fase em que a água está suspensa na fase contínua representada pelo óleo.

A evaporação reduz o volume de óleo disperso na superfície, porém a emulsificação aumenta este volume (Lehr *et al.*, 2002). A região de estudo possui uma batimetria rasa, onde os ventos na superfície da água geram energia turbulenta, formando pequenas gotículas de água que são misturadas no óleo, formando emulsão O/A. De acordo com Lehr *et al.* (2002), a quantidade de água e tamanho das gotículas afetam diretamente à viscosidade e a estabilidade temporal da emulsão, que em um estado totalmente estável, pode conter 80% a 90% de água. O resultado da emulsificação não é apenas o aumento significativo no volume de óleo (3 ou 4 vezes o volume do óleo original estabilizado), mas também aumenta a massa específica e a viscosidade (Sebastião *et al.*, 1995).

O modelo ECOS utiliza o algoritmo proposto por Mackay e Patterson (1980), para estimar a variação temporal da emulsificação. O processo é governado por uma equação diferencial de primeira ordem, como função da intensidade do vento, volume de óleo derramado e °API. Na Fig. 5.10 são apresentados todos os resultados de emulsificação em porcentagem das 22 simulações (representadas por curvas coloridas).

A curva em preto representa a média de todos os cenários considerando as características como a intensidade dos ventos e correntes marítimas e as características físicas do óleo. De acordo com a Fig. 5.10, a porcentagem média é de 70% de incorporação de água no óleo em 21 h. Os valores de porcentagem individual dos cenários variaram de 38% a 70% a partir da 1 h até as 21 h.

A emulsificação é calculada considerando o vazamento de óleo de forma homogênea e torna-se constante quando chega ao contorno sólido. Assim, os valores de menores porcentagens de emulsificação são aqueles que o óleo chega rapidamente no contorno sólido. Neste caso, a simulação de 10/01/2012 apresentou o menor percentual de emulsificação, com a incorporação de 68% de água no óleo. Neste período, a intensidade dos ventos variou de $4\,\mathrm{m\,s^{-1}}$ a $8\,\mathrm{m\,s^{-1}}$, e a velocidade de corrente de $0{,}05\,\mathrm{m\,s^{-1}}$ a $0{,}25\,\mathrm{m\,s^{-1}}$.

Os cenários de maiores porcentagens de emulsificação são aqueles que as partículas de óleo deslocaram-se para as regiões mais distantes, com maior número de partículas. Neste caso, a simulação de 19/02/2013 apresentou o maior percentual de emulsificação, com a incorporação de 70% de água no óleo. Neste período, a intensidade dos ventos variam de $2\,\mathrm{m\,s^{-1}}$ a $8\,\mathrm{m\,s^{-1}}$, e a velocidade de corrente varia de $0{,}05\,\mathrm{m\,s^{-1}}$ a $0{,}25\,\mathrm{m\,s^{-1}}$.

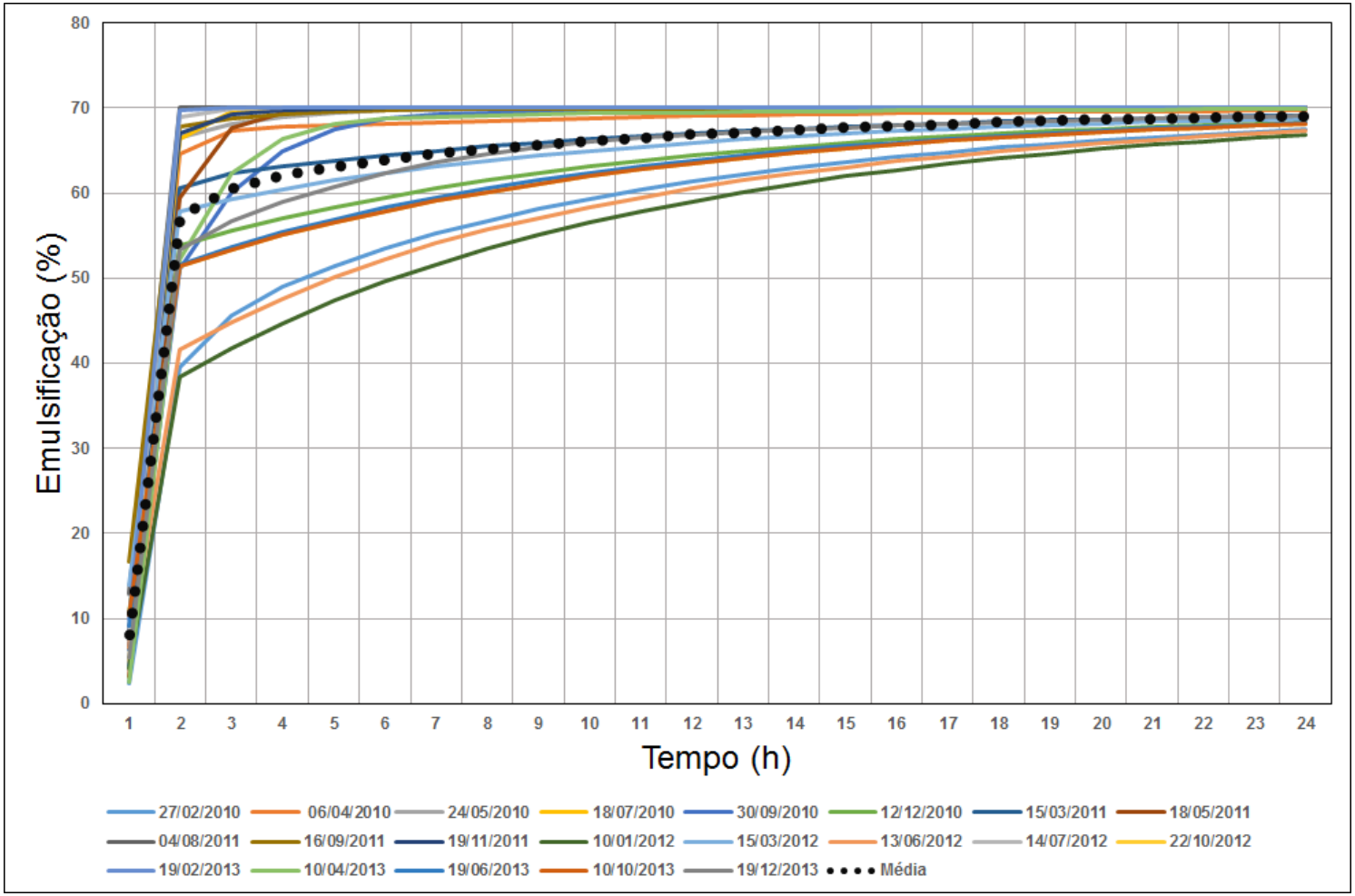


Figura 5.10: Porcentagem de emulsificação das partículas de óleo de todas as simulações (linhas coloridas) e médias dos cenários (pontos preto).

Stringari (2014) realizaram um estudo utilizando o modelo ECOS, na região da plataforma continental adjacente, próxima ao estuário da Lagoa dos Patos. Estes autores encontraram valores de emulsificação próximo a 70% em um período de 12 h, e ao alcançar 20 h de simulação, a emulsificação estabilizou-se em 80%.

De modo geral, a resposta do modelo em relação à emulsificação é considera boa, levando em consideração as características físicas e o volume de óleo, considerando que o óleo permaneceu por curtos períodos de tempo na água, e as condições de vento são de menor intensidade quando comparadas aos estudos de Stringari (2014), Marques *et al.* (2017) que também utilizaram o modelo ECOS.

5.4.2 Evaporação

A evaporação é o principal mecanismo de redução de volume do óleo na superfície da água. O óleo é uma mistura de compostos diferentes e a taxa de evaporação diminui à medida que o óleo permanece na água. Os componentes mais voláteis evaporam fazendo que a pluma de óleo aumente a concentração de compostos moleculares mais pesados. Os compostos que contêm mais de 18 átomos de carbono não evaporam, conforme Lehr *et al.* (2002) e Sebastião *et al.* (1995).

Aproximadamente um quarto a um terço do óleo evapora na primeira semana do vazamento (Lehr *et al.*, 2002). A taxa de evaporação é determinada pelas propriedades físico-químicas do óleo. Após o vazamento, está taxa é acelerada devido à influência da temperatura e energia dos ventos no processo. A evaporação das frações mais voláteis do óleo na superfície da água é responsável pela perda de massa durante as primeiras horas do vazamento (Sebastião *et al.*, 1995).

A taxa de evaporação do modelo ECOS é calculada usando a equação diferencial de primeira ordem proposta por Mackay e Patterson (1980), que assume que a pluma de óleo é homogênea e considera a temperatura média da água, volume de óleo, área de vazamento, intensidade de vento e °API no processo de evaporação.

Na Fig. 5.11 são apresentados todos os resultados de evaporação, em porcentagens, das 22 simulações (representadas por curvas coloridas). A curva em preto representa a média de todos os cenários considerando as características como a intensidade dos ventos e características físicas do óleo. A massa específica do óleo utilizado neste estudo é um dos principais responsáveis para que a porcentagem média de evaporação tenha ficado em $0,92\%$ após 10 h. De acordo com a Fig. 5.11 a porcentagem média de evaporação do óleo é de $0,28\%$ em 10 h. Os valores de porcentagem individual dos cenários variaram de 0,05% a 0,93% a partir da 1 h até às 10 h.

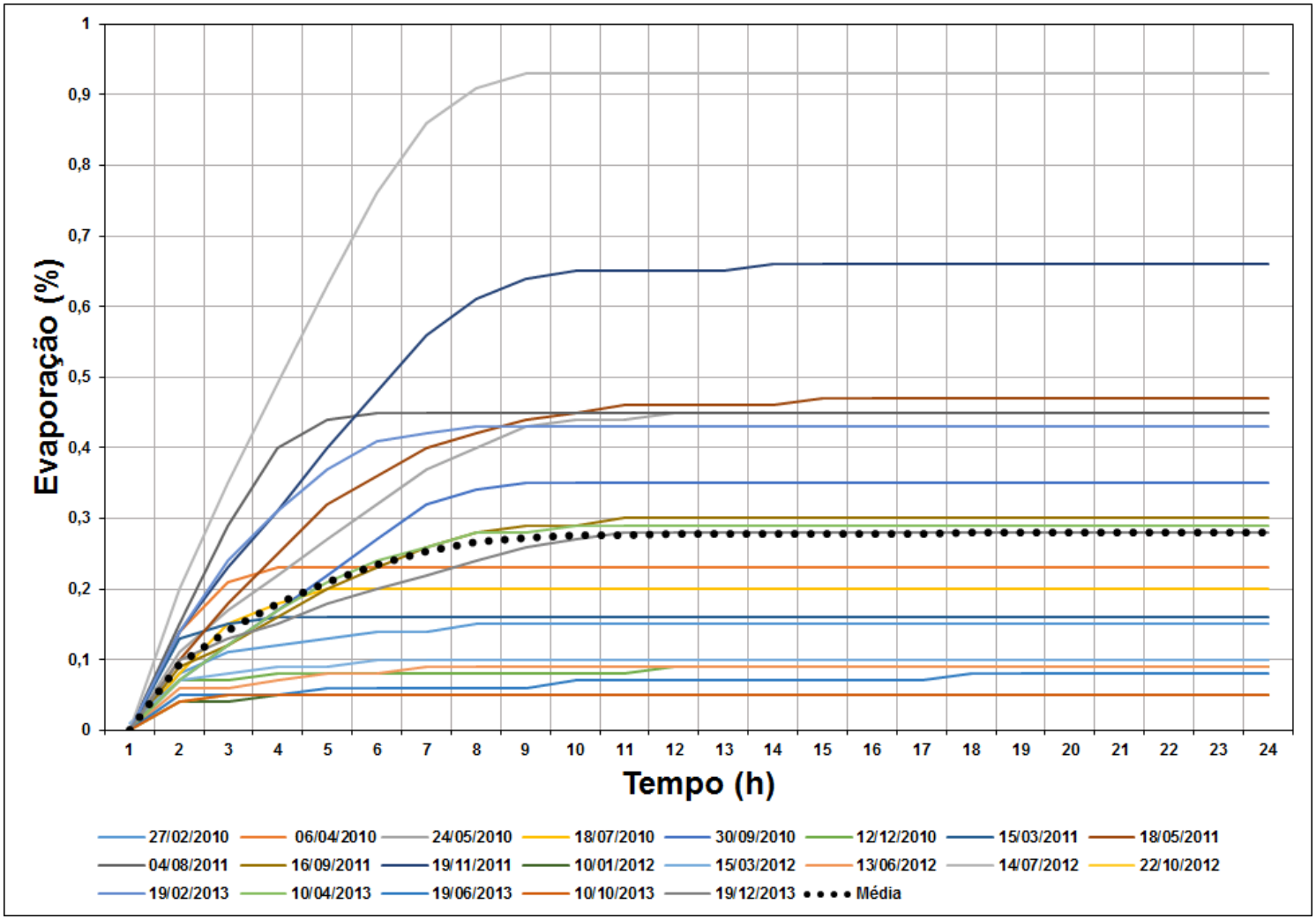


Figura 5.11: Porcentagem de evaporação das partículas de óleo de todas as simulações (linhas coloridas) e médias dos cenários (pontos preto).

Na Fig. 5.11 são apresentados todos os resultados de evaporação, em porcentagens, das 22 simulações (representadas por curvas coloridas). A curva em preto representa a média de todos os cenários considerando as características como a intensidade dos ventos e características físicas do óleo. A massa específica do óleo utilizado neste estudo é um dos principais responsáveis para que a porcentagem média de evaporação tenha ficado em $0,92\%$ após $10\,\mathrm{h}$. De acordo com a Fig. 5.11 a porcentagem média de evaporação do óleo é de $0,28\%$ em $10\,\mathrm{h}$. Os valores de porcentagem individual dos cenários variaram de 0,05% a 0,93% a partir da $1\,\mathrm{h}$ até às $10\,\mathrm{h}$.

A evaporação é calculada considerando o vazamento de óleo de forma homogênea e torna-se constante quando chega ao contorno sólido (limites costeiros da região de estudo). Assim, os valores de menores porcentagem de evaporação são aqueles que o óleo chega rapidamente no contorno sólido e o modelo termina o cálculo. Neste caso, a simulação 10/10/2013 apresentou o menor percentual de evaporação (0,05%). Neste período a intensidade dos ventos variou de $2\,\mathrm{ms^{-1}}$ a $8\,\mathrm{ms^{-1}}$ e a velocidade de corrente de 0,05 $\mathrm{ms^{-1}}$ a 0,25 $\mathrm{ms^{-1}}$.

Os cenários de maiores porcentagens de evaporação são aqueles que as partículas de óleo deslocaram-se a regiões mais distantes, com maior número de partículas. Neste caso, a simulação 14/07/2012 apresentou o maior percentual de evaporação ($0,92\%$). Neste período, a intensidade dos ventos variam de $4\,\mathrm{ms^{-1}}$ a $10\,\mathrm{ms^{-1}}$ e a velocidade de corrente de 0,05 $\mathrm{ms^{-1}}$ a 0,25 $\mathrm{ms^{-1}}$.

Marques *et al.* (2017) utilizaram o modelo ECOS, com óleo de massa específica de $919\,\mathrm{kgm^{-3}}$ na região de Tramandaí, situada ao Sul do Brasil. Estes autores encontraram valores de 15% de evaporação após $10\,\mathrm{h}$ de simulação. Stringari (2014) encontraram uma evaporação de aproximadamente 30% em $20\,\mathrm{h}$.

