

ESTUDO EXPERIMENTAL E NUMÉRICO DA DISPERSÃO DE POLUENTES SOB EFEITO DE MARÉS NA FOZ DO RIO MATAPI - DISTRITO INDUSTRIAL DE SANTANA - AP

¹ Dr. Alan Cavalcanti da Cunha. Pesquisador III Engenharia Ambiental. Dr. Eng. Civil. Núcleo de Hidrometeorologia e Energias Renováveis - NHMET/IEPA. Macapá - AP, Fone: (96) 32411156, alan.cunha@iepa.ap.gov.br.

² PhD. Antônio César Pinho Brasil Júnior Universidade de Brasília – Unb, Faculdade de Tecnologia, Departamento de Eng. Mecânica – Lab. de Escoamentos Ambientais. CEP 70910-900. Brasília – DF. E-mail: brasiljr@unb.br.

³ Doutorando José Gustavo Coelho Universidade de Brasília – Unb, Faculdade de Tecnologia, Departamento de Eng. Mecânica – Lab. de Escoamentos Ambientais. CEP 70910-900. Brasília – DF. E-mail: josegustavo@unb.br.

⁴ Dra. Helenilza F. Albuquerque Cunha. Universidade Federal do Amapá – UNIFAP, Coord. Ciências Sociais. CEP 68900-000. Macapá-AP. E-mail: helenilzacunha@unifap.br.

⁵ Daímio Guedes Brito. Universidade Federal do Amapá – UNIFAP, Mestrando PPGGIO – UNIFAP/IEPA. E-mail: daimio.brito@iepa.ap.gov.br.

NUMERICAL AND EXPERIMENTAL STUDY OF THE POLLUTION DISPERSION UNDER TIDAL EFFECT ON MATAPI RIVER MOUTH – INDUSTRIAL DISTRICT OF SANTANA - AP

ABSTRACT. Unsteady fluid flow and pollution release simulation of the Low Matapi River, on Amapa State estuarine coast, was performed. The discretized computational domain was the stretch nearly of the Industrial District – Santana Municipality. The main objective was to study the spatial and temporal water quality concentrations of the river and the dynamic processes that influence the behavior of pollutants dispersion. Experimental data such as discharge and water quality parameters were utilized, which were useful to support the comparison results. General analyses with numerical simulation were performed. The results are being useful for sanitary, environmental and public policies planning. The comprehension of this phenomena is important to interpret how the several critical areas of the estuarine zone are being polluted or on risk of pollution.

KEY-WORDS: simulation, dispersion, pollution, unsteady, tidal influence, Matapi River.

1. INTRODUÇÃO

O Distrito Industrial de Santana foi criado em 1982 e está localizada no Município de Santana a seis quilômetros do Porto de Santana e a 14 quilômetros da Capital do Estado, Macapá. Contribui para o desenvolvimento do Estado e possui uma área de 1.300 hectares, dentro da qual está situado o Loteamento Industrial, com área aproximada de 400 hectares, distribuído em 11 quadras, subdividido em 96 lotes. Os lotes têm dimensões que variam entre 20.000 m², 10.000 m² e 5.000 m². Como limite está ao norte a linha do equador, ao sul o Rio Amazonas, leste Rodovia Macapá/Mazagão e a oeste o Rio Matapi (Figura-1).

Trata-se de uma zona de risco com relação a processos potencialmente poluidores (disposição de resíduos). Neste caso, é uma preocupação entender os processos dispersivos que ocorrem sob a *disposição* das águas residuárias associados evidentemente aos impactos ambientais (monitoramento quantitativo e qualitativo da água).

