

Modelagem do Descarte de Fluido de Preenchimento do Teste Hidrostático a partir do Gasoduto Rota 3

**Revisão 00
Agosto / 2013**



TETRA TECH é responsável pelo conteúdo do presente relatório incluindo: tecnologias, metodologias, especificações técnicas, desenhos, figuras, cópias, diagramas, fórmulas, modelos, amostras, e fluxogramas.

A utilização deste material deverá ser compatível com o escopo do projeto/trabalho contratado, fazendo-se expressa menção ao nome da TETRA TECH como autora do estudo. Da mesma forma, quando a equipe técnica da TETRA TECH for incorporada na equipe técnica da empresa contratante, esta deverá ser mencionada, e referenciada, como: “consultores da TETRA TECH”. Qualquer dúvida ou alteração desta conduta deverá ser discutida entre o cliente e a TETRA TECH.

TETRA TECH, 2013. Modelagem do Descarte de Fluido de Preenchimento do Teste Hidrostático a partir do Gasoduto Rota 3. Relatório Técnico, Revisão 00 (22 de agosto de 2013). 38pp+Apêndices/Anexos.

ÍNDICE GERAL

RESUMO	1
I INTRODUÇÃO	I-1
I.1 ÁREA DE ESTUDO	I-2
II CARACTERÍSTICAS DO LANÇAMENTO DE FLUORENE R2	II-1
III MODELAGEM DA DILUIÇÃO E DISPERSÃO DE EFLUENTES.....	III-1
III.1 MODELAGEM DA DILUIÇÃO NO CAMPO PRÓXIMO	III-2
III.2 DADOS AMBIENTAIS	III-3
III.2.1 CAMPOS DE VENTO	III-3
III.2.2 CAMPOS DE CORRENTES.....	III-4
III.2.3 DADOS DE TEMPERATURA E SALINIDADE	III-5
III.3 CARACTERÍSTICAS DO LANÇAMENTO	III-6
III.4 CARACTERÍSTICAS DOS EFLUENTES	III-6
III.5 CENÁRIOS SIMULADOS	III-7
III.6 RESULTADOS DA MODELAGEM DE LANÇAMENTO DE EFLUENTES.....	III-8
IV CONSIDERAÇÕES FINAIS	IV-1
V BIBLIOGRAFIA	V-1
VI EQUIPE TÉCNICA.....	VI-1
APÊNDICE I RESUMO DOS DADOS DE ENTRADA UTILIZADOS NAS SIMULAÇÕES	AI-1
ANEXO A DESCRIÇÃO DO SISTEMA DE MODELOS CORMIX.....	A-1
ANEXO B DESCRIÇÃO DO NCEP/NCAR.....	B-1

LISTA DE TABELAS

TABELA	PÁG.
Tabela I-1 - Coordenadas e lâmina d'água (m) do ponto de lançamento.	I-2
Tabela II-1 - Parâmetros utilizados para a modelagem das plumas de lançamento de Fluorene R2 a partir do Gasoduto Rota 3.	II-1
Tabela II-2 - Resultados dos testes de toxicidade com o equinodermo Lytechinus variegatus realizados com amostras de Fluorene R2.	II-2
Tabela III-1 - Valores de densidade obtidos dos dados do NODC (superfície e fundo) nas coordenadas do ponto de lançamento do efluente.	III-6
Tabela III-2 - Dados de entrada adotados no campo próximo para o Gasoduto Rota 3.	III-7
Tabela III-3 - Resultados das simulações do campo próximo do lançamento de Fluorene R2 a partir do Gasoduto Rota 3.	III-8

LISTA DE FIGURAS

FIGURA	PÁG.
Figura I-1 - Localização do ponto de lançamento do efluente proveniente de desalagamento do Gasoduto Rota 3, após teste hidrostático de integridade estrutural do duto. Fonte: NASA Landsat Program - Landsat 5 TM.	I-3
Figura III-1 - Diluição em relação à distância do ponto de lançamento de Fluorene R2 a partir do desalagamento do Gasoduto Rota 3, nos períodos de verão e inverno... ..	III-9
Figura III-2 - Profundidades em relação à distância do ponto de lançamento de Fluorene R2 a partir do desalagamento do Gasoduto Rota 3, nos períodos de verão e inverno.	III-10
Figura III-3 - Trajetória horizontal (vista em planta) da pluma de Fluorene R2 a partir do desalagamento do Gasoduto Rota 3, nos períodos de verão e inverno.	III-11
Figura III-4 - Visualização tridimensional do campo próximo da pluma de Fluorene R2 a partir do desalagamento do Gasoduto Rota 3, no período de verão.	III-12
Figura III-5 - Visualização tridimensional do campo próximo da pluma de Fluorene R2 a partir do desalagamento do Gasoduto Rota 3, no período de inverno.	III-12

RESUMO

Este relatório apresenta os resultados do estudo de modelagem numérica do processo da diluição e dispersão de plumas de fluido de preenchimento, próximo ao litoral do Estado do Rio de Janeiro. O fluido de preenchimento utiliza uma solução de fluoresceína 20%, comercializada com o nome de Fluorene R2, e seu lançamento é devido ao desalagamento do Gasoduto Rota 3, após testes hidrostáticos de integridade estrutural do duto.

Os padrões de circulação característicos da região foram estimados a partir de um modelo numérico de mesoescala, baseado no *Princeton Ocean Model* (POM), enquanto o campo de ventos foi proveniente de dados de reanálise de modelos meteorológicos.

Para a determinação da área de influência do lançamento do efluente contendo Fluorene R2 foram conduzidas simulações considerando a variação sazonal das forçantes meteorológicas e oceanográficas (períodos de verão e inverno), além das vazões de 445,0 m³/h. Estas simulações foram conduzidas com o CORMIX, desenvolvido na *Cornell University*, que simula o comportamento da pluma de efluentes no campo próximo.

Como critério ambiental foi adotada a comparação do efluente no corpo receptor com a Concentração de Efeito Não Observado (CENO), estabelecida na Resolução do CONAMA nº 430/11. Ressalta-se que, no ponto de desalagamento, a concentração de Fluorene R2 no efluente (*i.e.* 40 mg/L) já é inferior à CENO de 200 mg/L obtida em testes de laboratório. Dessa forma, não foi possível aplicar o conceito de zona de mistura relativa à toxicidade crônica a este efluente.

Os resultados das simulações do descarte do efluente apresentaram diluições de 79 vezes. Em ambos os períodos simulados, as plumas do efluente mantêm-se próximas ao fundo, apresentando comprimentos de cerca de 40 metros.

