

II-094 - SIMULAÇÃO DE PLUMAS DE DISPERSÃO DE CARGAS POLUIDORAS EM AMBIENTE MARINHO E DESENVOLVIMENTO DE APLICATIVO COMO SUBSÍDIOS AOS PROCESSOS DE LICENCIAMENTO AMBIENTAL

Carlos Adler Saraiva Paiva⁽¹⁾

Engenheiro Químico pela Universidade Federal do Ceará (UFC). Mestrando em Engenharia Química pela UFC.

Silvano Porto Pereira⁽²⁾

Biólogo pela UFC. Mestre em Engenharia Civil (Saneamento Ambiental) pelo Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental (DEHA) da UFC. Doutor em Engenharia Civil (Saneamento Ambiental) pelo DEHA/UFC.

Leon Torres de Oliveira⁽²⁾

Engenheiro Químico pela UFC. Mestrando em Engenharia Química pela UFC.

Dálete Maria Lima de Sousa⁽²⁾

Engenheira Ambiental pela UnivUFC.

Fernando Victor Galdino Ponte⁽⁵⁾

Engenheiro Químico pela UFC. Mestre em Engenharia Civil (Saneamento Ambiental) pela UFC.

Endereço⁽¹⁾: Rua Lauro Vieira Chaves, 1030 – Vila União - Fortaleza - CE - CEP: 60420-280 - Brasil - Tel: (85) 3101-1895 - e-mail: carlos.saraiva@cagece.com.br

RESUMO

O uso de ferramentas computacionais para a simulação de situações de impactos ambientais torna-se cada vez mais presente no mercado, como atuando através do monitoramento, dimensão do impacto e atuando de forma significativa na tomada de decisões. Para tal, foi utilizado o software COMSOL Multiphysics, para modelar e simular problemas multifísicos, possibilitando gerar e analisar a pluma gerada pelo emissário. Além disso, foi verificada a influência da temperatura, a qual se apresenta mais elevada no ponto de lançamento e é resfriada através de trocas de calor com o corpo receptor, e da concentração salina na pluma gerada. Baseado nas características cinéticas do corpo receptor, foram simulados seis cenários, a fim de representar a movimentação típica e desfavorável da maré. Contudo pode-se concluir que o efluente lançado pelo emissário de esgoto pré-tratado das termelétricas do CIPP não causa impacto significativo ao meio, uma vez que a pluma de dispersão, em nenhum dos cenários estudados, se distancia mais de 50 metros do ponto de lançamento.

PALAVRAS-CHAVE: COMSOL Multiphysics, Salinidade, Temperatura, Poluição Marinha, Licenciamento Ambiental.

INTRODUÇÃO

O uso de ferramentas computacionais para a simulação de situações de impactos ambientais vem se tornando cada vez mais comum, permitindo por meio de dessas uma série de aplicações, desde simulações para mensurar o impacto até atuar no monitoramento do mesmo. Os emissários submarinos como descarte de efluentes, sejam estes industriais ou orgânicos, foram uma solução amplamente adota em cidades litorâneas, devendo-se avaliar os impactos dessas descargas no ambiente aquático circunvizinho, visto que a prevenção e/ou controle desses impactos é premissa fundamental para o processo de licenciamento do estabelecimento.

Desenvolver ferramentas computacionais, fazendo uso de Dinâmica de Fluidos Computacional (CFD), e um aplicativo para o estudo de plumas de dispersão de agentes poluidores, em especial temperatura e concentração de poluentes, geradas a partir de emissários marinhos para a obtenção e renovação de licenças ambientais relativas a estes. Os objetivos específicos são:

- Atender demanda específica relativa a renovação de licença ambiental do emissário de esgoto pré-tratado das termelétricas do Complexo Industrial e Portuário do Pecém (CIPP), localizado no município de São Gonçalo do Amarante - Ce;
- Simular a influência da temperatura e salinidade no ponto de lançamento do efluente de resfriamento das termelétricas do CIPP, lançados ao mar pelo emissário de recalque do efluente pré-tratado, através da análise de plumas de dispersão por CFD com uso do software COMSOL Multiphysics;
- Desenvolver um aplicativo que possibilite simular plumas em outras localidades e cenários, alterando apenas os parâmetros característicos.
- Avaliar a possibilidade de redução dos pontos de amostragem sugeridos no EIA gerado por consultoria contratada pela Companhia de Água e Esgoto do Ceará (Cagece), trazendo redução de custos para a Companhia e simplificando a realização de um monitoramento ambiental, que por sua vez traz ganhos no processo de renovação da licença ambiental.