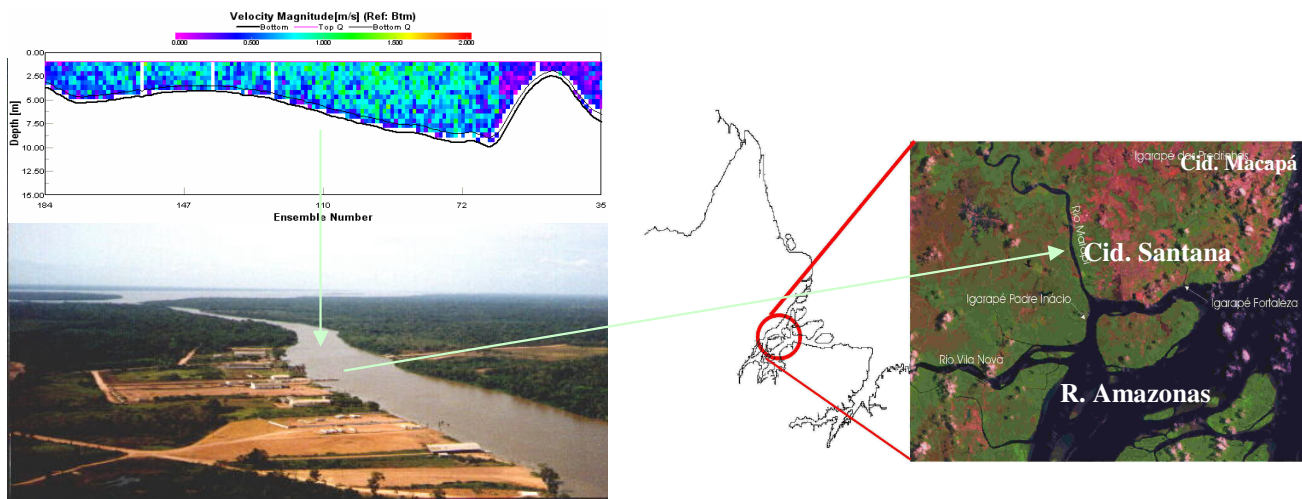


Figura 1: a) esquerda acima: descarga líquida com ADCP¹, b) direita - imagem de satélite da zona estuarina estudada; abaixo esquerda - foto aérea do Distrito Industrial de Santana - Rio Matapi (Cunha, (2005).

Segundo Metcalf & Eddy (1991), os regulamentos ambientais, critérios, políticas e revisões visam garantir que os impactos ambientais causados por descargas de águas residuárias tratadas ocorram em níveis aceitáveis. Esta estrutura regulamentar tem implicações na seleção do local da descarga, das estruturas de lançamento e no nível de tratamento requerido. Consequentemente, tratamento e disposição locais estão ligados e não podem ser considerados independentemente (Cunha et al, 2004, Velz, 1984).

1.1. OBJETIVO

- Simular as principais características do escoamento do Rio Matapi – AP, aplicando um modelo turbulento SST (Shear Stress Transport do CFX) para avaliar o comportamento da dispersão de plumas de poluentes segundo o regime transiente naturais das correntes de marés e analisar os picos máximos de concentração das mesmas em dois pontos distintos de monitoramento, previamente escolhidos e ao longo de um ciclo de maré (12,6 horas).

2. MATERIAIS E MÉTODOS

As simulações foram embasadas em estudos experimentais das variações de medidas de descargas líquidas, que variaram entre 1000 e -1800 m³/s, e velocidades médias por volta de 0,5 a -1,7 m/s, aproximadamente. A largura média trecho estudado do Rio Matapi variou na ordem de 200 a 300 m, dependendo da distância do ponto à foz. Profundidade média considerada na geometria foi por volta dos 10 m. O comprimento total do trecho simulado foi de 7 km de distância (de acordo com Cunha et al., 2006).

¹ ADCP. A tecnologia ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler) é um equipamento composto por uma sonda, com quatro transdutores e um "deck box", onde os sinais são filtrados e transmitidos para um PC com um software específico que coordena as ações de todo o sistema, recebe os dados e disponibiliza em forma de gráficos, tabelas, etc. O princípio de funcionamento do equipamento é regido pelo movimento das partículas na água que causam variações na frequência de eco. O ADCP mede estas variações – o efeito Doppler – com uma função da profundidade para obter a velocidade da corrente em até 128 posições diferentes na coluna da água. Com o conhecimento da velocidade da corrente, da área da seção de medição e da profundidade da mesma, um programa de computador especialmente desenvolvido para o ADCP calcula a vazão total na seção de descarga ou de medição (Guyot et al., 1995 *apud* Benedito 2002).

