

MODELO MATEMÁTICO PARA ESTIMATIVA DA VAZÃO DE DILUIÇÃO DE AFLUENTES

LIGIA TAMBASCO MASTEGHIN¹, FLÁVIO APARECIDO GONÇALVES²,
ALEXANDRE SILVEIRA³, ANTÔNIO DONIZETTI GONÇALVES DE SOUZA⁴,
THAMYRES CARDOSO CHAVES OLIVEIRA⁵

¹ Mestra em Ciência e Engenharia Ambiental, UNIFAL-MG, (35) 99227-8844, ligiamasteghin@gmail.com

² Doutor em Engenharia Agrícola, UNIFAL-MG, (35) 99257-9410, flaviounifalmg@gmail.com

³ Doutor em Hidráulica e Saneamento, UNIFAL-MG, (35) 98708-2300, alesilveira72@gmail.com

⁴ Doutor em Ecologia e Recursos Naturais, UNIFAL-MG, (35) 98869-5043, adonizetti@hotmail.com

⁵ Engenharia Ambiental, UNIFAL-MG, (35) 99161-1322, thamy.oli@hotmail.com

Apresentado no
XLVIII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2019
17 a 19 de setembro de 2019 - Campinas - SP, Brasil

RESUMO: A pegada hídrica cinza refere-se ao volume de água necessário para diluir os poluentes, de modo que a qualidade da água em seu estado natural seja mantida acima dos padrões mínimos de qualidade da água aceitáveis. Esse volume de água pode ser expresso com o termo de vazão de diluição. Em função disto, com este trabalho objetivou-se estabelecer uma metodologia inédita que possibilitasse calcular a vazão de diluição em cursos d'água, permitindo um melhor entendimento da gestão dos recursos hídricos da bacia hidrográfica, sob o ponto de vista da sustentabilidade hídrica. Neste estudo, a metodologia foi aplicada para a Bacia Hidrográfica do rio Paraíba do Sul. A vazão de diluição foi correlacionada com vazões mínimas de referência por meio de Índices de Sustentabilidade Hídrica (ISH). Os resultados permitem concluir que a metodologia apresentada pode ser considerada como um instrumento de gestão dos recursos hídricos, utilizada para avaliar impactos e situações de degradabilidade do meio aquático, tornando-se importante nas tomadas de decisão para prevenção ou remediação de impactos ambientais.

PALAVRAS-CHAVE: Gestão de recursos hídricos; Vazão de subsídio; Vazões mínimas de longo período.

A MATHEMATICAL METHODS FOR AFLUENT DILUTION FLOW ESTIMATION

ABSTRACT: The gray water footprint refers to the volume of water needed to dilute the pollutants so that the quality of the water in its natural state is kept above acceptable minimum water quality standards. This volume of water can be expressed with the dilution flow term. As a result, this work aimed to establish an unprecedented methodology that would allow the calculation of the dilution flow in water courses, allowing a better understanding of the water resources management of the river basin, from the point of view of water sustainability. In this study, the methodology was applied to the Paraíba do Sul River Basin. The dilution flow was correlated with minimum reference flows through the Water Sustainability Indices (WSI). The results allow us to conclude that the presented methodology can be considered as an instrument for the management of water resources, used to evaluate impacts and degradability situations of the aquatic environment, becoming important in decision making for prevention or remediation of environmental impacts.

KEYWORDS: Management of Water Resources; Dilution flow; Minimum long period flows.

INTRODUÇÃO: Neste trabalho foi proposta uma metodologia inédita para o cálculo da vazão de diluição de efluentes de esgoto. A metodologia foi baseada na equação de Pegada Hídrica Cinza proposta por Hoekstra *et al.* (2011). A pegada hídrica cinza é um indicador do grau de poluição da água, ou seja, volume de água necessário para assimilar a carga de poluentes gerados, com base nas concentrações em condições naturais e nos padrões ambientais existentes (CALIJURI *et al.*, 2012; HOEKSTRA *et al.*, 2011). O método pode ser aplicado a qualquer corpo hídrico que disponha das informações necessárias para o cálculo da vazão de diluição, no entanto, neste trabalho, fizemos a aplicação na bacia hidrográfica do Rio Paraíba do Sul.

MATERIAL E MÉTODOS: A metodologia desenvolvida permite o cálculo da vazão de diluição referente ao afluente que passa pela Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) e ao afluente que é lançado, sem tratamento (esgoto bruto), no curso d'água. A metodologia foi baseada na equação de Pegada Hídrica Cinza proposta por Hoekstra *et al.* (2011) e está apresentada na Equação 1.

$$Q_d = Q_{ETE} \cdot \frac{[C_{b\ ETE} (1-\eta) - C_{max}]}{C_{max} - C_{nat}} + Q_{EB} \cdot \frac{[C_{b\ EB} - C_{max}]}{C_{max} - C_{nat}} \quad (1)$$

Em que,

Q_d : vazão de diluição ($L \cdot s^{-1}$); Q_{ETE} : vazão afluente na ETE ($L \cdot s^{-1}$); $C_{b\ ETE}$: concentração afluente de poluente que chega na ETE ($mg \cdot L^{-1}$); Q_{EB} : vazão de esgoto bruto ($L \cdot s^{-1}$); $C_{b\ EB}$: concentração afluente de esgoto bruto ($mg \cdot L^{-1}$); η : nível de tratamento da ETE (adimensional e varia entre 0 e 1); C_{max} : concentração máxima de poluente considerada para a classe do rio desejada ($mg \cdot L^{-1}$); e C_{nat} : concentração de poluente para um rio natural ($mg \cdot L^{-1}$).

