

RELATÓRIO SOBRE A MODELAGEM DE ÁGUA PRODUZIDA DO CAMPO DE POLVO

1. APRESENTAÇÃO

O presente relatório apresenta a modelagem da dispersão da descarga da água produzida no *Campo de Polvo*, considerando os aspectos da natureza operacional da atividade.

No presente relatório é considerado o caso onde o efluente apresenta sua vazão máxima (que ocorrerá no último ano de produção – 2012), por este ser representativo do maior impacto do lançamento deste efluente no ambiente marinho durante a vida útil do Campo.

2. INTRODUÇÃO

2.1. CONSIDERAÇÕES SOBRE A ÁGUA PRODUZIDA

Conforme apresentado anteriormente na Caracterização da Produção, o plano de desenvolvimento da Produção do *Campo de Polvo* prevê um fluxo de água produzida ao longo do período de exploração do seu reservatório, que chega a valores significativos a partir de 2009 (4.709,70 m³/dia), aumentando seu volume gradativamente, de acordo com a evolução da produção, até um máximo de 6.677,60 m³/dia no ano de 2012.

A determinação da utilização da maior vazão prevista para o efluente foi tomada a fim de avaliar qual será a extensão máxima dos efeitos do seu lançamento no meio, caracterizando melhor os esforços necessários, desde o planejamento da fase de produção, para seus controles e mitigações.

A água produzida é o principal resíduo gerado nas atividades de produção de petróleo e gás *offshore*, oriunda do processo produtivo do composto trifásico (gás, óleo e água). Em águas profundas, este resíduo é quase sempre descartado ao mar pelas operadoras, após tratamento que visam o enquadramento de sua concentração residual de óleo e de sua temperatura. Observa-se que a eficiência do tratamento da água produzida está relacionada diretamente aos seus volumes produzidos. Em águas mais rasas, o descarte normalmente é realizado em função da hidrodinâmica local, orientados a partir dos resultados da modelagem.

A água produzida, também chamada de salmoura (EPA, 1997), pode incluir a água de injeção utilizada na recuperação secundária do reservatório (como no caso destes poços), a água de formação (ou aquífero, gerada no reservatório junto com o óleo em condições de alta pressão e temperatura), além dos

químicos utilizados tanto no poço (principalmente anti-corrosivos e biocidas), quanto no processo de separação água/óleo (demulsificantes).

No *Campo de Polvo*, serão separados no FPSO os 3 produtos oriundos do reservatório, sendo que a água de produção será tratada em planta específica (a ser definida nos estágios posteriores deste processo de licenciamento), a fim de garantir o baixo impacto do seu descarte no oceano.

De acordo com Thomas *et al.* (2001), a quantidade de água produzida gerada varia em função de uma série de fatores, destacando-se as características do reservatório, a idade dos poços produtores e os métodos de recuperação utilizados (volume de água injetada na recuperação secundária). Nas atividades de produção, a água produzida corresponde a cerca de 98% de todos os resíduos gerados pela atividade.

Em termos de regulamentação, no Brasil aplica-se a Resolução CONAMA Nº 357 de 2005, que trata do descarte de efluentes de fontes poluidoras em águas interiores e marinhas sob jurisdição nacional. Segundo esta Resolução, todo efluente para ser lançado direta ou indiretamente em um corpo d'água deve apresentar concentração de óleo igual ou inferior a 20 ppm e temperatura igual ou inferior a 40°C, além de concentrações limites para outros compostos e metais. Por outro lado, ela indica que até a finalização da elaboração de Resolução específica para o descarte de água produzida em operações *offshore* no mar territorial brasileiro, este tipo de efluente deverá atender aos padrões para óleo e temperatura apresentados.

Os principais fatores oceanográficos que determinam o grau de diluição do efluente no meio são a profundidade da lâmina d'água e o hidrodinamismo da região, considerando principalmente o regime de correntes e, em menor atuação, os ventos. Desta forma, regiões mais profundas e de grande dinamismo são favoráveis ao descarte da água produzida, não gerando consequências significantes ao ambiente.

De acordo com Chevron (1997), o poder de diluição do oceano receptor é muito grande, sendo a descarga diluída de 1:50 em 100m do ponto de descarte, sendo a mistura função do volume (vazão), temperatura e densidade da água descartada, além da profundidade e dinamismo local.

É válido ressaltar que em regiões de grande produtividade petrolífera (como a Bacia de Campos), os valores de *background* para alguns parâmetros físico-químicos podem se mostrar alterados (metais pesados, HPAs, sulfetos, etc.), devido principalmente ao efeito sinérgico da produção dos diversos campos próximos.

Segundo a GESAMP (1993), a composição química e o grau de diluição da água produzida fazem com que o impacto da água descartada seja significativo apenas em áreas continentais, não sendo representativo em águas costeiras mais afastadas da costa e oceânicas. Esta avaliação é corroborada por

Thomas *et al.* (2001), que sugere que a descarga contínua de água produzida não causa danos consideráveis ao ambiente marinho, desde que o sistema de descarte garanta uma diluição rápida e efetiva do efluente.

2.2. O MODELO OOC (OFFSHORE OPERATORS COMMITTEE)

“O modelo do Comitê de Operadores Offshore para Fluidos de Perfuração e Água Produzida, conhecido como ‘OOC Model’ é um programa computacional para o cálculo do comportamento do fluido, dos cascalhos de perfuração ou do descarte da água produzida no ambiente marinho. Em um contrato firmado entre a Exxon Company USA e o Comitê, a Exxon Production Research Company (EPR) desenvolveu a modelagem de dispersão do fluido de perfuração e de descarte de água produzida, entregando-os, em 1983, com um relatório descritivo, o qual continha um guia para o usuário do programa desenvolvido”.

“Desde esta data, o modelo para descarte de água produzida, bem como melhorias sucessivas no modelo de fluidos/cascalhos, vêm sendo implementados e disponibilizados para os membros do Comitê pela Brandsma Engenharia. Em 1999, os modelos foram acoplados e, juntamente com o relatório revisado, foram disponibilizados ao Comitê.” (EPRC, 1999).

O modelo é usado para simulações numéricas do comportamento de descargas a partir de um único ponto com diâmetro circular submerso, orientado para qualquer direção. A taxa de vazão desta descarga é assumida como constante. O efluente descartado é modelado como uma série de fluidos miscíveis à água que contêm partículas que podem ser mais pesadas (cascalhos) ou mais leves (gotas de óleo) que o fluido ambiente. Este fluido ambiente, chamado doravante de corpo receptor, é descrito pela sua profundidade local, temperatura, salinidade e velocidade da corrente.

As saídas do modelo são compostas dos cálculos de trajetória e forma da pluma feita pela descarga, as concentrações dos seus componentes solúveis e insolúveis na coluna d’água e nos seus acúmulos nas interfaces (superfície para as partículas leves, como o caso do óleo, e fundo para as partículas pesadas, como o cascalho). O modelo prevê tridimensionalmente as concentrações na coluna d’água como função do tempo decorrido após o início da descarga, considerando as interfaces citadas como reservatórios de retirada de material do sistema, não contribuindo como fontes.

Os dados da batimetria do local modelado e os campos de correntes podem ser uniformes ao longo da simulação ou variarem espacialmente no *grid* escolhido.

3. ASPECTOS DA MODELAGEM REALIZADA

3.1 DESCRIÇÃO GERAL DO DESENVOLVIMENTO DA PLUMA DA DESCARGA

O modelo assume que a descarga da água produzida a partir de uma tubulação submersa no mar local, orientada para qualquer direção, irá gerar um jato simples. Este mar local estará caracterizado por uma estratificação de densidade e um campo de correntes, enquanto que a água produzida deverá possuir uma tendência maior ou menor a boiar e uma orientação (para baixo ou para cima), o que definirá o seu movimento descendente ou ascendente.