I INTRODUÇÃO

Neste relatório é apresentada a modelagem computacional da diluição e dispersão do efluente proveniente do teste hidrostático de integridade estrutural do Gasoduto Rota 3, no litoral do Estado do Rio de Janeiro. O efluente é composto de uma mistura de água do mar filtrada com uma solução de fluoresceína 20% (comercializada com o nome de Fluorene R2), e descartado no ambiente devido ao desalagamento deste gasoduto. Os resultados do estudo realizado estão de acordo com as diretrizes definidas no Termo de Referência do CGPEG/DILIC/IBAMA nº 001/2011.

Para estudos de modelagem, como o realizado neste trabalho, são necessários: (a) um conhecimento detalhado das características geomorfológicas do local (morfologia da linha de costa e fundo oceânico), (b) padrões de circulação local e em larga escala, (c) séries temporais de vento de longa duração, e (d) características físico-químicas dos constituintes presentes no efluente simulado.

O campo de correntes característico dos padrões de circulação na região foi obtido a partir de um modelo numérico de mesoescala, baseado no *Princeton Ocean Model* (POM), adaptado e implementado para reproduzir as correntes oceânicas de plataforma e talude, presentes na costa sul-sudeste do Brasil (ASA, 2010a,b). Também foi considerado um campo de ventos, baseado em dados de Reanálise dos modelos meteorológicos do NCEP/NCAR.¹

Para o estudo do comportamento da pluma de efluente, foi utilizado o modelo CORMIX, desenvolvido na *Cornell University*, que simula os processos no campo próximo (zona de diluição inicial, onde prevalecem os efeitos oriundos da velocidade inicial de ejeção e a diferença de densidade entre o efluente e o meio).

¹ Reanálise do NCEP/NCAR (*National Centers for Environmental Prediction / National Center for Atmospheric Research*), dados fornecidos por NOAA/OAR/ESRL PSD, Boulder, Colorado, EUA, a partir de <http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/gridded/data.ncep.reanalysis.html>. Último acesso em 24 de janeiro de 2013.

Dessa forma o Capítulo I, além de apresentar os objetivos desse estudo, fornece informações sobre a área em questão. O Capítulo II, a seguir, apresenta as características do lançamento do efluente. O Capítulo III apresenta a modelagem do fator de diluição no campo próximo e seus resultados. Por fim, no Capítulo IV são discutidos os resultados obtidos neste estudo.

O Apêndice I apresenta um resumo dos dados de entrada utilizados nas modelagens de dispersão das plumas de efluentes (de acordo com o Termo de Referência do CGPEC/DILIC/IBAMA nº 001/2011). O Anexo A apresenta a descrição do modelo CORMIX e o Anexo B apresenta informações referentes ao campo de ventos do NCEP/NCAR analisados neste estudo.

I.1 ÁREA DE ESTUDO

As simulações da diluição e dispersão do efluente foram realizadas a partir do Gasoduto Rota 3, próximo ao litoral do Rio de Janeiro, conforme mostra a Figura I-1.

As coordenadas do ponto de lançamento foram especificadas pela PETROBRAS e são apresentadas na Tabela I-1.

Tabela I-1 - Coordenadas e lâmina d'água (m) do ponto de lançamento.

PONTO DE LANÇAMENTO	SISTEMA DE REFERÊNCIA / PROJEÇÃO	LATITUDE	LONGITUDE	LÂMINA D'ÁGUA (m)
Rota 3	UTM – 23S – WGS-84	7.287.847 N	751.840 E	1.628,00
	Sistema de coordenadas geográficas (SIRGAS 2000)	24°30'09,80" S	42°30'53,03" W	

Fonte: PETROBRAS.

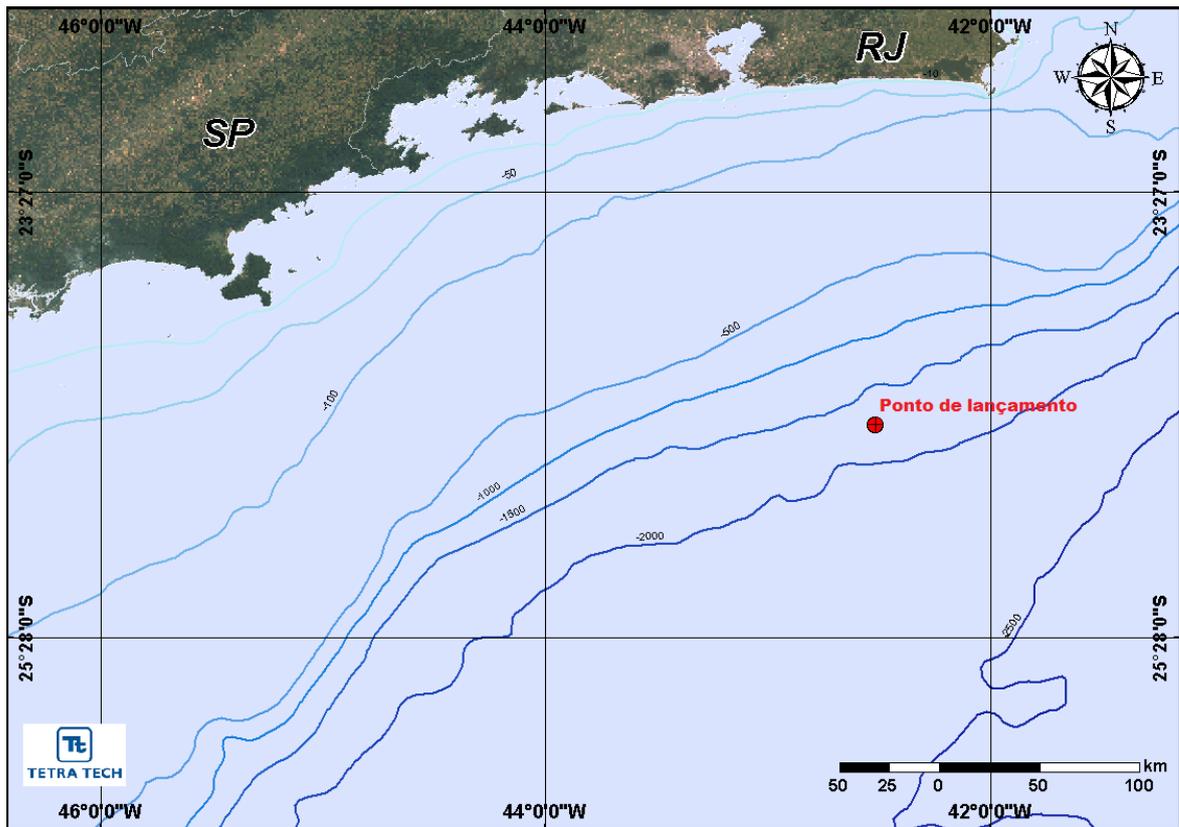


Figura I-1 - Localização do ponto de lançamento do efluente proveniente de desalagamento do Gasoduto Rota 3, após teste hidrostático de integridade estrutural do duto. Fonte: NASA Landsat Program - Landsat 5 TM².

