

RELATÓRIO SOBRE A MODELAGEM DA ÁGUA PRODUZIDA DO CAMPO DE CARATINGA – P-48

1. APRESENTAÇÃO

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

2. INTRODUÇÃO

2.1. CONSIDERAÇÕES SOBRE A ÁGUA PRODUZIDA

Conforme apresentado anteriormente nos itens 3.7.3 e 3.8.1, o plano de desenvolvimento do Sistema de Produção do Campo de Caratinga prevê um fluxo de água produzida ao longo do período de exploração do seu reservatório, que chega a valores significativos a partir de 2006 (18,9 m³/dia), aumentando seu volume gradativamente, de acordo com a evolução da produção, até um máximo de 12.966,20 m³/dia no ano de 2014 e depois diminuindo até valores de 5.000 a 6.000 m³/dia nos últimos sete anos (2020 a 2026).

Esta 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, conforme descrito nos itens 3.2.3.b e 3.8. Observa-se que a eficiência do tratamento da água produzida está relacionada diretamente aos seus volumes produzidos.

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 Sistema de Produção do Campo de Caratinga, serão separados no FPSO P-48, os 3 produtos oriundos do reservatório, sendo que a água de produção será tratada em planta específica (item 3.2.3.b deste documento) a fim de garantir o baixo impacto do 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 N° 20 de 1986, que trata do descarte de efluentes de fontes poluidoras em águas interiores e marinhas.

Segundo esta resolução, todo resíduo para ser lançado direta ou indiretamente em um corpo d'água deve apresentar concentração de óleo igual ou inferior a 20 ppm e temperatura inferior a 40°C. Por outro lado, não existe uma regulamentação específica que reja o descarte de água produzida em operações *offshore* no mar territorial brasileiro.

Os principais fatores oceanográficos que determinam o grau de diluição 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 de grandes profundidades e de grande dinamismo são favoráveis ao descarte da água produzida, não gerando conseqüências sensíveis ao ambiente.

De acordo com a 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, temperatura e densidade da água descartada, além da profundidade e dinamismo local.

Entretanto, 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.

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 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 melhoria 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 e fundo para as partículas pesadas). 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 à 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 prevalectimento das forças de coesão internas sobre as forças de arrasto. É caracterizado 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.

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, devendo 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 B.

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) | 100 m (328 ft) |
| 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 | 20 |
| NPCUR | Número de perfis a serem analisados na malha | 67 |
| TIME | Tempo de geração das saídas | 3.600 s (1 hr) |

| | | |
|------------------|---|--|
| DISCHARGE | Descreve os aspectos da descarga | |
| BBLPH | Fluxo do volume descartado | 13.624,1 bbl/hr |
| 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 | 21.600 s (6hs) (*2) |
| FTEMP | Temperatura da água produzida em °C | 38° |
| FSAL | Salinidade da água produzida em ppm | 56 |
| PARAM | Descrição da partícula a modelar | óleo |
| ROSM | Densidade da partícula (g/cm ³) | 0,9041 |
| 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 | -3 (três pares de intensidade e direção das correntes) |
| DUWA | Profundidades das observações de correntes | 0 m (0 ft), 50 m (164 ft) e 100 m (328 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) |
| NPROF | Indica o número de perfis de densidade a serem lidos | 1 (perfil constante) |
| NROA | Número de pontos em cada perfil de densidade | 3 |
| YROA | Profundidade para o par T/S especificado | 0 m (0 ft), 50 m (164 ft) e 100 m (328 ft) |
| TEMPA | Temperatura na profundidade | 25,13 °C, 23,33 °C e 21,04 °C |
| SALA | Salinidade na profundidade | 36,69, 36,71 e 36,48 |
| 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) | 6,5 m/s (21,57 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 | 337 m (1.105 ft) |
| PWID | Largura do FPSO | 54,5 m (178,8 ft) |
| PDEP | Calado do FPSO | 21 m (69 ft) |
| STDIA | Diâmetro característico das estruturas submersas | 168 m (551,2 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 fluabilidade – 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 a superfície do mar.

(*2) – Valor lançado em função de preservação da estabilidade do modelo.

3.3 SAÍDAS DO MODELO

A listagem apresentada no Apêndice B é referente à uma parte da saída dos dados do modelo OOC para a modelagem da água produzida característica da operação no campo de Caratinga.

Conforme apresentado nos dados de entrada, foram solicitadas as saídas de valores de concentração para 67 perfis localizados ao longo da direção da corrente até a distância de 2000 metros do FPSO P-48, a fim de verificar a extensão máxima deste efeito. Também foram solicitadas as concentrações em planos horizontais até 70 metros de profundidade, para verificação do espalhamento da água produzida em sua interação com o mar local. O próprio modelo define camadas de 3 metros (10 ft) para apresentação destes planos.

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 1 a 6, apresentadas no Apêndice A.

3.4 PREMISSAS DA MODELAGEM REALIZADA

Com o intuito de reproduzir o mais fielmente os dados representativos da realidade operacional no desenvolvimento da simulação, 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 estrutura do FPSO no deslocamento da água de produção descartada. O alinhamento de todo o grid foi feito de forma que este eixo X (N-S) coincidissem 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, e estendendo-se até 2.000 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 de efeito da descarga.

A profundidade máxima sensibilizada pela descarga da água produzida foi especificada em rodadas sucessivas do modelo, a partir de 200 metros de profundidade, definindo-se que a sua determinação em 70 metros seria ideal para a verificação do efeito.