5.5 Cenários de vazamentos de óleo

Nesta seção foram selecionados 4 cenários, com diferentes condicionantes ambientais, para explicar o intemperismo e o deslocamento das partículas de óleo, considerando as diferentes forçantes que foram contabilizadas no estudo realizado. Os pontos de contato de óleo nos limites costeiros do estuário foram identificados considerando o tempo de chegada das partículas de óleo e o ISL (Índice de Sensibilidade do Litoral).

A seleção dos 4 cenários está vinculada às condições observadas na Fig. 5.2, onde foram selecionados períodos de enchente e vazante mais críticos na região, para simular os vazamentos hipotéticos de óleo. A pluma de óleo foi rastreada até a sua chegada na encosta do estuário, durante $24\,\mathrm{h}$ após o acidente. Os cenários selecionados são referentes às simulações da Tab. 5.1 e Tab. 5.2. O cenário 1 é referente à simulação 15 da Tab. 5.2, o cenário 2 é referente à simulação 17 da Tab. 5.1, o cenário 3 refere-se à simulação 14 da Tab. 5.2 e o cenário 4 refere-se à simulação 5 da Tab. 5.1.

5.5.1 Cenário 1

O volume de óleo é descartado instantaneamente em 14 de Julho de 2012 as $12\,\mathrm{h}$, conforme a Fig. 5.12, e as partículas de óleo são representadas na cor em preto. A simulação deste período é referente à simulação 15 da Tab. 5.2. A chegada das partículas de óleo na região do Saco da Mangueira (R3) está relacionada com a condição de enchente no estuário, o

sentido das correntes e dos ventos são de quadrante sudeste (SE), e colaboram para as partículas de óleo deslocarem-se para o interior do Saco da Mangueira (R3).

A série temporal de intensidade de ventos e correntes foram avaliadas com rosas dos ventos extraídas no canal que conecta o Saco da Mangueira (R3) ao baixo estuário da Lagoa dos Patos, na mesma posição onde o volume de óleo é descartado. Após 11 h, a pluma de óleo chega ao interior do Saco da Mangueira, nos limites costeiros da cidade de Rio Grande, impulsionada pelos ventos moderados de quadrante nordeste (NO), de aproximadamente $5\,\mathrm{m\,s^{-1}}$, e intensidade de correntes com variabilidade de oeste (W), de aproximadamente $0{,}15\,\mathrm{m\,s^{-1}}$, conforme a Fig. 5.13.

A região atingida pelas partículas de óleo possui vários ISL'S. O ISL 1, ISL 2 e o ISL 10, conforme Nicolodi (2016), deve-se a vulnerabilidade desta unidade por apresentar potencial para atividades turísticas e pesca artesanal (Monteiro *et al.*, 2006). Além disso, a região possui a presença de costões rochosos, terraços (sedimentos inconsolidados) e um brejo salobro e alagadisso.

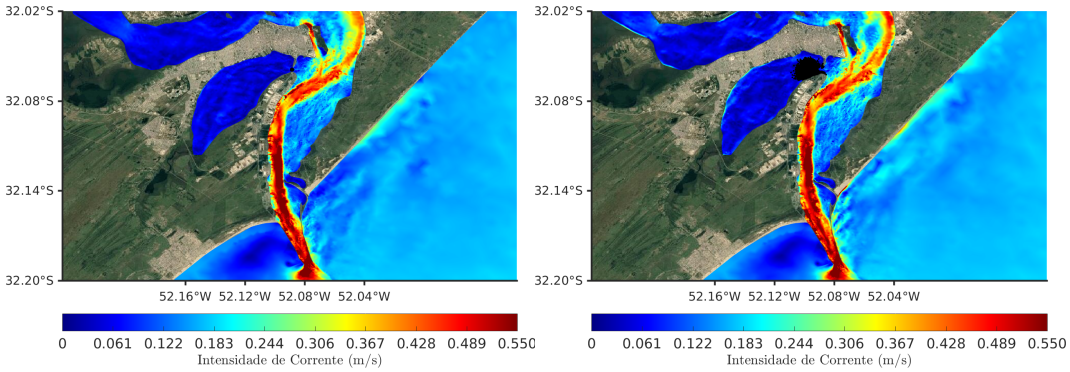
A simulação da trajetória das partículas de óleo durante o vazamento não é suficiente para explicar todo o processo que controla o deslocamento das partículas de óleo, assim foi realizada uma análise do intemperismo. O vazamento de óleo não é homogêneo em todas as direções, conforme (Marques *et al.*, 2017), o intemperismo do óleo foi estudado considerando as propriedades homogêneas entre as partículas, pois o vazamento ocorre em pequena escala e neste estudo o óleo chega aos limites costeiros do estuário antes das 24 h.

A Fig. 5.14 mostra o comportamento temporal da evaporação, massa específica, massa de óleo e emulsificação. Todas séries temporais foram calculadas usando o modelo ECOS acoplado ao Telemac-3D. A evaporação máxima é de 0,98 % e após 4 h permanece constante. De acordo com Lehr *et al.* (2002) um quarto a um terço do óleo derramado (óleo com °API leve e óleo combustível) evapora no intervalo de uma semana, após o vazamento dependendo das condições de temperatura e velocidade do vento.

A massa específica aumentou para $1012\,\mathrm{kg\,m^{-3}}$. Evaporação e emulsificação aumentam a massa específica e a viscosidade da pluma de óleo, e mesmo quando recém derramados, a maioria dos óleos e derivados é mais viscoso que a água, mas o óleo não perde sua flutuabilidade (Lehr *et al.*, 2002). A massa de óleo aumentou para $1{,}315.10^4$ kg, pois de acordo com Sebastião *et al.* (1995) a emulsão em óleos muito intemperizados aumenta de 3 a 4 vezes o volume de óleo original estabilizado. Após 1 h a massa de óleo começa a diminuir para $1{,}31.10^4$ kg devido à taxa de evaporação das frações voláteis.

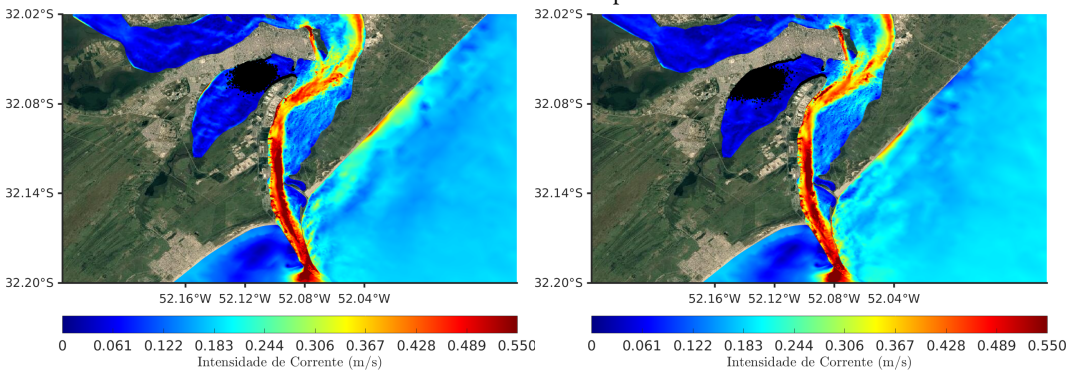
A emulsificação é dependente das condições hidrodinâmicas da água e do vento. A emulsão tem um teor máximo de água de aproximadamente 70 %. De acordo com Lehr *et al.* (2002) uma emulsão estável, totalmente emulsionada, pode conter 80 % a 90 % de água. A energia turbulenta na água circundante faz as pequenas gotículas de água sejam misturadas no óleo, formando uma emulsão de água em óleo elevada de 70 %. Em outras regiões onde a forçante dominante na dispersão das partículas são as correntes oceânicas, a emulsão é menor, conforme Marques *et al.* (2017) encontraram em seus resultados uma emulsificação de 40% em 4 h na plataforma continental ao sul do Brasil.

As simulações 1, 2, 3, 4, 8, 10, 11, 18 e 21 possuem as mesmas características da simulação 15, com o deslocamento das partículas de óleo para o interior do Saco da Mangueira (R3) e para evitar a repetição de resultados não serão apresentadas.



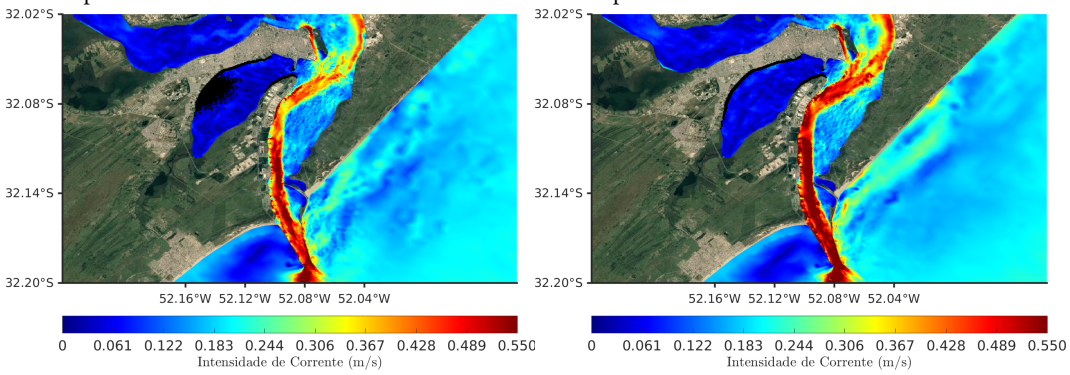
(a) Partículas de óleo na hora 0 na Ponte dos Franceses.

(b) Deslocamento das partículas de óleo após 1 hora.



(c) Deslocamento das partículas de óleo após 3 horas.

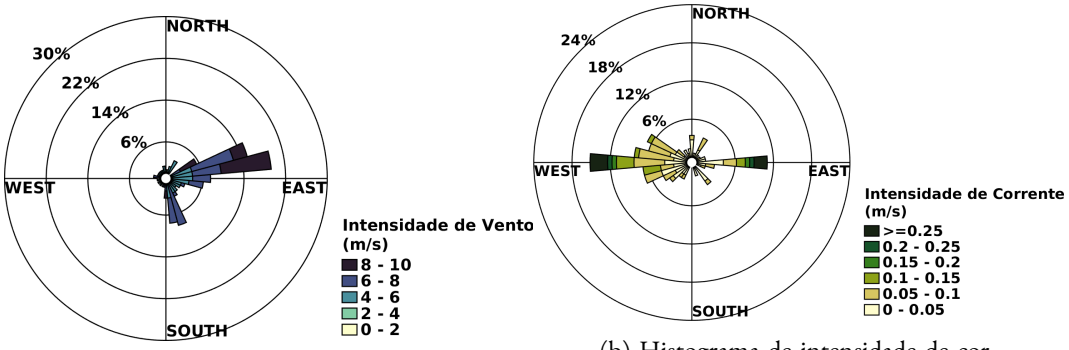
(d) Deslocamento das partículas de óleo após 5 horas.



(e) Deslocamento das partículas de óleo após 7 horas.

(f) Deslocamento das partículas de óleo após 11 horas.

Figura 5.12: Painel mostrando as principais regiões afetadas pelo óleo. As partículas de óleo são representadas como círculos pretos.



(a) Histograma de intensidade de vento.

(b) Histograma de intensidade de corrente.

Figura 5.13: Histograma de intensidade de vento e corrente.

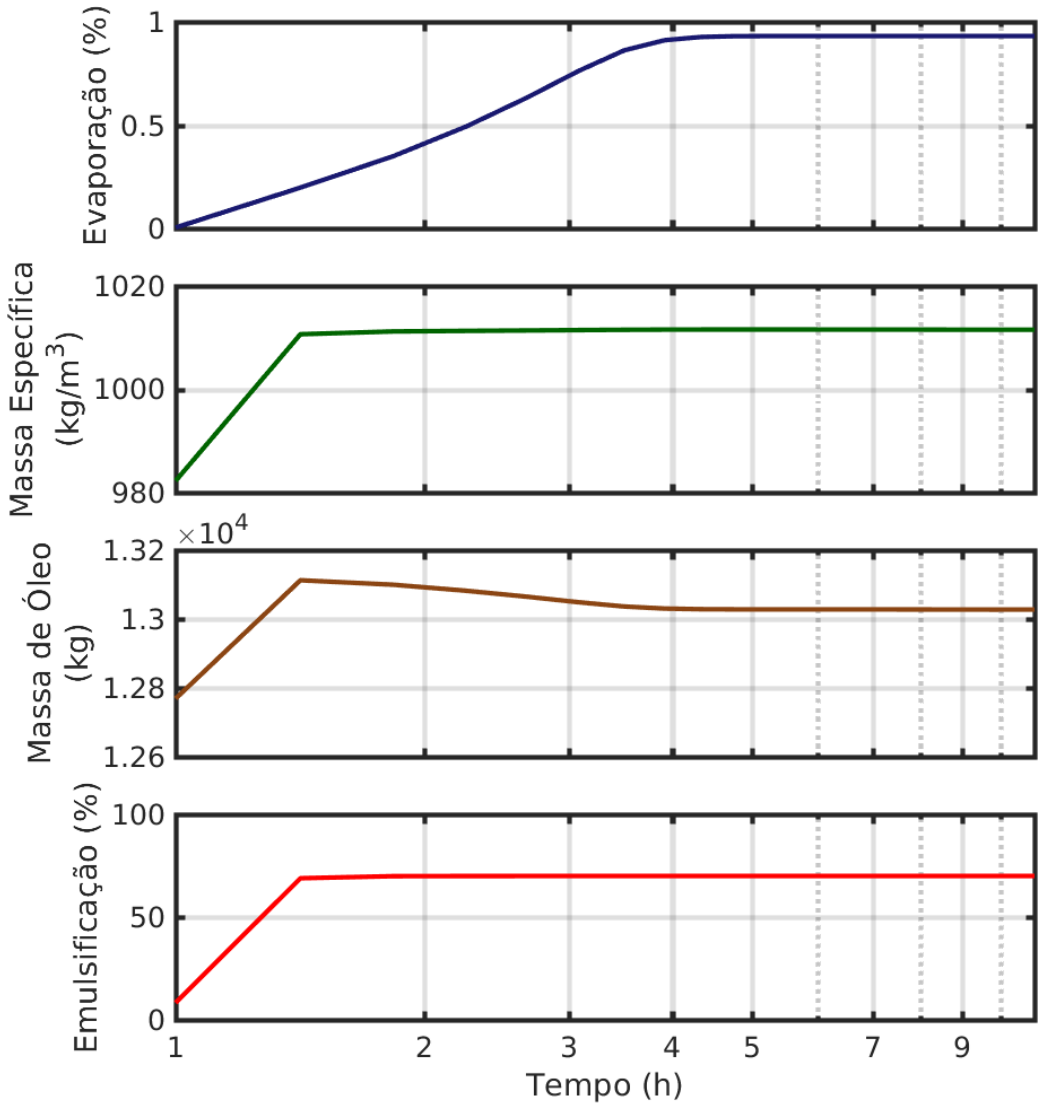


Figura 5.14: Evaporação, massa específica, massa de óleo e emulsificação do óleo calculado pelo modelo ECOS acoplado ao Telemac-3D.

5.5.2 Cenário 2

O volume de óleo é descartado instantaneamente em 19 de Fevereiro de 2013 as 12 h, conforme a Fig. 5.15. A chegada das partículas de óleo na região Ilha de Terrapleno (R1), Porto Novo (R2) e São José do Norte (R10) está relacionada com a condição de enchente no estuário, a intensidade de ventos de quadrante Sudoeste (SO) e Sudeste (SE), e as correntes do quadrante Noroeste (NO) e Sudoeste (SO), conforme a Fig. 5.16.

