

Guia de Apoio

Previsão da Deriva

Derrames de Hidrocarbonetos



Este guia de Apoio foi produzido e publicado pela Direção de Combate à Poluição do Mar (DCPM) da DGAM. Toda a informação e fotografias, com exceção da capa que foi tirada no acidente do CP Valour em DEZ05, foi obtida através do "Shoreline Assessment Job Aid" da National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA).



Direção do Combate à Poluição do Mar (DCPM)

Contato em caso de emergência - comunicação de incidente:

COMAR/MRCC Lisboa (24/7) - tlf: 214401919/fax: 214401954/mrcc.lisboa@marinha.pt
MRCC Ponta Delgada (24/7) - tlf: 296281777/fax: 296205239/mrcc.delgada@marinha.pt
MRSC Funchal, Madeira (24/7) - tlf: 291213110/fax: 291228232/mrsc.funchal@marinha.pt

Contato em caso de emergência - apoio técnico:

DCPM (dias úteis, 09h-17h) - tlf: 210 984 041/fax: 211938459/dgam.scpmh@marinha.pt
DCPM (fora das horas normais de serviço) - 917592700/919992641/917425590/dgam.scpmh@marinha.pt

1. Introdução **4**

2. Envelhecimento **8**

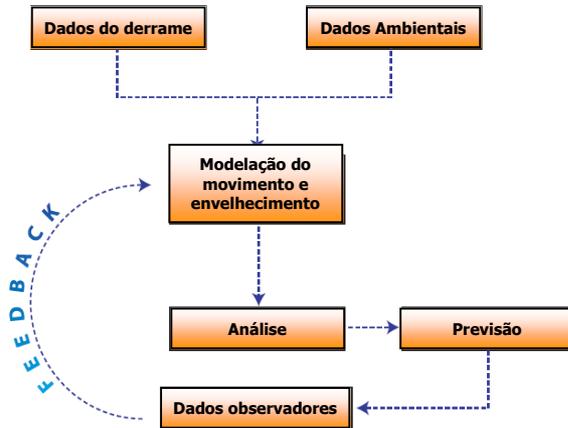
3. Transporte **17**

Sumário **38**

“Para onde vão os hidrocarbonetos derramados?”

Esta é uma questão crítica colocada pelas equipas de reposta num derrame de hidrocarbonetos. Ter conhecimento da trajetória da mancha de hidrocarbonetos é uma ajuda crítica para apoiar os decisores na definição da melhor estratégia para a proteção dos recursos e para a limpeza direta. No entanto, muitas vezes, é difícil prever de forma acertada o movimento e comportamento de uma mancha de hidrocarbonetos. Tal é devido, em parte, à interação de diversos processos físicos, cuja informação disponível é frequentemente incompleta na altura em que se iniciam as operações de resposta. O modelador tem de fazer atualizações de forma contínua com novos dados e explorar as consequências e probabilidades de outras trajetórias possíveis, procedimento esse que é denominado de “análise de trajetórias”. O produto final da análise de trajetórias é frequentemente apresentado na forma de um mapa, que mostra os limites prováveis, mas incertos, das previsões do movimento da mancha.

Este guia pretende dar uma ideia geral dos processos físicos que afetam o movimento e comportamento dos hidrocarbonetos, uma vez derramados no ambiente marinho. A análise de trajetórias é, muitas vezes, feita com recurso a modelos computacionais que permitem manter o rasto de processos complexos e interativos. Mesmo sem um modelo, pode-se estimar o tempo e a escala de comprimento de um evento, usando a informação encontrada neste guia. O guia pode ajudar os operadores e os decisores a compreender os processos físicos e as potenciais incertezas à medida que a análise de trajetórias é incorporada na resposta.



Previsão da deriva

Prever o movimento de uma mancha de hidrocarbonetos é muitas vezes dificultado por dados insuficientes, particularmente nas primeiras horas após o derrame. Dados específicos relativos à mancha (localização, volume derramado, tipo de produto) são frequentemente imprecisos e os dados ambientais (vento e correntes observados e previstos) são muitas vezes escassos ou indisponíveis. Mesmo assim, o modelador deve examinar os dados e tentar entender os processos físicos e químicos que provavelmente irão afetar o movimento e comportamento da mancha de hidrocarboneto, em causa.

Com a compreensão dos processos físicos, o modelador pode providenciar uma previsão para o diretor e coordenador da resposta. Se a previsão inicial for

imprecisa, o que pode acontecer devido a dados errados relativos à mancha de hidrocarbonetos (por exemplo, a localização e a quantidade derramada) e/ou dados ambientais errados (por exemplo as previsões meteorológicas) e por limitações do modelo, a equipa de modelação revê a nova informação e refina a previsão. Geralmente, à medida que a mancha se espalha, a previsão do movimento e comportamento do hidrocarboneto melhora porque a qualidade e quantidade de dados observados no local melhora (enquanto que a mancha derramada inicialmente se torna relativamente menos importante).

Incerteza

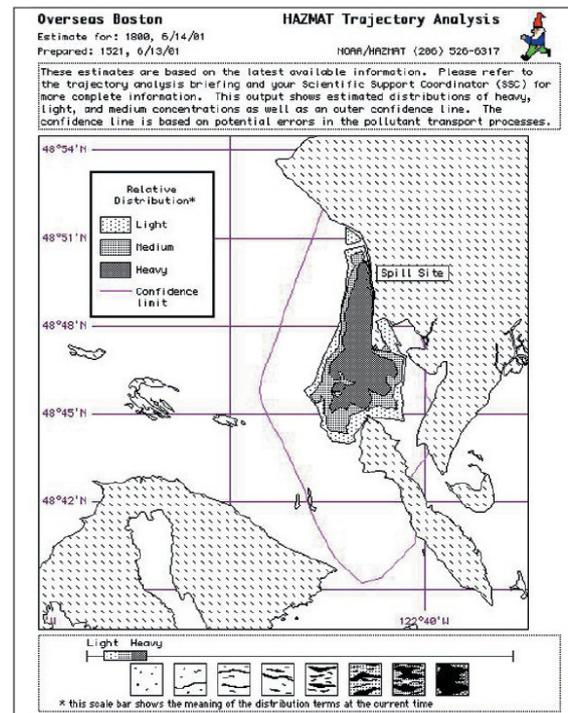
A previsão da deriva deve incluir não apenas “a melhor probabilidade” do movimento e comportamento do hidrocarboneto, mas também a representação da incerteza dos dados da mancha e ambientais utilizados para fazer essa previsão. A incerteza na previsão da deriva depende do comprimento e escala temporal do derrame. A tabela seguinte indica a incerteza para os dados introduzidos, requerida pela maioria dos modelos de previsão de derrames de hidrocarbonetos. Deve notar-se que a incerteza dos resultados desses modelos não é necessariamente diretamente proporcional à incerteza dos dados introduzidos no modelo.

