

12º CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM PETRÓLEO E GÁS



TÍTULO DO TRABALHO:

Análise da Dispersão de Óleo na Baía da Babitonga sob Diferentes Forçantes Hidrodinâmicas Utilizando Modelagem Numérica

AUTORES:

Anna Carolina Alves de Abreu, Luiz Adolfo Hegele Junior

INSTITUIÇÃO:

Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC)

Análise da Dispersão de Óleo na Baía da Babitonga sob Diferentes Forçantes Hidrodinâmicas Utilizando Modelagem Numérica

Resumo

A gestão eficaz de derramamentos de óleo em ambientes costeiros, como a Baía da Babitonga no Brasil, exige uma compreensão da hidrodinâmica local. Este estudo utiliza o modelo Lagrangiano de dispersão de partículas do SisBaHiA® para investigar a dispersão de óleo sob diferentes condições de maré e estações do ano. A Baía da Babitonga, localizada no sul do Brasil, é uma região ecologicamente sensível, influenciada por variações de maré e sujeita a atividades portuárias e industriais. Foram simulados quatro cenários distintos, considerando preamar de sizígia e quadratura durante o verão e o inverno, baseados em dados de maré, vento e vazões fluviais previamente calibrados e validados. As simulações mostraram que as marés de sizígia promovem maior dispersão longitudinal do poluente, enquanto as marés de quadratura resultam em maior dispersão transversal. No verão, as vazões fluviais são mais altas (71 m³/s) e os ventos mais intensos, resultando em maiores concentrações de poluente. No inverno, com vazões mais baixas (24 m³/s) e ventos menos intensos, houve maior dispersão transversal durante a maré de quadratura. Os resultados evidenciam a importância das marés e das variações sazonais na dispersão de poluentes. Ao planejar estratégias de contenção e mitigação, deverão ser consideradas essas influências para otimizar o posicionamento de barreiras de contenção, o uso de dispersantes químicos e a coordenação das operações de limpeza e recuperação.

Palavras-chave: derramamento de óleo, Baía da Babitonga, modelo Lagrangiano, maré, dispersão de poluentes, SisBaHiA®

Abstract

Effective management of oil spills in coastal environments, such as Babitonga Bay in Brazil, requires a understanding of local hydrodynamic. This study uses the SisBaHiA® Lagrangian particle dispersion model to investigate oil dispersion under different tidal conditions and seasons. Babitonga Bay, located in southern Brazil, is an ecologically sensitive region influenced by tidal variations and subject to port and industrial activities. Four distinct scenarios were simulated, considering spring and neap tides during summer and winter, based on previously calibrated and validated tidal, wind, and river discharge data. The simulations showed that spring tides promote greater longitudinal dispersion of the pollutant, while neap tides result in greater lateral dispersion. In summer, higher river discharges (71 m³/s) and more intense winds lead to higher pollutant concentrations. In winter, with lower discharges (24 m³/s) and less intense winds, there was greater lateral dispersion during neap tides. The results highlight the significance of tides and seasonal variations in pollutant dispersion. Authorities should consider these influences when planning containment and mitigation strategies, optimizing the placement of containment barriers, the use of chemical dispersants, and coordinating cleanup and recovery operations. A understanding of these influences will allow for more effective actions in future incidents, protecting the bay's ecosystem and local communities.

Keywords: oil spill, Babitonga Bay, Lagrangian model, tide, pollutant dispersion, SisBaHiA®

Introdução

A gestão eficaz de incidentes de derramamento de óleo em ambientes costeiros depende fundamentalmente de uma compreensão da hidrodinâmica local. Em regiões como a Baía da Babitonga, Brasil, localizada no sul do país, essa compreensão é ainda mais importante devido à influência significativa das variações das marés na circulação e mistura de águas. Além de sua importância ecológica e socioeconômica, a Baía da Babitonga é vulnerável a derramamentos devido à presença de atividades portuárias e industriais.

Estudos anteriores têm destacado a complexidade das interações entre correntes costeiras, a morfologia do fundo marinho e os padrões de vento que moldam a circulação nessa região (Cunha e Abreu, 2023). Esta pesquisa se baseia no modelo hidrodinâmico já calibrado e validado para a região, (Cunha e Abreu, 2023), utilizando o Sistema de Hidrodinâmica Ambiental, SisBaHiA®.