MATERIAIS E MÉTODOS

Foi utilizado o software COMSOL Multiphysics, plataforma de uso geral com base em métodos numéricos avançados para modelar e simular problemas multifísicos, possibilitando gerar e analisar a pluma gerada pelo emissário. Como o efluente lançado ao mar não apresenta carga orgânica, por tratar-se de água de resfriamento de termelétricas, os parâmetros de DBO e Coliformes não foram simulados. Nesse caso, é importante que se verifique a influência da temperatura, a qual se apresenta mais elevada no ponto de lançamento e é resfriada através de trocas de calor com o corpo receptor, e da concentração salina na pluma gerada. A corrente na região de lançamento apresenta características resumidas na Tabela 1 (CAGECE, 2003):

Tabela 1 - Resumo das Características da Região de Lançamento dos Efluentes (na superfície)

Data e Local da Medição	Velocidade Máxima Observada (m/s)	Velocidade Mínima Observada (m/s)	Velocidade média (m/s)	Intervalo mais Frequente de Direção da Corrente	Intervalo Máximo de Variação de Salinidade (‰)	Salinidade média (‰)	Intervalo Máximo de Variação da Temperatura (°C)	Temperatura média (°C)
Correntógrafo S4 - 19/03/97 a 12/04/97	0.30	0.01	0.10	300° - 330°	27,5 - 32,8	31,5	29,6 - 28,5	29.0
Correntômetro F - Jan-Fev/96	0.35	0.01	-	-	-	-	-	-

Devido à pequena variação observada na temperatura e na salinidade, será utilizada uma mesma estimativa dessas grandezas em todos os cenários simulados, sendo a temperatura adotada como igual a 29 °C e a salinidade em 31,5 ‰.

Por fornecer a modelagem de problemas multifísicos, o COMSOL Multiphysics possibilita a simulação da temperatura e diluição da pluma de efluente para uma diversidade de condições de descarga, tornando possível a simulação de todos os seis cenários mencionados a seguir, assumindo que a pluma permanece flutuante na superfície e se espalha em todas as direções.

O software citado operou transformando as equações de conservação de momentum (Modelo RANS k-ε), conservação de energia e conservação de massa, além da equação da continuidade, em uma matriz de equações algébricas, aplicando o conjunto de *solvers* numéricos disponíveis para solucionar as matrizes obtidas, sendo possível, no caso das físicas presentes, resolver todo o sistema de equações simultaneamente, de maneira acoplada, ao contrário da resolução das equações de maneira segregada. O modelo foi simplificado pela desconsideração dos efeitos de profundidade e de variação de velocidade da maré, porém se adequando aos casos apresentados.

Os parâmetros de entrada do modelo são:

- No corpo receptor:
Salinidade (31,5 ‰);
Direção e sentido das correntes (variável em função do cenário);
Velocidade das correntes (variável em função do cenário)

- Temperatura (29 °C)
- No efluente:
 - Salinidade (2 ‰);
 - Temperatura (33 °C);
 - Vazão (0.007 m³/s)
 - Velocidade (1,5 m/s)
 - Direção e sentido do lançamento (320°)

Adotou-se a vazão do efluente sendo bombeada constantemente pela elevatória, a fim de simular o cenário de maior impacto ambiental.

Baseado nas características cinéticas do corpo receptor, foram simulados seis cenários, a fim de representar a movimentação típica e desfavorável da maré:

- Caso 1.1 - Direção da corrente típica (296°, sentido sudeste-noroeste) e velocidade igual à mínima verificada nas campanhas de medição (0,01 m/s);
- Caso 1.2 - Direção da corrente típica (296° sentido sudeste-noroeste) e velocidade igual à máxima verificada nas campanhas de medição (0,35 m/s);
- Caso 2.1 - Direção da corrente paralela a ponte em direção à Praia (230°, sentido nordeste-sudoeste) e velocidade igual à mínima verificada nas campanhas de medição (0,01 m/s);
- Caso 2.2 - Direção da corrente paralela a ponte em direção à Praia (230°, sentido nordeste-sudoeste) e velocidade igual à máxima verificada nas campanhas de medição (0,35 m/s);
- Caso 3.1 - Direção da corrente paralela a ponte em direção ao Porto (50°, sentido sudoeste-nordeste) e velocidade igual à mínima verificada nas campanhas de medição (0,01 m/s);
- Caso 3.2 - Direção da corrente paralela a ponte em direção ao Porto (50°, sentido sudoeste-nordeste) e velocidade igual à máxima verificada nas campanhas de medição (0,35 m/s).