Incerteza para dados introduzidos, requerida pela maioria dos modelos de previsão da deriva de hidrocarbonetos derramados

Categoria	Parâmetro	Incerteza
Detalhes do derrame	Localização da mancha	Baixa—Média
	Duração do derrame (tempo)	Baixa—Média
	Tipo de hidrocarboneto (densidade, viscosidade)	Média—Alta
	Volume derramado potencial	Baixa
	Volume derramado atual	Alta
	Taxa de derrame	Alta

Categoria	Parâmetro	Incerteza
Envelhecimento do hidrocarboneto	Produtos refinados leves	Baixa
	Intermediate Fuel Oils (IFO 180, IFO 380, Bunker C, Fuel Oil 46)	Alta
	Crudes pesados estudados (Prudhoe Bay, Arabian, Ekofish, Hibernia)	Baixa
	Crudes	Média—Alta
Ventos	Observações	Baixa
	Previsões de 24 a 48h	Baixa—Média
	Previsões de 48h a 5 dias	Média—Alta
	Deriva do vento (tipicamente de 1 a 6%)	Baixa
Correntes superficiais	Rio	Baixa
	Zonas de maré com correntes atuais (a não ser que as correntes sejam fracas e variáveis)	Baixa
	Lagoa com águas rasas	Baixa—Média
	Plataforma (configuração do vento)	Média
	Talude continental (corrente do golfo, corrente da Califórnia)	Baixa
	Planície Abissal	Alta
Turbulência	Espalhamento	Média
	Difusão horizontal	Baixa—Média

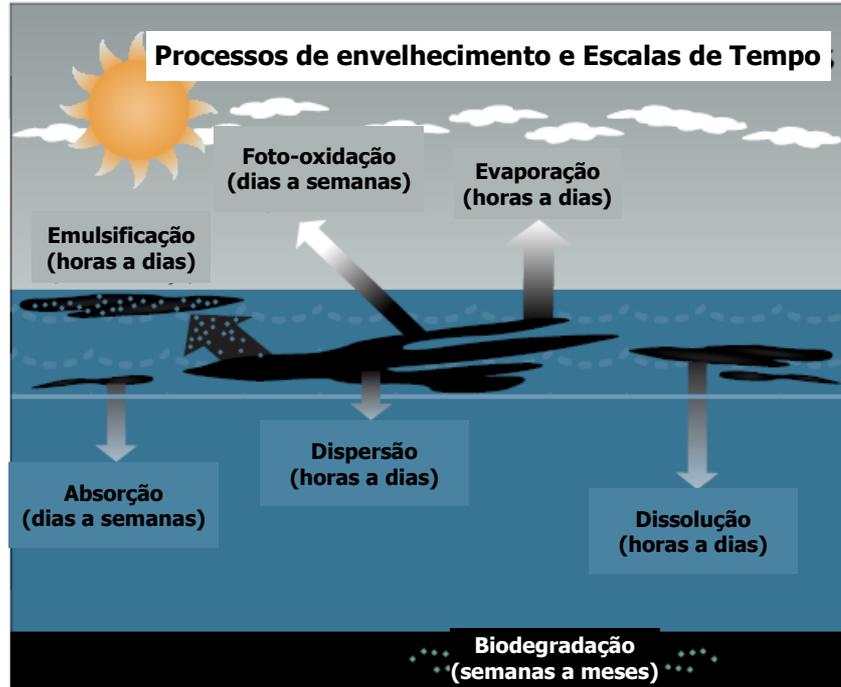
Idealmente, a previsão da deriva deve ser disponibilizada num formato de fácil compreensão. Deve indicar tanto a previsão como a incerteza. Neste exemplo, a “melhor probabilidade” da previsão do movimento do hidrocarboneto é a camada superior num mapa da costa. A previsão é apresentada com contornos leves, médios e carregados. A escala no fundo do mapa representa a percentagem de cobertura da superfície com hidrocarbonetos, dentro desses contornos. Os erros plausíveis nos dados da mancha e ambientais foram explorados pela equipa modeladora; o contorno colorido exterior representa o limite com um grau de confiança de 90%. Isto dá uma indicação da incerteza na previsão.



Exemplo de um mapa de previsão da deriva

Processos de Envelhecimento e escala temporal

As características físicas e químicas dos hidrocarbonetos mudam quase automaticamente assim que são derramados no ambiente marinho. Estas alterações são devidas aos processos de evaporação, dispersão, emulsificação, dissolução, oxidação, sedimentação e biodegradação. Todos estes processos interagem com cada um dos outros e são referidos coletivamente como processos de envelhecimento do hidrocarboneto. A tabela seguinte descreve alguns dos processos de envelhecimento e as escalas temporais desses processos, importantes para a resposta a emergências.



Processos de Envelhecimento e escalas temporais importantes para a resposta a emergências

Processo	O que é?	Porque é importante	Escala temporal
Evaporação	Conversão da fase líquida para a fase gasosa. Os hidrocarbonetos perdem Primeiro as frações mais leves.	Processo que mais contribui para a diminuição do volume do hidrocarboneto, principalmente nos leves. A 15°C a gasolina evapora-se totalmente ao fim de dois dias, 80% do gasóleo evapora, 40% dos crudes mais leves, 20% dos crudes pesados, e apenas cerca de 5-10% do Bunker C.	< 5 dias
Emulsificação (mousse)	Gotas muito pequenas de água misturam-se com o hidrocarboneto líquido. A quantidade de água incorporada por vezes atinge os 50-80%. Ocorre na água, mas necessita de alguma agitação.	Pode aumentar a quantidade de poluente a ser Recolhida num fator de 2-4. Ablanda outros processos de mistura.	O início pode ser atrasado dias, mas uma vez iniciado ocorre rapidamente.
Dispersão natural	Separação de uma mancha de hidrocarbonetos em pequenas partículas que se misturam com a água por ação das ondas.	Remove os hidrocarbonetos da superfície da água	< 5 dias
Dissolução	Mistura dos componentes solúveis dos	A maioria dos compostos dos hidrocarbonetos solúveis na água são tóxicos.	< 5 dias

Processos de Envelhecimento e escalas temporais importantes para a resposta a emergências

Processo	O que é?	Porque é importante	Escala temporal
Biodegradação	Degradação dos hidrocarbonetos por bactérias em compostos mais pequenos, e eventualmente em água e carbono.	A taxa de dissolução depende do tipo de hidrocarboneto, da temperatura, dos nutrientes, do oxigénio e da quantidade de hidrocarboneto.	Semanas a meses
Formação de bolas de alcatrão	Divisão de manchas de hidrocarbonetos pesados e óleos refinados em pequenos pedaços que persistem em grandes extensões.	As bolas de alcatrão são difíceis de detetar, de tal maneira que por vezes parece que a mancha se afastou, no entanto ela continua a ser uma ameaça.	Dias a semanas

Evaporação

A evaporação pode ser o melhor processo de remoção de hidrocarbonetos. A quantidade evaporada depende principalmente das propriedades do hidrocarboneto, da velocidade do vento e da temperatura da água.

Geralmente, produtos refinados leves, como a gasolina ou o gasóleo de aviões (jet fuel), evaporam mais rapidamente do que os produtos mais pesados, como é o caso dos crudes pesados. Na tabela é possível ver que a maioria da gasolina se evapora em poucas horas. Os crudes Lagomedio e Prudhoe Bay são mais persistentes no ambiente e têm taxas de evaporação muito mais baixas, 38% e 28%, respetivamente. Após 120 horas, espera-se que a maioria do produto permaneça à superfície da água.