Nesse contexto, o presente estudo utiliza o modelo Lagrangiano de dispersão de partículas do SisBaHiA® para investigar os padrões de dispersão de óleo sob diferentes condições de maré durante o verão. Serão considerados cenários específicos de preamar de sizígia, baixamar de sizígia e preamar de quadratura, que representam variações significativas nas condições hidrodinâmicas da baía. Esta abordagem não apenas proporcionará entendimentos sobre como os óleos derramados podem se dispersar e se movimentar na região, mas também contribuirá para o aprimoramento das estratégias de resposta a incidentes de poluição marinha.

Metodologia

Área do Estudo e Dados

A Baía da Babitonga, localizada no sul do Brasil (longitude 46.67° W, latitude 26.26° S), é uma região de grande relevância ambiental e econômica. Com uma extensão de aproximadamente 160 km² e profundidades variando de 5,7 m a 27 m, a baía é influenciada por um regime de maré microtidal dominado por componentes semidiurnos. A bacia de drenagem adjacente possui uma área de cerca de 1560 km² e está sob um clima tropical úmido com precipitação média anual de aproximadamente 2000 mm.

A batimetria da Baía da Babitonga foi detalhadamente mapeada utilizando levantamentos hidrográficos. Estes dados foram obtidos através do projeto Baías do Brasil, desenvolvido pela COPPE-UFRJ, e estão disponíveis no site do projeto. A batimetria apresentada foi compilada a partir das cartas náuticas CN: 1800 e 1804 do Porto de São Francisco do Sul, fornecidas pela Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN).

O coeficiente de rugosidade de Chezy foi determinado a partir de um levantamento do tipo de solo no fundo da baía, indicando uma predominância de areias finas e médias ao longo da área estudada.

O domínio de modelagem foi discretizado em uma malha de elementos finitos, com um total de 1.455 elementos e 6.669 nós de cálculos. Este detalhamento permite uma representação precisa das variações locais na dinâmica das correntes e marés.

