ENGINEERING & TECHNOLOGY SCIENTIFIC JOURNAL

ORIGINAL

2023, VOL. 01, N°. 01, e023008
DOI: 10.55977/etsjournal.v01i01.e023008

Modelo para determinação da temperatura de água em rios

Carmen Gonçalves de Macedo e Silva * [1]

[1] Universidade do Estado da Bahia – UNEB. Salvador, Brasil

Received 2022-10-22
Revised 2023-01-23
Accepted 2023-06-23
Published 2023-10-10

***Corresponding author**
Carmen G. M. Silva
carmen.fest@outlook.com

Page e-location ID
e023008

Distributed under
CC BY-NC 4.0

Copyright: Authors
OPEN ACCESS

ABSTRACT

As variações sazonais e diárias das temperaturas da água determinam a distribuição das espécies aquáticas e a química da água. Alguns autores conseguiram estimar a temperatura da água usando apenas a temperatura do ar. Uma análise de sensibilidade, bem realizada, é capaz de avaliar as variações de temperatura do rio em resposta a mudanças nas condições hidráulicas e meteorológicas. Nesse sentido, a modelagem da qualidade da água envolve a previsão de parâmetros usando técnicas de simulação matemática. Para tanto, modelos computacionais de previsão da temperatura da água do rio podem ser utilizados. O método de decomposição modal empírica (EMD) é ideal para analisar conjuntos de dados como os de temperatura, que são oscilatórios. Entre os modelos de temperatura da água do rio, os modelos de regressão linear simples que utilizam como entrada somente a temperatura do ar aplicados para dados semanais e/ou mensais demonstram ter alta eficiência.

Keywords Rio; Temperatura; Influência; Modelo; Método EMD.

How to cite this article (APA): Gonçalves de Macedo e Silva, C. Modelo para Determinação da Temperatura de Água em Rios: *Engineering & Technology Scientific Journal, 01(01)*, e023008.

1. INTRODUÇÃO

A temperatura da água tem importância econômica e ecológica ao considerar questões como a qualidade da água e as condições bióticas nos rios. A temperatura da água é um dos parâmetros na ecologia de riachos que determina a saúde geral dos ecossistemas aquáticos (Graf et al., 2019; St-Hilaire et al., 2012). Embora o balanço energético dos rios seja complexo e inclua interações complexas entre componentes meteorológicos, hidromorfológicos e biológicos alguns autores mostraram uma alta correlação entre as temperaturas do ar Ta e da água Tw e conseguiram estimar a temperatura da água usando apenas a temperatura do ar. A relação entre Ta e Tw é linear na faixa de temperatura entre 5 e 20°C aproximadamente, e se afasta da linearidade em valores altos e baixos de Ta (Wilby et al., 2014).

As variações sazonais e diárias das temperaturas da água são determinantes importantes para a distribuição das espécies aquáticas (Syvitski et al., 2019). Como tal, é essencial ter uma boa compreensão do regime térmico dos rios para uma gestão eficaz dos recursos a ele demandados, bem como para a realização de avaliações do impacto ambiental das atividades (Ahmadi-Nedushan et al., 2007). As flutuações da temperatura no corpo d'água podem ocorrer naturalmente ou como resultado de perturbações antrópicas, como poluição térmica, desmatamento e mudanças climáticas (van Vliet et al., 2013). Por exemplo, o desmatamento pode ser indicado como uma importante fonte de perturbação do regime térmico de um rio (Ríos-Villamizar et al., 2017; Wan Mohd Jaafar et al., 2020).

