

# ESTUDO DAS EQUAÇÕES PARA DETERMINAÇÃO DO COEFICIENTE DE DISPERSÃO USANDO ANÁLISE CORRELACIONAL

Camila Prado Melchior<sup>1</sup>, Michele dos Santos Lopes<sup>1</sup>, Eva Carolline Martins Oliveira<sup>1</sup>,  
Júlia Kobylanski Ambrosio<sup>1</sup>, Bruno de Melo Brentan<sup>2</sup>, Laura Maria Canno Ferreira Fais<sup>1</sup>  
e Lubienska C. L. Jaquiê Ribeiro<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidade Estadual de Campinas, Brasil.

<sup>2</sup>Universidade de Lorraine, França.

E-mail: camila.p.melchior@gmail.com, sl.michele@hotmail.com, evacarolline.mo@gmail.com, jukobylanski@gmail.com, brunocivil08@gmail.com, laura@ft.unicamp.br, lubi@ft.unicamp.br

## Introdução

Na busca pela sustentabilidade controlar a poluição dos corpos hídricos é de extrema importância. Está previsto na Lei n. 9.433/97 (Política Nacional de Recursos Hídricos) que a gestão de recursos hídricos deve “assegurar à atual e às futuras gerações a necessária disponibilidade de água, em padrões de qualidade adequados aos respectivos usos” (ANA, 2017). Para tanto, realizar o constante monitoramento de cenários e a degradação de mananciais se torna uma ação indispensável e o Coeficiente de dispersão longitudinal ( $E_L$ ) é um parâmetro que pode contribuir para isso.

O coeficiente  $E_L$  é um dos parâmetros físico que descreve o fenômeno da advecção-dispersão dos poluentes em um curso d'água e mede a capacidade do curso d'água dispersar poluentes ao longo de sua seção longitudinal. A dispersão de poluentes pode ser expressa através da Lei de Fick, mostrada na Equação [1] (Incropera et al., 2008).

$$J_d = -Dm \frac{dc}{dx} \quad [1]$$

Onde:  $J_d$ = taxa de transporte difusivo [ML<sup>-2</sup>T<sup>-1</sup>],  $c$ = concentração [ML<sup>-3</sup>];  $Dm$ = coeficiente de difusão molecular [L<sup>2</sup>T<sup>-1</sup>];  $x$ = direção que se desenvolve o processo [L].

Diversos métodos para calcular o coeficiente já foram desenvolvidos e no geral se dividem em Métodos Diretos e Empíricos. Os métodos diretos são todos baseados na lei de Fick, e os Empíricos são desenvolvidos por ensaios práticos e visam relacionar o coeficiente com as características físicas do corpo d'água, que são variáveis possíveis de se obter (Oliveira, 2013). Porém este coeficiente ainda não foi aprimorado, apesar de haver estudos sobre ele desde 1953 (Taylor, 1953).

A proposta deste trabalho é, através de uma compilação de 15 equações empíricas encontradas na literatura, realizar uma análise correlacional para encontrar relações entre as variáveis hidráulicas envolvidas nos cálculos, identificando qual parâmetro interfere de maneira significativa no valor do coeficiente e, se possível, qual equação considera as relações de interferência. A análise correlacional se mostra importante para esse parâmetro, pois, embora existam diversos métodos para seu cálculo, os valores finais encontrados frequentemente divergem. Noori et al. (2016) dizem que essa dificuldade em universalizar o coeficiente se deve muito ao fato de que o mesmo é controlado por muitos processos.

Essa análise é um mecanismo estatístico que possibilita encontrar relações entre duas ou mais variáveis, no geral os resultados de uma análise correlacional se dividem em resultado numérico e visual. Mas essa ferramenta pode ser aprofundada, através de modelos matemáticos, neste trabalho o modelo usado para aprofundar a análise será uma rede neural chamada SOM (*Self-organizing maps*), ou mapas auto-organizáveis, usada cada vez mais no campo da hidráulica e hidrologia (Dong et al., 2012; Wallner et al., 2013; Tsai et al., 2017; Brentan, 2017).