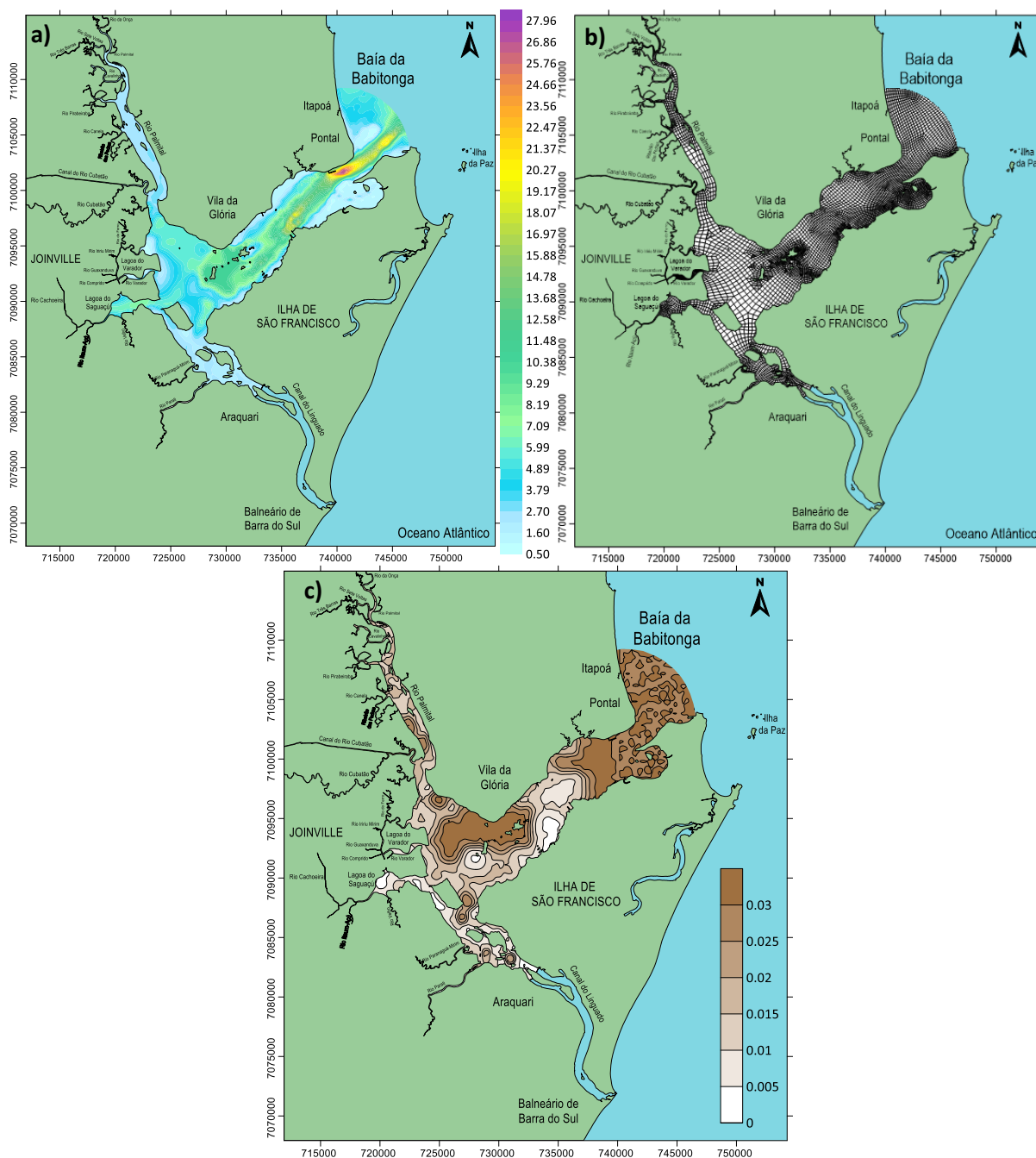


Figura 1: a) Batimetria da Baía da Babitonga, b) Domínio da Modelagem e malha de discretização e c) Rugosidade de Fundo

Os dados de ventos, obtidos a partir da estação de monitoramento de Itapoá pelo INMET, foram utilizados para os períodos de inverno de 2019 e verão de 2020. As vazões médias mensais dos rios contribuintes foram calculadas usando o método racional modificado, devido à escassez de dados na

região. A maior vazão foi do Rio Cubatão, representando 33,6% do total de água doce que chega ao estuário. A soma das vazões mensais dos rios nos meses de verão foi aproximadamente 71 m³/s, três vezes maior que no inverno, com 24 m³/s. Esses dados foram usados para a calibração e validação do modelo hidrodinâmico utilizado no estudo, que foi apresentado por Abreu (2021).

SisBaHiA

O Sistema de Hidrodinâmica Ambiental, SisBaHiA®, foi selecionado como o modelo computacional principal para este estudo. Desenvolvido para simular as condições hidrodinâmicas em ambientes costeiros, o SisBaHiA® utiliza uma abordagem lagrangeana para a modelagem de parâmetros não conservativos, permitindo a análise detalhada da circulação da água e da dispersão de contaminantes como óleo. O modelo é especialmente adequado para integrar dados de marés, ventos, topografia submarina e outras variáveis relevantes, fornecendo uma representação precisa das condições ambientais na Baía da Babitonga.

Modelo Lagrangiano

O modelo Lagrangiano de transporte de poluentes foi implementado no SisBaHiA® para simular a dispersão de um poluente conservativo. Este modelo rastreia o movimento de partículas no ambiente aquático, representando frações do poluente. As partículas são submetidas a forças advectivas e difusivas. A coordenada da fonte de lançamento do poluente foi definida como X: 739388,09 e Y: 7100574,60. O modelo considera o lançamento contínuo de 1.000 m³ de um poluente conservativo, com a emissão de 1.000 partículas por passo de tempo, cada uma representando uma fração do poluente.

As velocidades longitudinais e transversais foram calculadas a partir dos modelos validados e calibrados para os períodos de janeiro de 2020 e maio de 2019, conforme indicado e realizado no artigo "Mixing Process Evaluation Due to Sea Level Rise in Babitonga Bay, Brazil" (Cunha e Abreu, 2023). Essas velocidades fornecem uma base precisa para a simulação do transporte de poluentes, assegurando que os padrões de corrente e a dinâmica hidrodinâmica locais sejam adequadamente representados na modelagem da dispersão das partículas de poluente na Baía da Babitonga.