Após a descarga, a água produzida passará por três estágios de fluxo:

1. Fase de jato (ou convectiva) – onde o fluido transportado é dominado pelo momento da descarga inicial e o prevailecimento das forças de coesão internas sobre as forças de arrasto. É identificada pela maior manutenção nas características da água produzida, tentando manter sua integridade e com poucas trocas com o meio ao redor.
2. Fase do colapso dinâmico – onde a água produzida procura uma profundidade de equilíbrio e onde a advecção, diferenças de densidade e os contrastes entre seus gradientes são as principais forças direcionando o seu transporte. O colapso refere-se a perda de integridade da água de produção, sendo o momento onde a penetração de água do mar se inicia, causando mistura e diluição na descarga da água produzida.
3. Fase de dispersão passiva – onde a água produzida já perdeu completamente as suas características dinâmicas e todo o transporte das partículas é determinado por processos de difusão e advecção. Não há identificação da água produzida como um efluente, estando ela completamente misturada e diluída. Tal fase é representado tanto no plano vertical (profundidade) como no horizontal (afastamento lateral).

Os coeficientes de dispersão não são tão comuns na literatura, o que induziu a que o modelo realizasse suas próprias estimativas (Koh e Fan, 1970, apud EPRC, 1999):

- coeficientes horizontais: baseados na aplicação da lei de potência quatro terços para a escala de comprimento do efeito; e
- coeficientes verticais: baseado no estado do mar e no perfil de densidade do ambiente, sendo neste caso função das condições das ondas.

3.2 DADOS DE ENTRADA DA SIMULAÇÃO

O modelo utiliza um sistema próprio de coordenadas, onde deve ser indicada a extensão da área avaliada ao longo dos eixos E-W e N-S, bem como os intervalos de discretização da malha nos quais são calculados os parâmetros avaliados na evolução da modelagem. São informados também os seguintes parâmetros :

- Composição da água produzida: temperatura, salinidade e concentração de óleo;
- Dados da descarga: vazão, duração, raio da tubulação, orientação e localização;
- Dados do ambiente: batimetria, perfil de velocidades de correntes, altura e período de onda, velocidade do vento e temperatura do ar; e
- Dados estruturais do FPSO: comprimento, largura, calado operacional, diâmetro característico das estruturas submersas e espaçamento entre elas.

Todos os dados são apresentados em unidades do sistema inglês, o que demanda uma conversão em sua entrada e saída de informações para o sistema GKS.

Também deverão ser informados os tempos da simulação, sendo estes referentes ao tempo total da descarga e o passo de evolução do modelo.

Todos os dados de entrada do modelo são apresentados na Tabela I, abaixo, e no extrato da listagem de saída do modelo, apresentada no Apêndice A.

Tabela I – Valores das variáveis de entrada do modelo.

SEÇÃO / VARIÁVEL	DESCRIÇÃO	VALOR
GRID	Seção de informações sobre o grid da simulação e as informações da batimetria	
NMAX	Número de células no eixo W-E (Z)	34
MMAX	Número de células no eixo N-S (X)	91
DX	Tamanho do lado das células (quadradas)	30,5 m (100 ft)
CDEPTH	Profundidade local assumida (constante)	50 m (164 ft)

SEÇÃO / VARIÁVEL	DESCRIÇÃO	VALOR
OUTPUT	Especifica as formas de informações desejadas, como localização da pluma, no plano horizontal e em perfis, as posições dos perfis e os tempos de simulação e do intervalo de cálculo da simulação (time step)	
PRINC	Número de profundidades por perfil	25
NPCUR	Número de perfis a serem analisados na malha	58
TIME	Tempo de geração das saídas	3.600 s (1 hr)
DISCHARGE	Descreve os aspectos da descarga	
BBLPH	Fluxo do volume descartado	6.677,60 m ³ /dia (1.750,11 bbls/h)
RADIUS	Raio da tubulação do descarte	0,42 ft (10" 0,25 cm) (*1)
DJET	Profundidade	0,15 cm (0,5 ft)
ANGLE	Ângulo vertical de descarga (em graus referentes à horizontal – positivo para baixo e negativo para cima)	90°
BEAR	Azimute de descarte, graus do norte	90°
XRIG	Coordenada X do FPSO	625
ZRIG	Coordenada Z do FPSO	2300
TJET	Duração da descarga	10.800 s (3 hs)
FTEMP	Temperatura da água produzida em °C	38°
FSAL	Salinidade da água produzida em ppm	56 (*2)
PARAM	Descrição da partícula a modelar	óleo
ROSM	Densidade da partícula (g/cm ³)	0,875
CS	Fração volumétrica da concentração da partícula	2.0 x 10 ⁻⁵
VFALL	Velocidade de queda (negativa significa flutuabilidade)	-1,66 x 10 ⁻⁵ ft/s (-0,51 x 10 ⁻⁵ m/s)
AMBIENT	Descrição dos parâmetros do ambiente de descarte	
IFORM	Indicação de como serão entrados os valores de perfil de correntes	3 (lidos diretamente do arquivo)
NVP	Indicador se o mesmo perfil será usado em todos os intervalos de integração	1 (sim)
NFORM	Indicador do número de pontos a serem lidos e o formato dos dados	-2 (dois pares de intensidade e direção das correntes)
DUWA	Profundidades das observações de correntes	0 m (0 ft) e 50 m (164 ft)
PARM1	Intensidade da corrente em ft/s	0.45 m/s (1,47 ft/s)
PARM2	Direção das correntes, em graus	180° (para Sul) (*3)
NPROF	Indica o número de perfis de densidade a serem lidos	1 (perfil constante)
NROA	Número de pontos em cada perfil de densidade	2
YROA	Profundidade para o par T/S especificado	0 m (0 ft) e 50 m (164 ft)
TEMPA	Temperatura na profundidade	24,90 °C e 23,74 °C
SALA	Salinidade na profundidade	36,72 e 36,73

SEÇÃO / VARIÁVEL	DESCRIÇÃO	VALOR
NSEA	Números de estados de mar	1
H3	Altura de onda significativa	2 m (6,5 ft)
T3	Período de onda significativa	6 s
WIND	Velocidade do vento (ft/sec)	6,7 m/s (22,21 ft/s)
AIRT	Temperatura do ar à superfície do mar	24,0 °C
TIMESTEP	Tempo de integração do passo da modelagem	
TIME	Tempo do passo de integração da modelagem	3.600 s (1 hr)
WAKE	Descreve efeitos de arrasto pela forma do FPSO de lançamento	
PLEN	Extensão do FPSO	270 m (886 ft)
PWID	Largura do FPSO	43,3 m (142 ft)
PDEP	Calado do FPSO	17,07 m (56 ft)
STDIA	Diâmetro característico das estruturas submersas	134,5 m (441,5 ft)
STSPA	Espaçamento característico das estruturas submersas	0,03 m (0,1 ft)
RNOSC	Parâmetro que define o comprimento da zona de arrasto (valor para a frequência de oscilação do número de flutuabilidade – number of buoyancy)	0 (utiliza o default = 3)
RNDEP	Parâmetro que define a profundidade da zona de arrasto (valor para multiplicar o calado do FPSO)	0 (utiliza o default = 1,3)

(*1) – Considerado o descarte conservativo, junto à superfície do mar.

(*2) – Considerado um valor típico de literatura.

(*3) – Estratégia da modelagem para avaliar o desenvolvimento da pluma ao longo da direção preferencial da corrente.

3.3 SAÍDAS DO MODELO

As listagens apresentadas no Apêndice A são referentes a uma parte das saídas dos dados do modelo OOC para os cenários modelados para o efluente da água produzida característica da operação no *Campo de Polvo*.

Conforme apresentado nos dados de entrada, foram solicitadas as saídas de valores de concentração para 58 perfis localizados ao longo da direção da corrente até a distância de 2.775 metros do FPSO, a fim de verificar a extensão máxima deste efeito. Também foram solicitadas as concentrações em 25 planos horizontais até 50 metros de profundidade, para verificação do espalhamento da água produzida em sua interação com o mar local em perfil.

O cenário modelado levou em consideração o período com as vazões máximas esperadas para o efluente ao longo da produção no *Campo de Polvo*, o que acontecerá no último ano inicialmente previsto de operação (2012). O valor modelado da vazão utilizada foi de 6.677,60 m³/dia.