² Cortesia do Global Land Cover Facility (www.landcover.org): NASA (National Aeronautics and Space Administration). Landsat Program, 2009, Landsat TM; L1T, USGS, Sioux Falls. 1988-2007. Disponível em: <<http://glcf.umiacs.umd.edu/data/landsat/>>. Acesso em 20/01/2011.

II CARACTERÍSTICAS DO LANÇAMENTO DE FLUORENE R2

Na Tabela II-1 são apresentadas as características do lançamento de efluente constituído de uma solução de Fluorene R2 com água do mar filtrada, devido ao desalagamento do Gasoduto Rota 3, após os testes hidrostáticos de integridade estrutural do duto.

O efluente será continuamente descartado, com uma vazão de 445,0 m³/h, por 100 horas, através de um orifício com diâmetro de 0,6096 m, posicionado três metros acima do fundo, em local com lâmina d'água de 1.628 m.

A temperatura de lançamento do efluente é de cerca de 3,0 °C, e a concentração inicial de Fluorene R2 no efluente é de 40 ppm (40 mg/L).

Tabela II-1 - Parâmetros utilizados para a modelagem das plumas de lançamento de Fluorene R2 a partir do Gasoduto Rota 3.

DIÂMETRO TUBULAÇÃO	ORIENTAÇÃO DA TUBULAÇÃO	LÂMINA D'ÁGUA	ALTURA DE LANÇAMENTO	VAZÃO DO EFLUENTE
0,6096 m	Vertical para cima	1.628,0 m	3 m a partir do fundo	445,0 m ³ /h

Fonte: PETROBRAS.

Como a empresa que comercializa o Fluorene R2 não dispõe de todas as propriedades físico-químicas necessárias para a modelagem, nestas simulações foram utilizadas as propriedades conhecidas do produto, fornecidas pela PETROBRAS, acrescidas das propriedades da fluoresceína.

De acordo com a Resolução do CONAMA³ n^o 430/11 (BRASIL, 2011), como critério ambiental, foi realizada a comparação das concentrações do efluente contendo Fluorene R2 no corpo receptor com a Concentração de Efeito Não Observado (CENO), referente ao efluente e obtida nos testes de toxicidade com o equinodermo *Lytechinus variegatus* (LABTOX, 2002). A Tabela II-2 apresenta o valor da CENO para o Fluorene R2.

³ Conselho Nacional do Meio Ambiente.

Tabela II-2 - Resultados dos testes de toxicidade com o equinodermo Lytechinus variegatus realizados com amostras de Fluorene R2.

EFLUENTE	CENO*
Fluorene R2	200 mg/L

* Concentração de Efeito Não Observado.

Fonte: LABTOX (2002) fornecido pela PETROBRAS.

Ressalta-se que, no ponto de desalagamento, a concentração de Fluorene R2 no efluente já é inferior ao critério ambiental adotado (CENO).

III MODELAGEM DA DILUIÇÃO E DISPERSÃO DE EFLUENTES

A modelagem do transporte de plumas de efluentes compreende a modelagem de dois domínios conhecidos como campo próximo e campo afastado. O campo próximo corresponde à zona de diluição inicial onde prevalecem os efeitos oriundos da fonte ativa (sistema de disposição oceânica, composto por um ou vários orifícios, por exemplo), caracterizados pela velocidade inicial de ejeção (quantidade de movimento inicial do jato) e a diferença de densidade entre o efluente e o meio (empuxo inicial do jato). Esta zona possui uma escala espacial com ordens de grandeza de metros a dezenas de metros, e escala temporal da ordem de segundos a centenas de segundos.

O campo afastado compreende a região onde passam a predominar os efeitos da dinâmica passiva na diluição da pluma, *i.e.* não influenciada pela fonte ativa, mas apenas por fatores ambientais. À medida que o efluente se afasta do ponto de descarte, os efeitos associados à velocidade inicial de ejeção diminuem, passando a predominar os efeitos associados à velocidade do ambiente. A região onde ocorre a transição entre estes dois efeitos define os limites entre estes domínios. A escala espacial do campo afastado possui ordens de grandeza de centenas de metros a quilômetros, e escala temporal da ordem de horas a dias.

De acordo com as características do lançamento, o efluente é lançado com uma concentração inferior a do critério ambiental utilizado neste estudo. Dessa forma, é apresentada a seguir, apenas a modelagem do fator de diluição obtido no campo próximo.

III.1 MODELAGEM DA DILUIÇÃO NO CAMPO PRÓXIMO

O modelo CORMIX⁴, desenvolvido na *Cornell University* sob contrato e aprovação da EPA⁵ dos EUA, foi utilizado para simular o campo próximo do lançamento do efluente a partir do Gasoduto Rota 3. A descrição deste modelo encontra-se no Anexo A.

Este modelo requer três tipos de parâmetros de entrada:

- As características ambientais, as quais descrevem as condições meteorológicas e oceanográficas esperadas para o local. Estas podem ser obtidas a partir de dados históricos ou a partir de resultados de modelagem (apresentadas em detalhes no Item III.2);
- As características do lançamento, descrevendo a geometria do sistema através do qual é realizado o lançamento;
- As características do efluente, os quais descrevem os parâmetros como a vazão e a densidade do efluente descartado.

As características ambientais incluem as informações de densidade (salinidade e temperatura), corrente e vento no local de lançamento do efluente. O modelo CORMIX não adota explicitamente a salinidade e a temperatura como parâmetros de caracterização da coluna d'água, mas sim a densidade. Porém, como este é um parâmetro que pode ser determinado a partir da salinidade e da temperatura, foram utilizados os dados apresentados no Item III.2 para o cálculo da densidade, através da equação de estado da água do mar, desenvolvida por Fofonoff & Milard (1983). A descrição dos dados de corrente e vento também são abordados com mais detalhe no Item III.2, a seguir.

Conforme descrito no Capítulo II, esse efluente é uma solução de Fluorene R2 e água do mar filtrada. A densidade do efluente foi calculada em função da concentração de Fluorene R2 no efluente (i.e. 40 mg/L) e da média da densidade ambiente na coluna d'água para os períodos de verão e inverno. Dessa

⁴ *Cornell Mixing Zone Expert System* (www.cormix.info)

⁵ *Environmental Protection Agency*

forma, a densidade do efluente foi definida como $1.035,619 \text{ kg/m}^3$ para o período de verão e $1.035,502 \text{ kg/m}^3$ para o inverno.

As características do lançamento também foram apresentadas no Capítulo II e consideraram que o desalagamento será realizado através de um orifício com diâmetro de 0,6096 m, posicionado três metros acima do fundo, em local com lâmina d'água de, aproximadamente, 1.628 m de profundidade. O ângulo vertical de lançamento é de 90° em relação a horizontal (apontando para a superfície).