Redes neurais são ferramentas algorítmicas que processam informações baseadas no comportamento dos neurônios humanos e elas podem ser trabalhadas em softwares como o MATLAB®. No caso dos mapas auto-organizáveis, uma rede de neurônios se relaciona com os dados coletados, encontrando conexões de forma que ao fim do processamento, padrões aparentemente incidentais serão organizados, através de malhas bidimensionais de variáveis, fornecendo uma leitura mais clara desse padrão que antes parecia aleatório (Wallner et al., 2013).

Nesse projeto realizou-se uma pesquisa de levantamento de dados, coletando as características do canal, sem manipulação das variáveis envolvidas, e então, com a análise dos mapas auto-organizáveis pretende-se observar as relações existentes ou não entre essas características, visando unificar o arranjo dessas variáveis.

## Objetivo

Encontrar relações entre as variáveis das equações usadas no cálculo do coeficiente de dispersão longitudinal, no intuito de apontar suas aplicabilidades de acordo com as características hidráulicas do corpo d'água, avaliando quais das variáveis são relevantes na prática.

## Materiais e métodos

Para o desenvolvimento da pesquisa foram usados dados do trabalho empírico de Oliveira (2017), realizado no Laboratório de Hidráulica em um canal experimental. O processo foi acompanhado para futura aplicação dos resultados. Nesta prática simulou-se o despejo de um poluente, cloreto de sódio (NaCl), ambientalmente neutro, para que fosse possível observar a dispersão.

As coletas foram baseadas na metodologia de Lopes (2016), que desenvolveu uma técnica para captar as variações das concentrações em três dimensões, ao longo do comprimento do canal, da profundidade e da largura. Esta etapa experimental do estudo ainda contou com a coleta das variáveis necessárias para o cálculo do coeficiente  $E_L$ , no total oito variáveis, que foram determinadas através das 15 equações analisadas. Na Tabela 1 mostram-se estas variáveis, e a forma como foram medidas e coletadas em laboratório.

Com os dados levantados foi possível montar o banco de dados para a rede neural, este banco de dados contém todas as variáveis coletadas, porém a disposição destas foi de fundamental importância para obtenção de um banco de dados robusto, assim como as variáveis do algoritmo do SOM, visando obter mapas mais objetivos.

## Resultados e discussão

Essa etapa se baseia na análise dos dados coletados, observando se a técnica de coleta foi adequada e se serviu para o fim proposto, e também na análise dos mapas auto-organizáveis, através da leitura dos mesmos. Um exemplo dos mapas obtidos pode ser visto na Figura 1, onde é obtido um padrão para cada variável presente no banco de dados, a

sua leitura é feita através das semelhanças topológicas visíveis entre os mapas. Com uma leitura rápida da Figura 1 é possível identificar algumas relações.

Tabela 1.- Metodologia para coleta das variáveis.

Variáveis	Medição
Velocidade média	Molinete
Vazão	$Q = U * A$
Largura transversal	Régua graduada
Profundidade média	Régua graduada
Declividade do leito do escoamento	$S = \frac{\Delta H}{L}$
	$\Delta H$ =Diferença de altitude entre o início e o fim do curso d'água estudado
	$L$ = comprimento total do curso d'água estudado.
Velocidade de atrito	$u_* = \sqrt{g \cdot S_o \cdot H}$
Raio hidráulico	$Rh = \frac{\text{área molhada}}{\text{perímetro molhado}}$
Coefficiente de mistura transversal	$\epsilon_{to} = 0,145 + \left(\frac{1}{3520}\right) \left(\frac{U}{u_*}\right) \left(\frac{B}{H}\right)^{1,38}$

$U$  = velocidade média do escoamento [ $L T^{-1}$ ]

$H$  = profundidade média do escoamento [ $L$ ]

$B$  = largura à superfície livre da água [ $L$ ]

$A$  = Área da seção [ $L^2$ ]

A concentração e o coeficiente de dispersão têm padrões e cores semelhantes, indicando correlação positiva entre ambos, sendo o resultado coerente, pois eles descrevem o mesmo fenômeno. Largura e velocidade de atrito demonstraram correlação positiva com mapas quase idênticos, da mesma forma isso acontece com a vazão e raio hidráulico. Ainda sobre estas quatro variáveis, é possível ver a correlação negativa das duas primeiras com as duas últimas, devido as cores fortemente opostas.