Os resultados são apresentados na forma tabular dentro do próprio arquivo de saída, ou em arquivos próprios para cada caso. Para facilitar a visualização destes resultados foram elaboradas as Figuras 2 e 3.

3.4 PREMISSAS DA MODELAGEM REALIZADA

Com o intuito de reproduzir os dados representativos da realidade operacional no desenvolvimento da simulação de forma fidedigna, foram assumidas certas premissas aplicadas na utilização destes dados pelo modelo.

a) Quanto ao *GRID*

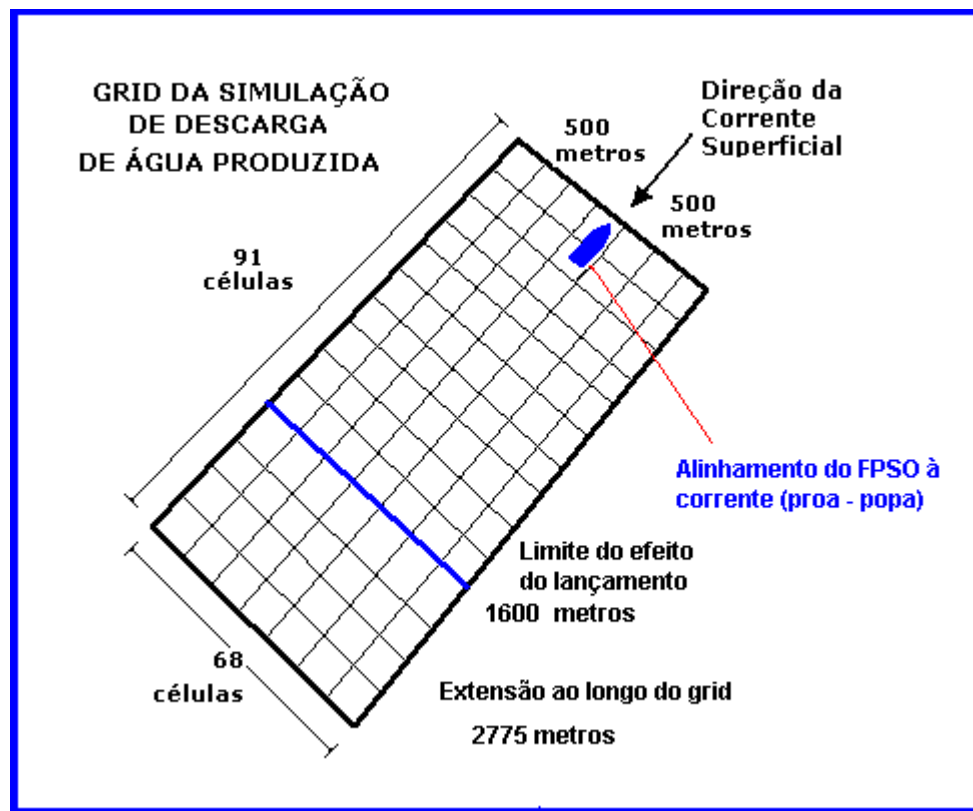
O *grid* foi especificado de forma que o FPSO ficasse alinhado ao seu eixo Norte-Sul (que não corresponde ao geográfico), deslocado para seu lado esquerdo em função do efeito causado pela “barreira” representada pela sua estrutura no deslocamento da água de produção descartada. O alinhamento de todo o *grid* foi feito de forma que este eixo X (N-S) coincidisse com a direção da corrente, permitindo mais facilmente a determinação das coordenadas dos pontos onde o modelo apresenta os perfis de concentração na coluna d’água, estendendo-se até 2.775 metros adjacentes à popa do navio. Os espaçamentos dos pontos do *grid* foram de 30,5 metros, em ambas as direções.

Esta disposição da embarcação, além de representar a realidade do descarte e da posição do FPSO em relação ao regime local de correntes, também representa o pior caso referente a redução do efeito da descarga pela sua extensão. Caso o navio estivesse perpendicular à corrente, os efeitos da sua passagem pela parte inferior do casco causariam uma turbulência no ponto de descarte, diminuindo a profundidade e distância máxima de afastamento atingida como efeito da descarga.

A profundidade máxima sensibilizada pela descarga da água produzida foi especificada em rodadas sucessivas do modelo, a partir da profundidade local de 100 metros, definindo-se que a sua determinação em 50 metros seria ideal para a verificação do efeito.

O esquema representativo do *grid* é apresentado a seguir na **Figura 1**.

Figura 1 – Grid utilizado na modelagem da Água de Produção



b) Quanto ao ponto da descarga do efluente da água produzida

O lançamento foi simulado como sendo feito do nível da água, sem a necessidade de correções nos valores da vazão. Este caso permite a formação do jato (fase convectiva), que modela de forma mais conservativa a interação do efluente no meio.

No caso real, o lançamento é feito de 10 a 15 metros de altura da linha d'água, o que causa a quebra deste jato no impacto com a superfície do mar, aumentando a turbulência no início da penetração e, conseqüentemente, a dispersão do efluente na camada superficial da coluna d'água.

c) Quanto à inclusão da concentração residual de óleo na água produzida

O modelo solicita a informação de certos parâmetros para caracterização do comportamento das gotículas de óleo misturadas à água produzida. O tamanho das gotículas foi estipulado em 200 μm , o que é condizente com diâmetros além da eficiência dos equipamentos de separação água-óleo comumente utilizados nestes processos.

A sua fração volumétrica, relação do volume de óleo ao volume de efluente, foi calculada a partir da concentração residual limite permitida pela legislação e que será adotada na atividade, de 20 ppm, ajustadas para as vazões médias dos cenários modelados.

d) Quanto à determinação dos parâmetros ambientais

Os valores utilizados nas simulações são representativos de condições médias sazonais características para a região do campo, apresentados no diagnóstico do meio físico deste estudo ambiental.

e) Quanto às considerações sobre o arrasto

Foram necessárias adequações aos parâmetros de cálculo do arrasto causado pela geometria do FPSO, a serem utilizados pela simulação. Primeiramente, as dimensões deste tipo de embarcação são bem maiores que àquelas normalmente modeladas, o que levou ao ajuste de uma estratégia de sua representação no *grid*. O seu natural alinhamento no sentido de deslocamento da corrente simula uma condição de borda no lançamento da descarga que evita uma maior dispersão horizontal do efluente nos primeiros metros, ao longo do casco da embarcação. A maior penetração em profundidade na coluna d'água que o calado operacional da unidade, no entanto, permite que este bloqueio seja vencido pela interação que ocorre nesta região mais profunda.

Outra adequação feita foi quanto às simulações do diâmetro característico das estruturas submersas e seu espaçamento. O programa foi elaborado considerando a operação a partir de plataformas de produção, e portanto, estes diâmetros estariam relacionados às pernas destas estruturas. Para o ajuste à realidade de um FPSO, o primeiro parâmetro foi especificado como a metade da extensão do FPSO, ficando o segundo com um espaçamento mínimo restante, gerando um efeito semelhante ao real, causado pela integridade do casco.

f) Quanto a descarga simulada de longa duração

O modelo utilizado simula a dispersão através do acompanhamento dos aglomerados individuais de cada componente. Existe um número limitante de aglomerados que ele pode utilizar em uma simulação (25.000). Por este motivo, o número de aglomerados que podem ser utilizados para representação da pluma por unidade de tempo, diminui a medida que a descarga aumenta (novas quantidade e novos aglomerados).

Isto quer dizer que descargas muito longas podem criar distribuições esparsas destes aglomerados na coluna d'água, o que pode gerar uma variabilidade significativa nas concentrações com o aumento da distância a partir do ponto de entrada da descarga no sistema.

A diluição e o espalhamento ao longo da distância do ponto de descarte são os principais produtos de interesse da simulação da água produzida. Nestes casos, a duração da descarga deverá ser definida no tempo suficiente para que a concentração no ponto mais distante de interesse chegue ao estado quasi-estacionário (EPRC, 1999).

Calculados os tempos para que a simulação não atingisse este problema de estabilidade computacional, verificou-se que no cenário modelado seria necessário um ajuste no tempo de descarga (considerado então em 3 horas).