A temperatura também tem influência na química da água, isso porque os corpos de água fria têm capacidade de reter o oxigênio da água mais do que a água quente. A densidade da água é influenciada pela temperatura, visto que as diferenças na temperatura provocam camadas de água com diferentes densidades impedindo que se misturem. Mas muitas vezes a energia do vento não é suficiente para que ocorra a mistura. O calor se espalha de forma uniforme na coluna de água, ocasionando a estratificação térmica (Letcher et al., 2016). A redução do fluxo e/ou alteração do fluxo também pode ser responsável por mudanças na temperatura da água do rio e não além disso nos últimos anos, as mudanças climáticas têm sido identificadas como uma importante fonte de perturbação em escala global a local. Uma análise de sensibilidade, bem realizada, é capaz de avaliar as variações de temperatura do rio em resposta a mudanças nas condições hidráulicas e meteorológicas. Nesse sentido, a modelagem da qualidade da água envolve a previsão de parâmetros usando técnicas de simulação matemática. Atualmente, modelos computacionais de previsão da temperatura da água do rio têm sido utilizados para benefício da gestão dos ecossistemas fluviais (Graf et al., 2019). Neste artigo apresentamos uma abordagem a partir das variáveis físicas e derivamos o modelo caracterizado por uma complexidade computacional limitada, comparável à dos modelos estatísticos. A estrutura final é a de uma única equação diferencial ordinária linearmente dependente da temperatura do ar

e da água e da vazão (Toffolon et al., 2015). A formulação extremamente simples permite a calibração dos parâmetros do modelo por meio de um método do tipo Monte Carlo.

2. O REGIME TÉRMICO DOS RIOS

A temperatura de um rio é uma habilidade comum da água armazenar calor, porém um rio depois de passar por uma exposição ao aquecimento, retorna muito lentamente a sua temperatura natural (Webb et al., 1993).

Os processos naturais que conduzem ao aquecimento da água dos rios podem ser: alteração da energia calorífica oriunda da terra (geotérmica), variações sazonais da temperatura ambiente e da insolação, e mudanças na vazão dos rios. Além desses, a temperatura de águas superficiais também é afetada pela latitude, altitude, estação do ano, circulação do ar, cobertura de nuvens, vazão e profundidade do corpo hídrico (Georges, 2022).

Ao estudar a temperatura do rio como muitos fatores estão envolvidos que geralmente se pode classificá-los em quatro grupos diferentes: (1) condições atmosféricas; (2) topografia; (3) vazão; e (4) leito **(Fig. 1)** (Gresselin et al., 2022).



Figura 1. Consideramos (1) Radiação Solar, Temperatura do ar, velocidade e umidade do ar, taxa de precipitação, Evaporação; (2) Geologia do trecho, angulação do terreno, Vegetação, latitude, longitude; (3) Fracionamento, volume de águas, turbidez, fluxos; (4) Descarga de sedimentos, assoreamento.

As condições atmosféricas estão entre os fatores mais importantes e são as principais responsáveis pelos processos de troca de calor que ocorrem na superfície da água (Wilby et al., 2014). A topografia ou localização geográfica também é importante porque influencia as condições atmosféricas (O'Sullivan et

al., 2020; Pero et al., 2020). A vazão, principalmente uma função da hidráulica do rio (por exemplo, fluxos de entrada e saída), influencia principalmente a capacidade de aquecimento (volume de água) e/ou resfriamento através da mistura de água de diferentes fontes, incluindo trocas de calor no leito do córrego (Woltemade et al., 2016).

A remoção de vegetação ribeirinha, retira a sombra e aumenta a erosão do solo. Nos solos, sem cobertura vegetal, vão liberando sólidos que tendem a se depositar nos leitos dos rios. Esses sólidos absorvem energia térmica e a liberam para o ambiente. Nesse caso, o rio é o ambiente, que irá absorver calor, diretamente pela luz solar e indiretamente, transmitido pelos sólidos CAISSIE (2006).

Quando ocorre uma alteração drástica de temperatura em um corpo hídrico a ponto de atingir sua qualidade, é estabelecida uma situação de poluição térmica (Ahmadi-Nedushan et al, 2007).