Concluída essa primeira fase, partiu-se para o desenvolvimento do aplicativo tendo em vista simplificar o processo realizado acima para que as simulações sejam realizadas por pessoas sem treinamento em simulação computacional, além de possibilitar ganhos de produtividade e custo em futuras demandas.

RESULTADOS

Após simulações, foram obtidos os resultados apresentados abaixo. Com a análise das figuras, pode-se concluir que o efluente lançado pelo emissário de esgoto pré-tratado das termelétricas do CIPP não causa impacto significativo ao meio, uma vez que a pluma de dispersão, em nenhum dos cenários estudados, se distancia mais de 50 metros do ponto de lançamento. Isso significa que pode ser realizado um plano de monitoramento simples e limitado a essa área, possibilitando redução de custos e monitoramento simplificado e limitado à área de atuação da pluma.

Caso 1.1

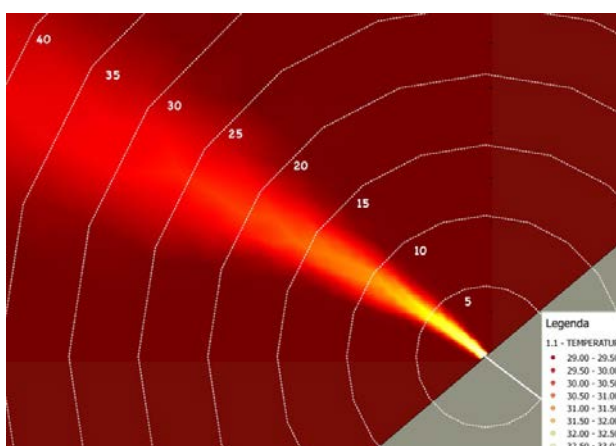


Figura 1.1a – Dispersão salina na pluma para o Caso 1.1

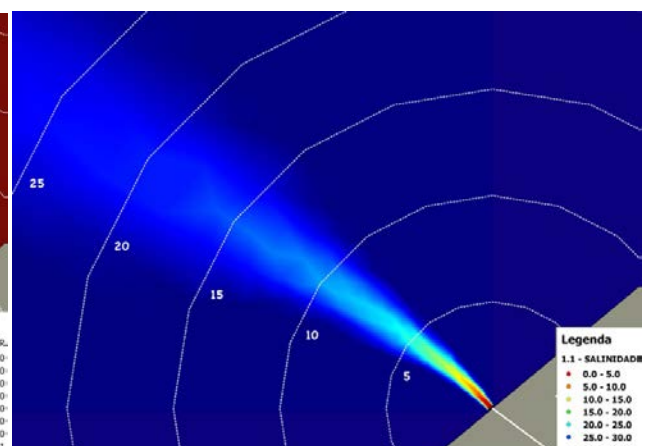


Figura 1.1b – Dispersão térmica na pluma para o Caso 1.1

Caso 1.2

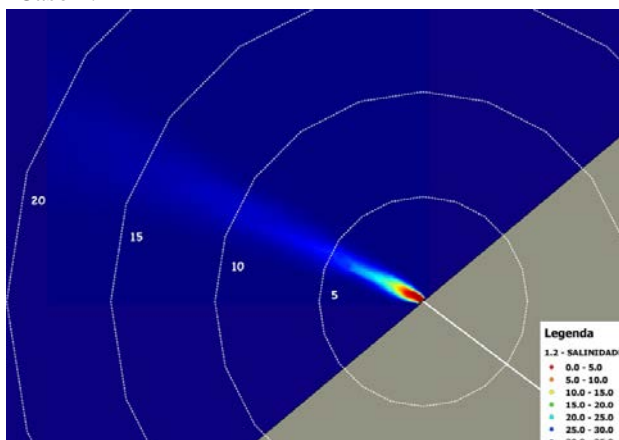


Figura 1.2a – Dispersão salina na pluma para o Caso 1.2

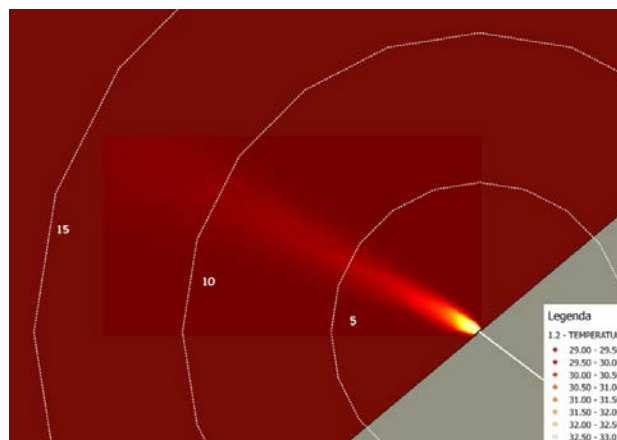


Figura 1.2b – Dispersão térmica na pluma para o Caso 1.2

Caso 2.1

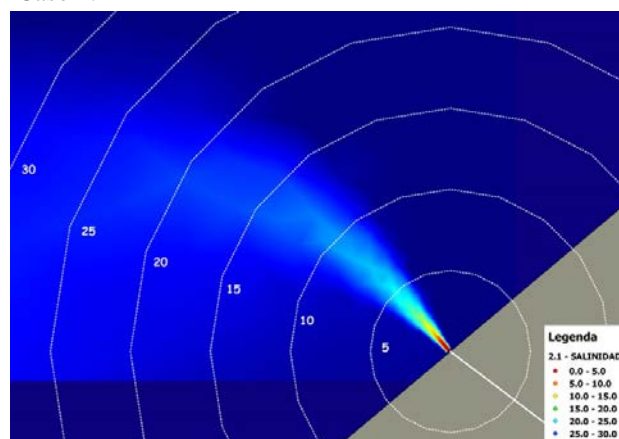


Figura 2.1a – Dispersão salina na pluma para o Caso 2.1

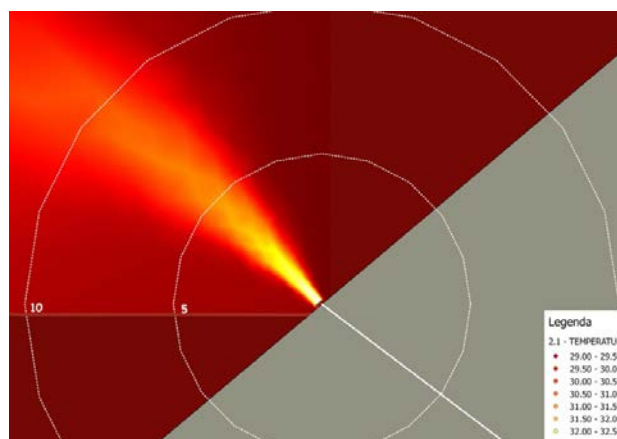


Figura 2.1b – Dispersão térmica na pluma para o Caso 2.1

Caso 2.2

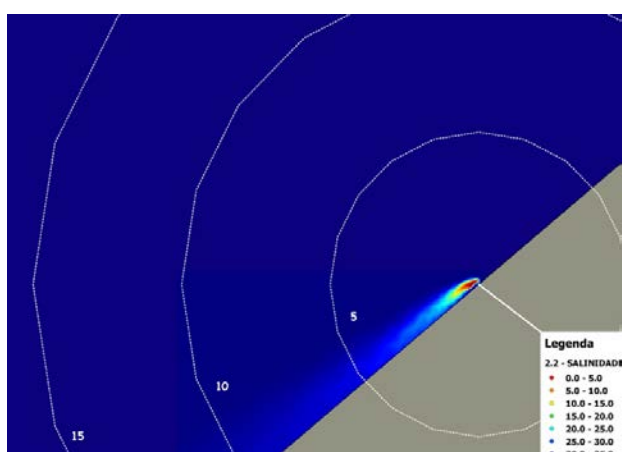


Figura 2.2a – Dispersão salina na pluma para o Caso 2.2



Figura 2.2b – Dispersão térmica na pluma para o Caso 2.2

Caso 3.1