4. RESULTADOS

4.1 DESCRIÇÃO DAS FIGURAS GERADAS

As análises feitas nesta seção são referentes às **Figuras 2 e 3**, apresentadas no final do relatório. Elas representam a dispersão em perfil da concentração do óleo residual na pluma e o espalhamento horizontal da pluma do efluente em níveis de profundidade selecionados. A orientação do grid ocorre ao longo da direção predominante da corrente no local ($180^\circ - 200^\circ$).

As concentrações de óleo residual na pluma são expressas em mg/L (ppm).

4.2 LEITURA GERAL DOS PRODUTOS DA SIMULAÇÃO

A **Figura 2** é um resultado das concentrações de óleo em perfil ao longo da direção preferencial do afastamento do efluente a partir do FPSO em cada hora do período previsto de vazão (3 horas) modelado duração do descarte.

Na sua parte inferior são apresentadas as zonas das fases convectiva, de colapso dinâmico e de dispersão passiva. Nela pode ser verificada a correlação da extensão da fase convectiva e da profundidade alcançada com a vazão modelada do efluente.

Outro fato destacável é a ação da advecção da corrente e da hidrodinâmica características locais, que atuam no intervalo até 1.600 m de afastamento do FPSO, favorecendo a completa diluição do efluente nesta região.

A **Figura 2** demonstra um efeito bem localizado, junto à fonte de descarte, atingindo uma profundidade máxima de 15 metros e com o colapso da pluma já a 300 metros de afastamento do FPSO. A primeira evidência de um afloramento do efluente retornando à superfície ocorre a cerca de 500 metros de afastamento, porém em concentrações residuais da ordem de 10^{-3} ppm, que é característico na coluna de 0 a 15 metros de profundidade, dos 500 aos 1.600 metros de distanciamento da fonte.

Os **Gráficos 1 e 2** mostram as concentrações residuais de óleo nos vinte primeiros metros da coluna d'água (profundidades 0, 5, 10, 15 e 20 m) para o cenário modelado. O **Gráfico 2** difere do primeiro (1) apenas por não considerar as concentrações na profundidade de 5 metros, a fim de permitir uma melhor visualização do comportamento das concentrações residuais de óleo nas outras camadas.

Gráfico 1 – Concentrações residuais de óleo nos 20 primeiros metros da coluna d'água ao longo da advecção da pluma da água produzida – condição da pluma em 1 hora.

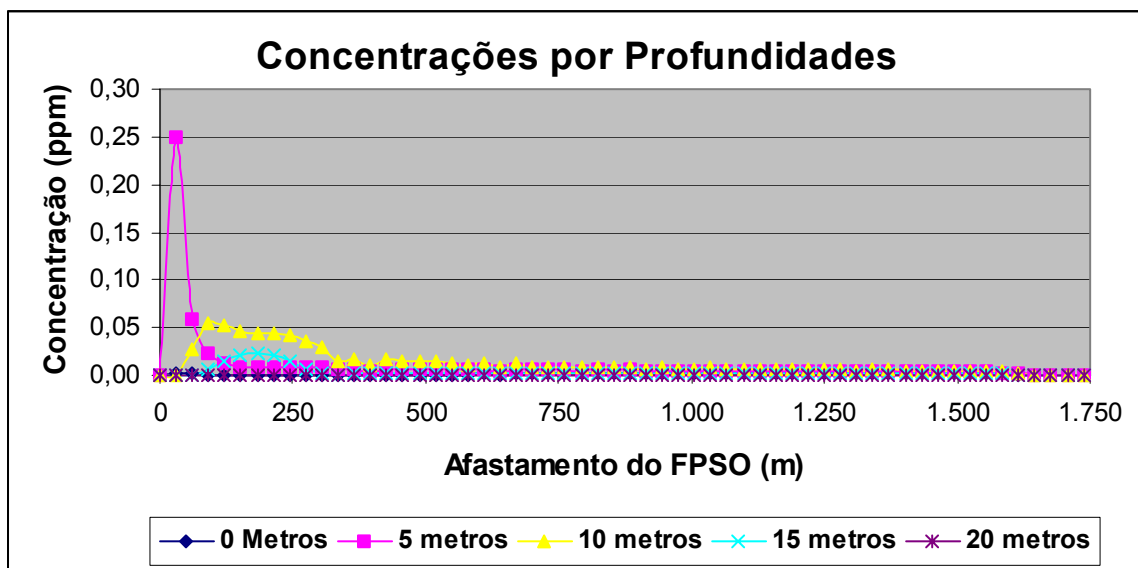
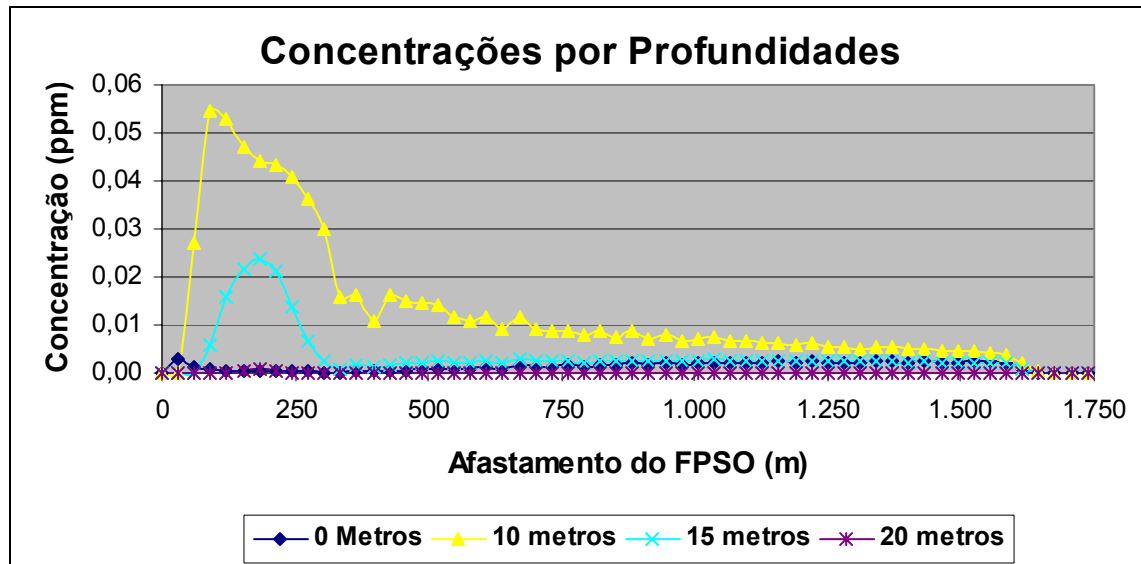


Gráfico 2 – Concentrações residuais de óleo nos 20 primeiros metros da coluna d’água, excetuando-se as concentrações a 5 metros, ao longo da advecção da pluma da água produzida – condição da pluma em 1 hora.



Podemos verificar que as maiores concentrações situam-se na camada de 5 metros de profundidade, com valores já diluídos cerca de cem vezes em relação à concentração de óleo no efluente (20 ppm) nos primeiros 30 metros de afastamento do FPSO. Até 100 metros de afastamento, esta diluição já chegou à razão de 1:500.

Entre 100 e 300 metros de afastamento do FPSO, há uma inversão na camada onde as maiores concentrações residuais são encontradas, em função da estabilização hidrodinâmica do núcleo da pluma, sendo sua advecção ao longo da direção preferencial da corrente realizada nesta camada.

A partir dos 300 metros de afastamento, as concentrações residuais de óleo já são da ordem de 10^{-2} ppm, podendo ser consideradas desprezíveis. O núcleo da pluma do efluente continua sua advecção preferencial nos dez metros de profundidade e, após os 1600 metros de afastamento do FPSO, nenhuma concentração residual ainda é verificada no ambiente.