Para a análise da dispersão do poluente conservativo, foram simulados quatro cenários distintos, levando em consideração diferentes condições de maré e estações do ano:

- *Cenário 01: Ocorrência em maré de sizígia no verão.*
- *Cenário 02: Ocorrência em maré de quadratura no verão.*
- *Cenário 03: Ocorrência em maré de sizígia no inverno.*
- *Cenário 04: Ocorrência em maré de quadratura no inverno.*

Resultados e Discussão

Foram realizados cenários de simulação considerando diferentes condições de maré na Baía da Babitonga durante o verão e o inverno. Os cenários foram definidos de acordo com as preamaras de sizígia e quadratura, sendo analisados os impactos de uma fonte contínua de poluente conservativo. Cada cenário considerou um lançamento contínuo de 1000 partículas com volume total de 1000 m³, simulando um período total de 12 horas.

Os gráficos a seguir ilustram a variação da maré durante os períodos de verão de 2020 e inverno de 2019, destacando o início das simulações nas condições de preamar de sizígia e quadratura.

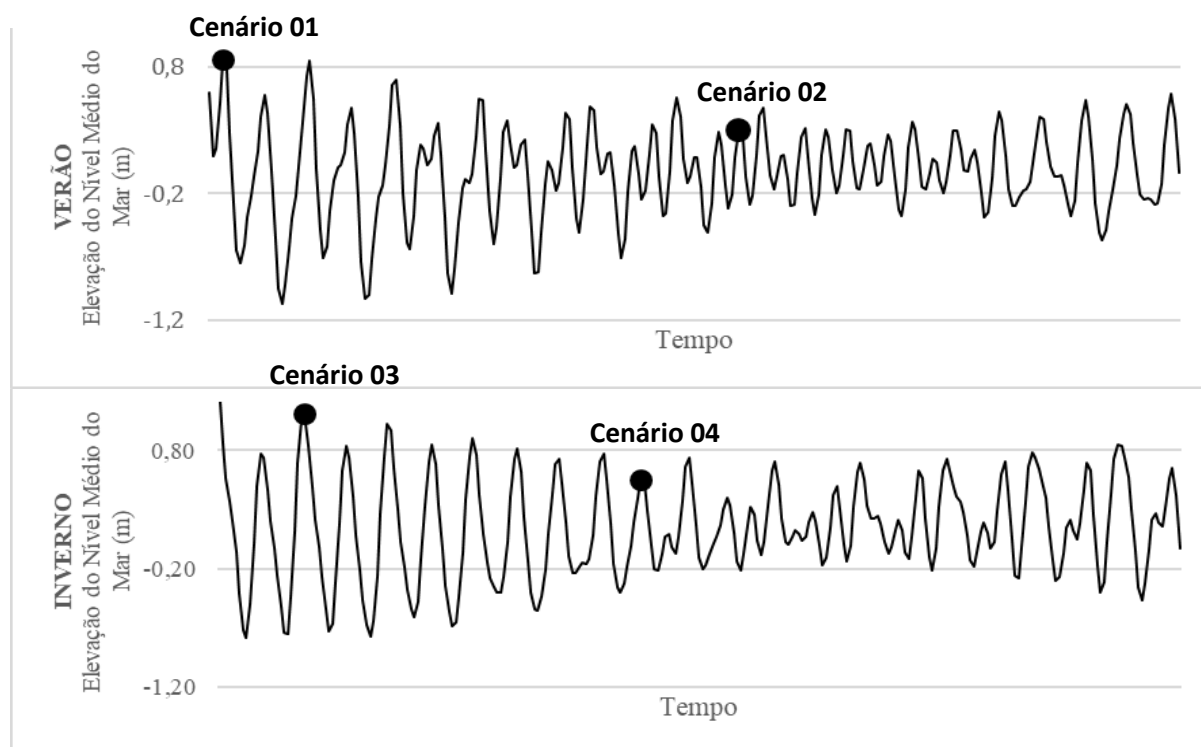


Gráfico 1: Variação da maré e início das simulações para os cenários 1 (Verão - Maré de Sizígia), 2 (Verão - Maré de Quadratura), 3 (Inverno - Maré de Sizígia) e 4 (Inverno - Maré de Quadratura).