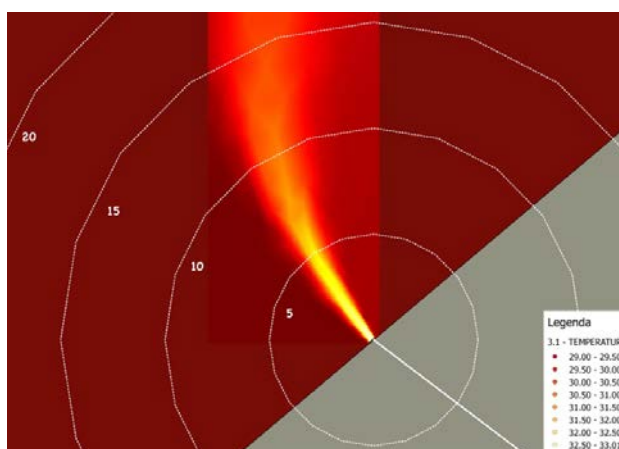


Figura 3.1a – Dispersão salina na pluma para o Caso 3.1

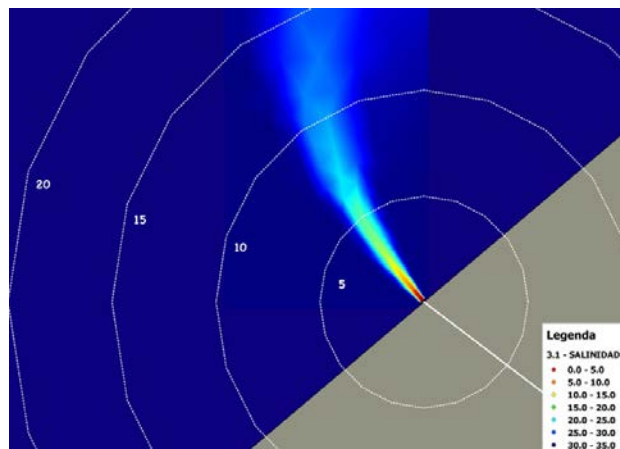


Figura 3.1b – Dispersão térmica na pluma para o Caso 3.1

Caso 3.2

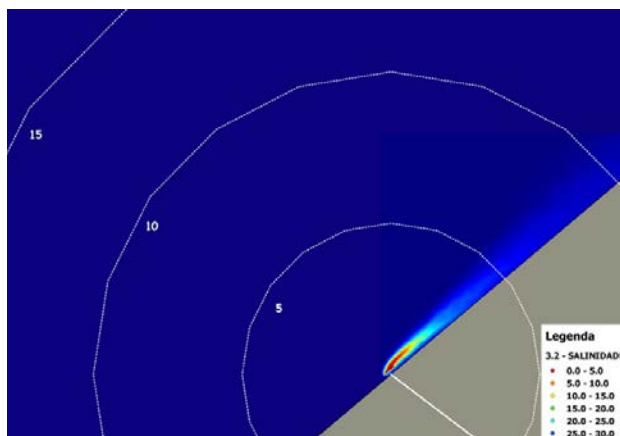


Figura 3.2a – Dispersão salina na pluma para o Caso 3.2

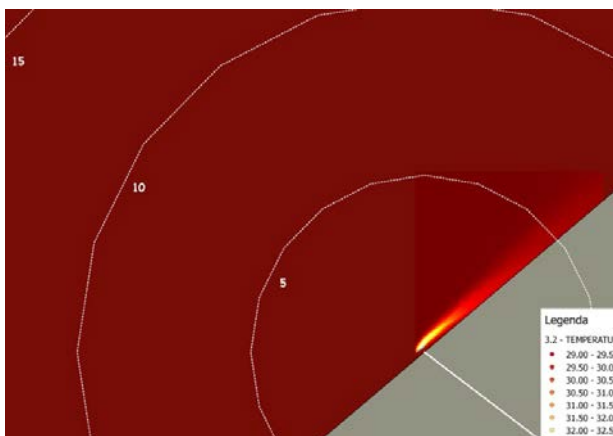


Figura 3.2b – Dispersão térmica na pluma para o Caso 3.2

A partir das simulações realizadas e através do uso de funcionalidade específica presente no COMSOL Multiphysics, foi desenvolvido aplicativo de análise de plumas marinhas para ser usado em outros casos, trazendo ganhos de produtividade nos processos de licenciamento ambiental. De posse dos dados de entrada, o operador do aplicativo pode facilmente realizar as simulações em diversos cenários e fazer análise dos resultados, conforme ilustrado na Figura 4.