A **Figura 3** mostra as concentrações de óleo residual em vários planos, que integrados representam a configuração espacial da pluma do efluente após as três horas de duração de seu lançamento. Os resultados indicam uma distribuição mais concentrada (coesa) nos primeiros metros de afastamento do FPSO (até 300 m), com espalhamento máximo lateral nos planos horizontais de 150 metros para cada lado do eixo N-S do lançamento (300 metros, no total). Os efeitos mais extremos no ambiente, considerados a partir de uma situação utópica de nenhum registro de concentração de óleo no oceano local, ficam restritos a uma região de até 30 metros de profundidade e 1.700 m de afastamento do FPSO.

No plano referente a 5 m podem ser vistas concentrações mais intensas de óleo residual, sem no entanto chegarem à concentração de 20 ppm. Estes valores são registrados mais próximos ao descarte e na região do primeiro afloramento do óleo ressuspenso – 700m. A partir de 850 m estes afloramentos são mais frequentes, ocorrendo até os 1.200 m de afastamento do FPSO. Em geral as concentrações típicas nesta faixa situam-se na faixa de 10^{-1} ppm.

O plano de 10 metros é aquele da estabilização da pluma do efluente, onde podem ser verificadas as maiores concentrações de óleo residual ao longo da direção de advecção da pluma, com valores de até 4 ppm. Já no plano de 15 m, não é vista a mesma integridade, principalmente na faixa mais próxima ao descarte, ainda que também seja claro o registro do núcleo da pluma. Estas observações comprovam a constatação da análise do perfil de 1 hora, na qual a camada de estabilidade e advecção da mancha situa-se entre 10 e 15 m; e de que o efluente, ao entrar no mar, atinge uma profundidade máxima até estabilização na coluna em cerca de 15 metros.

Nos planos de 15, 20 e 25 metros pode ser observada a abertura vertical do efluente (diluição ao longo do eixo das profundidades), com registros de concentrações acima de 1 ppm a partir de 350 m, 700 m e 1450 m de afastamento do FPSO, respectivamente para cada profundidade.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O resultado da modelagem de descarte de água produzida foi elaborado com base na vazão máxima a ser gerada no *Campo de Polvo*, a ocorrer em 2.012. Os parâmetros modelados refletiram as condições climatológicas do ambiente local, a exceção de alguns aspectos de engenharia que foram assumidos a partir de valores comuns em projetos de mesma natureza, em função da sua indefinição pelo estágio de contratação do FPSO.

Contudo, mesmo com esta indefinição, considera-se que o resultado desta modelagem é bastante suficiente para a representação do comportamento da pluma do efluente descartado no mar local, permitindo a avaliação crítica de seus resultados. Estes demonstram que, se o efluente for lançado segundo as premissas utilizadas na modelagem, a área de influência da pluma de dispersão da água de produção será sentida em uma faixa de cerca de trezentos metros de metros de largura ao longo do sentido preferencial da corrente até uma distância máxima de 1600 m de afastamento do FPSO e em uma lâmina d'água de até 30 metros.

De mesma forma, todo o óleo residual fica em uma camada superficial (de 0 a 15 metros), sendo rapidamente diluído durante a advecção da pluma ao longo da corrente preferencial local.

As maiores concentrações residuais, de 4 ppm até valores na ordem de 10^{-3} ppm, são previstas de serem encontradas na faixa de 10 a 15 metros de profundidade, por ser esta a profundidade de estabilização hidrodinâmica da sua advecção.

Tais considerações são verdadeiras para os casos de concentrações médias de 10^{-2} ppm, o que é extremamente conservador, principalmente em uma região a jusante da corrente de uma área com várias operações em curso, como é o caso da Bacia de Campos.

Figura 2 – Comportamento da Pluma de Dispersão do Efluente da Água de Produção em Perfil

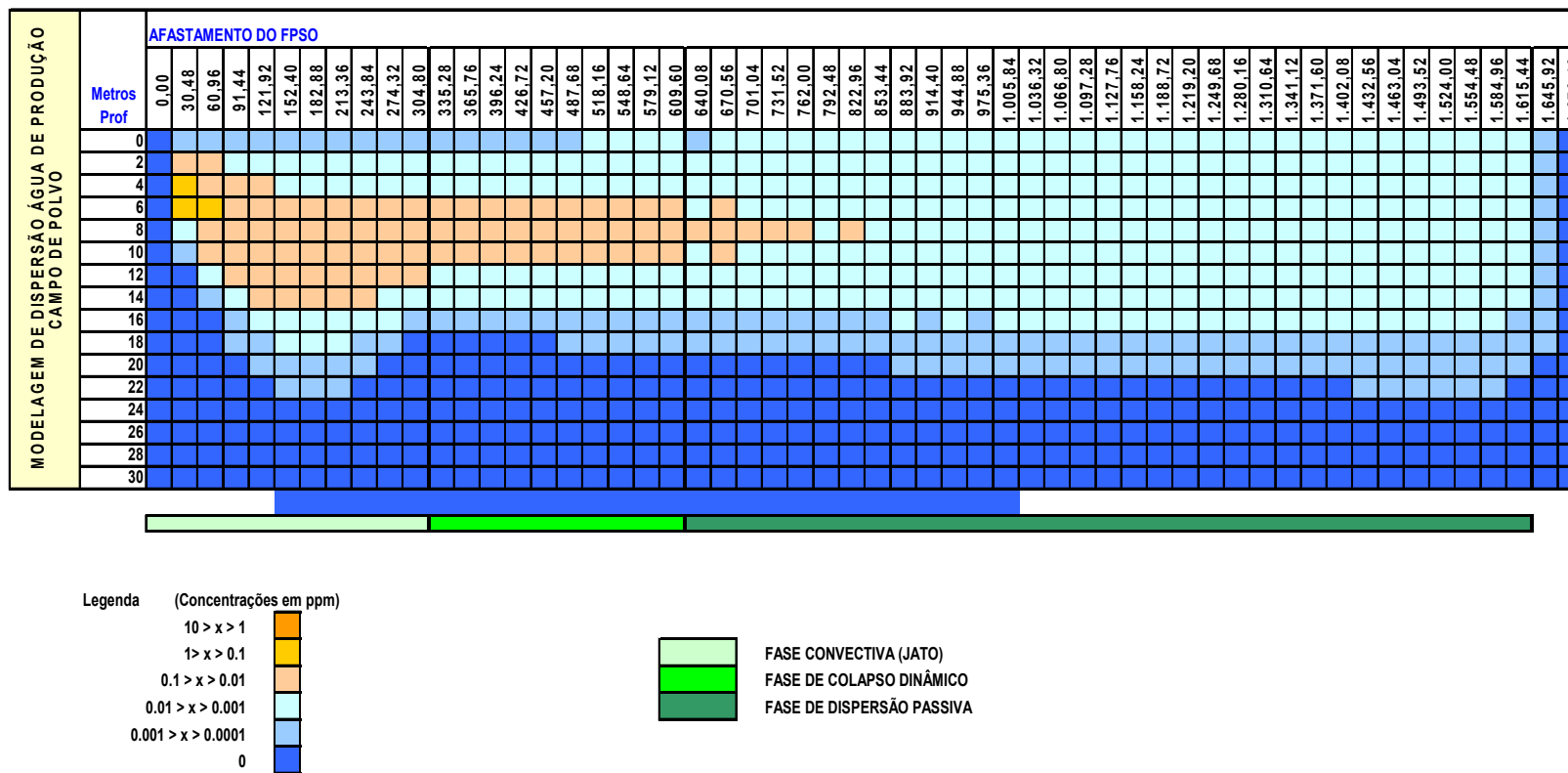
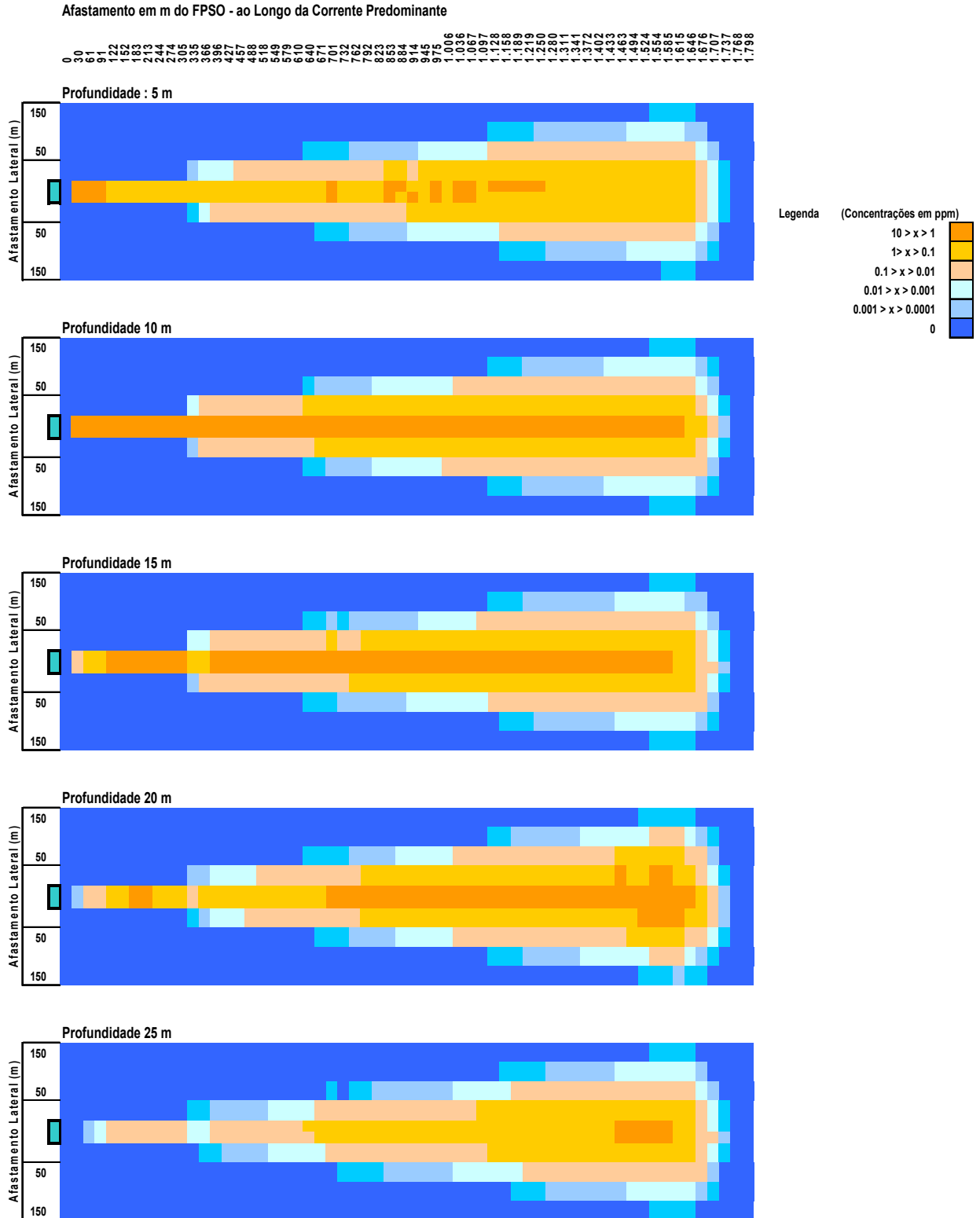