2.1 SIMULAÇÃO DA DISPERSÃO DE PLUMAS DE POLUENTES NO RIO MATAPI – AP COM USO DO MODELO SST

Foi utilizado o Modelo SST para solucionar o problema de escoamento complexo em questão. Sobre este modelo Menter (1994)^{2,3} *apud* Moura (2003) propôs um modelo de duas equações designado para melhorar o comportamento dos modelos clássicos $\kappa - \varepsilon$ e $\kappa - \omega$. Para que a lógica desse modelo funcione, o modelo $\kappa - \varepsilon$ é multiplicado por uma função de mistura e adicionado ao modelo $\kappa - \omega$ também multiplicado por essa função de mistura. Então, impõe-se que a função tenha valor unitário na região logarítmica e gradativamente torne-se nula fora da mesma. As especificações para esse modelo são:

$$\text{Viscosidade turbulenta} \\ \mu_t = \rho \frac{a_1 k}{\max(a_1 \omega, (S_{ij} S_{ij})^{\frac{1}{2}} F_2)} \quad (1)$$

onde $(S_{ij} S_{ij})^{\frac{1}{2}}$ é uma medida invariante do tensor taxa de deformação e F_2 é uma das funções de combinação e é determinada por:

$$F_2 = \tanh \left\{ \left[\max \left(\frac{2\sqrt{k}}{B^* \omega y}, \frac{500 \nu}{y^2 \omega} \right) \right]^2 \right\} \quad (2)$$

A formulação das funções de mistura F_1 e F_2 é baseada na distância até a parede e nas variáveis. As funções de mistura têm como característica a delimitação de zonas aonde cada modelo irá atuar. Através do valor encontrado para as funções, o modelo irá mudar a formulação nas equações de transporte, onde a primeira função de mistura (F_2) é responsável pela troca de modelos na formulação da viscosidade turbulenta e a outra função de mistura, F_1 (Equação-6) é responsável pela determinação das constantes do modelo, e pela troca de modelos na equação de transporte de ω (Noleto, 2006)⁴. F_1 é igual a 1 considerando afastado da parede (utiliza a função $\kappa - \varepsilon$) e é igual a zero quando considera a função próxima à parede (nesse caso, faz uso da função $\kappa - \omega$). Assim, a equação de transporte para a energia cinética turbulenta k , é dada por:

$$\rho \frac{\partial k}{\partial t} + \rho \bar{u}_i \frac{\partial k}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right) + \tilde{P}_k - \beta^* \rho \kappa \omega ; \quad (3)$$

onde:

$$P_k = \mu_t \frac{\partial u_i}{\partial x_i} \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \Rightarrow P_k = \min(P_k, 10 \cdot \beta^* \rho \kappa \omega); \quad (4)$$

Equação de transporte para ω é:

$$\rho \frac{\partial \omega}{\partial t} + \rho \bar{u}_i \frac{\partial \omega}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left((\mu + \sigma_\omega \mu_t) \frac{\partial \omega}{\partial x_j} \right) + \alpha \rho S^2 - \beta \rho \omega^2 + 2(1 - F_1) \rho \sigma_{\omega 2} \frac{1}{\omega} \frac{\partial k}{\partial x_i} \frac{\partial \omega}{\partial x_i}; \quad (5)$$

² Menter, F. R. Eddy viscosity transport equations and their relation to the k - ε Model, AMMES Research Center, 1994.

³ Menter, F. R. Multiscale model turbulent for turbulent flow, In: 24th Fluid Dynamic Conference. American Institute of Aeronautics and Astronautics, 1993.