2.1. Variabilidade Espacial e Temporal

Os descritos na sessão anterior influenciam as condições térmicas gerais dos rios. Na literatura (Jackson et al., 2018; Sang, 2012; Torregroza et al., 2021) geralmente observa-se que a temperatura média diária da água aumenta na direção a jusante. A temperatura da água é geralmente próxima em sua profundidade e aumenta posteriormente com a ordem de distância/fluxo (Syvitski et al., 2019). O aumento da temperatura da água não é linear e a taxa de aumento é maior para pequenos córregos do que para grandes rios. Notavelmente, a taxa de aumento para pequenos córregos tem sido relatada na literatura como sendo da ordem de 0.6 °C/km^{-1}, enquanto rios maiores têm mostrado valores muito mais baixos 0.09 °C/km^{-1}. Rios intermediários apresentaram taxas de aumento próximas a 0.2 °C/km^{-1} (Bartholow, 2005).

Na escala temporal, a temperatura da água varia, seguindo um ciclo diário e anual. As flutuações diárias são tais que a temperatura da água geralmente atinge um mínimo diário no início da manhã (ao nascer do sol) e um máximo no final da tarde até o início da noite. Além disso, as variações diárias (ou seja, máximo-mínimo diário) são geralmente pequenas para rios de cabeceira fria e aumentam para rios maiores, à medida que os ele se torna menos dominados pelas águas subterrâneas e mais expostos às condições meteorológicas.

3. PARA ANÁLISE DO CONJUNTO DE DADOS

Quando se apresenta uma modelo ao qual muitos sinais oscilatórios contêm características não lineares ou não senoidais e que mudam dinamicamente ao longo do tempo pode-se utilizar o método de decomposição modal empírica (EMD) que analisa os padrões de variabilidade e tendências temporais de três variáveis de temperatura: 1. temperatura mínima (T_{min}), 2. média (T_{mean}) e 3. máxima ($T_{máx}$) (Zeiler et al., 2010).

O método EMD foi proposto em Huang et al. (1998) ao contrário de quase

todos os métodos de decomposição anteriores, é intuitivo, direto e adaptativo, sem exigir nenhuma função de base predeterminada, mas baseado no princípio da separação de escala local. Usando EMD, qualquer série pode ser decomposta em um conjunto de componentes chamados funções de modo intrínseco (IMFs), que se torna a base que representa a série. Como a base é adaptativa, geralmente oferece uma representação fisicamente significativa dos processos subjacentes. Portanto, o EMD é ideal para analisar dados de processos não estacionários a não lineares, como os dados de temperatura considerados neste estudo.

Os resultados de decomposição de uma série $x(t)$ por EMD podem ser expressos conforme **Equação (1).**

$$x(t) = \sum_{i=1}^{N} C_i + R_N \qquad \textbf{(Eq. 1)}$$

em que N é o número de FMIs separados, C_i é o i-ésimo FMI e o R_N residual geralmente corresponde à tendência das séries.

4. PROCESSOS DE TROCA DE CALOR DO RIO

Os fatores acima frequentemente determinam a variabilidade espacial e temporal da temperatura da água; entretanto, força mentos físicos ou processos de troca de calor no ambiente fluvial devem ser levados em consideração para modelagem.

As trocas de calor na superfície ar/água e na interface leito/água são onde ocorre a troca de energia, pelo menos em trechos onde as entradas/saídas, como afluentes de entrada, efluentes térmicos e extrações de água, são insignificantes.

O fluxo de calor na superfície ar/água (H) ocorre como resultado da troca de energia principalmente através de: (i) radiação solar ou radiação líquida de ondas curtas; (ii) radiação líquida de ondas longas; (iii) fluxo de calor evaporativo (evaporação); e (iv) transferência de calor por convecção (fluxo resultante das diferenças de temperatura entre o rio e a atmosfera). Outros componentes também podem ser considerados, como precipitação, atrito etc. embora sua contribuição seja geralmente pequena em comparação com os componentes acima.