III.2 DADOS AMBIENTAIS

Para modelagem no campo próximo são utilizados dados ambientais como salinidade, temperatura, campo de ventos e correntes. Estes dados são analisados com o objetivo de caracterizar a região de lançamento do efluente nos diferentes períodos sazonais (verão e inverno), e fornecer os valores de entrada no modelo que caracterizam cada cenário.

III.2.1 Campos de Vento

Para caracterização do regime de ventos na região de estudo foi utilizado um conjunto de dados variável no tempo e no espaço, proveniente de reanálise do NCEP/NCAR. Vale ressaltar que estes dados são resultados de simulações numéricas que utilizam as técnicas mais modernas em assimilação de dados em conjunto com a mais extensa base de dados disponível. Esta base de dados tem sido aprimorada e beneficiada pela inclusão de observações (coleta de dados) realizadas em diversos países. Maiores detalhes sobre os dados NCEP/NCAR são apresentados no Anexo B.

Os dados de reanálise do NCEP/NCAR têm originalmente uma resolução espacial de $2,5^\circ$ e temporal de 6 horas. Para o presente trabalho estes dados foram interpolados, resultando numa grade com resolução de 24 km, em intervalos horários.

Os dados utilizados são referentes à média climatológica dos meses de verão e inverno, no período entre 1962 e 2012. Em Tt (2013) são apresentadas análises dos ventos NCEP/NCAR realizadas pontualmente, a partir de uma série temporal extraída na posição latitude 23,8°S e longitude 41,3°W.

III.2.2 Campos de Correntes

Os campos de correntes utilizados na caracterização ambiental para a modelagem de descarte do efluente foram gerados a partir da modelagem hidrodinâmica apresentada em ASA (2010a,b; 2011a), e utilizados em outros estudos do descarte de efluentes nas Bacias de Campos e Santos (ASA, 2010a; 2011a,b). Este modelo, que foi implementado com sucesso para a costa sudeste do Brasil, possui uma resolução espacial de 100x300 elementos na horizontal por 20 camadas na vertical, em intervalos horários.

Para avaliar a sazonalidade das forçantes ambientais nos padrões de circulação e transporte, foram definidos dois campos hidrodinâmicos representativos dos períodos típicos de verão (janeiro a março) e inverno (junho a agosto) de 1992. A justificativa para a escolha deste ano também é apresentada em ASA (2011a).

Considerando a simplificação quanto às correntes assumida pelo CORMIX (*i.e.* intensidade e direção de correntes constante) e a complexidade e importância do regime de fluxo neste domínio, optou-se por uma abordagem mais conservativa na determinação do fator de diluição do campo próximo.

Especificamente, utilizou-se um valor constante de intensidade de corrente correspondente ao percentil de 10% dos valores observados no modelo hidrodinâmico utilizado. Ou seja, 90% dos valores de intensidade da corrente observados no modelo hidrodinâmico são superiores (mais intensos) do que o valor utilizado nas simulações de campo próximo. Este valor foi utilizado com base nas exigências para avaliação de plumas de efluentes da EPA (BRANDSMA, 2004), de forma a fornecer a mínima diluição inicial, uma vez que a diluição do efluente tende a ser maior com o aumento da intensidade da corrente ambiente, que propicia um maior entranhamento do efluente na coluna d'água.

III.2.3 Dados de Temperatura e Salinidade

Os dados de temperatura e salinidade foram utilizados na modelagem para gerar os perfis de densidade. Esses dados foram disponibilizados pelo NODC⁶ (CONKRIGHT *et al.*, 2002), um dos centros de dados da NOAA.⁷ Neste conjunto de dados, os campos de temperatura e salinidade são gerados a partir de interpolações de informações coletadas por diferentes projetos fazendo uso de garrafas, CTDs, batitermógrafos, bóias fundeadas e de deriva e perfiladores.

O conjunto de dados NODC-01 é composto pelo WOA01⁸ (2001) o qual foi criado a partir da interpolação de diversos dados coletados em diferentes cruzeiros. Para este trabalho foi utilizado o “*High resolution (1/4 degree) Temperature and Salinity Analyses of the World's Oceans. Version 2* (NOAA-NODC)”.⁹

Esta versão apresenta modificações no método de alisamento, utilizando o método Shuman (SHUMAN, 1957) e o método de Rabiner (RABINER *et al.*, 1975), utilizando sempre as informações presentes no ponto de grade em questão e nos pontos adjacentes (o primeiro ponto a leste, a oeste, a norte e a sul), conforme descrito em WOA01 (2001).

O modelo CORMIX não adota explicitamente a salinidade e a temperatura como parâmetros de caracterização da coluna d'água, mas sim a densidade. Porém, como este é um parâmetro que pode ser determinado a partir da salinidade e da temperatura, estes dados foram utilizados para o cálculo da densidade através da equação de estado da água do mar desenvolvida por Fofonoff & Milard (1983).

⁶ National Oceanographic Data Center

⁷ National Oceanic and Atmospheric Administration

⁸ World Ocean Atlas

⁹ NOAA-NODC *High resolution (1/4 degree) Temperature and Salinity Analyses of the World's Oceans. Version 2*. Disponível em: <http://www.nodc.noaa.gov/OC5/WOA01/qd_ts01.html>. Acesso em 09 de outubro de 2012.

Tabela III-1 - Valores de densidade obtidos dos dados do NODC (superfície e fundo) nas coordenadas do ponto de lançamento do efluente.

PROFUNDIDADE (m)	DENSIDADE (kg/m ³)	
	VERÃO	INVERNO
0,0	1.024,08	1.025,18
1.500,0	1.034,51	1.034,41
~1.600,0	1.036,74	1.036,61

III.3 CARACTERÍSTICAS DO LANÇAMENTO

As características do lançamento do efluente contendo Fluorene R2 foram apresentadas em detalhes no Capítulo II, e consideraram que o descarte do efluente será realizado através de um orifício com diâmetro de 0,6096 m, ocorrendo em um local com lâmina d'água de, aproximadamente, 1.628 m de profundidade. O desalagamento ocorre 3 m acima do fundo, com ângulo vertical de lançamento de 90° em relação a horizontal (apontando para cima).

O efluente contendo Fluorene R2 é descartado continuamente ao longo de 100 horas, com uma vazão de 445,0 m³/h.

III.4 CARACTERÍSTICAS DOS EFLUENTES

As características do efluente contendo Fluorene R2 também foram descritas no Capítulo II. Nestas simulações consideraram-se as propriedades conhecidas do Fluorene R2, fornecidas pela PETROBRAS, acrescidas das propriedades da fluoresceína.

Assim como para os dados ambientais, o CORMIX também não adota explicitamente a salinidade e a temperatura como parâmetros de caracterização do efluente, mas sim a densidade, apresentada no Item III.1.

III.5 CENÁRIOS SIMULADOS

As simulações para a determinação da diluição e dispersão do efluente descartado a partir do Gasoduto Rota 3 consideraram os períodos sazonais de verão e inverno.