Jorda *et al.* (2007) apresentaram um sistema de previsão de vazamentos de óleo, em que o tempo de resposta do modelo é de 6 a 12 h. Este sistema incluiu uma avaliação do impacto de erros das forçantes em suas previsões. A ideia dos autores são transpor uma atenção especial a uma caracterização realística dos erros relacionados às forçantes. Os resultados sugerem que os erros associados ao vento são o principal fator limitante para a qualidade das previsões de vazamento de óleo.

Wang *et al.* (2008) modelaram um incidente de vazamento de óleo que ocorreu no Estreito de Bohai na China, onde a velocidade das partículas de óleo na superfície é impulsionada pelas correntes oceânicas induzidas pelas ondas, enquanto que o movimento vertical na coluna de água ocorre devido à flutuabilidade. Wu e Xu (2018) examinaram a influência da turbulência induzida pela chuva na dispersão de vazamentos de óleo no Canal de Douglas, na Colúmbia Britânica, Canadá, usando dados atmosféricos, onde descobriram que a taxa de dissipação de energia turbulenta produzida pelas chuvas é comparável a taxa de energia produzida pela quebra de onda induzida pelo vento na região de estudo.

Para o cenário 2, analisando o ISL da região (Nicolodi, 2016), as partículas de óleo deslocam-se para Ilha de Terrapleno (R1), com ISL 6 e ISL 10, Porto Novo (R2), com ISL 1 e ISL 2, e a região de São José do Norte, com ISL 1, ISL 2, ISL 4 e ISL 10.

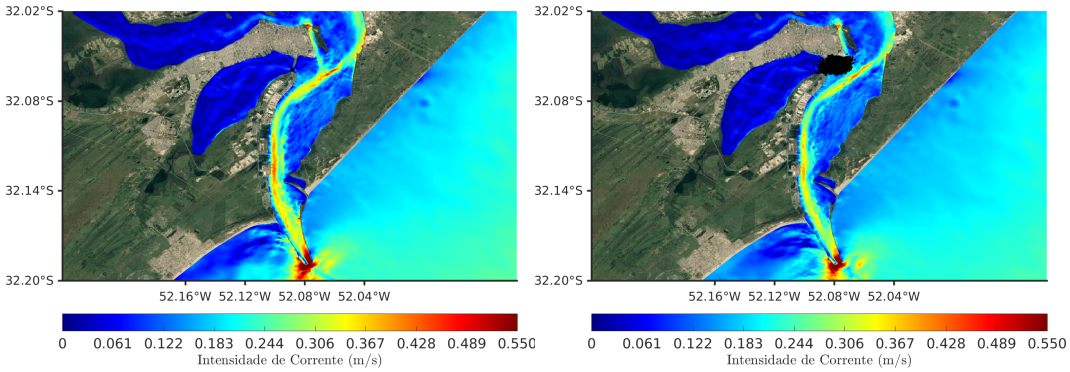
A Fig. 5.17 mostra o comportamento temporal da evaporação, massa específica, massa de óleo e emulsificação. A evaporação é de 0,41 % e após 3 h permanece constante. A massa específica aumentou para $1010\,\mathrm{kg\,m^3}$ e começa a diminuir após 2 h. A massa de óleo aumentou para $1,312.10^4$ kg e a emulsão possui um teor máximo de água de aproximadamente 70 %.

Mishra e Kumar (2015) realizaram simulações de emulsificação e evaporação de óleo utilizando três diferentes massas específicas de óleo, e ventos com velocidade constante de $5\,\mathrm{m\,s^{-1}}$. Os autores encontraram um percentual de 0,55% de evaporação e 90% de teor emulsificação em 24 h, para um valor de massa específica de óleo de $899\,\mathrm{kg\,m^3}$, e a massa específica aumentou para $1000\,\mathrm{kg\,m^3}$.

A simulação 7 e 9 possuem as mesmas características da simulação 17, com o deslocamento das partículas de óleo para a Ilha de Terrapleno (R1), Porto Novo (R2) e São José do Norte (R10) e para evitar repetição de resultados não serão apresentadas. As simulações 16, 19 e 22 possuem as mesmas características das simulações descritas acima, porém em nenhuma destas simulações as partículas de óleo chega a região de Barra Nova (R5).

5.5.3 Cenário 3

O volume de óleo é descartado instantaneamente em 13 de Junho de 2012 as 12 h, conforme a Fig. 5.18. A chegada das partículas de óleo no interior do Saco da Mangueira (R3), Super Porto (R4), Barra Nova (R5), Molhes da Barra (R6) e Leste (R7) está relacionada com a



(a) Partículas de óleo na hora 0 na Ponte dos Franceses.

(b) Deslocamento das partículas de óleo após 1 h.

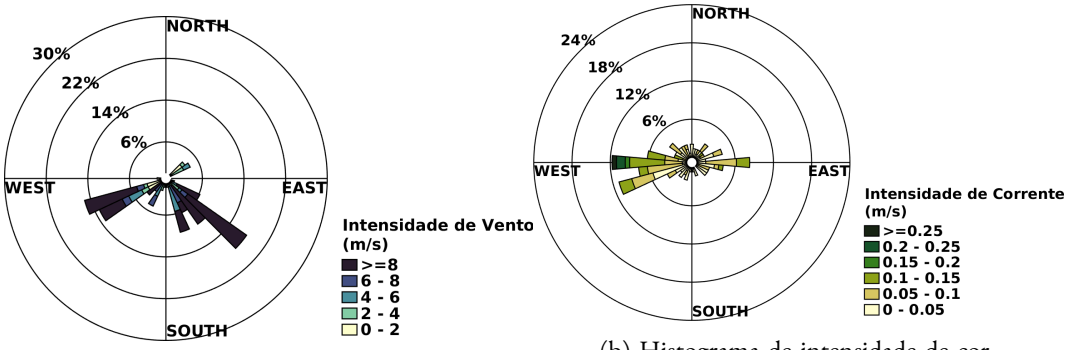
(c) Deslocamento das partículas de óleo após 2 h.

(d) Deslocamento das partículas de óleo após 3 h.

(e) Deslocamento das partículas de óleo após 6 h.

(f) Deslocamento das partículas de óleo após 9 h.

Figura 5.15: Painel mostrando as principais regiões afetadas pelo óleo. As partículas de óleo são representadas como círculos pretos.



(a) Histograma de intensidade de vento.

(b) Histograma de intensidade de corrente.

Figura 5.16: Histograma de intensidade de vento e corrente.

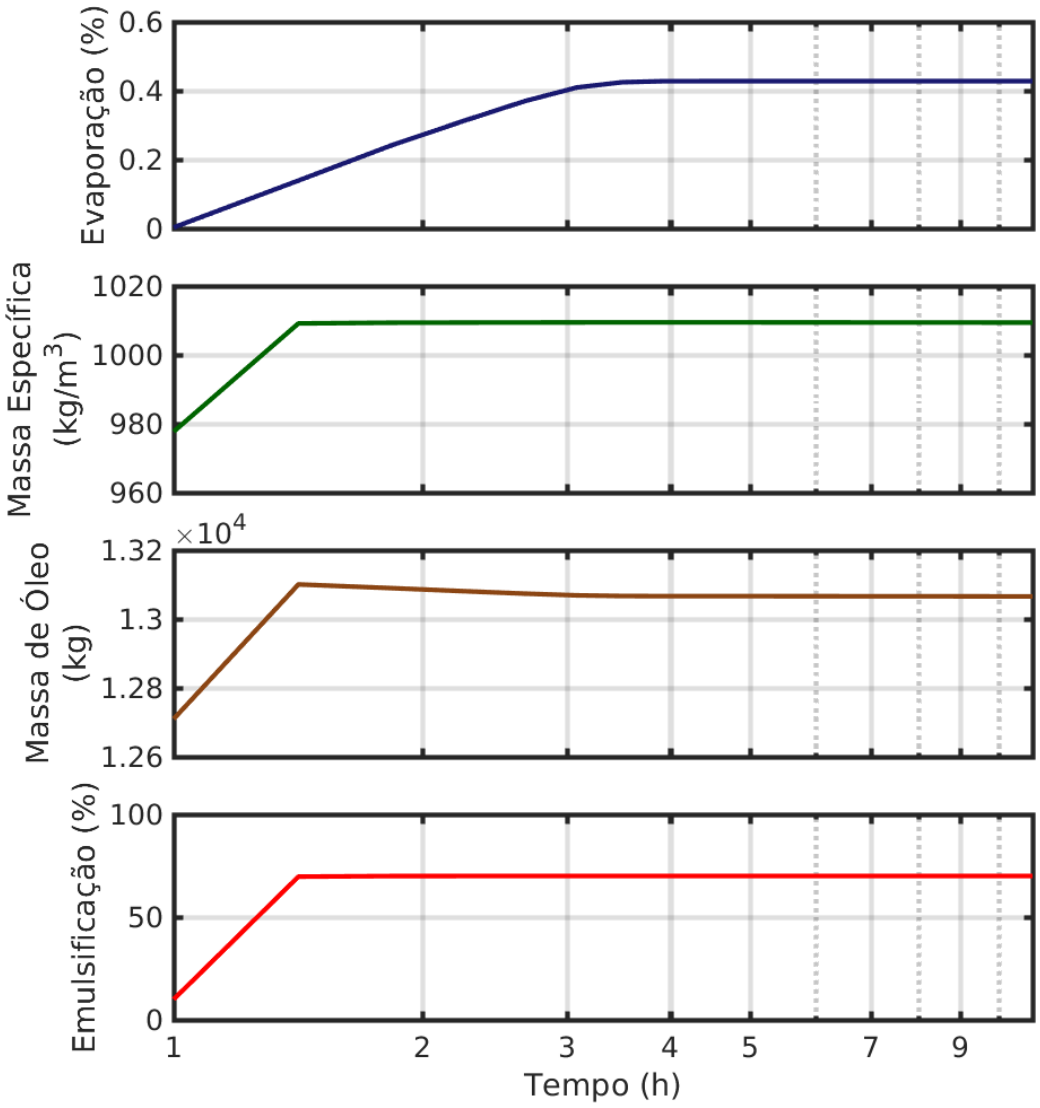


Figura 5.17: Evaporação, massa específica, massa de óleo e emulsificação do óleo calculado pelo modelo ECOS acoplado ao Telemac-3D.

condição de vazante no estuário, e a intensidade de ventos de Nordeste (NE) e corrente de Sudoeste (SO). De acordo com Möller *et al.* (2001) e Marques *et al.* (2011), a condição de vazante é dominante no estuário da Lagoa dos Patos.

Assim, como nos cenários anteriores, após 13 h de simulação, a pluma de óleo chega à região a região do Saco da Mangueira (R3), Super Porto (R4), Barra Nova (R5) dos Molhes da Barra (R6) e Leste (R7), impulsionada pelos ventos moderados de Nordeste (NE) de aproximadamente $6\,\mathrm{m\,s^{-1}}$ e intensidade de corrente sudoeste (SO) de aproximadamente $0{,}1\,\mathrm{m\,s^{-1}}$, conforme a Fig. 5.19.

As partículas de óleo, no cenário 3, atingem o interior do Saco da Mangueira (R3) e Super Porto (R4) com ISL 1, a Quarta Sessão da Barra (R5) com ISL 10, Molhes da Barra (R6) e Leste (R7) com ISL 6. A região dos Molhes da Barra e Leste são consideradas uma região sensível por tratar-se de uma unidade de conservação, onde destaca-se a espécie de pinípede (leão marinho). Além disso, a região também apresenta potencialidades para atividades turísticas e de pesca recreativa (Nicolodi, 2016).

A Fig. 5.20 mostra o comportamento da evaporação, massa específica, massa de óleo e emulsificação. A evaporação é de 0,98 % e após 3 h permanece constante. A massa específica e a massa de óleo aumentaram ocorrendo as mesmas condições dos cenários anteriores. A emulsão tem um teor máximo de água de aproximadamente 60 % em 9 h.

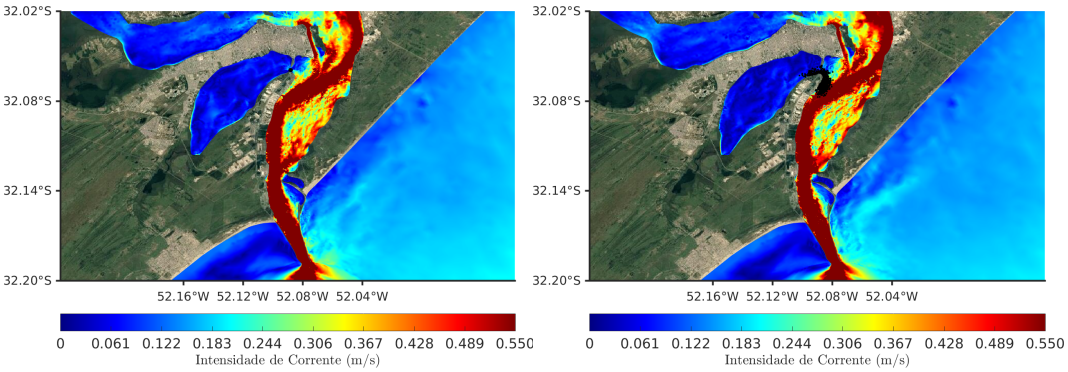
A simulação 14 possui a mesma característica das simulações 6 e 13, com o deslocamento das partículas de óleo em direção a região dos Molhes da Barra e Leste. Algumas simulações possuem características similares como a 12 e 20, que as partículas de óleo chegam até a região de Barra Nova (R5), e outras, como as simulações 16, 19 e 22, que o óleo desloca-se até o Porto Novo (R4). Assim para evitar repetição de resultados não serão apresentados.

5.5.4 Cenário 4

O volume de óleo é descartado instantaneamente em 30 de Setembro de 2010 às 12 h, conforme a Fig. 5.21. A chegada das partículas de óleo na região da Quarta Seção da Barra (R8) e de Marismas (R9) está relacionada com a condição de vazante no estuário, a intensidade de ventos de quadrante nordeste (NE), e correntes do quadrante noroeste (NO).

Após 11 h a pluma de óleo chega à região do Super Porto (R4) e Marismas (R9), impulsionada pelos ventos moderados de de quadrante nordeste (NE) de aproximadamente $7\,\mathrm{m\,s^{-1}}$, e pela intensidade de corrente do quadrante noroeste (NO), de aproximadamente $0{,}15\,\mathrm{m\,s^{-1}}$, conforme a Fig. 5.22.

No cenário 4, quanto à sensibilidade ao óleo, a região possui ISL 2, para o Super Porto (R4), e ISL 10 para Marismas (R9), conforme Nicolodi (2016). A Fig. 5.23 mostra o comportamento da evaporação, massa específica, massa de óleo e emulsificação. A evaporação é de 0,35 % e após 3 h permanece constante. A massa específica e a massa de óleo aumentam ocorrendo as mesmas condições dos cenários 2 e 3. A emulsão tem um teor de água de 60 %.



(a) Partículas de óleo na hora 0 na Ponte dos Franceses.

(b) Deslocamento das partículas de óleo após 1 h.

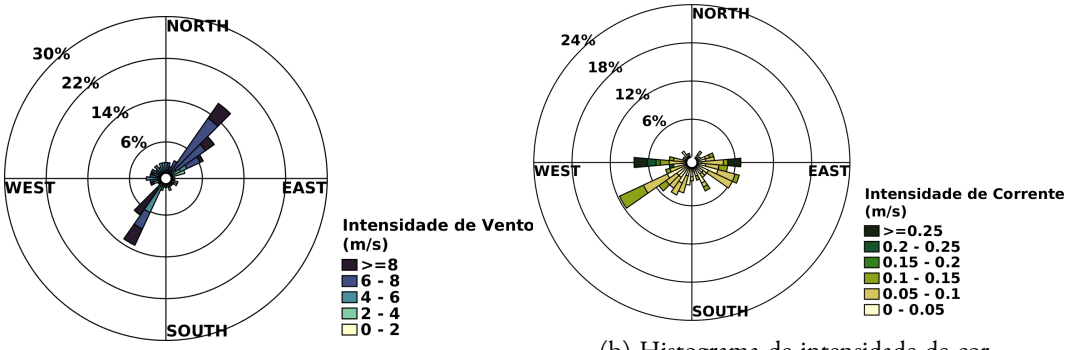
(c) Deslocamento das partículas de óleo após 4 h.