O esquema representativo do grid é apresentado na Figura 1 no Apêndice A.

b) Quanto à descarga da água produzida

O lançamento foi simulado como sendo feito do nível da água, sem a necessidade de correções nos valores da vazão.

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 a serem instalados no FPSO.

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, e da vazão média diária ao longo da produção nos 23 anos (6.510,00 m^3/dia).

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 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 da embarcação são bem maiores que as normalmente modeladas, o que levou à 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, evitando uma maior dispersão horizontal nos primeiros metros. Entretanto a relação de maior penetração em profundidade na coluna d'água do que o calado operacional apresentado, permite que este bloqueio seja vencido pela interação ocorrida nas regiões mais profundas.

Outra adequação foi quanto às simulações do diâmetro característico das estruturas submersas e seu espaçamento. Para tal, o primeiro foi especificado como a metade da extensão do FPSO, ficando o segundo com um espaçamento mínimo, gerando um efeito semelhante ao real, causado pela integridade do casco.

f) Quanto a descargas simuladas 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 o 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 a grande descarga protegida, somada ao tempo máximo de um dia para a modelagem e com um passo de integração de uma hora, afetariam os resultados do modelo, muito em função do acompanhamento das plumas do parâmetro óleo. Para otimização de sua utilização, foi analisada a possibilidade de redução do tempo de descarga para 6 horas, não causando as inconsistências computacionais observadas anteriormente. Outras análises foram feitas e observou-se que poderia ser usado o tempo total de descarga de até quatro horas, com uma hora de passo de integração, que os resultados seriam os mesmos. Para adequação à realidade, foi recalculada a vazão de descarga para exprimir o total diário nestas seis horas.

4. RESULTADOS

4.1 DESCRIÇÃO DAS FIGURAS GERADAS

As análises feitas nesta seção são referentes às Figuras 2 a 6, apresentadas no Apêndice A. A Figura 2 representam a dispersão tridimensional das faixas de concentração do óleo residual na pluma, sendo integradas em uma só representação. A orientação do grid tridimensional ocorre ao longo da direção predominante da corrente no local (200°).

As figuras 3, 4, 5 e 6, representam quatro planos horizontais de concentrações de óleo, a 5, 20, 25 e 30 metros de profundidade. Em todas elas, as concentrações são expressas em valores de mg/L (ppm). A Figura 7, apresenta o perfil esquemático ao longo da distância de afastamento do ponto de descarga.

4.2 LEITURA GERAL DOS PRODUTOS DA SIMULAÇÃO

Como pode ser visto na Figura 7, o efluente da água de produção penetra na massa d'água até cerca de 40 metros de profundidade a 120 metros de afastamento do FPSO. Neste pontos, as forças de densidade e flutuabilidade do óleo ficam maiores que aquelas de afundamento, causando o seu retorno às camadas mais superficiais. Cerca de 300 a 400 metros de afastamento do FPSO, são verificadas as maiores concentrações residuais de óleo na camada subsuperficial, sem ser verificado um afloramento.

A partir daí, o efluente encontra sua camada de equilíbrio, com equivalência das forças ao longo da profundidade, mantendo-se entre 10 e 30 metros. As maiores concentrações (na faixa de 0.01 a 0.1 ppm) são observadas de 15 a 20 metros. A pluma deriva no sentido preferencial da corrente, com aumento de sua dispersão horizontal até 1.700 metros de afastamento do FPSO, quando as concentrações não são mais perceptíveis. Neste ponto, a dispersão horizontal da mistura da água produzida com o mar local, chega a cerca de 300 a 400 metros (Figuras 2 e 4).

As Figuras 3, 4, 5 e 6 demonstram as dispersões da pluma ao longo dos eixos longitudinal (afastamento do FPSO no sentido da corrente) e horizontal (afastamento lateral do FPSO) em vários planos de profundidade. Na primeira, referente a 5 m, pode ser observada a ausência de afloramentos do óleo residual, com registros mais concentrados junto ao FPSO e mais diluído a cerca de 100 a 200 metros. Já a 20 metros, são observadas as principais distribuições de concentrações, com a ratificação de ser esta a camada preferencial de deslocamento da pluma da água produzida descartada. As concentrações diminuem a 25 metros, e praticamente não são mais verificadas a 30 metros.

É válido destacar que, com a finalidade de representar as relações absolutas de gradação de tonalidade nas quatro representações, as ocorrências mais altas nas Figuras 4 (20 m), 5 (25 m) e 6 (30 m) foram substituídas pelo maior valor verificado (1,3683 ppm) na Figura 3 (5 m). Com isto, o aspecto de um valor muito alto (representado pela faixa marrom nos centros de maiores concentrações) nestas três figuras alteradas não exprime a real

concentração naquele ponto, mas sim, a indicação de ser o ponto de maior concentração e a manutenção da variação absoluta de cores representativas das concentrações entre todas as figuras.

Em suma, conclui-se que a pluma não existe fisicamente além dos 30 metros de profundidade e que os fatores de decaimento desta concentração pela diluição realizada pelo mar ao longo da direção da corrente já reduzem as concentrações observadas a valores extremamente reduzidos após 400 metros de afastamento do FPSO, onde o fator de diluição chega a 400 vezes [abaixo de 0,05 ppm] (Gráfico 1). A abertura lateral neste ponto de afastamento é de cerca de 200 metros, chegando a um máximo de 400 metros no limite de sensibilidade do modelo, registrado a 1.700 metros de afastamento longitudinal do FPSO.

5. 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 – Figuras resultantes da simulação

APÊNDICE B – Parte do arquivo de resultado da simulação, fornecido pelo programa OOC-PC.