Seção e posição apresentam correlação positiva, faz sentido uma vez que elas sinalizam a região da coleta, a primeira indica o ponto inicial ao longo do rio, atribuído valor 1, mais perto do despejo, até atingir o ponto mais distante, atribuído valor 7, a segunda variável se refere as margens esquerda, direita, onde o despejo foi realizado, e centro, com valores atribuídos de 3,1 e 2, respectivamente. O padrão de ambas também se mostrou semelhante, porém opostos em cores ao da concentração, indicando correlação negativa.

O restante das variáveis, apesar de apresentarem padrões semelhantes, não possuem semelhança de cor suficiente para apontar relações claras nesse mapa. Ao analisar todos os mapas gerados pode-se verificar que os resultados corroboram e assim, através da análise conjunta é possível encontrar as características relevantes para a determinação do coeficiente de dispersão longitudinal.

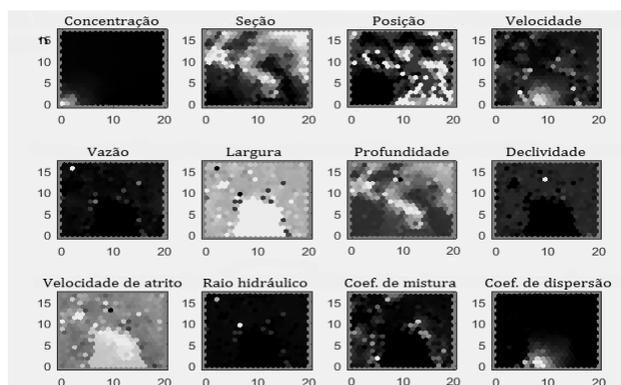


Figura 1.- Exemplo do mapa auto-organizável.

## Conclusão

Os resultados atingidos se mostraram promissores, o que permitiu uma análise das relações do coeficiente de dispersão longitudinal com as outras variáveis hidráulicas envolvidas. Desta forma, é possível comparar as equações e avaliar qual é aquela que leva em conta as variáveis mais relevantes e principalmente, quais são as relações mais relevantes.

## Referências bibliográficas

- Brasil. Agência Nacional de Águas. (2017). *Atlas Esgotos: Despoluição de bacias hidrográficas / Agência Nacional de Águas, Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental*. Brasília: ANA. 88 p.
- Brentan, B. M. (2017). "Sistemas de abastecimento de água inteligentes: Previsão de demanda e controle ótimo em tempo real". 225 f. Campinas, Brasil.
- Dong, Y.; Scholz, M. and Harrington, R. (2012). "Statistical Modeling of Contaminants Removal in Mature Integrated Constructed Wetland Sediments". *Journal of Environmental Engineering*, Vol. 138, No. 10, October 2012, p. 1009-1017.
- Incropera, F. P.; De Witt, D. P. e Bergman, T. (2008). *Fundamentos de transferência de calor e de massa*. Tradução de E. M. Queiroz e F. L. P. Pessoa. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, p. 561 - 562.
- Lopes, M. S. (2016). "Montagem de um canal retangular hidráulico para estudo de dispersão de um traçador conservativo". 157 f. Limeira, Brasil.
- Noori, R. et al. (2016). "How Reliable Are ANN, ANFIS, and SVM Techniques for Predicting Longitudinal Dispersion Coefficient in Natural Rivers?". *Journal of Hydraulic Engineering*, Vol. 142, No. 1, January 2016.
- Oliveira, E. C. M. (2017). "Determinação do Coeficiente de Dispersão de um canal para validação de um software de fluidodinâmica computacional (CFD)". 60 f. Limeira, Brasil.
- Oliveira, V. V. (2013). "Quantificação e avaliação do coeficiente de dispersão longitudinal em cursos d'água". São Carlos, Brasil.
- Taylor, G. (1953). "Proceedings of the Royal Society of London". Series A, Mathematical and Physical Science, Vol. 219, No. 1137, August 1953, p. 186-203.
- Tsai, W.-P. et al. (2017). "A data-mining framework for exploring the multi-relation between fish species and water quality through self-organizing map". *Science of the Total Environment*, Vol. 579, February 2017, p. 473-483.
- Wallner, M.; Haberlandt, U. and Dietrich, J. (2013). "A one-step similarity approach for the regionalization of hydrological model parameters based on Self-Organizing Maps". *Journal of Hydrology*, Vol. 494, June 2013, p. 59-71.