Figura 3 – Efluente da Pluma de Água Produzida por Planos Horizontais



6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CHEVRON Overseas Petroleum, 1997. Health, Safety and Environmental Guidelines: Pollution Prevention. Project HSE Information, MODEC. 109 pp.

EPRC (Exxon Production Research Company), 1999. Offshore Operators Committee Mud and Produced Water Discharge Model – Report and User Guide. Brandsma, M.G. and Smith, J.P., December, New Orleans, Louisiana, USA. 320 pp.

GESAMP, 1993. Impact of Oil and Related Chemicals and Wastes on the Marine Environment. GESAMP Reports and Studies , 50. London. 180pp.

THOMAS, J.E.; Triggia, A. A.; Correia, C.A.; Verotti Filho, C.; Xavier, J.A.D.; Machado, J.C.V.; Paula, J.L.; De Rossi, N.C.M.; Pitombo, N.E.S.; Gouvea, P.C.V.M.; Carvalho, R.S. & Barragan, R.V., 2001. Fundamentos de Engenharia de Petróleo. Thomas, J.E. (eds.) Ed. Interciência. PETROBRAS / Rio de Janeiro.

APÊNDICE A

```
*****  
***                                     ***  
***                               O O C                               ***  
***                                     ***  
***          D I S C H A R G E      M O D E L          ***  
***          -----          ***  
***          MUD, CUTTINGS AND PRODUCED WATER          ***  
***                                     ***  
***          VERSION: 2.5          ***  
***          2 DECEMBER 1999          ***  
***                                     ***  
***          PRODUCTION VERSION          ***  
***                                     ***  
***          COPYRIGHT 1983-1999 BY:          ***  
***                                     ***  
***          EXXON PRODUCTION RESEARCH COMPANY          ***  
***          ALL RIGHTS RESERVED.          ***  
***          PRINTED IN THE U.S.A.          ***  
***                                     ***  
***          WRITTEN FOR EXXON BY:          ***  
***                                     ***  
***          BRANDSMA ENGINEERING          ***  
***          P.O. BOX 378          ***  
***          DURANGO, COLORADO 81302          ***  
***          U. S. A.          ***  
***          (970) 259-3487          ***  
***                                     ***  
*****  
*****
```

ERROR MESSAGES WILL BE WRITTEN TO A FILE NAMED 'OOCERROR'
INSTEAD OF APPEARING IN THIS OUTPUT LISTING.

1

Warranty Disclaimer

THE OOC MODEL SOFTWARE AND DOCUMENTATION ARE MADE AVAILABLE TO THE OOC
AND
OOC MEMBER COMPANIES ON AN "AS-IS" BASIS WITHOUT WARRANTY. ALL
WARRANTIES,
EXPRESS OR IMPLIED, OF THE OOC, EXXON, OR EXXON PRODUCTION RESEARCH
COMPANY,
INCLUDING BUT NOT LIMITED TO THE IMPLIED WARRANTIES OF MERCHANTABILITY
AND
FITNESS FOR A PARTICULAR USE, ARE SPECIFICALLY EXCLUDED. IN NO EVENT,
WHETHER AS A RESULT OF A CLAIM ARISING IN CONTRACT, TORT OR OTHERWISE,
WILL THE OOC, EXXON OR EXXON PRODUCTION RESEARCH COMPANY BE LIABLE FOR
ANY
DAMAGES, INCLUDING CONSEQUENTIAL DAMAGES, RESULTING OR ARISING FROM USE
OF
ANY INFORMATION CONTAINED IN THE REPORT OR SOFTWARE, EVEN IF THE OOC,
EXXON
OR EXXON PRODUCTION RESEARCH COMPANY HAS BEEN ADVISED OF THE POSSIBILITY
OF
SUCH DAMAGES.

A set of "Release and Installation Notes" and a report entitled "Offshore Operators Committee Mud and Produced Water Discharge Model - Report and User Guide" have been provided with this software. These documents provide information about the use of the OOC Model and about its purpose, capabilities, and limitations. The information in these documents and in the software itself is considered to be accurate as of December 1998. Users should consult these documents prior to using the OOC Model. Familiarity with this information may affect the user's ability to prepare input data and interpret model results.

```
*****  
***  
*  
*  
* Information about problems or errors may be useful in improving this  
* program. Users who encounter unexplained errors or program  
* terminations should send a diskette with a README.TXT file and the  
* model input and output files associated with the problem. For  
example, *  
* if case "a" fails, the user should send files: a.in, a.out, a.err  
*  
* (or OOCERROR), a.pla (or PLANVW), a.pro (or PROFILE), a.dyn  
*  
* (or DYNPLUME). The README.TXT file should contain a brief  
description *  
* of the problem and information describing the operating environment  
*  
* (machine type, operating system, amount of memory, amount of free  
disk *  
* space).  
*  
*  
*  
* Send the diskette to:  
*  
*  
* Dr. Joseph P. Smith  
*  
* Exxon Production Research Co.  
*  
* P. O. Box 2189  
*  
* Houston, Texas 77252-2189, USA  
*  
*  
*
```