O parâmetro (H) tem recebido atenção, principalmente do ponto de vista de modelagem. O fluxo de calor no leito do rio é principalmente uma função do aquecimento geotérmico por condução e da transferência de calor advectiva através da contribuição da água subterrânea e da troca hiporreica.

5. MODELO DE TEMPERATURA DA ÁGUA DO RIO

Existem muitas opções para modelar a temperatura da água, embora a maioria dos modelos possa ser classificada em três grupos: (i) modelos de regressão; (ii) modelos estocásticos; e (iii) modelos determinísticos. Modelos de regressão, consistindo em regressão linear simples, regressão múltipla ou regressão logística, têm sido aplicados em muitos estudos. Modelos de regressão linear simples foram usados para prever a temperatura da água usando apenas a temperatura do ar

como parâmetro de entrada e esses modelos foram aplicados usando principalmente dados semanais e/ou mensais.

O modelo é baseado em um balanço de calor concentrado que considera um volume desconhecido V, do trecho do rio, seus afluentes (considerando implicitamente a superfície e fluxos de água subterrâneos) e a troca de calor com a atmosfera, conforme ilustrado na **Fig. 2.**

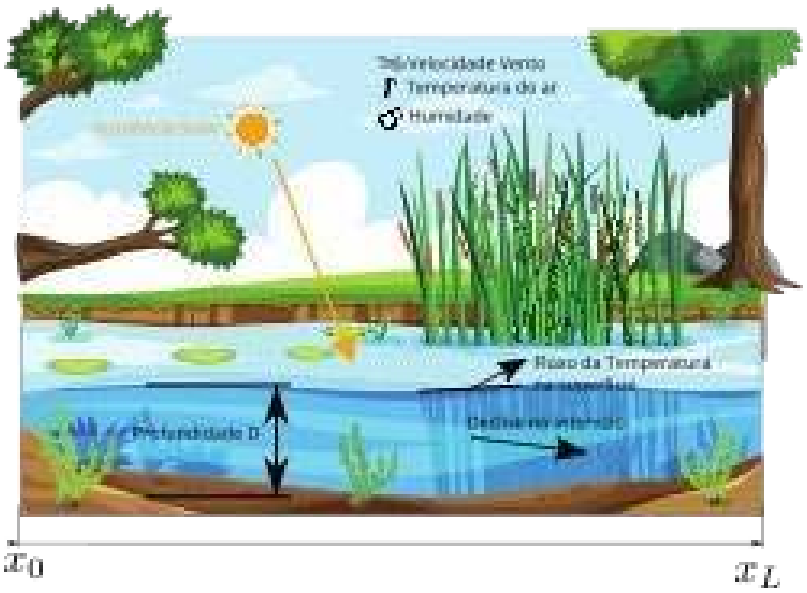


Figura 2. Representação esquemática de um trecho de rio com influxos relevantes e fluxos de calor.

A variação da temperatura da água T_w neste volume é regida pela **Equação (2)** (Ahmadi- Nedushan et al., 2007; Gu & Li, 2002):

$$\rho C_p V \frac{dT_w}{dt} = AH + \rho C_p \left(\Sigma_i Q_i T_{w,i} - Q T_w\right) \quad \textbf{(Eq. 2)}$$

Onde t é o tempo (que pode ser expresso e meses, semanas, dias ou horas,), ρ é a água densidade, C_p sua capacidade de calor específico a pressão constante, A é a área da superfície analisada, H é o fluxo de calor do líquido na interface rio-atmosfera, Q é o fluxo da temperatura na superfície, Q_i e $T_{w,i}$ são as temperaturas do i-ésimo fluxo de água (afluentes e, possivelmente, águas subterrâneas), e V é o volume total quere age aos fluxos de calor.

Notamos que V não está necessariamente limitado ao corpo d'água superficial, possivelmente incluindo também a região D hiporreica, de modo que a inclusão explícita de fluxos de calor na interface do leito do rio não é necessária.

