse no Córrego Lagoa, as amostras de água forneceram, após sua análise, as concentrações de matéria orgânica em termos de DBO₅ e OD apresentados na Tabela 3.

Tabela 3: Valores encontrados dos para parâmetros analisados.

Ponto	O.D mg.L ⁻¹	DBO ₅ mg.L ⁻¹	Temp. Água °C	Temp. Amb. °C	Vazão (m³/s)
01	6,61	2,00	22,0	27,0	0,235
02	5,38	22,50	23,0	30,0	0,340
03	5,00	19,00	22,2	30,0	0,342

A Tabela 4 apresenta a qualidade dos lançamentos para os parâmetros simulados. Foi utilizado a média do ano de 2009 das indústrias matadouro/frigorífico e curtume respectivamente.

Tabela 4: Dados de lançamentos fornecidos pelo órgão Ambiental responsável.

	DBO ₅	OD	Q (m³.s-1)
Matadouro/Frigorífico	102,33	4,23	0,100
Curtume	287,16	0,00	0,097

Um dos indicadores estatísticos mais úteis de ajuste dos dados estimados aos dados observados é dado pelo Coeficiente de Determinação (CD), apresentado na Equação 1. Tal coeficiente guarda uma relação entre a soma dos resíduos ao quadrado e a variância total dos dados observados.

$$CD = 1 - \frac{\sum (Y_{i_{obs}} - Y_{i_{est}})^2}{\sum (Y_{i_{obs}} - Y_{i_{méd}})^2} \quad \text{Equação 1}$$

Sendo:

Y_{obs}: valor do OD ou da DBO₅ observado

Y_{est}: valor do OD ou da DBO₅ estimado

Y_{méd}: média dos valores observados

A Figura 5 relaciona os valores dos três pontos observados com a curva estimada pela modelagem através das equações desenvolvidas por Streeter-phelps. Em destaque k₂, calculado a partir da equação de Owens et al, que obteve o valor de 5 d⁻¹. O k₁ e k_d foram determinados em função da faixa de variação encontrada na literatura e que ao mesmo tempo tivesse o menor erro em relação aos dados observados.

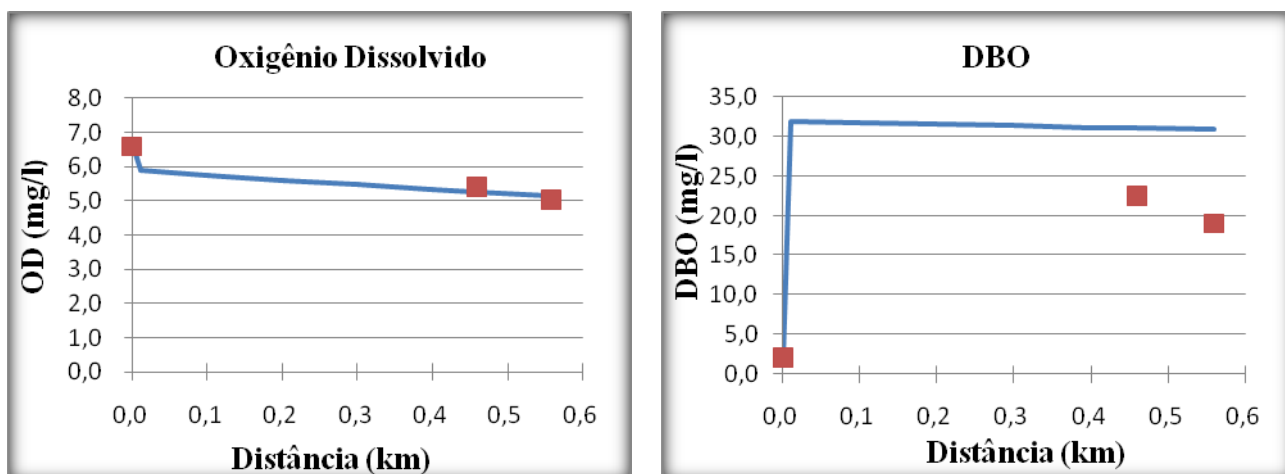


Figura 5: Comportamento de OD e DBO₅ com os valores observados

Para o OD foi encontrado um CD de 0,96, significando que o modelo é capaz de explicar 96% da variância dos dados experimentais. Para a DBO₅ o valor de CD encontrado foi de 0,01, indicando que o modelo é capaz de explicar apenas 1% da variância dos dados. A média [CD (OD) e CD (DBO₅)] foi de 0,54.