(d) Deslocamento das partículas de óleo após 8 h.

(e) Deslocamento das partículas de óleo após 10 h.

(f) Deslocamento das partículas de óleo após 13 h.

Figura 5.18: Painel mostrando as principais regiões afetadas pelo óleo. As partículas de óleo são representadas como círculos pretos.



(a) Histograma de intensidade de vento.

(b) Histograma de intensidade de corrente.

Figura 5.19: Histograma de intensidade de vento e corrente.

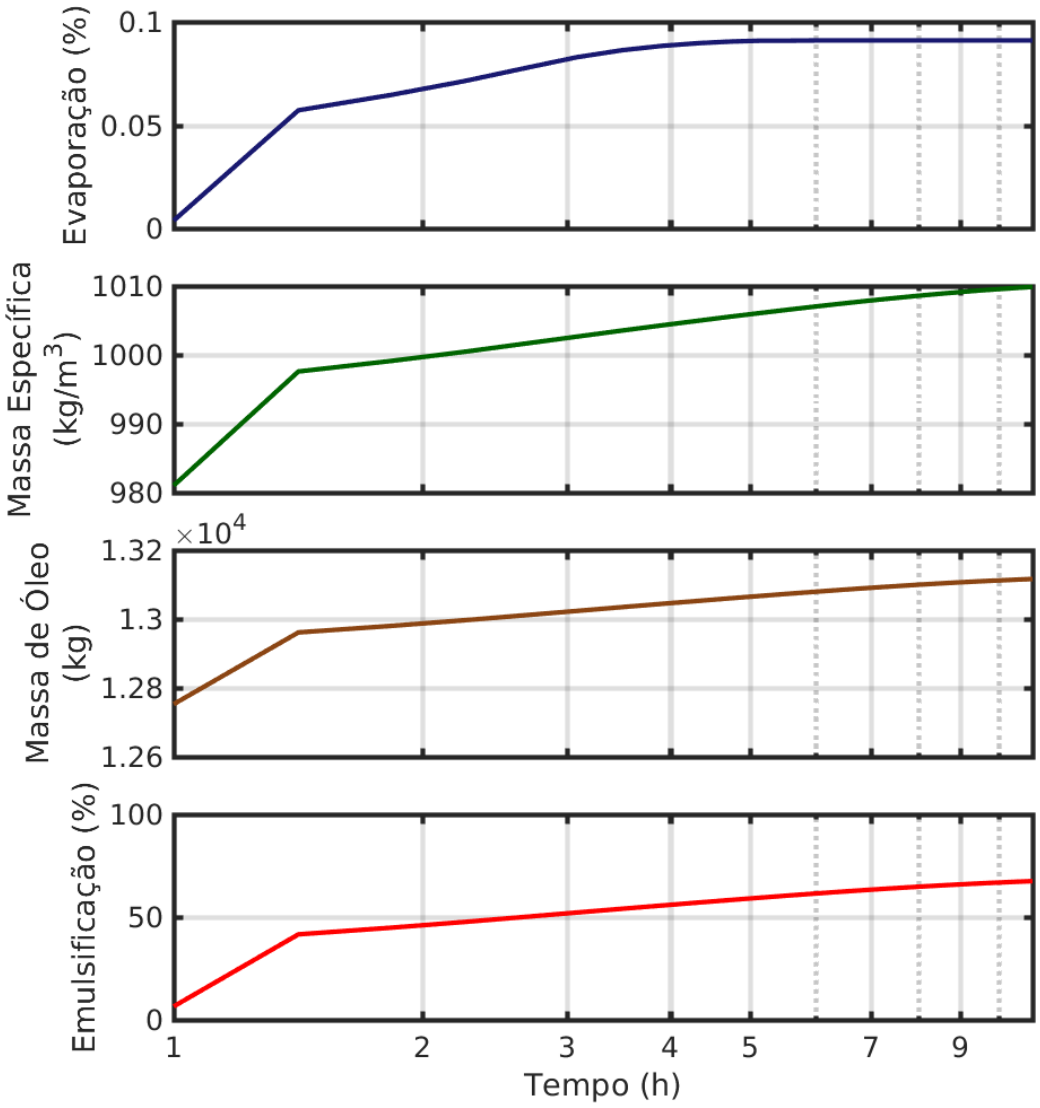
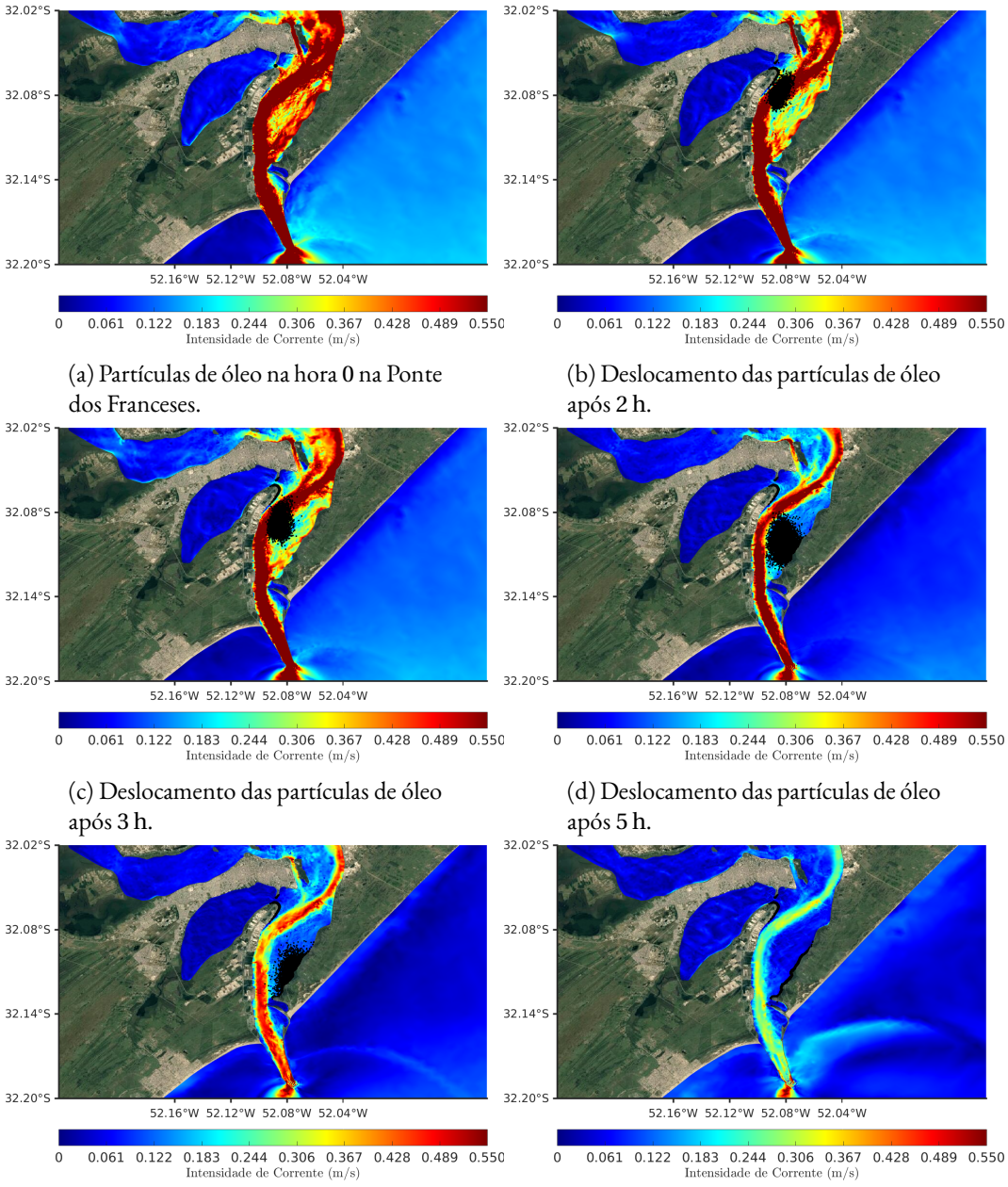


Figura 5.20: Evaporação, massa específica, massa de óleo e emulsificação do óleo calculado pelo modelo ECOS acoplado ao Telemac-3D.



(a) Partículas de óleo na hora 0 na Ponte dos Franceses.

(b) Deslocamento das partículas de óleo após 2 h.

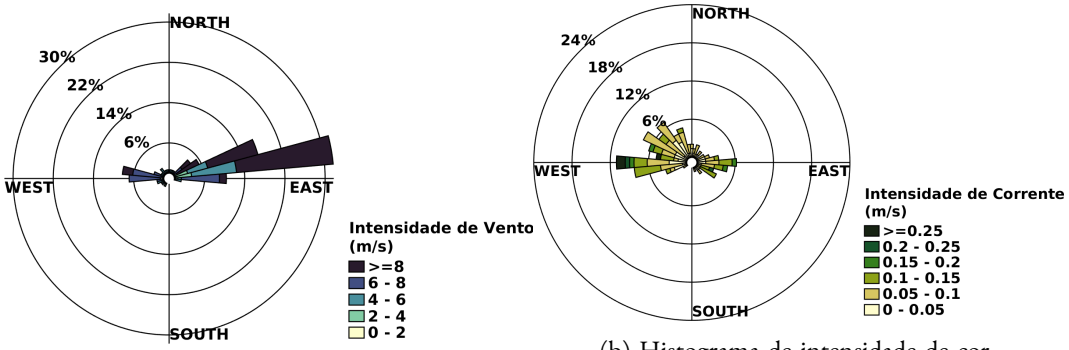
(c) Deslocamento das partículas de óleo após 3 h.

(d) Deslocamento das partículas de óleo após 5 h.

(e) Deslocamento das partículas de óleo após 7 h.

(f) Deslocamento das partículas de óleo após 11 h.

Figura 5.21: Painel mostrando as principais regiões afetadas pelo óleo. As partículas de óleo são representadas como círculos pretos.



(a) Histograma de intensidade de vento.

(b) Histograma de intensidade de corrente.

Figura 5.22: Histograma de intensidade de vento e corrente.

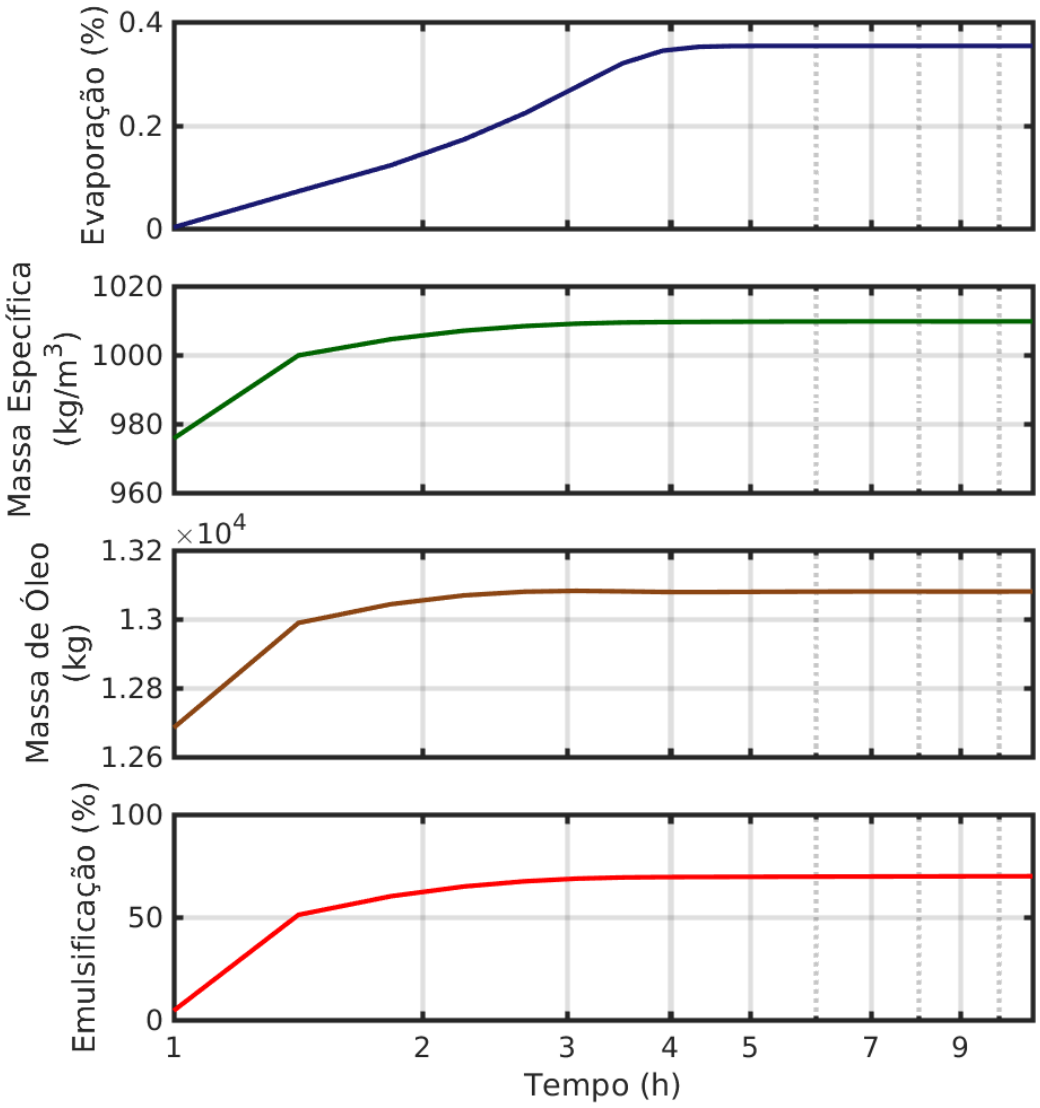


Figura 5.23: Evaporação, massa específica, massa de óleo e emulsificação do óleo calculado pelo modelo ECOS acoplado ao Telemac-3D.

6 Conclusão

O comportamento e o destino da pluma de óleo na região da Ponte dos Franceses foi investigado numericamente utilizando um sistema acoplado entre o modelo ECOS e o Telemac-3D. A análise da série temporal de elevação permitiu identificar as condições de vazante e enchente mais críticas da região, para o período de 2010 a 2013. A partir destas condições foram selecionados alguns eventos de vazante e outros de enchente, típicos da região, para avaliar o deslocamento e o destino final da pluma de óleo, totalizando 22 simulações. As propriedades de intemperismo da pluma de óleo também são analisadas.

O modelo hidrodinâmico Telemac-3D mostrou-se eficaz ao simular a intensidade de correntes e ventos na vizinhança da Ponte dos Franceses, e também a salinidade no interior da enseada do Saco da Mangueira e no canal de acesso ao baixo estuário da Lagoa dos Patos. Os resultados hidrodinâmicos do período de 2010 a 2013, quando comparados a estudos realizados na região, apresentaram-se satisfatórios.