⁴ Noleto, L. Comunicação pessoal. Estudo de escoamentos de cilindros. Simulação numérica híbrida e grandes escalas do escoamento turbulento em uma matriz de cilindros. Dissertação Mestrado (2006).

onde F_1 é definida como:

$$F_1 = \tanh \left\{ \left\{ \min \left[\max \left(\frac{\sqrt{\kappa}}{B^* \omega y}, \frac{500 \nu}{y^2 \omega} \right), \frac{4 \rho \sigma_{\omega 2} \kappa}{CD_{\kappa \omega} y^2} \right] \right\}^4 \right\} \quad (6)$$

com $CD_{\kappa \omega 1} = \max \left(2 \rho \sigma_{\omega 2} \frac{1}{\omega} \frac{\partial \kappa}{\partial x_i} \frac{\partial \omega}{\partial x_i}, 10^{-10} \right)$ e y é a distância da superfície de não deslizamento.

As outras constantes são todas oriundas dos modelos $\kappa - \epsilon$ e $\kappa - \omega$ com alguns ajustes e são determinadas como: $\beta^*=0,09$, $\alpha_1=5/9$, $\beta_1=3/40$, $\sigma_{\kappa 1}=0,85$, $\sigma_{\omega 1}=0,5$, $\alpha_2=0,44$, $\beta_2=0,0828$, $\sigma_{\kappa 2}=1$ e $\sigma_{\omega 2}=0,856$ (Menter, 2003)⁵.

A geração da malha foi executada no próprio pré-processador do CFX-5.10, resultando em uma estatística com a seguinte estrutura: a) o número de nós gerados foi de 164.979 e o número de elementos tetraédricos foi de 820854.

3. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Na Figura - 2 são mostrados os campos de concentração de duas plumas de poluentes não-conservativas. As duas fontes poluidoras foram monitoradas ao longo de um ciclo completo de maré.