A seguir são apresentados os resultados dos dois cenários simulados de qualidade da água para o Córrego Lagoa, refletindo sua capacidade de autodepuração e diluição de efluentes para os trechos simulados. Para o cenário 1, com o funcionamento apenas do frigorífico, foram encontrados os seguintes resultados modelados conforme Figura 6.

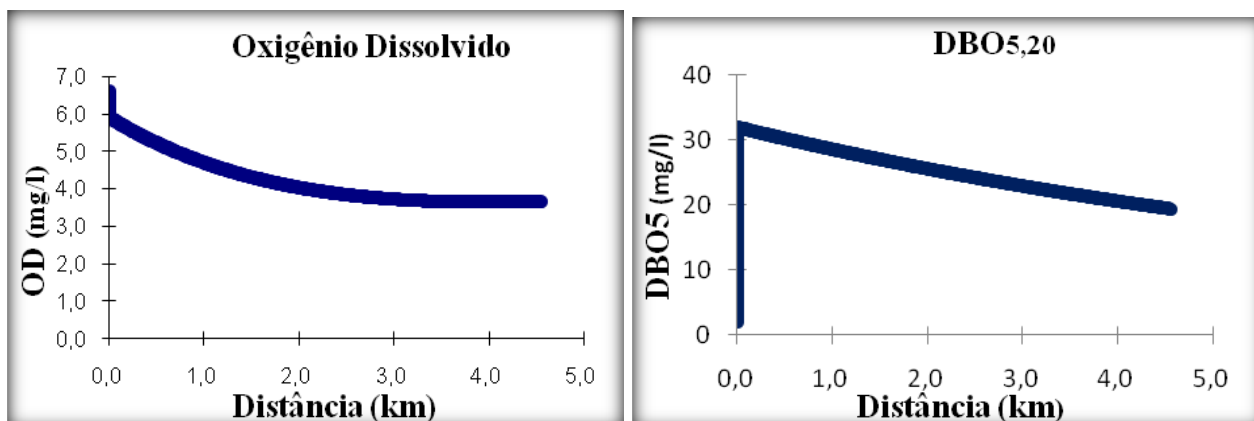


Figura 6: Perfil de OD, DBO₅.

A DBO₅ neste cenário está 94% maior que a prevista em lei para a classe três o que representa um valor final de 19,4 mg.L⁻¹. O OD se encontra 10% abaixo do limite sendo 3,62 mg.L⁻¹ sua concentração final. O que nos leva a concluir que a maior parcela da diminuição da concentração de oxigênio é atribuída ao curtume. Mantendo essas condições, seria necessário mais 9,5 km de rio para atender a legislação. A Figura 7 ilustra o perfil longitudinal para o funcionamento das duas indústrias simultaneamente.

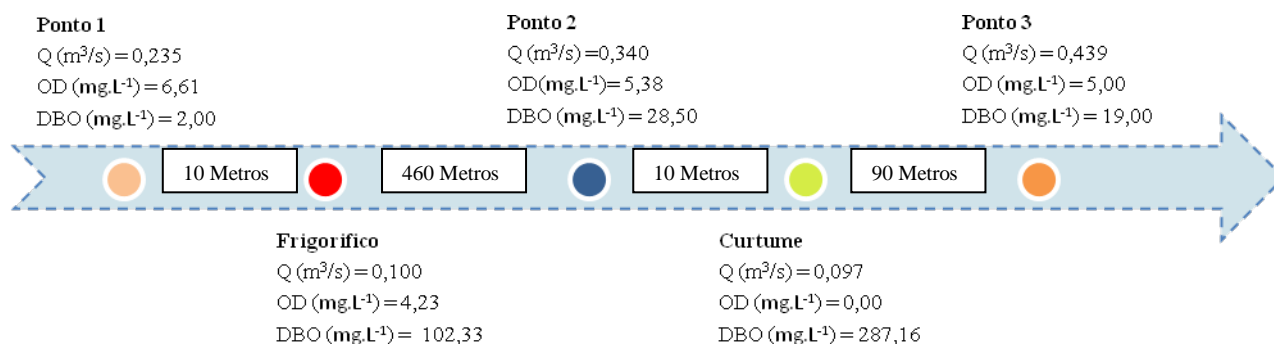


Figura 7: Diagrama unifilar no funcionamento indústria.