Cenário	Largura da Pluma (m)	Comprimento da Pluma (m)	Concentração Máxima (mg/L)
Cenário 01: Verão - Maré de Sizígia	1.022,10	7.562,32	3,88
Cenário 02: Verão - Maré de Quadratura	1.343,93	6.533,88	6,30
Cenário 03: Inverno - Maré de Sizígia	1.976,28	7.340,86	1,76
Cenário 04: Inverno - Maré de Quadratura	1.572,79	5.931,30	6,64

Tabela 1: Resultados simulados de largura, comprimento da pluma de óleo e concentração máxima para os diferentes cenários na Baía da Babitonga

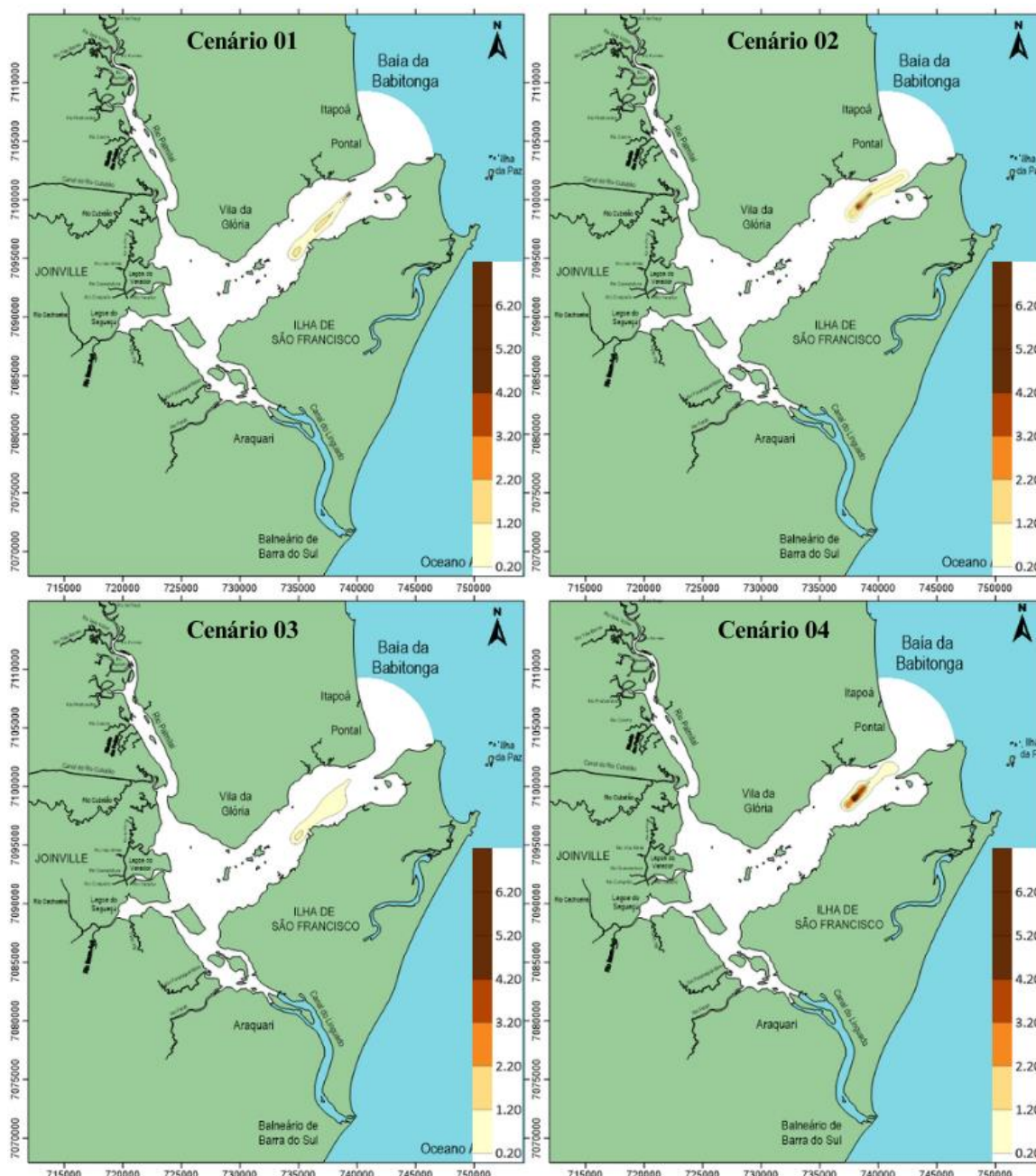


Figura 2: Concentração e Mancha resultante para os 4 cenários após 12 horas do lançamento.