As principais conclusões deste trabalho foram:

- O padrão de circulação foi analisado através de séries temporais de elevação. Quando a elevação no interior do Saco da Mangueira e no estuário da Lagoa dos Patos são superiores à elevação nos Molhes da Barra, ocorrem condições de vazante na região. O inverso ocorre quando à elevação nos Molhes é superior a elevação na enseada e no estuário. Assim, como em outros estudos, as séries temporais de elevação no interior do Saco da Mangueira e no estuário demonstraram boa relação, de forma que quando ocorre condições de enchente no estuário, consequentemente ocorre condições de enchente na enseada, e vice-versa. Esta análise corrobora com o estudo de Moller *et al.* (1996) para o interior da Lagoa dos Patos e plataforma continental adjacente (região mais ampla). A avaliação do mecanismo *set-up/set-down* foi um dos fatores que contribuíram para a introdução ou saída de sal no estuário e também contribuíram para a dispersão da pluma de óleo na região entre o baixo e médio estuário;
- Na comparação entre a série de vazão e as séries temporais de concentrações de sal foi observado que para valores positivos de vazão (condições de enchente), a concentração de sal é introduzido no interior do estuário. Para valores negativos (condições de vazante), a concentração de sal diminui dentro do estuário. A concentração de sal na região do interior do Saco da Mangueira é restrita, pois a entrada é obstruída por uma ponte (Ponte dos Franceses), que contribui para o estrangulamento do canal de acesso ao baixo estuário, diminuindo os processos de troca de águas principalmente em condições vazante e aumentando o tempo de residencia do sal na região. O tempo de permanência do sal nesta região é um problema, pois a salinização da água em grandes quantidades podem dizimar as espécies locais tendo em vista que a comunidade local sobrevive da pesca artesanal;
- Considerando o cálculo da média da salinidade para o ano de 2011, os resultados apresentam pouca entrada de sal no estuário, como consequência da dominância de eventos de vazante que são impulsionados pelos ventos e correntes marítimas de quadrante norte;
- Durante o período de 01/03/11 a 30/04/11 foi observado um aumento nas taxas de mistura no canal do Saco da Mangueira, demostrando que a alternância de eventos de enchente e

vazante neste período, intensifica o processo de mistura entre a camada de superfície e de fundo. Esta análise é confirmada pela frequência Brunt-Väisälä, que demonstra que no período analisado ocorreu a presença de camadas menos estratificadas, resultantes do predomínio dos processos de mistura entre as camadas superficial e de fundo;

- Nas estações de verão e primavera foi observado a probabilidade de que 30,0% das partículas de óleo chegaram ao interior do Saco da Mangueira (R3). Ainda nestas estações, existe a probabilidade de que 23,3% das partículas de óleo cheguem à região do Super Porto (R4), e outros 10,0% à Ilha de Terrapleno (R1) e Barra Nova (R5). Percentuais menores chegam a outras regiões, como 6,7% no Porto Novo (R2), Quarta Seção da Barra (R8) e à cidade de São José do Norte. Outra porção de partículas ainda menor, de aproximadamente 3,3%, chega ao Molhe da Barra (R6) e Marismas (R9). Nenhuma porção das partículas de óleo deste período chegou à região do Molhe Leste (R7) nas simulações realizadas;
- Nas estações de outono e inverno foi observado a probabilidade de que 47,2% das partículas de óleo chegaram ao interior do Saco da Mangueira (R3). Ainda nestas estações existe a probabilidade que 14,7% das partículas de óleo cheguem à região do Super Porto (R4). Outras porções menores de partículas de óleo chegaram a outras regiões, como 5,3% que chega à Ilha de Terrapleno (R1), Porto Novo (R2), Barra Nova (R5), Molhes da Barra (R6) e Leste (R7), Quarta Seção da Barra (R8) e à cidade de São José do Norte. Nenhuma porção das partículas de óleo deste período chegam à região de Marismas (R9);
- As probabilidades de deslocamento das partículas de óleo serviu para referencial, com a finalidade de gerenciamento em caso de vazamento de óleo na região de estudo, porém deve-se ter cuidado com a quantificação dos resultados, pois trata-se de probabilidade mais qualitativa, ou seja, o óleo pode ou não deslocar-se para determinada região. Este estudo, como especificado nos objetivos, auxiliara em caso de vazamento de óleo na região da refinaria, pois o óleo em alguns eventos deslocou-se em menos de uma hora para a encosta do estuário, logo fazer um estudo durante o vazamento é inviável, então este estudo auxiliara para a geração de plano de contingência deste óleo em tempo hábil;
- As simulações possuem maiores influências dos ventos. Os ventos possuem uma variabilidade em todos os quadrantes e auxiliam no deslocamento das partículas de óleo para a região do Saco da Mangueira (R3). As correntes são dominantes quando os afluentes possuem menores vazões, durante o verão;
- As regiões afetadas pelas maiores concentrações de óleo foram: o interior do Saco da Mangueira (R3), Marismas (R9), e as praias de São José do Norte (R10). A contaminação na região de do Saco da Mangueira (R3) e Marismas (R10) são mais graves que as demais, pois apresentam concentrações significativas de óleo e possuem o maior índice de sensibilidade do litoral (ISL 10);
- O intemperismo está de acordo com a literatura e não apresentou valores subestimados. A porcentagem média de emulsificação 70%, onde os valores de porcentagem individual dos cenários variaram de 38% a 70% a partir do intervalo de tempo de 1 h a 21 h. O mesmo ocorre com a evaporação com porcentagem média de 0,28%, onde os valores de porcentagem individual dos cenários variaram de 0,05% a 0,93% a partir do intervalo de tempo de 1 h a 4 h. Os valores altos de emulsificação e valores baixos de evaporação devem-se ao fato que o óleo possui °API médio, e o óleo chega aos limites costeiros das regiões em intervalos de tempo curtos e o modelo ECOS encerra os cálculos quando a última partícula de óleo chega a encosta, embora os processos de intemperismo continuam ocorrendo na encosta, mas o modelo não calcula porque o óleo não está em movimento.

Para óleos mais leves o óleo desloca-se para regiões mais distantes, como em Lopes *et al.* (2019) que trabalhou com óleo de °API leve na região do baixo estuário, mas para óleo de °API pesado é provável que o deslocamento das partículas de óleo seriam menores que as distâncias apresentadas neste estudo, e menores valores de evaporação e maiores valores de emulsificação considerando as referências apresentadas na metodologia e resultados também deste estudo;

- Para os cenários, as diferentes condições de enchentes, vazantes e direções e intensidades de ventos podem ocasionar distintas interações nos efeitos das trajetórias das partículas de óleo, que podem aumentar ou diminuir a velocidade de deslocamento. A pluma de óleo possui influência direta dos ventos, como apresentados no cenários 1, 2 e 4, ou de velocidades de correntes como as simulação 7 e 14, e até mesmo, podem ser conjuntamente forçadas pelo efeito dos ventos e das correntes, como no cenário 3.

7 Sugestões para trabalhos futuros

A conclusão deste estudo possibilitou encontrar algumas limitações do modelo e outras informações para colaboração de trabalhos futuros, como:

- Acoplamento de modelo de ondas, pois as ondas são importantes no espalhamento e transporte da pluma de óleo, assim será necessário alterações no equacionamento do modelo ECOS frente a existência de ondas;
- Análise de um número maior de simulações em intervalos de tempo igualmente espaçados, para que a análise de suscetibilidade seja mais confiável do ponto de vista estatístico;
- Análise de contaminação de óleo em outras regiões da Lagoa dos Patos;
- Calibração e validação do modelo ECOS para o deslocamento da pluma de óleo utilizando dados de sensoriamento remoto;
- Expansão do estudo numérico com relação ao uso de equipamentos para atuação pós-vazamento e custo de limpeza;
- Implementação de processos biológicos e sedimentológicos para o módulo de intemperismo do modelo ECOS;
- Realização de simulações no modelo ECOS para óleos com °API leve e pesados, para contabilizar a concentração e tempo de chegada do óleo nos limites costeiros;
- Investigação do comportamento vertical, com relação à dispersão da pluma de óleo.
- Para a hidrodinâmica e vazamento de óleo fazer uma rotina utilizando meta—modelo (proxy) a fim de modificar os parâmetros, como cisalhamento do vento e °API do óleo sem precisar rodar o modelo em super computadores novamente, este estudo é possível atualmente através do uso de redes neurais artificiais (RNAs).

Referências

Abas, N., A. Kalair, e N. Khan (2015). "Review of fossil fuels and future energy technologies". Em: *Futures* 69, pp. 31–49. DOI: 10.1016/j.futures.2015.03.003. URL: http://dx.doi.org/10.1016/j.futures.2015.03.003.

Abascal, A. J., S. Castanedo, R. Medina, e M. Liste (2010). "Analysis of the reliability of a statistical oil spill response model". Em: *Marine Pollution Bulletin* 60.11, pp. 2099–2110. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2010.07.008. URL: http://dx.doi.org/10.1016/j.marpolbul.2010.07.008.

Abascal, A. J., S. Castanedo, R. Medina, I. J. Losada, e E. Alvarez-Fanjul (2009). "Application of HF radar currents to oil spill modelling". Em: *Marine Pollution Bulletin* 58.2, pp. 238–248. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2008.09.020. URL: http://dx.doi.org/10.1016/j.marpolbul.2008.09.020.

Afenyo, M., F. Khan, B. Veitch, e M. Yang (2016). "Dynamic fugacity model for accidental oil release during Arctic shipping". Em: *Marine Pollution Bulletin* 111.1-2, pp. 347–353. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2016.06.088. URL: http://dx.doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.06.088.

Aghajanloo, K. e M. Pirooz (2011). "The Simulation of the Oil Weathering Processes in Marine Environment". Em: *Int. Conf. Environ. Comput. Sci.* 19, pp. 29–34.

Altwegg, R., R. J. M. Crawford, L. G. Underhill, e A. (J. (J. Williams (2008). "Long-term survival of de-oiled Cape gannets Morus capensis after the Castillo de Bellver oil spill of 1983". Em: *Biological Conservation* 141.7, pp. 1924–1929. DOI: 10.1016/j.biocon.2008.04.030.

Alves, F. N. A. (2006). "Estudo do transporte de manchas de óleo por um modelo lagrangeano de partículas na Bacia de Pelotas". Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande, p. 161.

Alves, T. M., E. Kokinou, G. Zodiatis, R. Lardner, C. Panagiotakis, e H. Radhakrishnan (2015). "Modelling of oil spills in confined maritime basins: The case for early response in the Eastern Mediterranean Sea". Em: *Environmental Pollution* 206, pp. 390–399. DOI: 10.1016/j.envpol.2015.07.042. URL: http://dx.doi.org/10.1016/j.envpol.2015.07.042.

Amir-Heidari, P. e M. Raie (2018). "Probabilistic risk assessment of oil spill from offshore oil wells in Persian Gulf". Em: *Marine Pollution Bulletin* 136.June, pp. 291–299. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2018.07.068. URL: https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.07.068.

Asl, S., D. S. Dukhovskoy, M. Bourassa, I. R. MacDonald, S. Daneshgar Asl, D. S. Dukhovskoy, M. Bourassa, e I. R. MacDonald (2017). "Hindcast modeling of oil slick persistence from natural seeps". Em: *Remote Sensing of Environment* 189, pp. 96–107. DOI: 10.

1016/j.rse.2016.11.003. URL: http://dx.doi.org/10.1016/j.rse.2016.11.003.

Atlas, R. e J. Bragg (2009). "Bioremediation of marine oil spills: When and when not - The Exxon Valdez experience". Em: *Microbial Biotechnology* 2.2 SPEC. ISS. Pp. 213–221. DOI: 10.1111/j.1751-7915.2008.00079.x.

Banks, F. E. (2017). *The political economy of natural gas*. Routledge.

Barros, G., W. Marques, e E. Kirinus (2014). "Influence of the Freshwater Discharge on the Hydrodynamics of Patos Lagoon, Brazil". Em: *International Journal of Geosciences* 05.09, pp. 925–942. DOI: 10.4236/ijg.2014.59080. URL: http://www.scirp.org/journal/doi.aspx?DOI=10.4236/ijg.2014.59080.

Bernardes, M. E. C., D. Brown, A. T. Assireu, A. C. R. d. S. Silva, P. H. G. d. O. Sousa, e E. Siegle (2018). "Hydrodynamics of a tropical estuary: Buranhém River, Porto Seguro, Brazil". Em: *Rbrh* 23. DOI: 10.1590/2318-0331.0318170141.

Bilgen, S. (2014). "Structure and environmental impact of global energy consumption". Em: *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 38, pp. 890–902. DOI: 10.1016/j.rser.2014.07.004. URL: http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2014.07.004.

Bobra, M. (1992). "A study of water-in-oil emulsification". Em: *Environment Canada Report EE132*.

Bollmann, M., T. Bosch, F. Colijn, R. Ebinghaus, R. Froese, K. Güssow, S. Khalilian, S. Krastel, A. Körtzinger, M. Langenbuch, M. Latif, B. Matthiessen, F. Melzner, A. Oschlies, S. Petersen, A. Proelß, M. Quaas, J. Reichenbach, T. Requate, T. Reusch, P. Rosenstiel, J. O. Schmidt, K. Schrottke, H. Sichelschmidt, U. Siebert, R. Soltwedel, U. Sommer, K. Stattegger, H. Sterr, R. Sturm, T. Treude, A. Vafeidis, C. van Bernem, R. V. Justus van Beusekom, M. Visbeck, M. Wahl, K. Wallmann, e F. Weinberger (2010). "World Ocean Review". Em: *Physical Review E* 67, p. 232. DOI: 10.1111/j.1365-3091.1991.tb00367.x.

Bozkurtoğlu, S. N. E. (2017). "Modeling oil spill trajectory in Bosphorus for contingency planning". Em: *Marine Pollution Bulletin* 123.1-2, pp. 57–72. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2017.09.029.

Brakstad, O. G. (2017). *Biodegradation of Petroleum Oil in Cold Marine Environments*. Springer International Publishing, p. 613.

Brekke, C. e A. H. S. Solberg (2005). "Oil spill detection by satellite remote sensing". Em: *Remote Sensing of Environment* 95.1, pp. 1–13. DOI: 10.1016/j.rse.2004.11.015.

Broström, G., A. Carrasco, L. R. Hole, S. Dick, F. Janssen, J. Mattsson, e S. Berger (2011). "Usefulness of high resolution coastal models for operational oil spill forecast: The Full City accident". Em: *Ocean Science* 7.6, pp. 805–820. DOI: 10.5194/os-7-805-2011.

Buchanan, I. e N. Hurford (1988). "Methods for predicting the physical changes in oil spilt at sea." Em: *Oil Chem. Pollut.* 4.(4), pp. 311–328.

Burgherr, P. (2007). "In-depth analysis of accidental oil spills from tankers in the context of global spill trends from all sources". Em: *Journal of Hazardous Materials* 140.1-2, pp. 245–256. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2006.07.030.

Calliari, L., J. Winterwerp, E. Fernandes, D. Cuchiara, S. Vinzon, M. Sperle, e T. Holland (2009). "Fine grain sediment transport and deposition in the Patos Lagoon-Cassino beach sedimentary system". Em: *Continental Shelf Research* 29.3, pp. 515–529. DOI: 10.1016/j.csr.2008.09.019.

Camargo, O. A., F. J. Silva, R. Cuatódio, e N. Gravino (2002). *Atlas eólico: Rio grande do sul. Porto Alegre: Secretaria de Energia Minas e Comunicações*. Camargo2002.

Castanedo, S., J. A. Juanes, R. Medina, A. Puente, F. Fernandez, M. Olabarrieta, e C. Pombo (2009). "Oil spill vulnerability assessment integrating physical, biological and socio-economical aspects: Application to the Cantabrian coast (Bay of Biscay, Spain)". Em: *Journal of Environmental Management* 91.1, pp. 149–159. DOI: 10.1016/j.jenvman.2009.07.013. URL: http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2009.07.013.