Percentagem evaporada após determinado tempo, no caso do derrame instantâneo de 100 barris, com ventos de 10 nós e temperatura da água de 20°C:

	% Evaporada	Tempo (horas)
Gasolina	94	1
Lagomedio	38	18
Diesel fuel oil	37	18
Prudhoe Bay	28	70

Dispersão

A rebentação das ondas pode conduzir pequenas partículas do hidrocarboneto ao longo da coluna de água. Se as partículas forem suficientemente pequenas (diâmetro < 50-70 micrómetros) a turbulência natural da água vai impedir que o hidrocarboneto volte à superfície, tal como a turbulência no ar mantém pequenas partículas de pó em suspensão. As pequenas partículas que se mantêm na coluna de água consideram-se dispersadas.



A dispersão pode ser um mecanismo de remoção do hidrocarboneto da superfície da água. A quantidade dispersada depende das propriedades do hidrocarboneto (viscosidade e tensão superficial, em particular) e das condições da água.

Hidrocarbonetos com menor viscosidade, como a gasolina ou o kerosene, têm maior tendência a dispersarem-se na água com a rebentação das ondas do que hidrocarbonetos muito viscosos, como o IFO 380 ou o crude pesado Oficina. Assim sendo, as frações dispersadas de gasolina ou querosene podem ser relativamente grandes em mares mais turbulentos.

Uma possibilidade de atuação face a um derrame de hidrocarbonetos é pulverizar a mancha com dispersantes químicos. Os dispersantes químicos aumentam a dispersão natural na medida em que baixam a tensão superficial dos hidrocarbonetos.

Este guia não fala sobre o movimento dos hidrocarbonetos abaixo da superfície da água, devido à dificuldade em prever a deriva do hidrocarboneto dispersado.

Dissolução

A dissolução começa imediatamente e é provável que continue ao longo de todo o processo de envelhecimento.

A perda de hidrocarbonetos através da dissolução é menor quando comparada com os outros processos de envelhecimento.

O volume que realmente se dissolve na coluna de água corresponde a menos de 0,1%, para os hidrocarbonetos muito pesados, até aos 2%, no caso da gasolina. No entanto, os componentes do hidrocarboneto que se dissolvem na coluna de água são frequentemente mais tóxicos para o ambiente.

Exemplos da solubilidade de diferentes hidrocarbonetos

<u>Hidrocarboneto</u>	<u>Solubilidade na água (mg/L)</u>
Gasolina sem chumbo	260,9
Gasóleo	60,4
Crude Prudhoe Bay	20,5
Lagomedio	10,0

Emulsificação

Para a maioria dos crudes e muitos dos produtos refinados, é provável que, ao longo do processo de envelhecimento do hidrocarboneto, este atinja um estágio no qual gotículas de água se misturam com o hidrocarboneto, formando uma emulsão água no óleo, ou “mousse”.

A capacidade para formar uma emulsão depende das condições da água e das propriedades químicas do hidrocarboneto. Por exemplo, hidrocarbonetos com um conteúdo elevado de ceras e asfaltenos, como o crude Prudhoe Bay, emulsionam-se facilmente desde que haja rebentação das ondas. Uma vez emulsificado, a viscosidade do hidrocarboneto pode aumentar largamente (ver tabela).

Geralmente, o hidrocarboneto perde parte do seu volume antes de formar uma emulsão. Apesar do início da emulsão poder demorar vários dias, a emulsão propriamente dita pode ocorrer em poucas horas.

A emulsão pode conter 70 a 90% de água de modo que o volume da mistura hidrocarboneto água pode ser muito superior ao volume original do derrame.

As emulsões são muitas vezes classificadas pela sua estabilidade. Nas emulsões instáveis, a água e o hidrocarboneto separam-se facilmente quando sujeitos a condições calmas e temperaturas amenas. Nas emulsões estáveis, a água permanece no hidrocarboneto por semanas até meses.

Exemplos de viscosidades

Produto	Viscosidade à temperatura ambiente (cP)
Água	1
Gasóleo	10
Crude Prudhoe Bay	46
Crude Prudhoe Bay após emulsificação	250000
Lagomedio	20
Lagomedio após emulsificação	300000
Mel	10000
Manteiga de amendoim	1000000

Sedimentação

A sedimentação define-se como a adesão do hidrocarboneto a partículas sólidas na coluna de água. O hidrocarboneto pode aderir aos sedimentos na coluna de água e pode eventualmente ser encontrado nos sedimentos do fundo.

Em águas turbulentas com elevadas cargas de sedimentos ($\sim 500 \text{ g/m}^3$), como um rio rápido e lamacento, o hidrocarboneto pode ser movimentado através da coluna de água algumas horas após o derrame inicial.

Em águas com baixas cargas de sedimentos ($< 5 \text{ g/m}^3$), como no mar aberto, o hidrocarboneto pode permanecer à superfície durante muito mais tempo (semanas), espalhando a mancha por uma área muito vasta.

Diferentes concentrações de partículas finas na água



- A) $10,000 \text{ g/m}^3$
- B) 1000 g/m^3
- C) 100 g/m^3
- D) 10 g/m^3
- E) 1 g/m^3

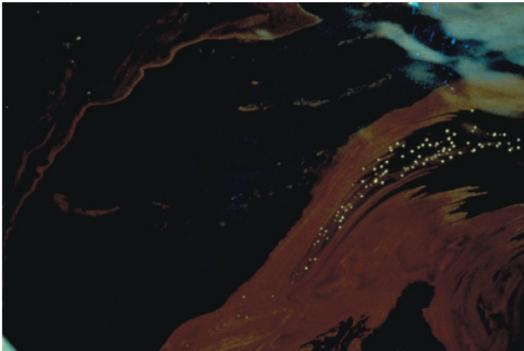
Foto-oxidação

A luz solar altera as propriedades químicas e físicas do hidrocarboneto derramado.

Este processo limita-se à superfície do hidrocarboneto e pode ter como resultado uma camada fina e crocante nas manchas ou bolas de alcatrão.

Pensa-se que esta “cobertura” do hidrocarboneto limita a evaporação porque os compostos mais leves já não se conseguem difundir através da superfície da mancha.

A foto-oxidação pode aumentar a facilidade de emulsificação e é considerada um processo de envelhecimento de longo prazo que pode demorar de semanas a meses.



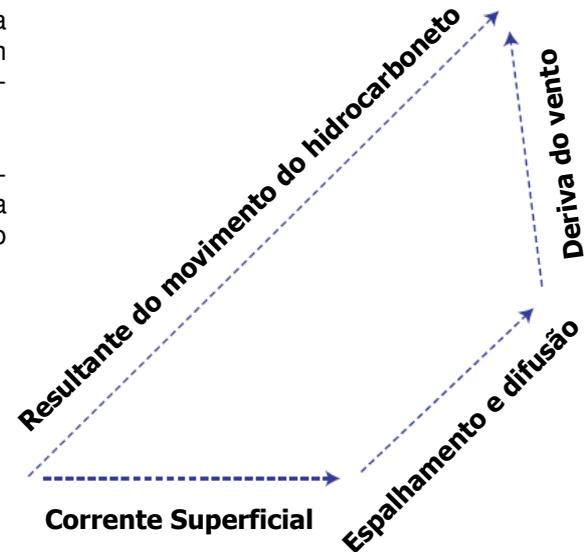
Fotografia que mostra uma faixa larga de hidrocarboneto com uma camada crocante à superfície. Os pontos brancos na figura são cartas de deriva de 3 e 4 polegadas, colocados na água para ajudar a seguir o movimento do hidrocarboneto.