Os quocientes da equação representam os fatores de diluição referente ao poluente que passou por tratamento e ao que não passou, respectivamente. O fator de diluição representa o número de vezes em que o volume de efluente deve ser diluído com a água natural a fim de atingir a concentração máxima aceitável.

Importante ressaltar que o cálculo da vazão de diluição só deve ser considerado quando a concentração do afluente (esgoto tratado ou esgoto bruto) for maior do que a concentração máxima aceitável. Caso contrário, a vazão de diluição (ou pelo menos um dos termos referente ao esgoto tratado ou ao esgoto bruto) assume o valor zero.

Neste trabalho, o parâmetro considerado para analisar a poluição do curso d'água foi a Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO_5), que corresponde à quantidade de oxigênio necessária para ocorrer a oxidação da matéria orgânica biodegradável sob condições aeróbicas.

Os valores de concentração máxima de DBO_5 para a classe do rio desejada e para um rio natural foram obtidos considerando a resolução CONAMA 357/2005. Esta resolução 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.

As demais informações (vazão afluente, vazão do corpo receptor, concentração de DBO_5 afluente antes de passar por tratamento e concentração de DBO_5 lançada após passar por tratamento) foram obtidas por meio do “Atlas de Esgoto: Despoluição de Bacias Hidrográficas” disponível no site da Agência Nacional de Águas (ANA). No referido Atlas é possível ter acesso ao “Relatório de Esgotamento Sanitário Municipal” e ao “Mapa do Sistema de Tratamento de Esgoto” existente (além de mapa do sistema com solução alternativa avaliada), por município, e para qual curso d'água o lançamento é destinado.

O valor da concentração de DBO_5 para um curso d'água em condições naturais C_{nat} é de $2\ mg \cdot L^{-1}$ (CONAMA 357/2005).

O parâmetro nível de tratamento (η) da ETE foi calculado pela Equação 2:

$$\eta = \frac{\text{Carga gerada} - \text{Carga lançada}}{\text{Carga gerada}} \quad (2)$$

Em que, carga gerada e carga lançada são expressas em $\text{kg}_{(\text{DBO})} \cdot \text{dia}^{-1}$

RESULTADOS E DISCUSSÃO: Os resultados encontrados para a vazão de diluição, para os cursos d'água dos municípios da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul (parte paulista) foram sintetizados em forma gráfica e estão apresentados na Figura 1, juntamente com as informações de vazões mínimas de referência. Cabe ressaltar que os valores apresentados na Figura 1 estão expressos considerando o logaritmo.

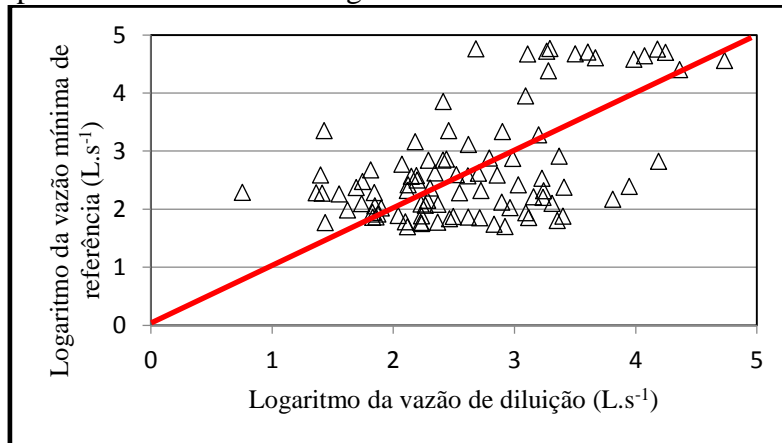


Figura 1. Vazões mínimas de referência e diluição.

Nota-se, por meio da Figura 1 que, para o referido cenário (atual - 2013), tem-se valores abaixo e acima da bisetriz (linha vermelha). A análise permite afirmar que valores abaixo da bisetriz indicam que as vazões de diluição são maiores que a vazões mínimas de referência. Situações deste tipo (abaixo bisetriz) implicam em condições onde as vazões de referências não conseguem realizar a diluição do esgoto lançado no curso d'água em questão. Trata-se, portanto, de pontos críticos de poluição na bacia hidrográfica estudada.