1 INPUT DATA FILE

LINE
 NO. -----1-----2-----3-----4-----5-----6-----
 +-----7-----8

```

0: PW
1: PWPOLVO.IN
2: Example produced water FPSO Campo de Polvo
3: Bacia de Campos - BM-C-8

0: NOSQUEEZE

0: FULL

0: PVALL

0: SAVEDYN

0: GRID
1: 34 91 ! 34 GRID SQUARES IN E-W AND 91 IN N-S DIRECTIONS
2: 100. ! 100 FT SIDES OF GRID SQUARE
3: CONSTANT ! CONSTANT DEPTH OF 164. FEET = 50 m
4: 164.

0: OUTPUT
1: 0 0 1 1 10
2: 25 ! 25 POINTS PER SPOT PROFILE
3: 0 ! NO PLUME PROFILES
4: 58 ! Request 58 spot profiles
5: 625.0 2300.0 !specific spot profiles by global coordinates
6: 725.0 2300.0
7: 825.0 2300.0
8: 925.0 2300.0
9: 1025.0 2300.0
10: 1125.0 2300.0
11: 1225.0 2300.0
12: 1325.0 2300.0
13: 1425.0 2300.0
14: 1525.0 2300.0
15: 1625.0 2300.0
16: 1725.0 2300.0
17: 1825.0 2300.0
18: 1925.0 2300.0
19: 2025.0 2300.0
20: 2125.0 2300.0
21: 2225.0 2300.0
22: 2325.0 2300.0
23: 2425.0 2300.0
24: 2525.0 2300.0
25: 2625.0 2300.0
26: 2725.0 2300.0
27: 2825.0 2300.0
  
```

```

28: 2925.0 2300.0
29: 3025.0 2300.0
30: 3125.0 2300.0
31: 3225.0 2300.0
32: 3325.0 2300.0
33: 3425.0 2300.0
34: 3525.0 2300.0
35: 3625.0 2300.0
36: 3725.0 2300.0
37: 3825.0 2300.0
38: 3925.0 2300.0
39: 4025.0 2300.0
40: 4125.0 2300.0
41: 4225.0 2300.0
42: 4325.0 2300.0
43: 4425.0 2300.0
44: 4525.0 2300.0
45: 4625.0 2300.0
46: 4725.0 2300.0
47: 4825.0 2300.0
48: 4925.0 2300.0
49: 5025.0 2300.0
50: 5125.0 2300.0
51: 5225.0 2300.0
52: 5325.0 2300.0
53: 5425.0 2300.0
54: 5525.0 2300.0
55: 5625.0 2300.0
56: 5725.0 2300.0
57: 5825.0 2300.0
58: 5925.0 2300.0
59: 6025.0 2300.0
60: 6125.0 2300.0
61: 6225.0 2300.0
62: 6325.0 2300.0
63: 164 90 0 ! ASK FOR RADIUS PROFILES AT 50 M
64: 0
65: 0
66: FLUID/TRACER !ASK FOR RADIUS AND SPOT PROFILES AT 3600 S.
67: SP
68: 3 3600.
69: -1
70: RA
71: 3 3600.
72: -1
73: LA
74: 3 3600.
75: -1

0: DISCHARGE
1: 1750.11, 0.42, 0.5, 90., 90. ! Vazão de 3521 bbl/h
2: 625. 2300. ! XRIG AND ZRIG
3: 10800. ! DURATION OF DISCHARGE (3 hs)
4: 38.0 056. ! TEMPERATURE and SALINITY OF EFFLUENT
5: 'oleo' 0.875 2.0e-5 -1.66e-5 ! Dados sobre o óleo a traçar
  
```

```

0: AMBIENT
1:      3      1
2:      -2
3:      0.0    1.47  180.  !UNIFORM CURRENT
4: 164.00    1.47  180.
5:      1      2
6:      0.    24.90  36.72  ! TEMP AND SALINITY OF AMBIENT
7: 164.00    23.74  36.73
8:      1
9: 6.5  6. 22.21  24.0
  
```

```

0: TIMESTEP
1: 3600.          ! de 1 em 1 hora
  
```

```

0: WAKE
1: 886.0 142.0 56. 441.5 0.1 0 0
  
```

```

0: TRACER
1: 20.0 0.      ! Pode ser também o valor default 1.0 0
  
```

```

0: END
1: 
  
```

```

-----1-----2-----3-----4-----5-----6-----
+-----7-----8
1
  
```

```

=====
=====
THIS EXECUTABLE MODULE HAS THE FOLLOWING LIMITS COMPILED INTO THE CODE:
=====
=====
  
```

SYMBOLIC CONSTANT PRESENT NAME SETTING	DESCRIPTION
MEMCLD 25000	MAX. # OF CLOUDS AVAILABLE TO MODEL EACH CONSTITUENT
MEMGRD 12100	MAX. # OF POINTS IN SIMULATION GRID
MXGTS 110	MAX. # OF GLOBAL TIME STEPS (DTL)
MXNOCV 110	MAX. # OF CURRENT VELOCITY PROFILES
MXNODP 110	MAX. # OF DENSITY PROFILES
MXNOSS 110	MAX. # OF SEA STATES

```

MXNOVD      MAX. # OF VERTICAL DISPERSION COEFFICIENT PROFILES
110
MXNOSP      MAX. # SPOT PROFILES
250
MXNOLA      MAX. # OF LAYERS IN WATER COLUMN PLAN VIEWS
20
MAXTRP      MAX. # OF SEDIMENT TRAPS
50

MXPTCV      MAX. # PTS. IN CURRENT VELOCITY PROFILES
25
MXPTCP      MAX. # PTS. IN CONCENTRATION PROFILES
50
MXPTDP      MAX. # PTS. IN DENSITY PROFILES
25
MXPTVD      MAX. # PTS. IN VERTICAL DISPERSION COEFF. PROFILES
59
              (DEPENDS ON 'MXNOVD' AND 'NSWDEP')
NOPP        FIXED # OF PLUME PROFILES
60
NORP        FIXED # OF RADIUS PROFILES
13
MXTRY       FIXED # OF SOLUTION TRIALS IN JET/COLAPS
5
NSWDEP      FIXED # OF PTS. DEFINING SURFACE WAVE ORBITAL VELOCITIES
10
              (USED IN CALCS. OF VERTICAL DISPERSION COEFF. PROFILES)
NOCLSB      FIXED # OF DEPTH BANDS FOR CLOUD CREATION STATISTICS
50
-----
-----
  
```

(ALL THESE LIMITS CAN BE CHANGED BY CHANGING THE APPROPRIATE SYMBOLIC CONSTANT AND RECOMPILING THE MODEL.)

```

=====
=====
1
=====
=====
  
```

THIS EXECUTABLE MODULE IS CONFIGURED AS DESCRIBED BELOW:

```

=====
=====
  
```

CONFIGURATION VARIABLE	PRESENT SETTING	DESCRIPTION
RANDVF	TRUE	ALLOW RANDOM FLUCTUATIONS OF SETTLING VELOCITIES.

VELOCITY VARIATION NO.	NAME.....	DENSITY LIMITS (FT/SEC) (GM/CC)		CONCENTRATION (CUFT/CUFT)	SETTLING VELOCITY (FT/SEC)
		LOWER	UPPER		

1	OLEO	.8750	.2000E-04	-.1162E-04	-.1660E-04
2	FLUID	1.0316	1.000		.0000

CONCENTRATION OF TOTAL SUSPENDED OIL AT PIPE EXIT = 17.4999
 MG/LITER.