Transporte do hidrocarboneto

Os dois maiores processos de transporte de hidrocarbonetos derramados na água são o espalhamento e a advecção. Para pequenos derrames (< 100 barris), o processo de espalhamento completa-se na primeira hora após o derrame.

Ventos, correntes e a turbulência de larga escala (mistura) são mecanismos de advecção que podem transportar os hidrocarbonetos ao longo de grandes distâncias.

Em geral, o movimento do hidrocarboneto pode ser estimado como a soma do vetor vento (utilizando 3% da velocidade do vento), corrente superficial e espalhamento e turbulência de larga escala (difusão).



Espalhamento do hidrocarboneto

O processo de espalhamento ocorre rapidamente e, para a maioria dos derrames, maioritariamente na primeira hora. No mar aberto, ventos, correntes e turbulência movimentam o hidrocarboneto rapidamente.



O espalhamento irá ocorrer mais rapidamente no caso de hidrocarbonetos mais leves ou menos viscosos em águas temperadas e para hidrocarbonetos com temperaturas amenas.

A mancha não se espalha uniformemente, tendo muitas vezes uma parte mais espessa rodeada por uma película mais larga mas mais fina. A figura mostra uma imagem a cores trabalhada de um derrame experimental. A parte laranja corresponde à zona mais espessa da mancha e a área cor de rosa, ao brilho (menos espessa). Note-se que cerca de 90% do hidrocarboneto se encontra em 10% da área da mancha (parte laranja na figura).

Imagem a cores, trabalhada, de um derrame para teste (<50 barris)

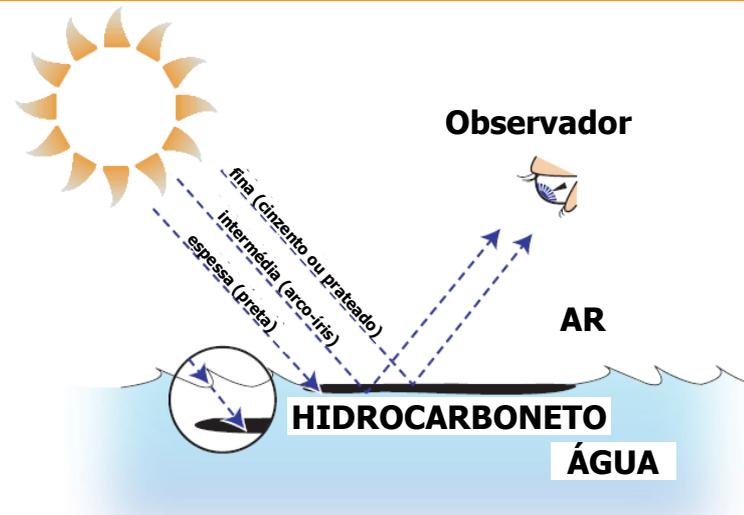
Espessura do hidrocarboneto

As manchas de hidrocarbonetos formam películas finas no mar aberto e, dependendo do tipo de produto, a espessura pode variar de um décimo de micrón até centenas de micrones. Desde 1929, investigadores de derrames de hidrocarbonetos têm estudado a relação entre a espessura do hidrocarboneto e a cor da película.

Quando a luz do sol direta contata com uma película de hidrocarboneto muito fina ($< 0,1 \mu\text{m}$), muita da luz é refletida para o observador (ver figura) como um brilho acinzentado ou prateado. Se a película for menor (de 0, 1 a $3 \mu\text{m}$), a luz passa através da película e é refletida através da interface hidrocarboneto-água de volta para o observador. Este vê uma película cuja cor varia desde arco-íris a brilhos coloridos e escuros.

Para películas muito espessas ($> 3 \mu\text{m}$), a luz é absorvida e a mancha tem uma aparência escura com cor (isto é, preta ou castanha) para o observador. No entanto, o observador já não consegue determinar a espessura com base na cor. Se a mancha é de uma cor escura o observador já não consegue dizer se a película tem 3 ou $100 \mu\text{m}$ de espessura.

O ângulo de incidência do sol, o brilho, o estado do mar, o ângulo de visão e a observação através de janelas, pode afetar a aparência da mancha, logo a espessura estimada com base na cor não é confiável. O cálculo do volume de hidrocarboneto derramado também requer uma estimativa da percentagem de cobertura, que é uma tarefa difícil.



Películas muito finas: não ocorre mudança de fase ou reflexão e todas as frequências são refletidas de volta (acinzentado ou prateado).

Películas intermédias: a mudança de fase depende do comprimento de onda ou cor e da distância percorrida através do hidrocarboneto (arco-íris).

Películas espessas: a luz é absorvida (castanho ou preto).

A previsão de deriva tipicamente não fornece boa informação sobre a espessura da mancha.

Ventos

Os ventos afetam a deriva de três formas principais:

- 1) Envelhecimento do hidrocarboneto
- 2) Efeitos na superfície da água
- 3) Transporte direto

Efeitos do vento na deriva do hidrocarboneto

		Velocidade do vento	
		Baixa < 5 nós	Alta > 25 nós
Evaporação	_____	_____ aumenta _____	_____>
Dispersão	_____	_____ aumenta _____	_____>
Espalhamento	_____	_____ aumenta _____	_____>
Convergência	_____ natural _____	_____ Langmuir _____	_____>
Observação	_____ boa _____	_____ pobre _____	_____>

Escala da velocidade do vento

A escala de vento Beaufort foi denominada após o Almirante Sir Francis Beaufort, que a desenvolveu em 1805 para estimar a velocidade do vento através da observação do estado do mar. A tabela fornece uma aproximação alternativa para estimar a velocidade do vento, particularmente útil se se estiver a observar a partir de uma aeronave. A tabela da página seguinte mostra a Escala de Vento Beaufort para a velocidade do vento e as características do mar correspondentes.

Estimativa da velocidade do vento a partir de um helicóptero

<u>Velocidade do vento</u>	<u>Ondulação</u>
0 a 5 nós	forma circular ou sinusoidal
5 a 10 nós	forma cicloide (picos pontiagudos)
10 nós	rebentação das ondas
15 nós	do topo das ondas soltam-se salpicos
20 nós	estrias de espuma arrastam-se atrás das ondas
> 20 nós	dificuldade em observar a superfície do hidrocarboneto

Escala Beaufort (vento) e Douglas (mar)