A Tabela III-2 apresenta os dados de entrada adotados nas simulações de verão e inverno com o modelo CORMIX, para o Gasoduto Rota 3. Como o CORMIX possui uma limitação no tamanho da coluna d'água considerada, *i.e.* a maior coluna d'água permitida é de 1.000 m, optou-se por selecionar apenas a camada na qual o efluente efetivamente se encontra, sendo determinada após testes preliminares de sensibilidade do modelo. Para o caso específico do Gasoduto Rota 3, foi selecionada a camada de cerca de 500 m, exatamente acima do fundo oceânico, e seus respectivos parâmetros, para as simulações.

Tabela III-2 - Dados de entrada adotados no campo próximo para o Gasoduto Rota 3.

PARÂMETROS		DADOS DE ENTRADA	
		VERÃO	INVERNO
Ambiente	Profundidade média (m)	500,0	500,0
	Profundidade no ponto de descarte (m)	500,0	500,0
	Velocidade ambiente (m/s)	0,1230	0,1225
	Coefficiente de Manning	0,01	0,01
	Velocidade do vento (m/s) ¹⁰	5,7	6,6
	Densidade ambiente a 1.500,0 m (kg/m ³)	1.034,51	1.034,41
	Densidade ambiente na prof. de lançamento (kg/m ³)	1.036,74	1.036,61
Efluente	Vazão do efluente (m ³ /s)	0,1236	0,1236
	Densidade do efluente "non-fresh" (kg/m ³)	1.035,62	1.035,50
	Tipo de poluente	conservativo	conservativo
Descarte	Diâmetro da porta (m)	0,6096	0,6096
	Altura da porta (m)	3,0	3,0
	Ângulo vertical THETA	-90°	-90°
Zona de Mistura	Região de interesse (m)	10.000,0	10.000,0
	Número de intervalos para apresentação de resultados	20,0	20,0

¹⁰ Dado de entrada necessário para o correto funcionamento do modelo, mas desconsiderado na modelagem do campo próximo.

III.6 RESULTADOS DA MODELAGEM DE LANÇAMENTO DE EFLUENTES

A Tabela III-3 apresenta os resultados das simulações no campo próximo para o descarte de Fluorene R2, proveniente do desalagamento do Gasoduto Rota 3. Observa-se que a diluição é semelhante para ambos os períodos.

Tabela III-3 - Resultados das simulações do campo próximo do lançamento de Fluorene R2 a partir do Gasoduto Rota 3.

PARÂMETROS	VERÃO	INVERNO
Diluição	78,8	78,7
Concentração de Fluorene R2 (mg/L)	0,5076	0,5082
Espessura final da pluma (m)	6,3	6,3
Comprimento do campo próximo (m)	41,2	41,3
Profundidade terminal da pluma (m)	1.614,1	1.614,1

A menor profundidade que a pluma atinge é de, aproximadamente, 1.614 m tanto para o verão quanto para o inverno, a cerca de 40 m do ponto de lançamento.

A Figura III-1 apresenta as diluições e profundidades da pluma do efluente em relação à distância do ponto de lançamento, baseado nos resultados do campo próximo calculados nos períodos de verão e inverno. Observa-se que a diluição aumenta à medida que a pluma/jato se afasta do ponto de lançamento.

A Figura III-2 e a Figura III-3 apresentam as trajetórias horizontais e verticais, em relação à distância do ponto de lançamento, para os mesmos cenários.

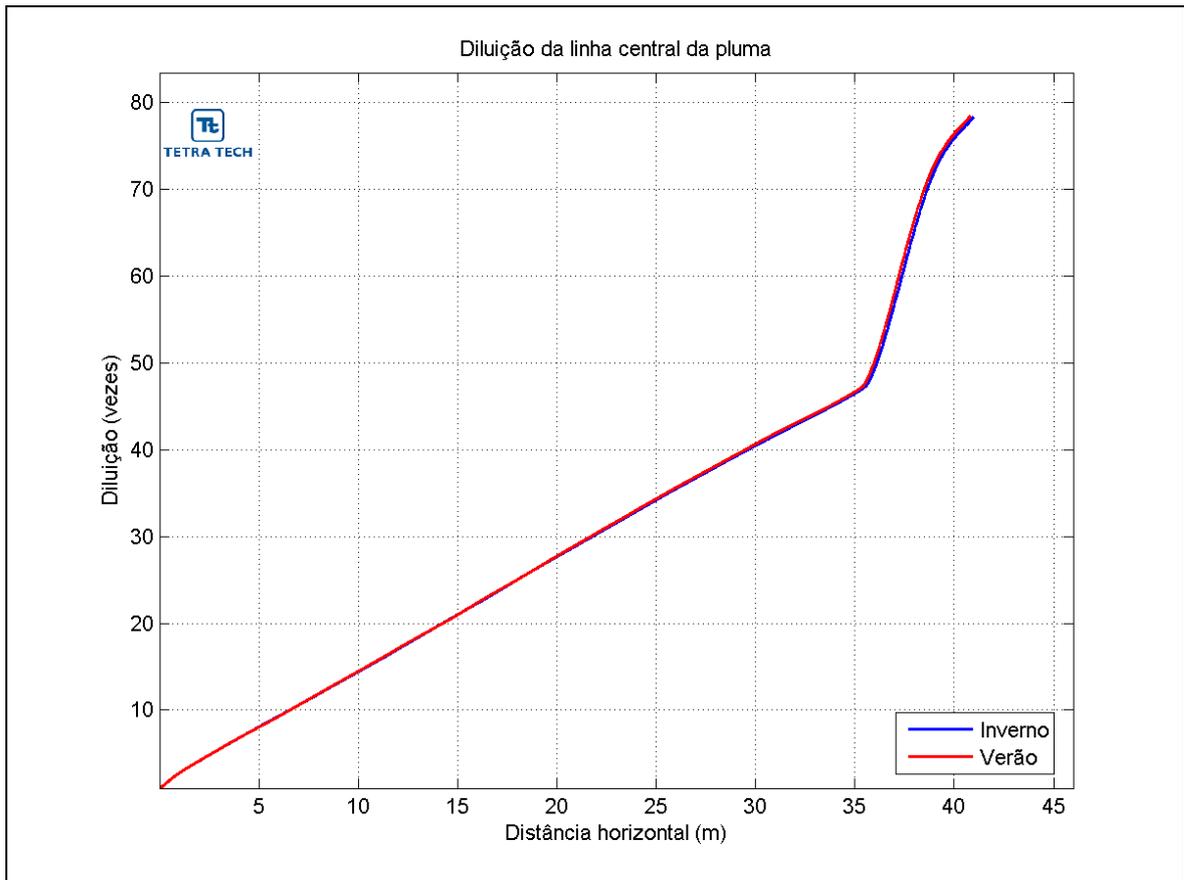


Figura III-1 - Diluição em relação à distância do ponto de lançamento de Fluorene R2 a partir do desalagamento do Gasoduto Rota 3, nos períodos de verão e inverno.