Os resultados do cenário 2 Figura 8, mostram o perfil de OD ao longo do rio, além da variação de DBO5.

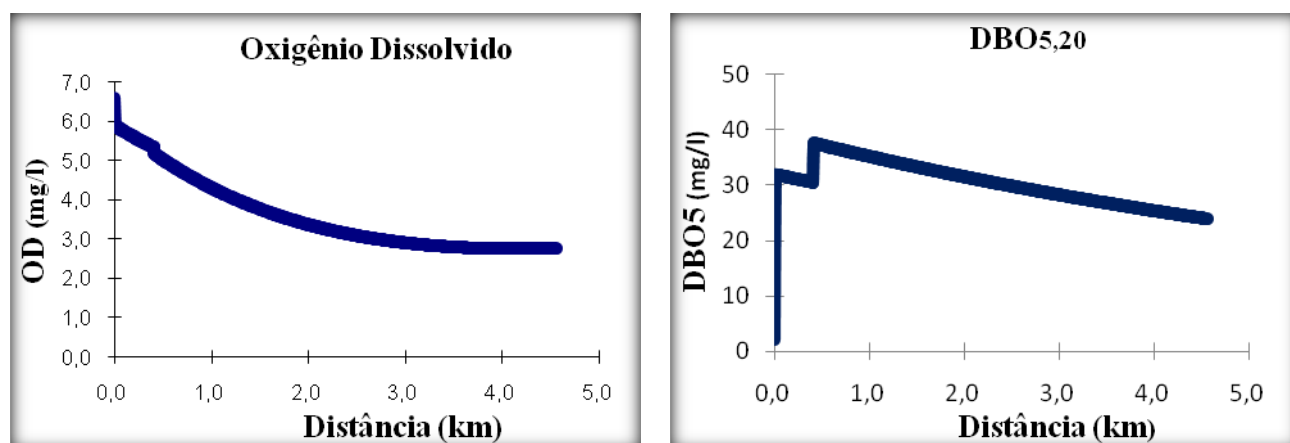


Figura 8: Perfil de OD, DBO₅.

A DBO5 segundo a modelagem está 139% acima do permitido que é de 10,0 mg.L-1. Ao final do trecho seu valor é de 23,9 mg.L-1. O OD se apresenta 44% abaixo de 4,0 mg.L-1 que é o mínimo apontado pela resolução CONAMA 357/2005, sendo que no final do percurso simulado seu valor foi de 2,77 mg.L-1. Os dados demonstram que há necessidade de uma acentuada melhoria nos processos de tratamento dos efluentes das indústrias. É fácil notar que no primeiro cenário o OD e a DBO5 na foz do Córrego Lagoa estão longe de suas características iniciais. Mantendo essas condições, seriam necessários mais 12,2 km de rio para atender a legislação.

Foi demonstrado que em nenhum momento a DBO5 esteve dentro dos limites preconizados para os dois cenários. O OD apresentou percentagem de adequação de 44,5% para o cenário 1 e 26,8 para o cenário 2. A partir do km 2 o OD já não atendia a resolução no primeiro cenário, e para o segundo a partir de 1,2 km.

CONCLUSÃO

Com esse estudo observou-se através de modelo de qualidade da água que o corpo d'água não é capaz, por suas características físicas, de receber as cargas dos efluentes industriais ali despejados. A análise dos dados de campo e modelados, demonstram que o mesmo não tem capacidade de autodepuração ao longo do trecho. A Resolução CONAMA 357/2005, estabelece como limites para o corpos d'água classe 3 uma concentração mínima de OD de 4 mg.L-1 e no máximo 10 mg.L-1 para a DBO5. Então, pode-se observar que esse limite foi infringido a partir do quilômetro 1,2 e 2,0 nos cenários 1 e 2 respectivamente para o parâmetro OD, e para DBO5 desde o primeiro lançamento até o fim para os dois cenários.