Força do Vento		Velocidade do Vento			Efeitos		Estado do Mar	
Nº	Designação	m/s	Nós	Gráfico	No mar	Em terra	Designação	Altura da vaga (m)
0	Calma (calm)	0,0-0,2	<1		Espelhado ou estanhado.	Folhas imóveis. O fumo sobe verticalmente.	Estanhado (calm-glassy)	0 0
1	Aragens (light air)	0,3-1,5	1-3		Formam-se como que escamas na superfície, sem cristas de espuma.	A direção do vento define-se pelo fumo mas não chega a desfraldar as bandeiras. Tremem as folhas das árvores.	Chão (calm-rippled)	1 0,00-0,10
2	Fraco (light breeze)	1,6-3,3	4-6		Encrespado. Há pequenas cristas de espuma transparente.	Sente-se o vento na cara. Movem-se as folhas das árvores. Geralmente, movem-se também as bandeiras.	Encrespado (smooth)	2 0,20-0,35
3	Bonanzoso (gentle breeze)	3,4-5,4	7-10		Pequenas vagas cujas cristas começam a rebentar. Algumas cristas brancas.	As folhas das árvores agitam-se constantemente. Desfraldam-se as bandeiras.	Pequena Vaga (slight)	3 0,35-0,50 0,50-1,00
4	Moderado (moderate breeze)	5,5-7,9	11-16		Pequenas vagas com tendência para aumentarem de comprimento. Numerosas cristas brancas.	Levanta-se poeira e pequenos papéis. Movem-se os ramos pequenos das árvores.	Cavado (moderate)	4 1,25-1,50 1,50-2,50
5	Fresco (fresh breeze)	8,0-10,7	17-21		Vaga moderada. Há cristas brancas em todas as direções. Alguns borrifos.	Movem-se as árvores pequenas. Formam-se pequenas vagas nos lagos.	Grosso (rough)	5 2,50-4,00
6	Muito fresco/frescalhão (strong breeze)	10,8-13,8	22-27		Começam a formar-se grandes vagas. Aumenta o número de cristas brancas. Borrifos abundantes.	Movem-se os ramos grandes das árvores. Sibilam os fios do telégrafo. Dificuldade em conservar os guarda-chuvas abertos.	Alteroso (very rough)	6 4,00-5,50 5,50-6,00
7	Forte (near gale)	13,9-17,1	28-33		A espuma branca das vagas que rebentam começa a fazer riscos.	As árvores sacodem-se. Dificuldade em andar contra o vento.	Tempestuoso (high)	7 6,00-7,50 7,50-9,00
8	Muito forte/Muito rijo (gale)	17,2-20,7	34-40		Vagas de grande comprimento. A espuma das cristas é arrastada pelo vento originando riscos muito bem marcados.	Partem-se os ramos pequenos das árvores. Geralmente não se pode andar contra o vento.	Encapelado (very high)	8 9,00-10,00 10,0-12,0 12,00-14,00
9	Tempestuoso (strong gale)	20,8-24,4	41-47		Vagas muito altas, começando a enrolar. Os borrifos afetam a visibilidade.	Ligeiras avarias nos edifícios. Caem as chaminés e levantam-se telhas.	Excepcional (Phenomenal)	9 14,00-16,00 >16,00
10	Temporal (storm)	24,5-28,4	48-55		Vagas muito altas ficando o mar todo branco pela abundância de espuma. Visibilidade reduzida.	Arranca as árvores e produz grandes estragos nos edifícios.		
11	Temporal desfeito (violent storm)	28,5-32,7	56-63		Vagas excepcionalmente altas. Visibilidade muito reduzida.	É muito raro. Produz grandes estragos em toda a parte.		
12	Furacão (hurricane, typhoon)	≥32,7	≥64		As vagas atingem alturas desmedidas. A visibilidade é seriamente afetada.			

Deriva pelo vento

A observação dos derrames atuais e de experiências controladas indicam que a deriva pelo vento pode variar entre 1 a 6% da velocidade do vento (a maior parte dos modeladores utiliza o valor médio 3%). O valor mais baixo reportado, 1%, pode ser devido ao fato de algumas das partículas de hidrocarboneto serem submergidas pelas ondas. A circulação de Langmuir pode também resultar na variação da deriva pelo vento. Os hidrocarbonetos que formam cordões podem aumentar a velocidade a que se movimentam para 5,5% da velocidade do vento. Esta hipótese deve ter em consideração o valor de mais alto reportado em derrames, 6%.

Enquanto a teoria oceanográfica prevê um ângulo entre a corrente superficial e a velocidade do vento, as observações da trajetória de manchas sugere que o ângulo atual é menor que 10° . As previsões da direção do vento não são tipicamente tão precisas e alguns modeladores incluem um ângulo de rotação nos seus cálculos.

Muitos modeladores utilizam velocidades do vento medidas 10m acima da superfície da água. As observações a outras alturas são ajustadas através de técnicas de standardização para o valor standard de 10m.

Deve ter-se em conta que a direção do vento é comumente reportada como a direção da qual o vento sopra e a corrente superficial é reportada como a direção para a qual a água corre. Isto significa que um vento norte e uma corrente de sul se movem na mesma direção.



Cordões

Correntes

A corrente superficial é um mecanismo para o transporte de hidrocarbonetos. As correntes são um fator importante na determinação na escala temporal e comprimento de um derrame.

- A circulação oceânica pode transportar hidrocarbonetos ao longo de milhares de milhas durante meses ou anos.
- O fluxo oceânico costeiro pode transportar hidrocarbonetos ao longo de centenas de milhas em algumas semanas.
- A circulação estuarina pode transportar hidrocarbonetos ao longo de dezenas de milhas em alguns dias.
- Os rios podem transportar hidrocarbonetos ao longo de dezenas de milhas em algumas horas ou dias.

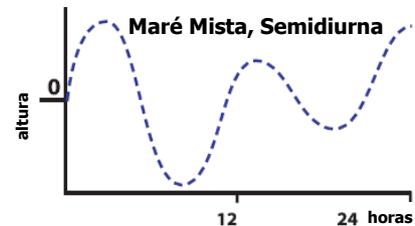
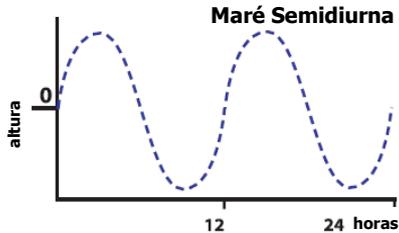
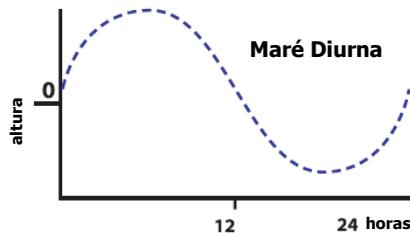


Padrões de maré

Em algumas áreas costeiras existe um padrão de uma baixa-mar e uma preia-mar por dia. Este padrão de maré é chamado maré diurna.

O padrão dominante na maioria dos oceanos do mundo é de dois ciclos de maré onde a sequência de maré baixa-maré alta ocorre duas vezes por dia. Se a maré alta e baixa no período semidiurno ocorre a níveis diferentes, a maré é referida como mista, maré semidiurna.

O padrão de maré previsto astronomicamente é muitas vezes modificado por outros fatores. Os ventos atuam na superfície do mar e a pressão atmosférica pode modificar o nível do mar. Este tipo de eventos é particularmente importante em áreas de águas rasas. Fortes tempestades na costa podem modificar marcadamente os padrões de maré numa determinada área.