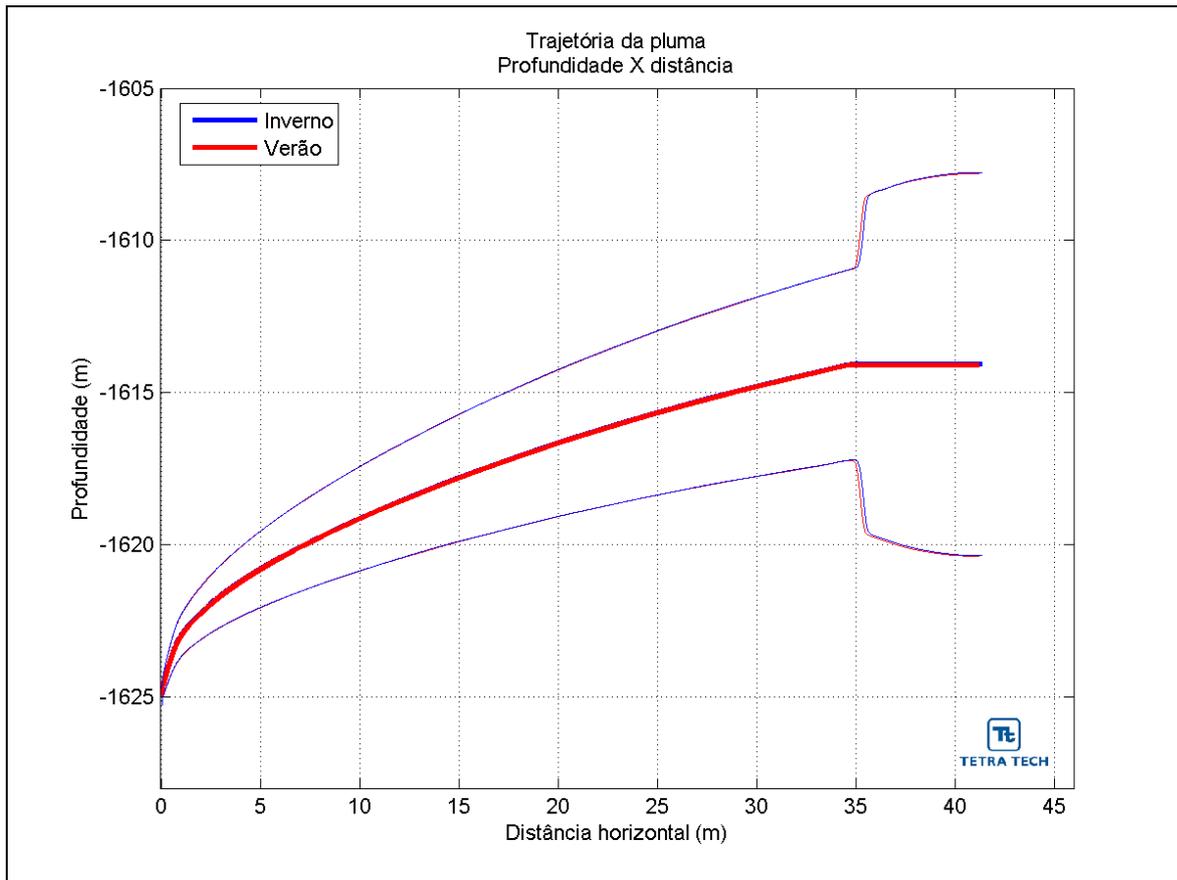


Figura III-2 - Profundidades em relação à distância do ponto de lançamento de Fluorene R2 a partir do desalagamento do Gasoduto Rota 3, nos períodos de verão e inverno.

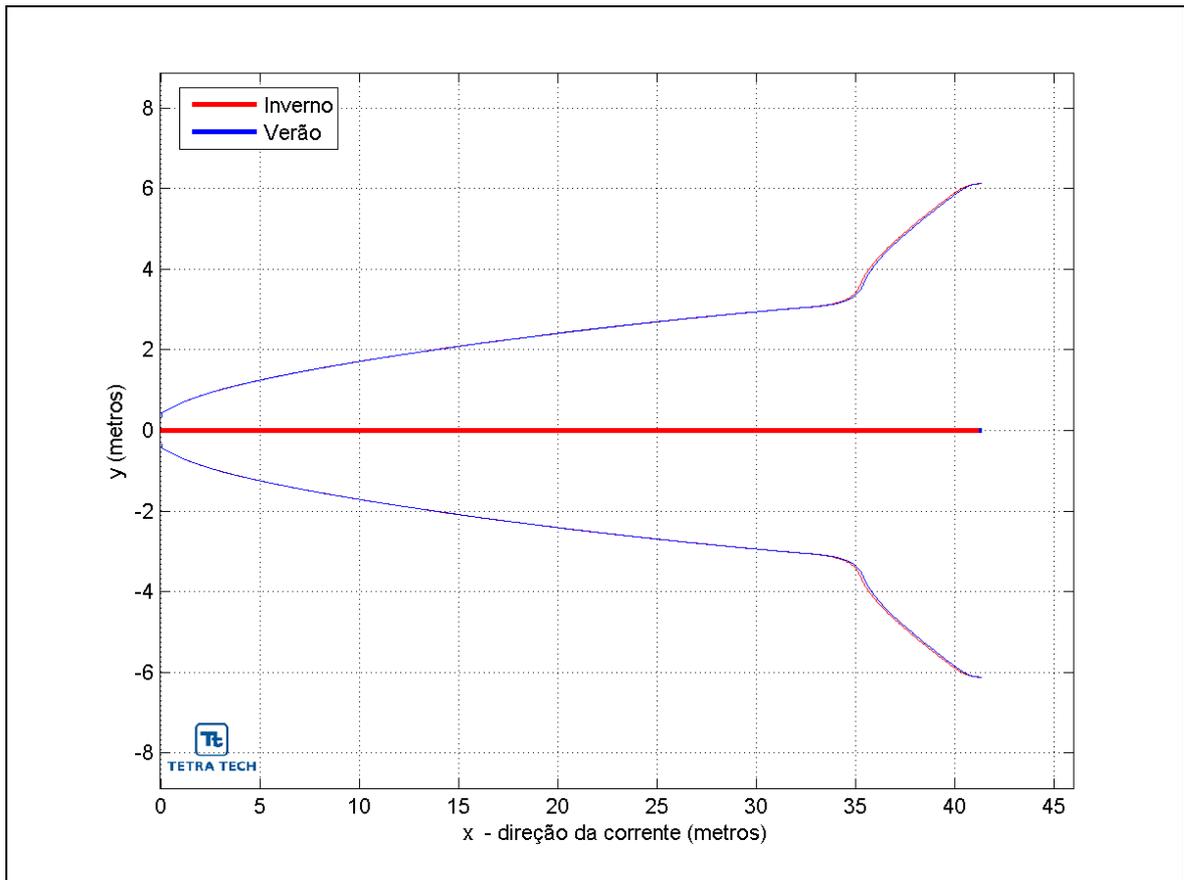


Figura III-3 - Trajetória horizontal (vista em planta) da pluma de Fluorene R2 a partir do desalagamento do Gasoduto Rota 3, nos períodos de verão e inverno.