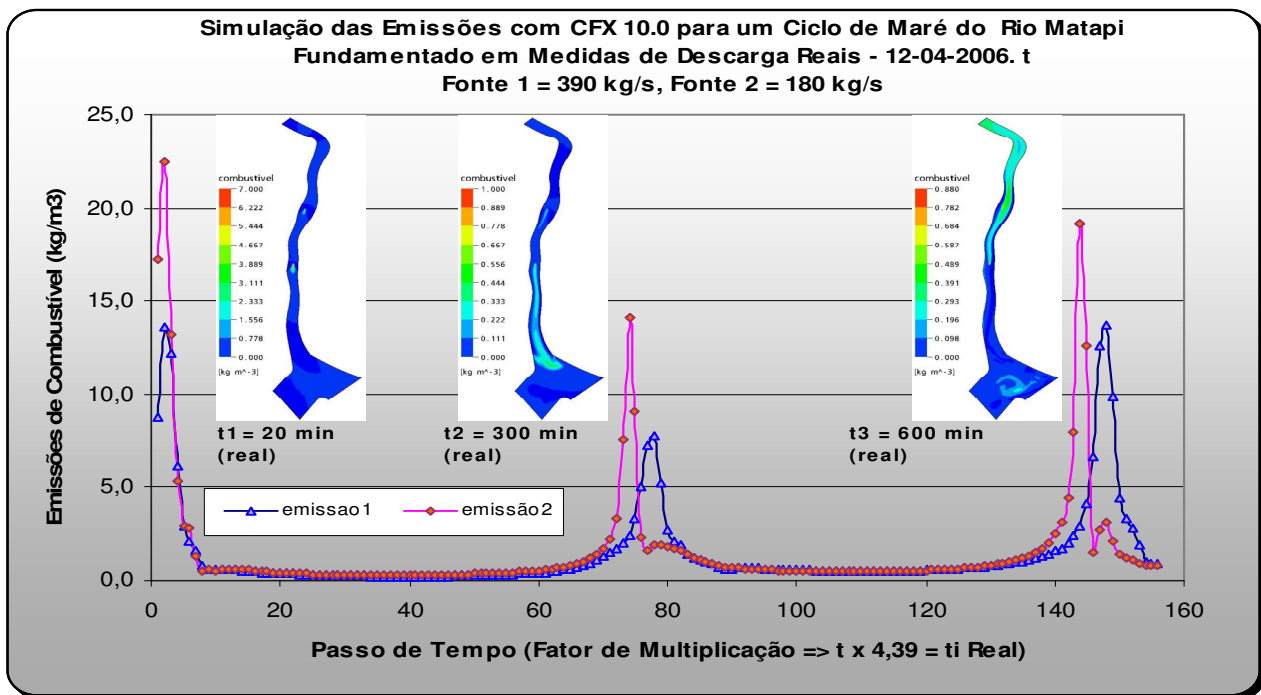


Figura 1: campos transientes de concentração de poluentes de duas fontes instantâneas: a) $t = 20$ min, b) $t = 300$ min, c) $t = 600$ min.

É possível avaliar os campos de concentração e os respectivos picos máximos ao longo de 3 momentos: $t_1 = 20$, $t_2 = 300$ e $t_3 = 600$ min, respectivamente. Os movimentos das plumas foram observados em função do escoamento nos mesmos instantes analisados e os picos de

⁵ Menter, F. R. A scale-adaptative simulation model for turbulent flow predictions, 41st Aerospace Science Meeting & Exhibit, 6-9 January, Reno, Nevada. 2003.

concentração: t1 (início da maré vazante e início do derramamento dos poluentes), t2 (final da maré baixa e dispersão) e t3 (reversão da maré e refluxo da pluma).

Nota-se que o uso da ferramenta numérica pode ser útil para os estudos de escoamentos ambientais e da dispersão de poluentes em corpos naturais de água. Também é possível considerar os níveis de diluição e decaimento e *retro alimentação* das concentrações de poluentes orgânicos na água sob influência de marés em rios da Amazônia.

4. CONCLUSÕES

O presente estudo buscou aprofundar os estudos de Cunha et al (2004, 2006) complementando informações sobre um sistema complexo como é o caso dos rios da Amazônia. Assim, o modelo de turbulência SST (CFX. 5.10, da ANSYS) se mostrou **suficientemente capaz** de capturar os principais nuances da dispersão de plumas de poluentes, os picos de concentração, bem como os movimentos hidrodinâmicos do escoamento real esperado para o sistema fluvial em questão. Para tanto, uma aproximação da curva ajustada da vazão real foi utilizada, por meio de uma função polinomial, como principal parâmetro de entrada no modelo, as quais compuseram as condições de contorno e iniciais do escoamento.

O exemplo de aplicação indicado pela Figura-2 foi para simular um potencial acidente ou derramamento de um contaminante (combustível) no Rio Matapi, na zona do Distrito Industrial. Neste aspecto, as ferramentas numéricas surgem como perspectivas promissoras sobre o tema para estudos em uma área sensível e pouco investigada da Engenharia Ambiental, sobre a qual pesam muitas lacunas de conhecimento sobre os ecossistemas aquáticos.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Cunha, A. C, et. al. (2006). *“Estudo numérico do escoamento superficial na foz do Rio Matapi – costa interna estuarine do Amapá”*. In: *Proceedings of the 11th Brazilian Congress of Thermal Sciences and Engineering – ENCIT, paper CIT-0977. Braz. Soc. of Mechanical Sciences and Engineering -- ABCM, Curitiba, Brazil, Dec. 5-8, 2006.*

Cunha, A. C., et al.: *“ Qualidade microbiológica da água em rios de áreas urbanas e periurbanas no Baixo Amazonas: o caso do Amapá. Artigo Técnico, Revista da Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental - ABES, Out-Dez, Vo. 9, N. 4, p-322-329, 2004.*

Lung, Seng-Wu. *Water quality modeling*. Vol III: Application to Estuaries. CRC Press, Inc.USA. 194 p. (1993).

Velz, C. J. *Applied Stream Sanitation*. A Wiley-Interscience Publication. Second Edition. Michigan, EUA. 799 p. (1984).

AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer o suporte financeiro da pesquisa cedido pelo REMETAP-FINEP, REAMA-FINEP, CT-Hidro, CNPq, LEA-UnB, UNIFAP e NHMET-IEPA.