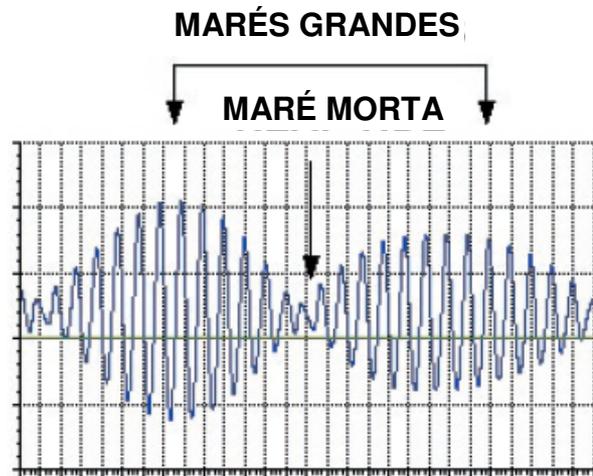


Marés grande e morta

Maré grande é a maré mais alta e mais baixa, que ocorre duas vezes por mês nas fases lua nova e lua cheia.

Marés mortas são o oposto das marés grandes: o intervalo de maré entre a alta e a baixa é menor e ocorre próximo da altura do quarto minguante e quarto crescente.

As marés grandes podem ser importantes na resposta a derrames de hidrocarbonetos, pois à medida que o hidrocarboneto contamina a praia durante este tempo é provável que permaneça “encalhado” na zona superior da costa até à próxima maré grande (cerca de 14 dias) ou até um evento tempestuoso. Se surgir uma trovoadá durante uma maré grande, o hidrocarboneto pode permanecer “encalhado” durante um período muito mais longo.



Correntes de maré

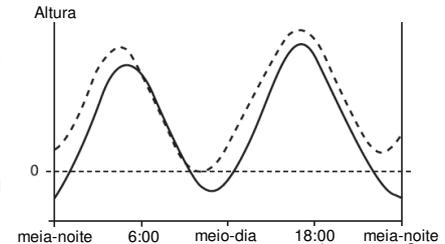
As correntes de maré mais fortes ocorrem em áreas rasas ou através de canais estreitos que fazem a ligação a grandes massas de água.

As correntes nos canais (ou seja, à entrada de baías e estuários) são forçadas a fluir quer canal acima quer canal abaixo. Em águas abertas, o fluxo depende da direção da onda de maré.

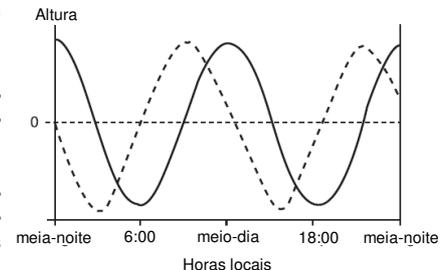
Ao longo de costas exteriores, as correntes e alturas de maré têm uma fase mais próxima (onda progressiva).

As correntes de maré normalmente estão fora de fase, em termos da altura das marés, dentro de baías fechadas (onda estacionária). A mudança de fase também pode ser causada pela fricção no fundo.

Correntes e alturas de maré à entrada da Baía de Galveston. A linha sólida corresponde à altura da maré e a linha pontilhada são as correntes de maré. (fig. superior).



Correntes e alturas de maré à entrada do porto de Portland, Baía De Casco, Maine. A linha sólida corresponde à altura de maré e a linha pontilhada são as correntes de maré. (fig. inferior). Note que a inundação máxima ocorre cerca de 3 horas antes da maré alta.



Percurso de maré

O modelador da previsão da deriva é muitas vezes questionado sobre a possibilidade de um determinado derrame no mar alto se deslocar até uma baía ou estuário. Para responder a esta questão, uma das primeiras coisas a verificar é o percurso da maré para a entrada da baía ou estuário. Se o derrame estiver alguns próximos do percurso de entrada da maré, o hidrocarboneto pode mover-se para dentro da baía com a maré.

É importante ter em mente que o percurso da maré depende muito da batimetria. Em áreas onde o fundo é muito amplo e liso, a influência da maré diminui rapidamente. Em canais longos e estreitos, a influência da maré pode ser muito maior.

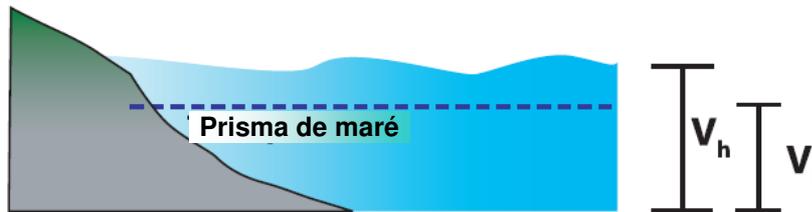
Percurso de maré = $V (T/\pi)$

Para calcular o percurso de maré, o T = tempo entre duas zonas calmas baixas (ou entre duas zonas calmas altas), V = velocidade máxima da corrente de maré.

Fluxo

O volume de água trocado entre um estuário e o mar aberto durante um ciclo de maré completo é muitas vezes chamado de prisma de maré. Na figura, a diferença entre o volume de água na maré baixa (abaixo da linha pontilhada) e a maré alta (abaixo da linha ondulada da água) é o prisma de maré.

O método do prisma de maré para estimar o fluxo assume que a entrada de água na maré cheia é fortemente misturada com a água dentro do estuário. Também assume que o volume de água de água do rio e do mar durante a maré cheia é igual ao prisma de maré.



Para calcular o tempo de fluxo, primeiro mede-se a área do estuário num mapa. Segundo, calcula-se o volume do estuário na maré baixa, selecionando a profundidade que melhor representa o estuário. Em terceiro, calcula-se o volume do estuário na maré alta, V_h . Final-

mente, o tempo de fluxo pode ser calculado através da fórmula $f_t = (V_h / (V_h - V_l)) \times t_c$, onde t_c é o tempo de um ciclo de maré (desde a maré baixa até à maré alta) e V_l é o volume de água no estuário na maré baixa.

Este é o procedimento geral, mas o método pode subestimar o tempo de fluxo devido a mistura incompleta; a água doce no início do estuário pode não se mover até à foz deste num ciclo de maré e alguma água que escapa na vazante retorna na maré cheia. Tempos de fluxo subestimados podem significar que o hidrocarboneto permanece no estuário durante mais tempo do que o previsto.

Mistura Turbulenta

O hidrocarboneto derramado é sujeito a um fluxo turbulento. A turbulência oceânica é gerada por ventos e correntes, e por aquecimento e arrefecimento. O fluxo nas camadas superiores da água torna-se mais turbulento. À medida que o vento e a corrente aumentam.

A difusão turbulenta, originada pelos movimentos aleatórios da massa de água, desagrega a mancha de hidrocarboneto em pequenas manchas que são distribuídas por uma área maior.

A difusão do hidrocarboneto ocorre principalmente na horizontal. A difusão horizontal à superfície da água varia de 100 a 1000000 cm²/s.

A difusão na direção vertical é muito inferior em termos de magnitude do que a difusão horizontal e geralmente diminui com a profundidade.

A difusão turbulenta não deve ser confundida com a dispersão mecânica (isto é, com a mistura causada pela rebentação das ondas).