A modelagem na plataforma em Excel QUALUFMG foi satisfatória para avaliar a capacidade de autodepuração e de diluição do Córrego Lagoa, pra essa situação específica. Entretanto estes resultados devem ser

considerados como estimativas que representam a real situação de qualidade do Córrego Lagoa, pois não atingiram um grau de confiança suficiente para serem tomados como definitivos. Para obtenção de melhores resultados no ajuste do QUALUMG será necessário efetuar um maior número de campanhas de monitoramento da qualidade da água.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1 APHA, AWWA; WPCF. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 21th edition, Washington, 2005.
- 2 BÁRBARA, V. F. Uso do modelo QUAL2E no estudo da qualidade da água e da capacidade de autodepuração do Rio Araguari – AP (Amazônia). Goiânia, 2006. 174p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em Engenharia do Meio Ambiente, Universidade Federal de Goiás.
- 3 BÄUMLE, A. M. B. Avaliação de benefícios econômicos da despoluição hídrica: efeitos de erros de calibração de modelos de qualidade da água. Curitiba, 2005. 262p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental, Universidade Federal do Paraná.
- 4 BRANCO, S.M. Hidrologia aplicada à engenharia sanitária. São Paulo: CETESB, 1978.
- 5 BRASIL. CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE. Resolução CONAMA nº 357, de 17/05/2005. Brasília-DF. 2005.
- 6 CHAPRA, S. C. Surface Water Quality Modeling. WCB/McGraw-Hill, 1997. 844p.
- 7 EPA - United States Environmental Protection Agency, Athens. Rates, constants and kinetics formulations in surface water quality modeling. 2. ed, 455 p, 1985.
- 8 EPA - United States Environmental Protection Agency. Technical Guidance Manual for Performing Wasteload Allocations. Book II: Streams and Rivers – Part 1: Biochemical Oxygen Demand/Dissolved Oxygen and Nutrients/Eutrophication. Washington, DC. 245p. 1997.
- 9 EATHERALL, A.; BOORMAN, D.B.; WILLIAMS, R.J.; KOWE, R., 1998. Modeling in-stream water quality in LOIS. Science of the Total Environment 210/211, 499–517.
- 10 ELSHORBAGY, A., ORMSBEE, L., 2006. Object-oriented modeling approach to surface water quality management. Environmental Modeling and Software 21, 689–698.
- 11 GASTALDINI, M. C. C.; SEFFRIN, G. F. F.; Paz, M. F. Diagnóstico Atual e Previsão Futura da Qualidade das Águas do Rio Ibicuí Utilizando o Modelo QUAL2E Engenharia sanitária e ambiental Vol. 7 p. 129-138, 2002.
- 12 HORN, A.L., RUEDA, F.J., HORMANN, G., FOHRER, N., 2004. Implementing river water quality modeling issues in mesoscale watershed models for water policy demands-an overview on current concepts, deficits, and future tasks. Physics and Chemistry of the Earth 29, 725–737.
- 13 LOPES, J. F.; SILVA, C. I.; CARDOSO, A. C. Validation of a water quality model for the Ria de Aveiro lagoon, Portugal. Environmental Modelling & Software. vol. 23 p. 479-494, 2008.
- 14 NING, S.K.; CHANG, N.; YANG, L.; CHEN, H.W.; HSU, H.Y., 2001. Assessing pollution prevention program by QUAL2E simulation analysis for the Kao-Ping river Basin, Taiwan. Journal of Environmental Management 61, 61–76.
- 15 OPPA, L. F. Utilização de modelo matemático de qualidade da água para análise de alternativas de enquadramento do rio Vacacaí Mirim. Santa Maria, 2007. 129p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) UFSM.
- 16 RODRIGUES, R. B. Sistema de suporte a decisão proposta para a gestão quali-quantitativos processos de outorga e cobrança pelo uso da água. São Paulo, 2005. 152p. Tese de Doutorado – USP.
- 17 SIQUEIRA, E. Q. de; CUNHA, A. C. da. O coeficiente de reoxigenação no modelo QUAL2E: metodologia de previsão. Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 19, 1997, Campo Grande-MS. Anais...Campo Grande: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 1997.
- 18 SOUZA, J. D. de. Modelo espaço-temporal em SIG para análise de Qualidade da água em uma bacia hidrográfica. Curitiba, 2004. 177p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) UFPR.
- 19 TEODORO, A. Estudo da capacidade de autodepuração e diluição de efluentes no rio Taquarizinho. Campo Grande, 2010. Dissertação (Mestrado em Tecnologias Ambientais) UFMS.

- 20 VON SPERLING, M. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. 2. ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais, 1996. 180p.
- 21 VON SPERLING, M. Estudos e modelagem da qualidade da água de rios. 1. ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais, 2007. 588p.