A Figura III-4 apresenta uma visualização tridimensional da pluma de efluente para o período de verão, e a Figura III-5 para o período de inverno. Nestas figuras, a razão de aspecto da escala vertical foi alterada para permitir uma melhor visualização.

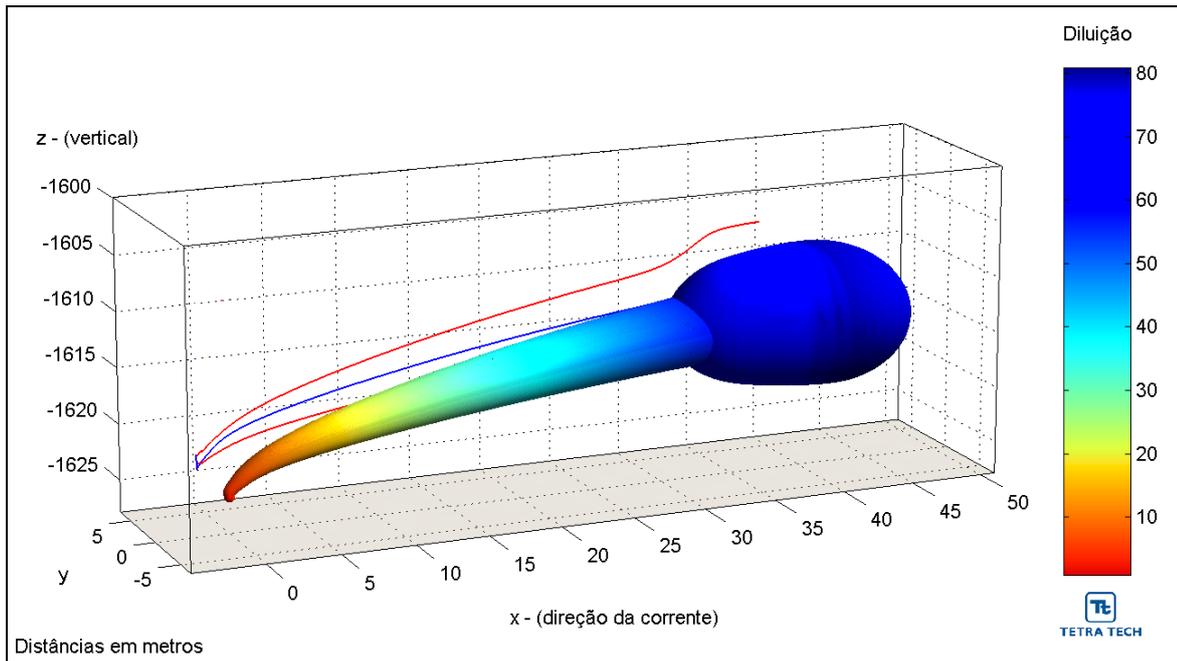


Figura III-4 - Visualização tridimensional do campo próximo da pluma de Fluorene R2 a partir do desalagamento do Gasoduto Rota 3, no período de verão.

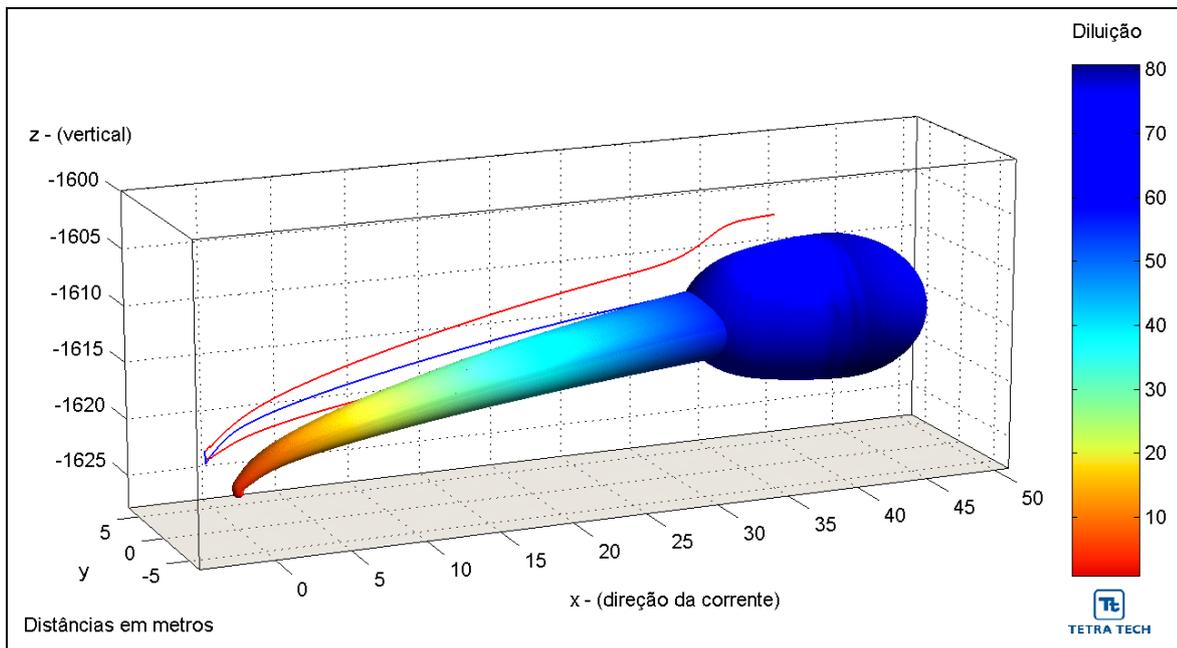


Figura III-5 - Visualização tridimensional do campo próximo da pluma de Fluorene R2 a partir do desalagamento do Gasoduto Rota 3, no período de inverno.

Através da análise dos resultados observa-se que o efluente mantém-se próximo ao fundo da coluna d'água, apresentando no campo próximo um jato que atinge profundidades próximas a 1.614 metros e extensão de, aproximadamente, 40 m no verão e no inverno.

Ressalta-se que no ponto de desalagamento a concentração inicial de Fluorene R2 no efluente (*i.e.* 40 mg/L) já é inferior à CENO de 200 mg/L, obtida em testes de laboratório. Dessa forma, não foi possível aplicar o conceito de zona de mistura relativa à toxicidade crônica a este efluente.