Derrame do Exxon Valdez

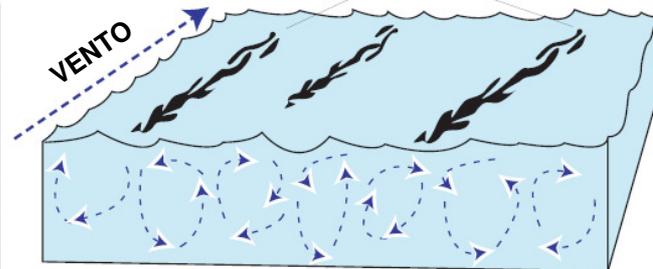
Circulação de Langmuir

A circulação de Langmuir é o resultado da interação entre as correntes superficiais resultantes do vento e as ondas superficiais. Sendo assim, a circulação de Langmuir pode estar presente em situações de vento fraco ou inexistente, mas é mais frequente quando a velocidade do vento é de 1,5m/s ou mais. A circulação de Langmuir é o maior mecanismo para a fragmentação da mancha de hidrocarbonetos e pode ser importante no transporte de partículas de hidrocarbonetos ao longo da coluna de água. Prever o seu início e força na melhor das hipóteses difícil, mas deve-se saber o seguinte:

1. Os cordões ou estrias tendem a permanecer por 5 a 30 minutos, depois dissipam-se e voltam a formar-se.
2. A corrente superficial, mais forte nos cordões, pode aumentar para 5,5% da velocidade do vento.
3. O abatimento (vertical) acelera no intervalo de convergência de 5 cm/s para 20 cm/s.



Hidrocarbonetos em cordões, ou células de Langmuir



Células de Langmuir na camada mista profunda

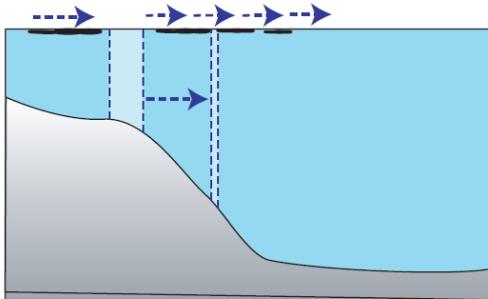
Convergências de maré

As convergências são áreas de concentração natural dos hidrocarbonetos, especialmente de bolas de alcatrão. Devido ao fato de serem coletadas muito próximas podem unir-se e formar uma mancha coesa.

As convergências de maré podem ser formadas pelo movimento da água desde águas rasas para águas profundas (maré-baixa). Para conservar a massa, a velocidade superficial decresce.

Destroços, aves transportadas pelas correntes, e hidrocarbonetos podem ser recolhidos nessas áreas.

Sob condições de vento fraco, o hidrocarboneto pode não atravessar convergências. Ventos fortes podem “romper” a convergência. No entanto, a convergência de maré pode surgir de forma consistente na mesma área geral durante a maré-baixa



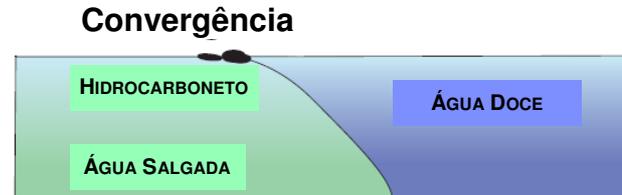
A coluna de água move-se desde águas rasas para águas profundas.

Interface água doce—água salgada

Tal como as convergências de maré, o interface água doce—água salgada também é uma área de concentração natural para os hidrocarbonetos. No entanto, este tipo de convergência é formado pelo fluxo de água que corre de um rio para o mar, espalhando-se pela água do mar.

A água doce é menos densa do que a água salgada, criando uma convergência à superfície.

Ventos fortes podem romper estas convergências.



Interface água doce—água salgada com uma película de hidrocarboneto movendo-se para a convergência.

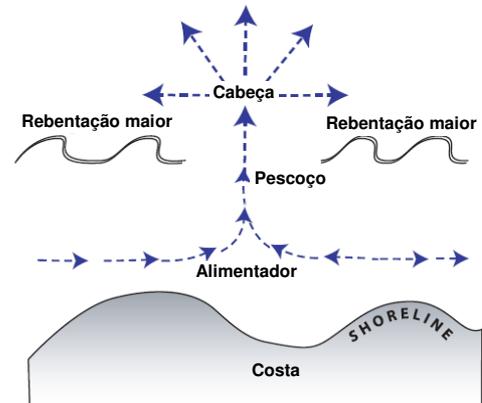
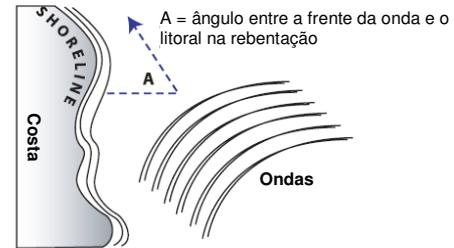
Correntes ao longo da costa

As correntes ao longo da costa são produzidas pela aproximação das ondas, num ângulo oblíquo, à linha de costa alongando suavemente a praia.

A velocidade e direção das correntes ao longo da costa aumenta com a altura das ondas e com um aumento no ângulo da frente da onda.

À medida que a corrente se aproxima dos 1,5 m/s forma-se frequentemente um jato que volta num fluxo em direção ao mar, na forma de correntes que rasgam a massa de água.

Este tipo de corrente é muito importante para o propósito de previsão da deriva, na medida em que coloca à disposição um mecanismo para o transporte de hidrocarbonetos em áreas próximas da costa para além da rebentação e em mar alto.



Formação de correntes ao longo da costa

“Encalhe”/Reflutuação

As correntes oceânicas atualmente não conseguem trazer os hidrocarbonetos até ao contato destes com a costa, a não ser que exista algum tipo de fluxo que penetre na linha de costa (por exemplo, pântanos e mangues). A primeira fotografia mostra o movimento de uma mancha de hidrocarbonetos a mover-se num pântano na maré cheia.



Hidrocarbonetos num pântano

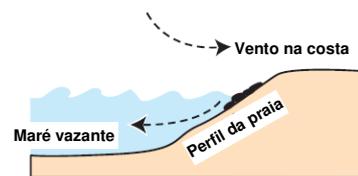


Estrias de hidrocarbonetos deslocando-se paralelamente à costa

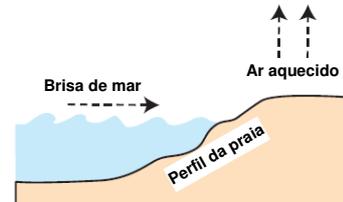
Brisa terra/mar

Uma maré vazante com um vento costeiro aumenta grandemente a quantidade de costa contaminada por hidrocarbonetos (ver primeira figura). Uma brisa do mar pode levar o hidrocarboneto para a costa.

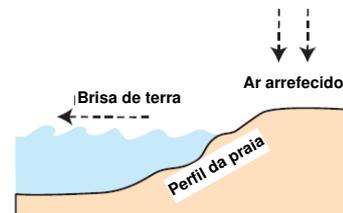
O ciclo brisa terra/mar ocorre em muitas áreas costeiras e é originado pelo aquecimento da terra durante o dia e pelo arrefecimento à noite (ver segunda e terceira figuras). Em algumas áreas, a brisa da terra e do mar pode estender-se a muitas milhas da costa.