Chao, X., N. J. Shankar, e H. F. Cheong (2001). "Two- And three-dimensional oil spill model for coastal waters". Em: *Ocean Engineering* 28.12, pp. 1557–1573. DOI: 10.1016/S0029-8018(01)00027-0. URL: http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-0035816846%7B%5C&%7DpartnerID=40%7B%5C&%7Dmd5=84ca036f5b8d2a7dee853b35bb995829.

Chassignet, E. P., H. E. Hurlburt, O. M. Smedstad, G. R. Halliwell, P. J. Hogan, A. J. Wallcraft, R. Baraille, e R. Bleck (2007). "The HYCOM (HYbrid Coordinate Ocean Model) data assimilative system". Em: *Journal of Marine Systems* 65.1-4 SPEC. ISS. Pp. 60–83. DOI: 10.1016/j.jmarsys.2005.09.016.

Cheng, Y., X. Li, Q. Xu, O. Garcia-Pineda, O. B. Andersen, e W. G. Pichel (2011). "SAR observation and model tracking of an oil spill event in coastal waters". Em: *Marine Pollution Bulletin* 62.2, pp. 350–363. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2010.10.005. URL: http://dx.doi.org/10.1016/j.marpolbul.2010.10.005.

Cucco, A., M. Sinerchia, A. Ribotti, A. Olita, L. Fazioli, A. Perilli, B. Sorgente, M. Borghini, K. Schroeder, e R. Sorgente (2012). "A high-resolution real-time forecasting system for predicting the fate of oil spills in the Strait of Bonifacio (western Mediterranean Sea)". Em: *Marine Pollution Bulletin* 64.6, pp. 1186–1200. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2012.03.019. URL: http://dx.doi.org/10.1016/j.marpolbul.2012.03.019.

Dominicis, M., N. Pinardi, G. Zodiatis, e R. Archetti (2013). "MEDSLIK-II, a Lagrangian marine surface oil spill model for short-term forecasting – Part 2: Numerical simulations and validations". Em: *Geoscientific Model Development* 6.6, pp. 1871–1888. DOI: 10.5194/gmd-6-1871-2013.

Doshi, B., E. Repo, J. P. Heiskanen, J. A. Sirviö, e M. Sillanpää (2018). "Sodium salt of oleoyl carboxymethyl chitosan: A sustainable adsorbent in the oil spill treatment". Em: *Journal of Cleaner Production* 170, pp. 339–350. DOI: 10.1016/j.jclepro.2017.09.163.

Dyer, K. R. (1991). "Circulation and mixing in stratified estuaries". Em: *Marine Chemistry* 32.2-4, pp. 111–120. DOI: 10.1016/0304-4203(91)90031-Q.

Elliott, A. J. (1991). "EUROSPILL: Oceanographic processes and NW European shelf databases". Em: *Marine Pollution Bulletin* 22.11, pp. 548–553. DOI: 10.1016/0025-326X(91)90894-X.

Elliott, A. J. (1986). "Shear diffusion and the spread of oil in the surface layers of the North Sea". Em: *Deutsche Hydrographische Zeitschrift* 39.3, pp. 113–137. DOI: 10.1007/BF02408134.

Farrington, J. W. (2014). "Oil pollution in the marine environment II: Fates and effects of oil spills". Em: *Environment* 56.4, pp. 16–31. DOI: 10.1080/00139157.2014.922382.

Fattal, P., M. Maanan, I. Tillier, N. Rollo, M. Robin, e P. Pottier (2010). "Coastal Vulnerability to Oil Spill Pollution: the Case of Noirmoutier Island (France)". Em: *Journal of Coastal Research* 265.265, pp. 879–887. DOI: 10.2112/08-1159.1. URL: http://www.bioone.org/doi/abs/10.2112/08-1159.1.

Fay, J. A. (1969). "The spread of oil slicks on a calm sea". Em: *Oil on the Sea*, pp. 53–63. DOI: 10.1007/978-1-4684-9019-0_5. URL: http://link.springer.com/10.1007/978-1-4684-9019-0%7B%5C_%7D5.

Fernandes, E., R. Cecílio, e R. Schiller (2005). "Estudo da Influência da Alteração dos Molhes da Barra de Rio Grande". Em: *Vetor* 15.2, pp. 49–57.

Fernandes, E., K. Dyer, e O. Möller (2006). "Spatial Gradients in the Flow of Southern Patos Lagoon". Em: *Journal of Coastal Research* 214.214, pp. 759–769. DOI: 10.2112/006-nis.1. URL: http://www.bioone.org/doi/abs/10.2112/006-NIS.1.

Fernandes, E., K. Dyer, O. Möller, e L. F. Niencheski (2002). "The Patos lagoon hydrodynamics during an El Nino event (1998)". Em: *Continental Shelf Research* 22.11-13, pp. 1699–1713.

Fingas, M. F. (1999). "The Evaporation of Oil Spills: Development and Implementation of New Prediction Methodology". Em: *International Oil Spill Conference Proceedings* 1999.1, pp. 281–287. DOI: 10.7901/2169-3358-1999-1-281. URL: http://ioscproceedings.org/doi/abs/10.7901/2169-3358-1999-1-281.

French-McCay, D. P. (2004). "OIL SPILL IMPACT MODELING: DEVELOPMENT AND VALIDATION". Em: *Environmental Toxicology and Chemistry* 23.10. Ed. por A. Frank, F. Simon, e C. Derek, p. 2441. DOI: 10.1897/03-382. URL: http://doi.wiley.com/10.1897/03-382.

Furtado, C. (2018). "Economic Development of Latin America". Em: *Promise Of Development*. Routledge. Cap. 10, pp. 124–148.

García-Garrido, V. J., A. Ramos, A. M. Mancho, J. Coca, S. Wiggins, O. Möller, J. Lorenzzetti, J. Stech, e M. Mata (2016). "A dynamical systems perspective for a real-time response to a marine oil spill". Em: *Coastal Shelf Research* 16.1-2, pp. 201–210. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2016.08.018. URL: http://dx.doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.08.018.

García-Martínez, J., S. G. Acinas, A. I. Antón, e F. Rodríguez-Valera (1999). "Use of the 16S-23S ribosomal genes spacer region in studies of prokaryotic diversity". Em: *Journal of Microbiological Methods* 36.1-2, pp. 55–64. DOI: 10.1016/S0167-7012(99)00011-1.

Guo, W. J. e Y. X. Wang (2009). "A numerical oil spill model based on a hybrid method". Em: *Marine Pollution Bulletin* 58.5, pp. 726–734. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2008.12.015. URL: http://dx.doi.org/10.1016/j.marpolbul.2008.12.015.

H. e Flores (1998). "Measurements of oil spill spreading in a wave tank using digital image processing". Em: *Environment* 2.1, pp. 14328–14336. DOI: 10.2495/AIR990911. URL: http://www.ncbi.nlm.nih.gov/entrez/query.fcgi?cmd=Retrieve%7B%5C&%7Ddb=PubMed%7B%5C&%7Ddopt=Citation%7B%5C&%7Dlist%7B%5C_%7Duids=17363372.

Ha, M. (2018). "Modeling for the allocation of oil spill recovery capacity considering environmental and economic factors". Em: *Marine Pollution Bulletin* 126.September 2017, pp. 184–190. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2017.11.006. URL: http://dx.doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.11.006.

Hallak, R. e A. J. P. Filho (2011). "As análises preliminares para o desempenho deste índice indicam adequação de sua formulação para o tipo de simulação efetuada." Em: *Revista Brasileira de Meteorologia* 26.4, pp. 591–608.

Hartmann, C. e C. A. F. Schettini (1991). "Aspectos Hidrológicos Na Desembocadura Da Laguna Dos Patos , Rs". Em: *Revista Brasileir de Geociências* 21.4, pp. 371–377.

Hervouet, J.-M. J. M. J.-M. J. M. (2007). *Hydrodynamics of free surface flows. Modelling with the finite element method*, p. 341. DOI: 10.1002/9780470319628.

Jackson, C. R. e J. R. Apel (2004). "Synthetic Aperture Radar Marine User ' s Manual Synthetic Aperture Radar Marine User ' s Manual". Em: September.

Janeiro, J., E. Fernandes, F. Martins, e R. Fernandes (2008). "Wind and freshwater influence over hydrocarbon dispersal on Patos Lagoon, Brazil". Em: *Marine Pollution Bulletin* 56.4, pp. 650–665. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2008.01.011.

Jones, B. (1999). "The Use of Numerical Weather Prediction Model Output in Spill Modelling". Em: *Spill Science & Technology Bulletin* 5.2, pp. 153–159. DOI: 10.1016/S1353-2561(98)00059-0. URL: http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1353256198000590%7B%5C%7D5Cnhttp://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1353256198000590.

Jorda, G., E. Comerma, R. Bolaños, e M. Espino (2007). "Impact of forcing errors in the CAMCAT oil spill forecasting system. A sensitivity study". Em: *Journal of Marine Systems* 65.1-4 SPEC. ISS. Pp. 134–157. DOI: 10.1016/j.jmarsys.2005.11.016.

Kim, T. H., C. S. Yang, J. H. Oh, e K. Ouchi (2014). "Analysis of the contribution of wind drift factor to oil slick movement under strong tidal condition: Hebei Spirit oil spill case". Em: *PLoS ONE* 9.1, pp. 1–14. DOI: 10.1371/journal.pone.0087393.

Kirinus, E. d. P. (2013). "Avaliação do Potencial Passível de Conversão em Energia Elétrica das Correntes na Plataforma Continental Sul Brasileira". Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande, p. 185.

Kirinus, E., W. Marques, J. Costa, e E. Fernandes (2012). "The Contribution of Waves in Mixing Processes of the Patos Lagoon Plume". Em: *International Journal of Geosciences* 03.05, pp. 1019–1026. DOI: 10.4236/ijg.2012.35102.

Klemas, V. (2010). "Tracking Oil Slicks and Predicting their Trajectories Using Remote Sensors and Models: Case Studies of the Sea Princess and Deepwater Horizon Oil Spills". Em: *Journal of Coastal Research* 265.265, pp. 789–797. DOI: 10.2112/10A-00012.1. URL: http://www.bioone.org/doi/abs/10.2112/10A-00012.1.

Knoppers, B. e B. Kjerfve (1999). "Coastal lagoons of southeastern Brazil: physical and biogeochemical characteristics". Em: *Estuaries of South America*. Ed. por G. Perillo, M. Picollo, e M. Pino-Quivira. Berlin: Springer, pp. 35–66.

Kundu, P. K., I. M. Cohen, e D. R. Dowling (2012). *Fluid Mechanics*. Sixth, p. 1002.

Lehr, W., R. Jones, M. Evans, D. Simecek-Beatty, e R. Overstreet (2002). "Revisions of the ADIOS oil spill model". Em: *Environmental Modelling & Software* 17.2, pp. 189–197. DOI: 10.1016/S1364-8152(01)00064-0. URL: http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1364815201000640.

Leitão, P. (1996). "Modelo de dispersão lagrangeano tridimensional". Tese de doutorado. Lisboa, p. 96.

Li, S. (2017). "Evaluation of New Weathering Algorithms". Mestrado. University Halifax. URL: Nova%20Scotia%20Nova%20Scotia.

Lima, L. N. (2012). "Estudo do Impacto da Assimilação de Dados Altimétricos na Previsibilidade de Curto-Prazo do Modelo Oceânico HYCOM Sobre a Metarea V do Atlântico Sul". Mestrado. Universidade Federal da Bahia.

Liu, T. e P. Sheng (2014). "Three dimensional simulation of transport and fate of oil spill under wave induced circulation". Em: *Marine Pollution Bulletin* 80.1-2, pp. 148–159. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2014.01.026. URL: http://dx.doi.org/10.1016/j.marpolbul.2014.01.026.

Liu, X., M. Guo, Y. Wang, X. Yu, J. Guo, C. Tang, X. Hu, C. Wang, e B. Li (2016). "Assessing pollution-related effects of oil spills from ships in the Chinese Bohai Sea". Em: *Marine Pollution Bulletin* 110.1, pp. 194–202. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2016.06.062. URL: http://dx.doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.06.062.

Lopes, B., A. Pavlovic, T. Trombeta, P. Oleinik, C. Barbosa, D. Silva, e R. Guimarães (2019). "Numerical Study of Oil Spill in the Patos Lagoon Under Flood and Ebb Conditions". Em: *Journal of Marine Science and Engineering* 7.1, p. 4. DOI: 10.3390/jmse7010004. URL: http://www.mdpi.com/2077-1312/7/1/4.

Machado, A. A., L. J. Calliari, E. Melo, e A. H. F. Klein (2010). "Historical assessment of extreme coastal sea state conditions in southern Brazil and their relation to erosion episodes". Em: *Journal of Aquatic Sciences* 5, pp. 277–286. URL: http://www.panamjas.org/pdf%7B%5C_%7Dartigos/PANAMJAS%7B%5C_%7D5(2)%7B%5C_%7D277-286.pdf.

Mackay, D. e S. Patterson (1980). "A mathematical model of oil spill behavior". Em: *Report for Environmental Control Directorate, Canada*.

Marques, W. (2012). "The Temporal Variability of the Freshwater Discharge and Water Levels at the Patos Lagoon, Brazil". Em: *International Journal of Geosciences* 3.September, pp. 758–766. DOI: 10.4236/ijg.2012.34076. URL: http://dx.doi.org/10.4236/ijg.2012.34076%7B%5C%%7D5Cnhttp://www.scirp.org/journal/ijg.

Marques, W., E. Fernandes, O. Möller, B. Moraes, e A. Malcherek (2010a). "Dynamics of the Patos Lagoon coastal plume and its contribution to the deposition pattern of the southern Brazilian inner shelf." Em: *Journal of Geophysical Research*.

Marques, W., E. Fernandes, I. Monteiro, e O. Möller (2009). "Numerical modeling of the Patos Lagoon coastal plume, Brazil". Em: *Continental Shelf Research* 29.3, pp. 556–571. DOI: 10.1016/j.csr.2008.09.022.

Marques, W. e O. Möller (2008). "Variabilidade Temporal em Longo Período da Descarga Fluvial e Níveis de Água da Lagoa dos Patos, Rio Grande do Sul, Brasil". Em: *RBRH - Revista Brasileira de Recursos Hídricos* 13, pp. 155–163. DOI: 10.1590/S0103-84782006000400018.

Marques, W., C. Stringari, e R. Eidt (2014). "The Exchange Processes of the Patos Lagoon Estuary – Brazil: A Typical El Niño Year versus a Normal Meteorological Conditions Year". Em: *Advances in Water Resource and Protection* 2, pp. 11–20.

Marques, W., C. Stringari, E. Kirinus, O. Möller, e E. Toldo (2017). "Numerical modeling of the Tramandaí beach oil spill, Brazil—Case study for January 2012 event". Em: *Applied Ocean Research* 65.3-4, pp. 178–191. DOI: 10.1016/j.apor.2017.04.007.

Marques, W., E. Fernandes, e O. Möller (2010b). "Straining and advection contributions to the mixing process of the Patos Lagoon coastal plume, Brazil". Em: *Journal of Geophysical Research: Oceans* 115.6, pp. 1–23. DOI: 10.1029/2009JC005653.

Marques, W., E. Fernandes, e L. Rocha (2011). "Straining and advection contributions to the mixing process in the Patos Lagoon estuary, Brazil". Em: *Journal of Geophysical Research: Oceans* 116.3, pp. 1–23. DOI: 10.1029/2010JC006524.