O primeiro termo do lado direito da equação 2 contém o fluxo de calor líquido H, que é principalmente uma função da radiação de ondas curtas e longas e dos fluxos de calor latente e sensível.

O modelo assume que a temperatura do ar, T_a , pode ser usada em todos esses processos. O efeito geral é incluído no modelo de forma linear usando uma

expansão em série de Taylor, conforme **Equação (3)**, a seguir:

$$H = H|\overline{T_a}\,\overline{T_w} + \frac{\partial H}{\partial T_a\,\overline{T_a}\,\overline{T_w}}(T_a - \overline{T_a}) + \frac{\partial H}{\partial T_w\,\overline{T_a}\,\overline{T_w}}(T_w - \overline{T_w}) \qquad \textbf{Eq. (3)}$$

Onde $\overline{T_\alpha}$ e $\overline{T_w}$ são os valores médios de longo prazo (a seguir indicados por uma barra) das temperaturas do ar e da água, respectivamente. Essa relação (**Equação (4)**) também pode ser reescrita como:

$$H = \rho C_p(h_0 + h_\alpha T_a - h_w T_w) \qquad \textbf{Eq. (4)}$$

Onde h_0, h_a e h_w são parâmetros que podem ser diretamente obtidos da derivada da **Equação (3)**.

O segundo termo do lado direito da **Equação (2)** representa a diferença entre o fluxo de calor que sai do volume de controle, $\rho C_p Q T_w$ e a soma de todas as entradas de fluxo de calor. O trabalho de (Toffolon e Piccolroaz, 2015) reescreve a equação apresentada em (Caissie et al., 2005), conforme a **Equação (5)** a seguir:

$$\frac{dT_w}{dt} = \frac{A}{V}(h_0 + h_a T_a - h_w T_w) + \frac{Q}{V}(\hat{T} - T_w) \qquad \textbf{Eq. (5)}$$

Como a temperatura de referência provavelmente mudará em diferentes estações do ano expressamos como uma primeira aproximação na forma de variação anual senoidal **Equação (6)**.

$$\hat{T}_w = \hat{T}_{wo} + \hat{T}_{w1}\cos\left[2\pi\left(\frac{t}{t_y} - \varphi\right)\right] \qquad \textbf{Eq. (6)}$$

Onde o valor de referência $\hat{T}_{w0}$ tem variação de amplitude $\hat{T}_{w1}$ e $\varphi \in [0,1]$. Que contém duas quantidades características. O inverso da 64 primeira razão, V/A, está relacionado com a profundidade do fluxo D (e, portanto, depende da vazão), mas não coincide com ela. De fato, uma porção dos sedimentos saturados deve ser incluída, especialmente para fluxos rasos com alta transparência, onde a radiação de ondas curtas incidente pode aquecer diretamente o leito do rio. A segunda razão na equação, Q/V, representa o inverso do tempo e alcance do rio, e varia também com a vazão.

6. CONCLUSÃO

Em geral, o regime térmico dos rios é altamente influenciado pelas condições meteorológicas e fluviais, bem como pela sua localização geográfica. A temperatura do rio é indiscutivelmente um dos parâmetros mais importantes que determinam muitos atributos do habitat aquático e a saúde geral dos ecossistemas fluviais. Portanto, é essencial ter uma boa compreensão dos processos térmicos do

rio, abordagens de modelagem e fluxos de energia associados para desenvolver melhores modelos para prever as temperaturas da água do rio.

Em escala temporal, a temperatura da água dos rios varia diariamente e anualmente. Na criação de modelos para determinar a temperatura da água em rios, o método de decomposição EMD é ideal para análise desse tipo de dados. Os modelos de regressão linear simples, que utilizam como entrada somente a temperatura do ar, para dados semanais e/ou mensais. Modelos de regressão têm sido aplicados em muitos estudos. Modelos de regressão linear simples ganharam notoriedade no uso para prever a temperatura da água usando apenas a temperatura do ar como parâmetro de entrada e esses modelos foram aplicados usando principalmente dados semanais e/ou mensais. Esse tipo de modelo é construído com base em um balanço de calor concentrado que considera um volume desconhecido, do trecho do rio, seus afluentes e a troca de calor com a atmosfera.