Os resultados das simulações demonstram a influência das forçantes ambientais, especialmente as variações de maré e sazonalidade, na dispersão do poluente na Baía da Babitonga. A baía é predominantemente influenciada pelas marés, que são importantes para a circulação hidrodinâmica. As marés de sizígia, caracterizadas por correntes mais intensas, promoveram uma maior dispersão longitudinal do poluente, resultando em comprimentos maiores das plumas de poluente (7.562,32 m no verão e 7.340,86 m no inverno). Por outro lado, as marés de quadratura, com correntes menos intensas, resultaram em plumas de poluente mais curtas, mas com maiores larguras, refletindo uma dispersão lateral mais acentuada.

As diferenças sazonais na Baía da Babitonga afetam a dispersão de poluentes devido às variações nas vazões dos rios e nas intensidades dos ventos. No verão, as vazões fluviais são mais altas, atingindo cerca de 71 m³/s, e os ventos são mais intensos, com velocidade média de 1,39 m/s e máximas de 5,9 m/s, resultando em maiores concentrações de poluente durante a maré de quadratura e dispersão mais eficiente na maré de sizígia. No inverno, as vazões caem para aproximadamente 24 m³/s e os ventos são mais fracos, com velocidade média de 0,44 m/s e máximas de 5,1 m/s, levando a uma maior dispersão lateral e concentrações mais elevadas durante a maré de quadratura, enquanto a maré de sizígia promove uma dispersão mais ampla e diluída do poluente.

A análise das simulações revela que as diferentes forçantes ambientais, como variações de maré, vazões fluviais e intensidades dos ventos, influenciam significativamente a dispersão do poluente na Baía da Babitonga. Ao desenvolver os planos de resposta a derramamento de óleo na região devem considerar essas variações sazonais e da influência da maré, como a implementação de ações mais eficazes e rápidas em caso de acidentes futuros, otimizando o posicionamento de barreiras de contenção, o uso de dispersantes químicos e a coordenação das operações de limpeza e recuperação.

Conclusões

A análise das simulações revela que as diferentes forçantes ambientais, como variações de maré, vazões fluviais e intensidades dos ventos, exercem influência na dispersão de poluentes na Baía da Babitonga. Diante disso, é importante considerar essas variações sazonais e de maré ao planejar estratégias de contenção e mitigação de poluentes. Ao entender as influências de cada uma das forçantes hidrodinâmicas atuantes na região nos auxilia na implementação de ações mais eficazes e ágeis em futuros incidentes, otimizando o posicionamento de barreiras de contenção, o uso de dispersantes químicos e a coordenação das operações de limpeza e recuperação ambiental em acidentes de derramamento de óleo.

Referências Bibliográficas

ABREU, Anna Carolina Alves de. Avaliação dos processos de mistura na Baía da Babitonga (SC) em cenários de mudanças climáticas. 2021. Disponível em: <https://acervodigital.ufpr.br/xmlui/handle/1884/39806>. Acesso em: 18 jul. 2024.

BAÍAS DO BRASIL. Relatórios. [Baiadobrasil.coppe.ufrj.br](http://www.baiasdobrasil.coppe.ufrj.br), 2018. Disponível em: http://www.baiasdobrasil.coppe.ufrj.br/assets/relatorios/rel_baia_babitonga.html. Acesso em: julho/2024.

CUNHA, Cynara de Lourdes da Nóbrega; ABREU, Anna Carolina Alves de. Mixing process evaluation due to sea level rise in Babitonga Bay, Brazil. *Journal of Integrated Coastal Zone Management*, v. 23, n. 2, p. 135-151, 2023. DOI: 10.5894/rgci-n548.