McCrea-Strub, A., K. Kleisner, U. R. Sumaila, W. Swartz, R. Watson, D. Zeller, e D. Pauly (2011). "Potential Impact of the Deepwater HorizonOil Spill on Commercial Fisheries in the Gulf of Mexico". Em: *Fisheries* 36.7, pp. 332–336. DOI: 10.1080/03632415.2011.589334. URL: http://doi.wiley.com/10.1080/03632415.2011.589334.

Mehrabian, S., F. Letendre, e C. B. Cameron (2018). "The mechanisms of filter feeding on oil droplets: Theoretical considerations". Em: *Marine Environmental Research* 135.January, pp. 29–42. DOI: 10.1016/j.marenvres.2018.01.006. URL: http://dx.doi.org/10.1016/j.marenvres.2018.01.006.

Mello, L. F. (2013). "Desenvolvimento de um modelo de óleo baseado na visão lagrangeana de partículas". Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal do Rio Grande, p. 41.

Mendizábal, A., R. Samaniego, e M. A. Aleman (2012). "Three Years Later: Conclusion of a Successful Social-Environmental Management Model to Overcome the Impacts of a Heavy Crude Oil Spill". Em: *2012 9th International Pipeline Conference*. American Society of Mechanical Engineers, pp. 263–274.

Meniconi, M. d. F. G., I. T. Gabardo, M. E. R. Carneiro, S. M. Barbanti, G. C. da Silva, e C. G. Massone (2002). "Brazilian Oil Spills Chemical Characterization–Case Studies". Em: *Environmental Forensics* 3.3, pp. 303–321. DOI: 10.1080/713848377. URL: http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/713848377.

Millioli, V. S., D. D. C. Freire, e M. C. Cammarota (2002). "Testing the Efficiency of Fenton ' S Reagent in Treatment of Petroleum-Contaminated Sand". Em: pp. 44–47.

Mishra, A. K. e G. S. Kumar (2015). "Weathering of Oil Spill: Modeling and Analysis". Em: *Aquatic Procedia* 4.Icwrcoe, pp. 435–442. DOI: 10.1016/j.aqpro.2015.02.058. URL: http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2214241X15000590.

Mohan, R., R. S. Kankara, R. Venkatachalapathy, R. Mohan, e R. Venkatachalapathy (2014). "Oil spill trajectory modelling of Chennai coast , east coast of India". Em: *Journal of Coastal Research* 2.November 1994, pp. 94–99.

Möller, O. (1996). "Hydroinamique de La Lagune dos Patos, Mésures et Modelisation". Master. Université Bordeaux I, France, p. 2000.

Moller, O. O., J. Stech, M. M. Mata, *et al.* (1996). "The Patos Lagoon summertime circulation and dynamics". Em: *Continental Shelf Research* 16.3, pp. 335–351.

Möller, O., P. Castaing, J.-C. Salomon, e P. Lazure (2001). "The Influence of Local and Non-Local Forcing Effects on the Subtidal Circulation of Patos Lagoon". Em: *Estuaries* 24.2, p. 297. DOI: 10.2307/1352953. URL: http://link.springer.com/10.2307/1352953.

Monteiro, C., P. Oleinik, B. Vasconcellos, J. Costi, W. Marques, e E. Kirinus (2018). "REPRODUCTIBILITY BY NUMERICAL MODELING OF BUNKER OIL SPILL DURING VESSEL SUPPLY OPERATION". Em: pp. 1–26.

Monteiro, I., M. Pearsom, O. Möller, e E. Fernandes (2006). "Hidrodinâmica do Saco da Mangueira: mecanismos que controlam as trocas com o estuário da Lagoa dos Patos." Em: *Atlântica* 27.2, pp. 8–101.

Navarro, G. C. B. (2018). "A Comparative Analysis of International Enforcement Procedures in the Chevron Case". Em: *Ssrn*. DOI: 10.2139/ssrn.3179426.

Nicolodi, J. L. (2016). *Atlas de Sensibilidade Ambiental ao Óleo da Bacia Marítima de Pelotas*.

Niencheski, L. F. e M. G. Baumgarten (2000). "Distribution of particulate trace metal in the southern part of the patos lagoon estuary". Em: *Aquatic Ecosystem Health and Management* 3.4, pp. 515–520. DOI: 10.1080/14634980008650688.

North, E. W., Z. Schlag, R. R. Hood, M. Li, L. Zhong, T. Gross, e V. S. Kennedy (2008). "Vertical swimming behavior influences the dispersal of simulated oyster larvae in a coupled particle-tracking and hydrodynamic model of Chesapeake Bay". Em: *Marine Ecology Progress Series* 359.Leis 2007, pp. 99–115. DOI: 10.3354/meps07317.

Oleinik, P., W. Marques, e E. Kirinus (2017). "Estimate of the Wave Climate on the Most Energetic Locations of the South-Southeastern Brazilian Shelf". Em: *Defect and Diffusion Forum* 370, pp. 130–140. DOI: 10.4028/www.scientific.net/DDF.370.130. URL: http://www.scientific.net/DDF.370.130%20https://www.scientific.net/DDF.370.130.

De Oliveira, H. A. e H. A. de Oliveira (2012). "ESTUDO DO COMPORTAMENTO HIDRODINÂMICO DA LAGOA MIRIM E DOS PROCESSOS DE TROCA COM A LAGOA DOS PATOS VIA CANAL DE SÃO GONÇALO". Mestrado. Rio Grande: Universidade Federal do Rio Grande, p. 81.

Paiva, P. M., J. Lugon Junior, A. N. Barreto, J. A. Silva, e A. J. Silva Neto (2017). "Comparing 3d and 2d computational modeling of an oil well blowout using MOHID platform - A

case study in the Campos Basin". Em: *Science of the Total Environment* 595, pp. 633–641. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2017.04.007. URL: http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.04.007.

Papadimitrakis, J., M. Psaltaki, M. Christolis, e N. C. Markatos (2006). "Simulating the fate of an oil spill near coastal zones: The case of a spill (from a power plant) at the Greek Island of Lesvos". Em: *Environmental Modelling and Software* 21.2, pp. 170–177. DOI: 10.1016/j.envsoft.2004.04.020.

Pereira, P. D. S. (2005). "Variabilidade da orla oceânica do Rio Grande do Sul e suas implicações na elaboração de planos de contingência: aspectos morfodinâmicos, sedimentológicos e geomorfológicos". Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande, pp. 1–161.

Phan, C. e A. Joly (2016). *TELEMAC MODELLING SYSTEM: TELEMAC-3D Software-OPERATING MANUAL*. Chanteau França.

Proctor, R., A. J. Elliot, e R. A. Flather (1994). "Forecast and hindcast simulations of the Braer oil spill". Em: *Marine Pollution Bulletin* 28.4, pp. 219–229. DOI: 10.1016/0025-326X(94)90097-3.

Quadro, M. F. L., M. A. F. S. Dias, D. L. Herdies, e L. G. G. Gonçalves (2012). "ANÁLISE CLIMATOLÓGICA DA PRECIPITAÇÃO E DO TRANSPORTE DE UMIDADE NA REGIÃO DA ZCAS ATRAVÉS DA NOVA GERAÇÃO DE REANÁLISES Instituto Federal de Educação , Ciência e Tecnologia de Santa Catarina (IFSC), Florianópolis , SC , Brasil Universidade de São Paulo". Em: *Revista Brasileira de Meteorologia* 27.2, pp. 152–162. DOI: 10.1590/S0102-77862012000200004.

Al-Rabeh, A. H., H. M. Cekirge, e N. Gunay (1989). "A stochastic simulation model of oil spill fate and transport". Em: *Applied Mathematical Modelling* 13.6, pp. 322–329. DOI: 10.1016/0307-904X(89)90134-0. URL: http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/0307904X89901340.

Reboita, M. S., M. A. Gan, R. P. Rocha, T. Ambrizzi, R. P. da Rocha, e T. Ambrizzi (2010). "Regimes de precipitação na América do Sul: Uma Revisão Bibliográfica". Em: *Revista Brasileira de Meteorologia* 25.2, pp. 185–204. URL: http://submission.scielo.br/index.php/rbmet/article/view/12413/7499.

Reed, M., P. S. Daling, O. G. Brakstad, I. Singsaas, L.-G. Faksness, B. Hetland, e N. Ekrol (2000). "OSCAR2000: A multi-component 3-dimensional oil spill contingency and response model". Em: *AMOP Technical Seminar on Environmental Contamination and Response* 23.2, pp. 663–680. URL: https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-0042722325%7B%5C&%7DpartnerID=40%7B%5C&%7Dmd5=fcdef13f35c5d7268601e5ade81159c8.

Sebastião, P. e., C. G. Soares, e C. Guedes Soares (1995). "Modeling the fate of oil spills at sea." Em: *Spill Science & Technology Bulletin* 2.2, pp. 121–131. DOI: 10.1016/S1353-2561(96)00009-6. URL: http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1353256196000096.

Sebastião, P. e C. Guedes Soares (2007). "Uncertainty in predictions of oil spill trajectories in open sea". Em: *Ocean Engineering* 34.3-4, pp. 576–584. DOI: 10.1016/j.oceaneng.2006.01.014.

Shami, A. A., G. H. A, I. Alameddine, D. Bruschi, D. A. Garcia, e M. El-Fadel (2017). "Behavioural factors associated with diarrhea among adults over 18 years of age in Beijing, China". Em: *BMC Public Health* 14.1, pp. 234–245. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2016.09.064. URL: http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.09.064.

Smith, H. C. M., C. Pearce, e D. L. Millar (2012). "Further analysis of change in nearshore wave climate due to an offshore wave farm: An enhanced case study for the Wave Hub site". Em: *Renewable Energy* 40.1, pp. 51–64. DOI: 10.1016/j.renene.2011.09.003. URL: http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0960148111005210.

Souza, J. V. e. F. (2007). "Investigando o deslocamento do derramamento do óleo no mar por um modelo de regressão". Em: *PDPETRO* 5, pp. 2–8.

Spaulding, M. L. (2017). "State of the art review and future directions in oil spill modeling". Em: *Marine Pollution Bulletin* 115.1-2, pp. 7–19. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2017.01.001. URL: http://dx.doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.01.001%20https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0025326X17300012.

Stiver, W. e D. Mackay (1984). "Evaporation rate of spills of hydrocarbons and petroleum mixtures". Em: *Environmental Science & Technology* 18.11, pp. 834–840. DOI: 10.1021/es00129a006. URL: http://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/es00129a006.

Stringari, C. E. (2014). "Desenvolvimento de uma estrutura de previsão do comportamento de derrames de óleo na bacia de Pelotas". Trabalho de conclusão de curso. Universidade Federal do Rio Grande, p. 96.

Stringari, C., W. Marques, e L. Mello (2012). "Modeling the Wind Influence in an Oil Spill Along the Southern Brazilian Shelf". Em: *Science Engenharia Térmica (Thermal Engineering) Engenharia Térmica (Thermal Engineering)* 100.12, pp. 100–109.

Sutherland, J. e H. R. Wallingford (1993). "Cosmos Modelling and the Development of Model Performance Statistics". Em: *Coasts and Estuaries* 4.April, pp. 1–4.

Taylor, P., P. Tkalich, K. Huda, K. Yew, e H. Gin (2003). "A multiphase oil spill model Un modèle multiphase de nappe d' huile." Em: *Hydraul* 41.2, pp. 115–125.

Teegavarapu, R. S. V. e V. Chandramouli (2005). "Improved weighting methods, deterministic and stochastic data-driven models for estimation of missing precipitation records". Em: *Journal of Hydrology* 312.1-4, pp. 191–206. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2005.02.015.

Toldo, E., R. Ayup-Zouain, I. Corrêa, e S. Dillenburg (1991). "Barra Falsa: Hipótese de um Paleocanal Holocênico de Comunição entre a Laguna dos Patos e o Oceano Atlântico". Em: *Geociencias* 18.2, p. 7. URL: https://jcr-incites-thomsonreuters.ez54.periodicos.capes.gov.br/JCRJournalHomeAction.action?.

Verma, A. (2010). "Transport Analysis". Master. University of New York, pp. 3–4.

Wang, D. P. (1979). *Wind driven circulation in the Chesapeake Bay*.

Wang, D.-P. e A. Elliott (1978). "Non-tidal variability in the Chesapeake Bay and Potomac River: evidence for non-local forcing". Em: *Journal of Physical Oceanography* 8.2, pp. 225–232. DOI: 10.1175/1520-0485(1978)008<0225:NTVITC>2.0.CO;2. URL: http://journals.ametsoc.org/doi/abs/10.1175/1520-0485(1978)008%7B%5C%%7D3C0225:NTVITC%7B%5C%%7D3E2.0.CO;2.

Wang, H., J. Yang, X. Liu, Z. Tao, Z. Wang, e R. Yue (2018). "Chemical A robust 3D superhydrophobic sponge for in situ continuous oil removing". Em: *Journal of Materials Science*. DOI: 10.1007/s10853-018-2938-4. URL: https://doi.org/10.1007/s10853-018-2938-4.

Wang, S. D., Y. M. Shen, e Y. H. Zheng (2005). "Two-dimensional numerical simulation for transport and fate of oil spills in seas". Em: *Ocean Engineering* 32.13, pp. 1556–1571. DOI: 10.1016/j.oceaneng.2004.12.010.

Wang, S. D., Y. M. Shen, Y. K. Guo, e J. Tang (2008). "Three-dimensional numerical simulation for transport of oil spills in seas". Em: *Ocean Engineering* 35.5-6, pp. 503–510. DOI: 10.1016/j.oceaneng.2007.12.001.

Wu, M. e H. Xu (2018). *Consumptive Water Use in the Production of Ethanol and Petroleum Gasoline — 2018 Update*. Rel. téc. Argonne, IL (United States): Argonne National Laboratory (ANL). DOI: 10.2172/1490723. URL: http://www.osti.gov/servlets/purl/1490723/.

Yim, U. H., M. Kim, S. Y. Ha, S. Kim, e W. J. Shim (2012). "Oil Spill Environmental Forensics: the Hebei Spirit Oil Spill Case". Em:

Zelenke, B., C. O'Connor, C. Barker, C. Beegle-Krause, e (. L. Eclipse (2012). "General NOAA Operational Modeling Environment (GNOME), Technical Documentation, NOAA Technical Memorandum NOS OR&R 40". Em: *NOAA Technical Memorandum NOS OR&R 40* October, p. 105. URL: http://response.restoration.noaa.gov/sites/default/files/GNOME%7B%5C_%7DTech%7B%5C_%7DDoc.pdf%7B%5C%%7D5Cnhttp://response.restoration.noaa.gov/gnome%7B%5C_%7Dmanual.

Zhang, L., J. Lu, X. Chen, D. Liang, X. Fu, S. Sauvage, e J. M. S. Perez (2017). "Stream flow simulation and verification in ungauged zones by coupling hydrological and hydrodynamic models: A case study of the Poyang Lake ungauged zone". Em: *Hydrology and Earth System Sciences* 21.11, pp. 5847–5861. DOI: 10.5194/hess-21-5847-2017.

Lista de Símbolos

Símbolos Gregos

α	Coeficiente de influência do vento.
α_s	Coeficiente de contração salina.
α_t	Coeficiente de expansão térmica.
ϵ	Energia Turbulenta.
κ	Coeficiente dinâmico de condução de calor.
ω	Velocidade de rotação da terra.
π	3.1415926535897932384626.
ρ	Massa específica.
ρ_o	Massa específica do óleo $[\mathrm{kgm^{-3}}]$.
ρ_t	Massa específica do óleo no tempo $[\mathrm{kgm^{-3}}]$.
ρ_w	Massa específica da água $[\mathrm{kgm^{-3}}]$.
ρ_{ar}	Massa específica do ar.
ρ_{ww}	Altura de onda, constante.
σ_w	Período de onda, constante.
τ	Tensão de Cisalhamento.
υ	Viscosidade cinemática ou traçador difusão de coeficientes $[\mathrm{ms^{-2}}]$.
υ_w	Viscosidade dinâmica da água salgada adimensional.