Esses modelos resultarão em uma gestão pesqueira mais eficaz e uma melhor proteção do habitat dos peixes. Tanto o estudo da variabilidade natural da água do córrego quanto as mudanças devido a perturbações antrópicas também são importantes para a avaliação ambiental, bem como para a avaliação de cenários climáticos futuros no habitat dos peixes.

7. INFORMAÇÃO DO AUTOR

Autor Correspondente: Carmen Gonçalves de Macedo e Silva
E-mail: carmen.fest@outlook.com

REFERENCIAS

Ahmadi-Nedushan, B., André St-Hilaire, Ouarda, T. B. M. J. O., Bilodeau, L., Robichaud E., Thiémonge N., Bobée, B. (2007). Predicting river water temperatures using stochastic models: case study of the moisie river (québec, canada). Hydrological Processes, 21(1),29 21-34. Retrieved from https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/hyp.6353 doi: https://doi.org/10.1002/hyp.635332

Bartholow, J. M. (2005). Recent water temperature trends in the lower klamath river, california. North American Journal of Fisheries Management, 25(1), 152–162.

Caissie, D. (2006). The thermal regime of rivers: a review. Freshwater biology, 51(8), 1389-1406.

Caissie, D., Satish, M. G., & El-Jabi, N. (2005). Predicting river water temperature susing the equilibrium temperature concept with application on miramichi river catchments (new brunswick, canada). Hydrological Processes: An International Journal, 19(11), 2137–2159.

Georges, B. (2022). Characterization of the river thermal regime in relation to its environment: a regional approach using in situ sensors in a temperate region (wallonia, belgium).

Graf, R., Zhu, S. & Sivakumar, B. (2019). Forecasting river water temperature time series using a wavelet–neural network hybrid modelling approach. Journal of Hydrology, 578,48 124115.

Gresselin, F., Dardaillon, B., Bordier, C., Parais, F. & Kauffmann, F. (2022). Use of statistical methods to characterize the influence of groundwater on the thermal regime of rivers in normandy, france: comparison between the highly permeable, chalk catchment of the touques river and the low permeability, crystalline rock catchment of the orne river. Geological

Society, London, Special Publications, 517(1), SP517–56 2020.

Gu, R. R., & Li, Y. (2002). River temperature sensitivity to hydraulic and meteorological parameters. Journal of Environmental Management, 66(1), 43-56. Retrieved from https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479702905657 doi: https://doi.org/0.1006/jema.2002.0565

Huang, N., et al. (1998). The empirical mode decomposition method and the hilbert spectrum for non-stationary time series. Proc Roy Soc London 45AA, 703–775.

Jackson, F. L., Fryer, R. J., Hannah, D. M., Millar, C. P., & Malcolm, I. A. (2018). A spatio-temporal statistical model of maximum daily river temperatures to inform the management of scotland's atlantic salmon rivers under climate change. Science of The Total Environment, 612, 1543 - 1558. Retrieved from https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969717323525 doi: https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.09.010

Letcher, B. H., Hocking, D. J., O'neil1, K., Whiteley, A. R., Nislow, K. h., & O'donnell, M. J. (2016). A hierarchical model of daily stream temperature using air water temperature synchronization, autocorrelation, and time lags. PeerJ, 4, 1727.

O'Sullivan, A. M., Devito, K. J., Ogilvie, J., Linnansaari, T., Pronk, T., Allard, S., & Curry, R. A. (2020). Effects of topographic resolution and geologic setting on spatial statistical river temperature models. Water Resources Research, 56(12), e2020WR028122. Retrieved from https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/ 85 10.1029/2020WR028122 (e2020WR0281222020WR028122) doi: https://doi.org/10.1029/2020WR028122

Pero, E. J. I., Georgieff, S. M., de Lourdes Gultemirian, M., Romero, F., Hankel, G.E., & Domínguez, E. (2020). Ecore gions, climate, topography, physicochemical, or a combination of all: Which criteria are the best to define river types based on abiotic variables and macroinvertebrates in neotropical rivers? Science of The Total Environment, 738,140303. Retrievedfrom https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969720338250 doi: https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140303.