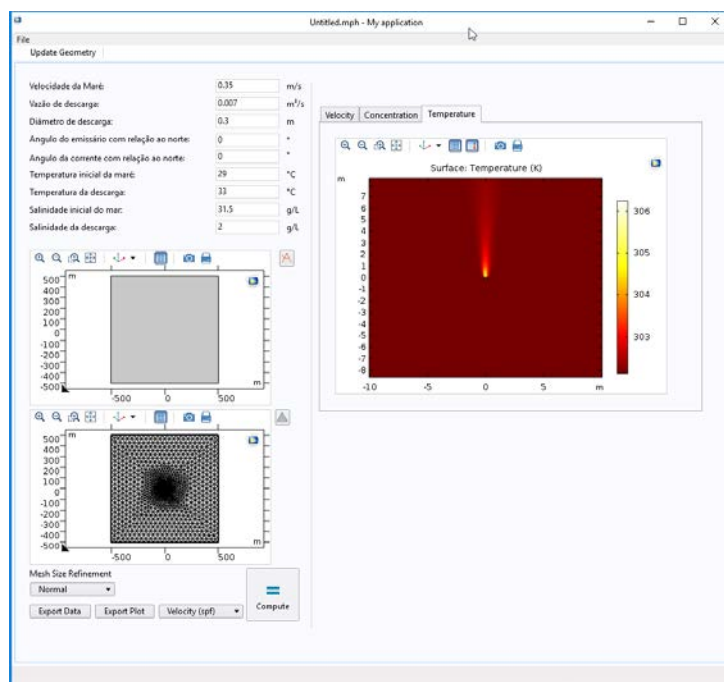


Figura 4 - Screenshot do aplicativo para geração de plumas marinhas.

Verificou-se que o efluente lançado pelo emissário de esgoto pré-tratado das termelétricas do CIPP não causa impacto significativo ao meio marinho, uma vez que as plumas de dispersão estudadas para as diversas condições, em nenhum dos cenários estudados, distanciam-se mais de 50 metros do ponto de lançamento. Isto significa redução de custos e simplificação do processo de monitoramento ambiental exigido pelo órgão ambiental.

CONCLUSÕES

Através do uso das ferramentas computacionais para a simulação dos diversos cenários elaborados, o software permitiu analisar de forma sistêmica os impactos e efeitos causados pelo efeito da salinidade e da temperatura no ambiente aquático circunvizinho. Contudo, os objetivos propostos foram alcançados e, adicionalmente, este trabalho permitiu a geração de relatório técnico, com fundamentação sólida, para apoio ao processo de renovação do licenciamento ambiental relativo ao emissário do porto do Pecém.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. METCALF & EDDY. Wastewater engineering: treatment and reuse. 4th ed. Boston: McGraw Hill, 2002. xxviii, 1408 p. ISBN 007124140X
2. CHUNG, T. J. Computational fluid dynamics. 2nd ed ed. Cambridge: Cambridge University Press, 2010. 1034 p. .978-0-521-76969-3.
3. TABATABAIAN, M. COMSOL5 for Engineers. [S.l.]: Mercury Learning & Information, 2015. (Multiphysics Modeling). .978-1-942270-45-4.
4. ZIKANOV, Oleg. Essential computational fluid dynamics. Hoboken, NJ: Wiley, 2010. 302 p. .978-0-470-42329-5.
5. CEBECI, Tuncer (Org.). Computational fluid dynamics for engineers: from panel to Navier-Stokes methods with computer programs. Berlin: Springer, 2005. 396 p. .978-0-9766545-0-6.
6. CAGECE. Estudo de Impacto Ambiental do Emissário de Esgoto Pré-tratado da UTE- Fortaleza. Fortaleza, CAGECE – Companhia de Água e Esgoto do Ceará, 2003.