Algarismos Romanos

$[-U_r, +U_r]$	Raio de ação de espalhamento em x.
$[-V_r, +V_r]$	Raio de ação de espalhamento em y.
Δ_S	Máxima distância que uma partículas pode viajar $[\mathrm{m}]$.
$\overrightarrow{v}$	Influência do vento.
ρ_w	Massa específica referencial da água do mar $[\mathrm{kgm^{-3}}]$.
A	Coeficiente de troca de calor $[\mathrm{Wms^{-2}\,°C}]$.
A_s	Área atingida por óleo $[\mathrm{m}]$.
C_p	Coeficiente de difusão de calor na água $[\mathrm{kg^{-1}°C}]$.
C_{DE} e C_{DT}	Coeficientes empíricos da massa específica.
d_i	Diâmetro médio da gota de óleo $[\mathrm{mm}]$.
f_u	Aceleração de Coriolis na direção u.

f_v	Aceleração de Coriolis na direção v.
F_x	Termo Fonte.
F_y	Termo Fonte.
F_z	Termo Fonte.
F_{wv}	Constante da emulsificação.
G	Termo Fonte devido à forças gravitacionais.
g	Aceleração da gravidade $[\mathrm{m\,s^{-2}}]$.
H	Aceleração da gravidade [Altura da superfície $[\mathrm{m}]$.
h	Aceleração da gravidade [Altura do fundo $[\mathrm{m}]$.
i	Representa o índice, para cada partícula e varia de 1 ao 40.000.
K	Dissipação Turbulenta.
K_2	Constante adimensional impírica com valor de 0,725.
K_w	constante da emulsificação.
k_{dc}	Coeficiente dinâmico de calor.
K_e	coeficiente de influência do vento $0,0025 * (W)^{0,78}$.
m	Coeficiente de Manning $[\mathrm{kg m^3}]$.
N^2	Número adimensional de Brunt—Vaisala.
P	Potência térmica liberada pela atmosfera $[\mathrm{W m s^{-2}}]$.
p	Pressão.
p_{atm}	Campo de pressão atmosférica [atm].
R_1 e R_2	Números aleatórios distribuídos uniformemente entre o intervalo de 0 e 1..
Ri	Número adimensional de Richardson.
S	Salinidade $[\mathrm{kg m^{-3}}]$.
T	Coeficiente de troca de calor $[\mathrm{W m s^{-2}\,°C}]$.
t	Tempo [s].
t_0	Temperatura de referência do óleo [°C].
T_{ar}	Temperatura do ar [°C].
U	Componente em x da velocidade de corrente $[\mathrm{m\,s^{-1}}]$.
U_i	Componente meridional da velocidade das partículas $[\mathrm{m\,s^{-1}}]$.
U_i	Componente meridional de transporte pelas correntes $[\mathrm{m\,s^{-1}}]$.
U_w	Componente de transporte pelo vento $[\mathrm{m\,s^{-1}}]$.
U_{s_i}	Velocidade de espalhamento em x.
V	Componente em y da velocidade de corrente $[\mathrm{m\,s^{-1}}]$.
V	Volume $[\mathrm{m^3}]$.

V_c	Componente zonal de transporte pelas correntes $[\mathrm{m\,s^{-1}}]$.
V_i	Componente zonal da velocidade das partículas $[\mathrm{m\,s^{-1}}]$.
V_w	Componente de transporte pelo vento $[\mathrm{m\,s^{-1}}]$.
V_w	Velocidade do vento $[\mathrm{m\,s^{-1}}]$.
V_{s_i}	Velocidade de espalhamento em y.
W	Componente em z da velocidade de corrente $[\mathrm{m\,s^{-1}}]$.
W_c	Componente vertical de transporte pelas correntes $[\mathrm{m\,s^{-1}}]$.
W_i	Componente vertical da velocidade das partículas $[\mathrm{m\,s^{-1}}]$.
x	Coordenada x do plano cartesiano $[\mathrm{m}]$.
y	Coordenada y do plano cartesiano $[\mathrm{m}]$.
z	Coordenada z do plano cartesiano $[\mathrm{m}]$.
z	Profundidade $[\mathrm{m}]$.
$z*$	Discretização vertical da malha.
z_f	Profundidade local $[\mathrm{m}]$.
z_s	Elevação da superfície livre $[\mathrm{m}]$.
C_f	Coeficiente de Fricção $[\mathrm{kg\,m^{-2}\,s^{-2}}]$.
D_x	Coeficiente de Espalhamento em x.
D_y	Coeficiente de Espalhamento em y.
k_c	Coeficiente de transporte por corrente $[\mathrm{m\,s^{-1}}]$.
k_w	Coeficiente de transporte pelo vento $[\mathrm{m\,s^{-1}}]$.
A	coeficientes adimensionais valores de 0 a 1.
B	coeficientes adimensionais valores de 0 a 1.

Lista de Siglas

°API *American Petroleum Institute*.

ADCP *Acoustic Doppler Current Profiler*.

ADIOS2 *Automated Data Inquiry for Oil Spills*.

AHP *Analytic Hierarchy Process*.

ALOS *Navy Coastal Ocean Model*.

ANA Agência Nacional de Águas.

ANP Agência Nacional do Petróleo.

ASA *Applied Science Associates*.

AWB *Access Western Blend*.

BOOM *Bonifacio Oil-spill Operational Model*.

CCM Complexos convectivos de meso escala.

CH3D *Cyprus Coastal Ocean Forecasting and Observing System*.

CH3D *Storm Surge Modeling System*.

CLB *Cold Lake Blend*.

CLD *Cold Lake Diluent*.

CT Sensor de Condutividade e Temperatura.

D.C Dados calculados.

D.O Dados observados.

DHN Diretoria de hidrografia e navegação.

DP Desvio Padrão.

ECMWF *European Centre for Medium-Range Weather Forecast*.

ECOS *Easy Coupling Oil System*.

ENOS *El niño* oscilação sul.

ENVISAT ASAR *Advanced Synthetic Aperture Radar*.

ERA-Interim *Global Atmospheric Reanalysis*.

FEPEAM Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Roessler - RS.

FORTRAN95 *FORmula TRANslation System*.

FPSO *Floating Production Storage and Offloading*.

GNOME *General NOAA Operational Modeling Environment*.

GODAE *Global Ocean Data Assimilation Experiment*.

HPA's Hidrocarbonetos policíclicos aromáticos.

HYCOM *HYbryd coordinate Ocean Model*.

IBAMA Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis.

INPI Instituto Nacional da Propriedade Industrial.

ISL Índice de Sensibilidade do Litoral.

ITOPF *International Tanker Owners Pollution Federation*.

LANSD Laboratório de Análise Numérica e Sistemas Dinâmicos.

LE Elementos Lagrangeanos.

LTRANS *Larval TRANSport model system*.

MAE Erro Absoluto Relativo.

MA Média Aritmética dos Dados.

MB Marinha do Brasil.

MMA Ministério do Meio Ambiente.

NCODA *Navy Coupled Ocean Data Assimilation*.

NCOM *Navy Coastal Ocean Model*.

NDBC *National Data Buoy Center*.

n Quantidade de Dados.

NOPP *National Ocean Partnership Program*.

O/A Emulsão do tipo óleo em água.

OD3D *Drift 3-Dimensional numerical model system*.

OILMAP *Oil Spill Model and Response System*.

OSCAR *Oil Spill Contingency and Response Model*.

OWM *oil weathering model*.

PALSAR *Phased Array L-band Synthetic Aperture Radar*.

PEI Plano de Emergência Individual.

PNC Plano Nacional de Contingência.

POM *Princeton Ocean Model*.

QGis Quantum—GIS.

RMSE Erro Quadrático Médio.

RNAs Redes neurais artificiais.

ROMS *Regional Ocean Modeling System*.

RPR *Refinaria de Petróleo Riograndense*.

SAR Radar de Abertura Sintética.

SIMAP *Integrated Oil Spill Impact Model System*.

SINTEF *Applied research, technology and innovation*.

SWAN *Simulating Waves Nearshore*.

TCNNA *Texture-Classifying Neural Network Algorithm*.

Lista de Figuras

Página

1 • Introdução
1.1 • Distância percorrida pelo óleo, desde o recebimento no terminal da Transpetro até o interior da refinaria (representado pelo segmento em vermelho). . 3
1.2 • Localização global da região de estudo (A), representação batimétrica da linha costeira e da Lagoa dos Patos, com cores representando a profundidade em metros (B), sobreposta da Google maps, lansdsat / Copernicus, data: 2018. A zona destacada é o estreito que conecta o Saco da Mangueira ao baixo estuário da Lagoa dos Patos (C), localização exata da região de estudo. A figura C está sobreposta da Google Maps, Digital GLOBE CNES / Airbus, data: 2018. 5

3 • Materiais e Métodos
3.1 • Fluxograma explicativo das etapas realizadas na metodologia, para a obtenção dos resultados. 19
3.2 • Processos que controlam a dinâmica óleo ao longo da coluna de água. Fonte: Bollmann *et al.* (2010). 29
3.3 • Fluxograma explicativo das etapas realizadas. 35
3.4 • Malha batimétrica utilizada no estudo. 36
3.5 • Malha tridimensional obtida pela superposição da malha bi-dimensional de elementos triangulares. Fonte: Kirinus (2013). 37
3.6 • Mapa ilustrativo das condições de contorno implementadas no Telemac-3D. 39
3.7 • Vazão dos principais afluentes da Lagoa dos Patos, onde a linha vermelho representa a vazão do rio Guaíba, em verde a vazão do rio Camaquã e os pontos em azul representa a vazão constante do canal São Gonçalo 40
3.8 • Mapa do Índice de Sensibilidade do Litoral ajustado para região do Porto de Rio Grande. Fonte: Nicolodi (2016) e Lopes *et al.* (2019). 42

4 • Validação dos resultados hidrodinâmicos
4.1 • Posição do Equipamento: Ponto preto indica a posição do ADCP no canal de acesso a Lagoa dos Patos nas coordenadas 32°8′12″ S/52°6′9″W. . . 47
4.2 • Velocidade meridional, onde os pontos em preto representam os dados observados (D.O), e a linha verde representam os dados calculados pelo modelo (D.C). 47
4.3 • Salinidade, onde os pontos em preto representam os dados observados (D.O), e a linha verde representam os dados calculados pelo modelo (D.C). . 47

5 • Resultados
5.1 • Locais onde foram extraídas às séries temporais de elevação. O Ponto 1 (interior do Saco da Mangueira) é representado pela cor verde, o Ponto 2 (baixo estuário) é representado pela cor azul e o Ponto 3 (saída dos Molhes da Barra) é representado pela cor vermelho. 52
5.2 • Séries Temporais de Elevação. O Ponto 1 (interior do Saco da Mangueira) é representado pela cor verde, o Ponto 2 (baixo estuário) é representado pela cor azul e o Ponto 3 (saída dos Molhes da Barra) é representado pela cor vermelha. 52
5.3 • Séries temporais de vazão de água doce ($\mathrm{m^3\,s^{-1}}$) e concentração de sal ($\mathrm{g\,s^{-1}}$). Em (A) uma representação ampliada da região de estudo, com os locais de retida dos transectos. Em (B) a série temporal de vazão extraída através de um transecto transversal (Transecto 1) próximo ao São Gonçalo, (C) série temporal de concentração de sal extraída através do transecto longitudinal (Transecto 2) no canal que conecta o Saco da Mangueira ao estuário e (D) transecto transversal (Transecto 3) extraído no estuário da Lagoa dos Patos. 54
5.4 • A figura mostra a região de estudo, com a integração de dados batimétricos, sobreposta da Google Maps, Digital GLOBE—CNES/Airbus, data: 2019. As linhas em preto indicam os locais de retirada dos transectos, no Saco da Mangueira, canal de acesso ao estuário e o estuário da Lagoa dos Patos. Ainda nesta região foi retirado uma média escalar de vento, resultado da direção e intensidade que atuam na simulação (representado pelo ponto na cor laranja dentro do estuário) e médias escalares de velocidades de correntes (representado pelos pontos na cor laranja dentro do estuário, magenta no canal de acesso ao Saco da Mangueira e amarelo dentro da enseada). Em (A) o transecto longitudinal do campo de salinidade média do fundo da enseada, (B) transecto transversal ao canal que conecta a enseada ao estuário e (C) transecto transversal ao canal de navegação com vetores representando a direção média das correntes. 56
5.5 • Diagramas de Hovmöller contendo os números de Richardson (Ri) e Brunt-Väisälä (N^2) 59
5.6 • Resultados das 22 simulações de vazamento de óleo, as imagens ilustram o deslocamento e o destino final das partículas no tempo (h). 60
5.7 • Locais com características similares, relacionadas com os pontos de chegada do óleo. 62
5.8 • Análise da influência das correntes (representado pela barra azul) e ventos (representado pela barra vermelho) no deslocamento das partículas de óleo para todas a simulações e a vazão climatológica (representado pela linha laranja). 66
5.9 • Painel temporal representando à concentração em $\mathrm{ml\,m^{-2}}$ de óleo. . . 68
5.10 • Porcentagem de emulsificação das partículas de óleo de todas as simulações (linhas coloridas) e médias dos cenários (pontos preto). 72
5.11 • Porcentagem de evaporação das partículas de óleo de todas as simulações (linhas coloridas) e médias dos cenários (pontos preto). 74

5.12 • Painel mostrando as principais regiões afetadas pelo óleo. As partículas de óleo são representadas como círculos pretos. 77
5.13 • Histograma de intensidade de vento e corrente. 78
5.14 • Evaporação, massa específica, massa de óleo e emulsificação do óleo calculado pelo modelo ECOS acoplado ao Telemac-3D. 78
5.15 • Painel mostrando as principais regiões afetadas pelo óleo. As partículas de óleo são representadas como círculos pretos. 80
5.16 • Histograma de intensidade de vento e corrente. 81
5.17 • Evaporação, massa específica, massa de óleo e emulsificação do óleo calculado pelo modelo ECOS acoplado ao Telemac-3D. 81
5.18 • Painel mostrando as principais regiões afetadas pelo óleo. As partículas de óleo são representadas como círculos pretos. 83
5.19 • Histograma de intensidade de vento e corrente. 84
5.20 • Evaporação, massa específica, massa de óleo e emulsificação do óleo calculado pelo modelo ECOS acoplado ao Telemac-3D. 84
5.21 • Painel mostrando as principais regiões afetadas pelo óleo. As partículas de óleo são representadas como círculos pretos. 85
5.22 • Histograma de intensidade de vento e corrente. 86
5.23 • Evaporação, massa específica, massa de óleo e emulsificação do óleo calculado pelo modelo ECOS acoplado ao Telemac-3D. 86

Lista de Tabelas

Página

1 • Introdução
1.1 • Acidentes envolvendo vazamentos de óleo. 2

3 • Materiais e Métodos
3.1 • Parâmetros utilizados na simulação numérica 40
3.2 • Características do óleo utilizado nas simulações numéricas 41
3.3 • Características das ISL's da região de estudo. 43

4 • Validação dos resultados hidrodinâmicos
4.1 • Indicador de Performance.n:Quantidade de dados observados, obs: Dado Observado, mod: Dado do modelo. 48
4.2 • Estatística das Simulações 49

5 • Resultados
5.1 • Deslocamento e localização das regiões contaminadas pelo óleo, durante o período de verão e primavera. 61
5.2 • Deslocamento e localização das regiões contaminadas pelo óleo, durante o período de outono e inverno. 61