EXIT VELOCITY (FT/SEC)
 4.93

=====

MODEL WILL TRACK SOLUBLE TRACER IN DISCHARGE

CONCENTRATION IN UNDILUTED DISCHARGE (MG/LITER OF FILTRATE)
 20.00

BACKGROUND CONCENTRATION IN SEA WATER (MG/LITER OF FILTRATE)
 .0000

=====

EFFECTS OF PLATFORM WAKE WILL BE ACCOUNTED FOR

PLATFORM DIMENSIONS USED IN ESTIMATING WAKE EFFECTS:

LENGTH (FT)	886.00
WIDTH (FT)	142.00
WORKING DRAFT (FT)	56.00
TYP. DIAMETER OF STRUCTURAL MEMBERS (FT)...	441.50
TYP. SPACING OF STRUCTURAL MEMBERS (FT)10

QUANTITIES USED FOR DEFINING WAKE ZONE:

NO. OF B-V OSCILLATIONS (LENGTH)	3.00
MULTIPLE OF RIG DRAFT (DEPTH)	1.30
CHARACTERISTIC RIG DIMENSION (FT)	514.00

=====

1=====

D E S C R I P T I O N O F R E C E I V I N G W A T E R

=====

 CURRENTS:

BEGIN		----- VECTORS -----				--- COMPONENTS ---	
PROF. NO. (FT/SEC)	TIME (SEC)	PROF. PT.	DEPTH (FT)	SPEED (FT/SEC)	DIRECTION (DEGREES)	U (FT/SEC)	W
1	.0	1	.0	1.470	180.0	1.470	.000
		2	164.0	1.470	180.0	1.470	.000

NOTE: U VELOCITIES ARE POSITIVE SOUTH (+X-AXIS)
W VELOCITIES ARE POSITIVE EAST (+Z-AXIS)

DENSITY STRATIFICATION:

PROF. DENSITY NO. (GM/ML)	TIME (SEC)	PT. NO.	DEPTH (FT)	SALINITY (O/OO)	TEMPERATURE (DEG C)	SIGMA-T
1.02469483	.0	1	.0	36.720	24.900	24.69483
1.02505091		2	164.0	36.730	23.740	25.05091

SEA STATE:

NO.	TIME (SEC)	SIGNIFICANT WAVE		--- SURFACE AIR ---	
		H1/3 (FT)	T1/3 (SEC)	SPEED (FT/SEC)	TEMPERATURE (DEG C)
1	.0	6.5	6.0	22.2	24.0

DISSIPATION PARAMETER FUNCTION FOR HORIZONTAL DISPERSION COEFFICIENT
BASED ON ALAMDA = .00100

LENGTH SCALE (FT)	FRAC. OF ALAMDA	DISS. PARAM. FT 2/3 / SEC
.0	1.000	.00100
1000.0	.750	.00075
30000.0 +	.330	.00033

VERTICAL DISPERSION COEFFICIENTS:

PROF.	TIME	PT.	DEPTH	COEFFICIENT
-------	------	-----	-------	-------------



NO.	(SEC)	NO.	(FT)	(FT ² /S)
1	.0	1	.0	.1408
		2	10.2	.9934E-01
		3	20.5	.7007E-01
		4	30.7	.4942E-01
		5	41.0	.3486E-01
		6	51.2	.2458E-01
		7	61.4	.1733E-01
		8	71.7	.1500E-01
		9	81.9	.1548E-01
		10	92.2	.1501E-01
		11	159.0	.2164E-03
		12	164.0	.1000E-05

=====
=====
=====
=====
G R I D S P E C I F I C A T I O N
=====
=====

GRID DIMENSIONS:

NMAX 34 (EAST-WEST)
MMAX 91 (NORTH-SOUTH)

GRID CELL SIZE:

DX (FT) 100.0

GRID DEPTH SUMMARY (FOR DEPTHS > 0):

MINIMUM DEPTH (FT) ... 164.0
AVERAGE DEPTH (FT) ... 164.0
MAXIMUM DEPTH (FT) ... 164.0

GRID IS CONSTANT DEPTH, IT WILL NOT BE PRINTED

=====
=====

=====
=====
=====
M O D E L S E T T I N G S
=====
=====

MODEL ACTION: FULL SIMULATION AS SPECIFIED

OUTPUT FORM IS: VERBOSE

PLAN VIEWS PRINTED: IN FULL

TRACER PLAN VIEWS DO NOT INCLUDE MASS ASSOCIATED WITH BACKGROUND CONCENTRATIONS.

TIME STEP USED FOR THIS SIMULATION (DTL, SECONDS) ... 3600.0

NUMBER OF CLOUDS ALLOWED PER CONSTITUENT (NSC) 25000

```
=====
=====
1
=====
=====
```

C O E F F I C I E N T S P E C I F I C A T I O N

```
=====
=====
```

NTRY1 (SETS NO. OF TRIAL CALCULATIONS: JET) 5 <
 DEFAULT >
 NTRY2 (SETS NO. OF TRIAL CALCULATIONS: COLAPS) 5 <
 DEFAULT >

ALPHA3 (ENTRAINMENT COEFFICIENT: COLAPS, THERMAL).... .3536 <
 DEFAULT >
 ALPHA4 (ENTRAINMENT COEFFICIENT: COLAPS, EDGE EFFECT) .1600 <
 DEFAULT >
 ALPHA7 (ENTRAINMENT COEFFICIENT: TURBULENCE) 1.0000 <
 DEFAULT >
 ALPHA8 (ENTRAINMENT COEFFICIENT: BOTTOM, WALL JET) .. .0920 <
 DEFAULT >

ALPHA0 (ENTRAINMENT COEFF: POOL COLLAPSE, THERMAL) . .2350 <
 DEFAULT >
 ALPHAC (ENTRAINMENT COEFF: POOL COLLAPSE, SPREADING) .0010 <
 DEFAULT >

BETA (SETTLING COEFFICIENT)0000 <
 DEFAULT >
 CD (DRAG COEFFICIENT: CYLINDER) 1.3000 <
 DEFAULT >
 GAMA (RATIO OF DENSITY GRADIENTS: COLAPS)2500 <
 DEFAULT >
 CDRAG (FORM DRAG COEFF: ELLIPTICAL CYL.)5000 <
 DEFAULT >
 CFRIC (SKIN FRICTION COEFF: ELLIPTICAL CYL.)00250 <
 DEFAULT >
 CD3 (DRAG COEFF: ELLIPTICAL WEDGE)2000 <
 DEFAULT >
 CD4 (DRAG COEFF: 2-DIMENSIONAL PLATE) 1.0000 <
 DEFAULT >
 FRICTN (BOTTOM FRICTION COEFF.)1000 <
 DEFAULT >

```

TURBF (TURBULENT VELOCITY FLUCTUATION COEFF.) ..... .0100 <
DEFAULT >

AKY0 (IF NON-ZERO, CONSTANT VERTICAL DIFFUSION) ... .0000 <
DEFAULT >
ALAMDA (BASE DISSIPATION PARAMETER, 4/3 LAW DIFF.) .. .0010 <
DEFAULT >
ALAF(2) (AKX @ LS(2) = ALAF(2)*ALAMDA) ..... .7500 <
DEFAULT >
ALAF(3) (AKX @ LS(3) = ALAF(3)*ALAMDA) ..... .3300 <
DEFAULT >
LS(2) (LENGTH SCALE (FT) FOR DISSIPATION PARAMETER) 1000.0 <
DEFAULT >
LS(3) (LENGTH SCALE (FT) FOR DISSIPATION PARAMETER) 30000.0 <
DEFAULT >

ASFM (MAXIMUM ENHANCED SETTLING FACTOR) ..... 1.0000 <
DEFAULT >
FMIN (MIN. RELATIVE IMPORTANCE OF ANY SOLID CLASS) 1.0000 <
DEFAULT >
DELTA1 (FRACTION VERT. MOMENTUM => COLLAPSE IMPULSE) .1500 <
DEFAULT >
DELTA2 (BOTTOM COLLAPSE FRICTION FACTOR MODIFIER) ... .0000 <
DEFAULT >
BIELL (LIMITS ENERGY LOSS, BOTTOM OR SURFACE IMPACT) 1.0000 <
DEFAULT >
BETAKK (JET PHASE SEPARATION COEFFICIENT) ..... .0000 <
DEFAULT >
AVTOMX (MAX/AVE RATIO ACROSS GAUSSIAN DISTRIBUTION) . 1.5820 <
DEFAULT >

```

```

=====
=====
1

```

RUN COMPLETED

TOTAL CPU TIME (SEC) = 1.94