Os hidrocarbonetos dão à costa com a maré vazante e vento em terra



Aquecimento da terra e brisa do mar (do mar para terra) durante o dia



Arrefecimento da terra e brisa de terra (de terra para o mar) durante a noite

Sumário

Para desenvolver uma “imagem” da deriva, o analista deve olhar para os componentes considerados em cada modelo e considerar os processos descritos neste guia. Os principais componentes de cada modelo serão:

Dados do derrame

- Localização do derrame
- Tipo de hidrocarboneto
- Volume derramado
- Tempo/Tipo de descarga (instantânea ou contínua? Fonte fixa ou móvel?)

Dados ambientais

- Vento
- Correntes (larga-escala, maré, fluxo de rio, etc.)
- Alturas de maré
- Difusão

Alguns dos processos neste guia são tipicamente não modelados e o modelador deve ter em conta para estes processos a incerteza incluída no final da previsão da deriva:

- Espessura do hidrocarboneto
- Convergências
- Variações locais nas marés astronómicas
- Correntes de pequena escala (isto é, em torno de pilares ou molhes)
- Meteorologia de pequena escala

Dar à costa hidrocarbonetos que chegam à costa.

Biodegradação degradação do hidrocarboneto em compostos mais pequenos, eventualmente água e carbono, por ação de bactérias.

Convergência áreas onde as águas superficiais se juntam. São áreas naturais de concentração de hidrocarbonetos, principalmente de bolas de alcatrão.

Difusão turbulência de larga escala que mistura o hidrocarboneto derramado.

Dispersão separação do hidrocarboneto em pequenas partículas que são misturadas com a água graças à energia do mar. Se as partículas forem suficientemente pequenas, vão permanecer na coluna de água.

Dissolução mistura dos compostos do hidrocarboneto solúveis em água com a água.

Maré diurna áreas costeiras com uma baixa-mar e uma preia-mar a cada dia.

Emulsificação pequenas gotas de água misturadas com o hidrocarboneto líquido, tornando-o mais espesso e com a consistência de “mousse com chocolate”. O conteúdo em água por vezes atinge os 50-80%.

Evaporação conversão de um líquido na fase gasosa

Destroços Lixo, ou resíduos, à superfície a água

Fluxo revolvimento da água de um estuário ou porto

Interface água doce-água salgada tipo de convergência que se forma quando a água do rio flui para o mar e se espalha pela água do mar. Tal como as convergências de maré, este interface é uma área natural de concentração de hidrocarbonetos.

Circulação de Langmuir o vento induz um movimento na água que leva a cordões, ou estrias, de hidrocarbonetos que se dissipam e volta a formar. É o maior mecanismo para separar a mancha de hidrocarboneto e pode ser importante no movimento das gotas de hidrocarboneto na coluna de água.

Correntes ao longo da costa produzidas pelas ondas obliquamente à linha de costa, aproximando-se e alagando lentamente a praia.

Mistura, maré semidiurna dois ciclos nos quais a alteração baixa-mar—preia-mar ocorrem duas vezes ao dia a diferentes níveis.

Movimento e destino a direção na qual o derrame se move, e as alterações físico/químicas que ocorrem ao hidrocarboneto ao longo do tempo.

Maré morta oposto às marés grandes: o intervalo entre o nível de água maior e menor é menor e ocorre perto do primeiro e último quartos lunares.

Dados observados medições realizadas no local (ventos, correntes e localização do hidrocarboneto).

Foto-oxidação alterações nas propriedades físico-químicas de um hidrocarboneto derramado, provocadas pela radiação solar.

Onda progressiva a energia é transmitida através da água, mas as partículas de água movem-se de modo oscilatório.

Reflutuação o hidrocarboneto que atinge a costa e reflutua para fora da costa.

Sedimentação adesão do hidrocarboneto a partículas sólidas na coluna de água.

Maré semidiurna dois ciclos de maré onde a sequência baixa-mar—preia-mar ocorre duas vezes ao dia ao mesmo nível.

Marés grandes as maior e menor marés, que ocorrem duas vezes por mês, quando a fase da lua é lua nova ou lua cheia.

Onda estacionária quando a onda de maré atinge o final de uma baía ou estuário, é refletida de volta para a entrada.

Tensão superficial tendência para as moléculas se agregarem e apresentarem a menor superfície ao ar.

Bolas de alcatrão hidrocarboneto envelhecido que forma uma bola flexível. O tamanho pode variar desde a cabeça de um alfinete até 30cm.

Percurso de maré grau de influência das marés no movimento do hidrocarboneto.

Mistura turbulenta movimentos aleatórios da água, originados por correntes e ventos fortes, que separam as manchas de hidrocarboneto em manchas mais pequenas que se distribuem sobre uma área mais vasta.

Incerteza “limite de confiança”, ou grau no qual a previsão da deriva da mancha pode ser credível até exata.

Viscosidade medida da resistência dos fluidos a fluírem

Desagregação alterações nas propriedades físicas e químicas de um hidrocarboneto derramado devido à evaporação, dissolução, oxidação, sedimentação e biodegradação.

Comprimento

	cm	m	km	in.	ft	mi
1 cm	1	10^{-2}	10^{-5}	0,3937	$3,281 \times 10^{-2}$	$6,214 \times 10^{-6}$
1 m	100	1	10^{-3}	39,37	3,281	$6,214 \times 10^{-4}$
1 km	10^5	1000	1	$3,937 \times 10^4$	3281	0,6214
1 in	2,540	$2,540 \times 10^{-2}$	$2,540 \times 10^{-5}$	1	$8,333 \times 10^{-2}$	$1,578 \times 10^{-5}$
1 ft	30,48	0,3048	$3,048 \times 10^{-4}$	12	1	$1,894 \times 10^{-4}$
1 mi	$1,069 \times 10^5$	1609	1,609	$6,336 \times 10^4$	5280	1

Área

	m^2	cm^2	ft^2	$in.^2$
$1m^2$	1	10^4	10,76	1550
$1cm^2$	10^{-4}	1	$1,076 \times 10^{-3}$	0,1550
$1ft^2$	$9,290 \times 10^{-2}$	9,290	1	144
$1in.^2$	$6,452 \times 10^{-4}$	6,452	$6,944 \times 10^{-3}$	1

Volume

	m ³	cm ³	li	ft ³	in. ³
1 m ³	1	10 ⁶	1000	35,31	6,102x10 ⁴
1 cm ³	10 ⁻⁶	1	1,000x10 ⁻³	3,531x10 ⁻⁵	6,102x10 ⁻²
1 li	1,000x10 ⁻³	1000	1	3,531x10 ⁻²	61,02
1 ft ³	2,832x10 ⁻²	2,832 x10 ⁴	28,32	1	1728
1 in. ³	1,639x10 ⁻⁵	16,39	1,639x10 ⁻²	5,787x10 ⁻⁴	1

Velocidade

	ft/s	km/h	m/s	mi/h	cm/s
1 ft/s	1	1,097	0,3048	0,6818	30,48
1 km/h	0,9113	1	0,2778	0,6214	27,78
1 m/s	3,281	3,6	1	2,237	100
1 mi/h	1,467	1,609	0,4470	1	44,70
1 cm/s	3,281x10 ⁻²	3,6x10 ⁻²	0,01	2,237x10 ⁻²	1



Direção do Combate à Poluição do Mar

DEZEMBRO 2013