Isto significa uma carga de poluente (ou sua concentração) acima do permitido pela legislação, para o parâmetro aqui analisado, a Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO_5). Como a concentração do poluente está acima do permitido no curso d'água, haverá uma pegada hídrica cinza positiva, levando há uma degradação ambiental. Portanto, considerando o cenário atual, pode-se dizer que grande parte (55%) dos cursos d'água da bacia hidrográfica tem problemas com a poluição advinda do tratamento de esgoto.

Os resultados também foram correlacionados em forma índices, aqui chamados de Índice de Sustentabilidade Hídrica (ISH). Os resultados do ISH para os rios e córregos foram sintetizados em forma gráfica e estão apresentados na Figura 2, juntamente com os percentuais de cursos d'água analisados. Foram 94 corpos hídricos analisados.

A partir da Figura 2, pode-se inferir que 55% da totalidade dos cursos d'água possuem índices com valores inferiores à unidade ($\text{ISH} < 1$), concluindo que, para estes casos, a vazão de diluição é inferior à vazão de referência, possuindo o corpo hídrico a capacidade de realizar a diluição de carga de efluente lançado, não possuindo problemas com a poluição advinda do tratamento de esgoto. No entanto, 45% dos cursos d'água estão em condições de degradação ambiental. Esse percentual pode ser considerado elevado, para uma análise no contexto de uma bacia hidrográfica.

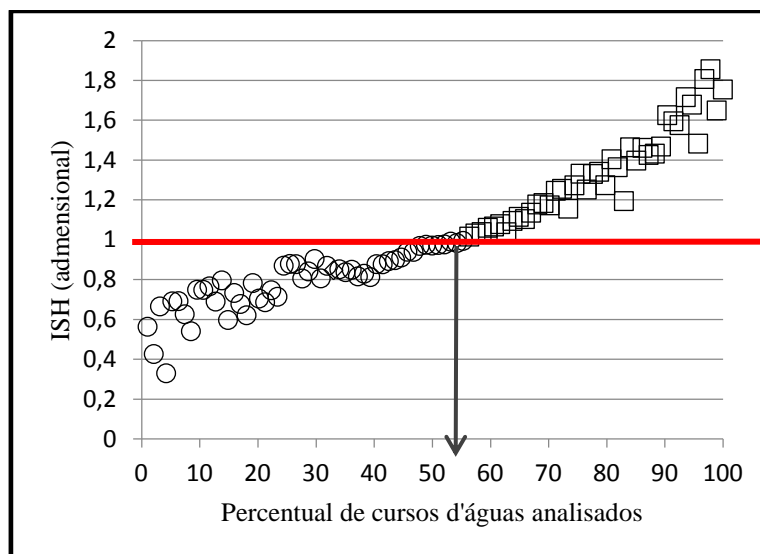


Figura 2. Índice de Sustentabilidade Hídrica (ISH) para os cursos d'água analisados.

CONCLUSÕES: O desenvolvimento do presente trabalho tem como a principal contribuição a proposta metodológica para o cálculo da vazão de diluição, considerando análise individual para cada curso d'água. A aplicação dessa metodologia foi realizada na Bacia Hidrográfica do rio Paraíba do Sul, parte paulista. A proposição do modelo da vazão de diluição envolveu fatores de diluição ligados às concentrações de efluentes (DBO_5) que passam pela estação de tratamento de esgoto e àquelas provenientes de esgoto bruto a fim de conhecer suas condições físicas, químicas e biológicas e os fatores de diluição, e foi capaz de estimar as vazões necessárias à diluição.

A correlação das vazões de diluição com as vazões mínimas de referência (aqui expressas por vazão de referência), por meio dos Índices de Sustentabilidade Hídrica (ISH), mostrou que 55% dos rios e córregos apresentaram valores de ISH menor a unidade.

Portanto, a aplicabilidade do modelo em questão pode ser dada para qualquer bacia hidrográfica em que se deseja conhecer suas condições físicas, químicas e biológicas, além da capacidade de diluição das concentrações de efluentes lançadas nos cursos de água. E, dessa forma, a pegada hídrica cinza pode ser considerada como um instrumento de gestão dos recursos hídricos, utilizada para avaliar impactos e situações de degradabilidade do meio aquático, tornando-se importante nas tomadas de decisões para prevenção ou remediação de impactos ambientais.

AGRADECIMENTOS: Os autores agradecem a CAPES e à UNIFAL-MG pela bolsa de Mestrado concedida à primeira autora deste trabalho.

REFERÊNCIAS:

CUNHA, D.G.F., CALIJURI, M.C., MENDIONDO, E.M. Integração entre curvas de permanência de quantidade e qualidade da água como uma ferramenta para a gestão eficiente dos recursos hídricos. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v.17, n.4, p. 369-376, out./dez. 2012.

HOEKSTRA, A., CHAPAGAIN, A., ALADAYA, M., & MEKONNEM, M. M. *Manual de avaliação da pegada hídrica: Estabelecendo o padrão global*. Editora Earthscan. 2011.