Ríos-Villamizar, E. A., Piedade, M. T., Junk, W. J., & Waichman, A.V. (2017). Surface water quality and deforestation of the purus river basin, brazilian amazon. International Aquatic Research, 9(1), 81–88.

Sang, Y.-F. (2012). Spatial and temporal variability of daily temperature in the yangtze river delta, China. Atmospheric Research, 112, 12-24. Retrieved from https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169809512001123 doi: https://doi.org/10510.1016/j.atmosres.2012.04.006

St-Hilaire, A., Ouarda, T. B. M. J., Bargaoui, Z., Daigle, A. & Bilodeau, L. (2012). Daily river water temperature forecast model with a k-nearest neighbour approach. Hydrological Processes, 26(9),1302-1310. Retrieved from https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/hyp.8216 doi: https://doi.org/10.1002/hyp.8216

Syvitski, J., Cohen, S., Miara, A., & Best, J. (2019). River temperature and the thermal-dynamic transport of sediment. Global and Planetary Change, 178, 168-183. Retrieved from https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921818118306805 doi: https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2019.04.011.

Toffolon, M., & Piccolroaz, S. (2015). A hybrid model for river water temperature as a function of air temperature and discharge. Environmental Research Letters, 10(11), 114011.

Torregroza-Espinosa, A. C., Restrepo, J. C., Escobar, J., Pierini, J., & Newton, A. (2021). Spatial and temporal variability of temperature, salinity and chlorophyll a in the magdalena river mouth, caribbean sea. Journal of South American Earth Sciences, 105, 102978. Retrieved from https://www.sciencedirect.com/science/6article/pii/S0895981120305216 doi: https://doi.org/710.1016/j.jsames.2020.1029788

van Vliet, M. T., Franssen, W. H., Yearsley, J. R., Ludwig, F., Haddeland, I., Lettenmaier, D. P., & Kabat, P. (2013). Global river discharge and water temperature under climate change. Global Environmental Change, 23(2), 450-12 464. Retrieved from

https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959378012001331 doi: https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2012.11.002

Wan Mohd Jaafar, W. S., Abdul Maulud, K. N., Muhmad Kamarulzaman, A. M., Raihan, A., Md Sah, S., Ahmad, A., Razzaq Khan, W. (2020). The influence of deforestation on land surface temperaturea case study of perak and kedah, malaysia. Forests, 11(6), 670.

Webb, B. W., & Walling, D. (1993). Temporal variability in the impacto friver regulation on thermal regime and some biological implications. Freshwater Biology, 29, 167-182. Fuel, 90(8), 2738–2745. https://doi.org/10.1016/j.fuel.2011.03.017

Wilby, R., Johnson, M., & Toone, J. (2014). Nocturnal river water temperatures: Spatial and temporal variations. Science of The Total Environment, 482-483, 157-173. Retrieved from https://www.sciencedirect.com/science/383article/pii/S0048969714003131 doi: https://doi.org/38410.1016/j.scitotenv.2014.02.123

Woltemade, C. J., & Hawkins, T. W. (2016). Stream temperature impacts because of changes in air temperature, land cover and stream discharge: Navarro river watershed, california, usa. River Research and Applications, 32(10), 2020 - 2031. Retrieved from https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/rra.3043

Zeiler, A., Faltermeier, R., Keck, I. R., Tomé, A. M., Puntonet, C. G., & Lang, E. W. (2010). Empirical mode decomposition an introduction. In The 2010 international joint conference on neural networks (IJCNN) (pp. 1–8).