IV CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste relatório é apresentado o estudo realizado para a determinação da diluição e dispersão das plumas provenientes do lançamento de fluido de preenchimento, próximo ao litoral do Estado do Rio de Janeiro. O fluido de preenchimento utiliza uma solução de fluoresceína 20%, comercializada com o nome de Fluorene R2, e seu lançamento é devido ao desalagamento do Gasoduto Rota 3, após testes hidrostáticos de integridade estrutural do duto. Os resultados deste estudo estão de acordo com as diretrizes definidas no Termo de Referência do CGPEG/DILIC/IBAMA nº 001/2011.

Dessa forma, foram realizadas simulações de campo próximo, que fornecem a diluição inicial do efluente, considerando cenários de desalagamento para os períodos de verão e inverno. Estas simulações foram conduzidas com o CORMIX, desenvolvido na *Cornell University*, que simula o comportamento da pluma de efluentes no campo próximo.

Para a determinação da área de influência do lançamento foram conduzidas simulações considerando a variação sazonal das forçantes meteorológicas e oceanográficas, sendo selecionados para isso os períodos de verão e inverno.

Os padrões de circulação característicos da região foram estimados a partir de um modelo numérico de mesoescala, baseado no *Princeton Ocean Model* (POM). Enquanto o campo de ventos foi proveniente de dados de reanálise de modelos meteorológicos do NCEP/NCAR.

Para o descarte de Fluorene R2 foram realizadas simulações com a vazão de 445,0 m³/h, simulado através de um orifício com 0,6096 m de diâmetro, posicionado três metros acima do fundo, em local com lâmina d'água de, aproximadamente, 1.628 m de profundidade.

Como critério ambiental foi utilizada a comparação do efluente no corpo receptor com a Concentração de Efeito Não Observado (CENO), para o Fluorene R2, estabelecida na Resolução do CONAMA nº 430/11. Ressalta-se que no ponto de desalagamento a concentração inicial de Fluorene R2 no efluente (*i.e.* 40 mg/L) já é inferior à CENO de 200 mg/L obtida em testes de laboratório realizados com o equinodermo *Lytechinus variegatus*. Dessa forma, não foi

possível aplicar o conceito de zona de mistura relativa à toxicidade crônica a este efluente.

Os resultados das simulações de campo próximo apresentaram diluições de 79 vezes para ambos os períodos, com profundidade terminal das plumas de 1.614 m. O comprimento do campo próximo é da ordem de 40 m para os períodos de verão e de inverno.

Através dos resultados conclui-se que o lançamento de fluido de preenchimento apresenta resultados semelhantes para os períodos de verão e inverno.

V BIBLIOGRAFIA

ASA (Applied Science Associates South America), 2010a. Modelagem do Transporte e Dispersão de Óleo no Mar para a Área Geográfica Bacia de Santos. **Relatório Técnico**, Revisão 03 (15 de julho de 2010). 266pp+Anexos.

ASA (Applied Science Associates South America), 2010b. Modelagem de Vazamentos de Condensado a partir do Sistema de Produção e Escoamento do Campo de Mexilhão, Bacia de Santos. **Relatório Técnico**, Revisão 00 (12 de novembro de 2010). 179pp+Anexos.

ASA (Applied Science Associates South America), 2011a. Modelagem Hidrodinâmica para a Costa Sudeste Brasileira, Bacias de Campos e Santos. **Relatório Técnico**, Revisão 00 (16 de fevereiro de 2011). 103pp+Anexos.

ASA (Applied Science Associates South America), 2011b. Modelagem do Descarte de Fluido de Preenchimento do Teste Hidrostático a partir do Gasoduto Rota Cabiúnas. **Relatório Técnico**, Revisão 00 (02 de agosto de 2011). 48pp+Anexos.

Tt (Tetra Tech), 2013. Caracterização do Meio Físico (Meteorologia e Oceanografia) para Suporte ao EIA/RIMA na Região do Gasoduto Rota 3 - Petrobras. **Relatório Técnico Parcial**, Revisão 00 (20 de fevereiro de 2013). 40pp.

BRANDSMA, M.G., 2004. Modeling of Cooling Water, ORV Cold-Water and Cavern Leaching Brine Plumes from Main Pass Energy Hub. **Technical Report**. Ecology and Environmental, Inc; 23 February 2004. 83pp.

CONKRIGHT, M.E.; ANTONOV, J.I.; BARANOVA, O.; BOYER, T.P.; GARCIA, H.E.; GELFELD, R.; JOHNSON, D.; LOCARNINI, R.A.; MURPHY, P.P.; O'BRIEN, T.D.; SMOLYAR, I. & STEPHENS, C., 2002. World Ocean Database 2001, Volume 1: Introduction. Ed: Sydney Levitus, **NOAA Atlas NESDIS 42**, U.S. Government Printing Office, Wash., D.C., 167 pp. Disponível em <http://www.nodc.noaa.gov/>

FOFONOFF, P. & MILLARD, R.C.J., 1983. Algorithms for computation of fundamental properties of seawater. **UNESCO Tech. Pap. Mar. Sci.** 44:1-53.

LABTOX (LABTOX - Tecnologia Ambiental), 2002. Teste de toxicidade com o Fluorene R2 (Código LET 2364) com o ouriço do mar *Lytechinus variegatus* (Echinodermata - Echinoidea). Teste nº 527. **Lauda Técnico.** 9pp.

LEVITUS, S. & BOYER, T.P., 1994. World Ocean Atlas 1994. **Technical Report** Vol. 4, National Oceanographic Data Center, Ocean Climate Laboratory. 117pp.

RABINER, L. R.; SAMBUR, M.R. & SCHMIDT, C.E., 1975. Applications of a nonlinear smoothing algorithm to speech processing. *IEEE Trans. on Acoustics, Speech and Signal Processing.* Vo. Assp-23, 552-557.

SHUMAN, F.G., 1957. Numerical methods in weather prediction: II. Smoothing and filtering, *Mon. Weather Rev.*85, 357-361.

WOA01 (World Ocean Atlas), 2001. Methods. Disponível em. <<ftp://ftp.nodc.noaa.gov/pub/data.nodc/woa/PUBLICATIONS/qdegmethod.pdf>> Acesso em 09 de outubro de 2012.

VI EQUIPE TÉCNICA

Equipe da Empresa Consultora Tetra Tech Consultoria Ltda.

Profissional	Ana Carolina da Rocha Lammardo
Empresa	Tetra Tech Consultoria Ltda.
Registro no Conselho de Classe	1.689 (AOCEANO)
Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental	325047
Responsável pelo(s) Capítulo(s)	TODOS
Assinatura	_____

Profissional	Eduardo Yassuda
Empresa	Tetra Tech Consultoria Ltda.
Registro no Conselho de Classe	060.184.738.5
Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental	94066
Responsável pela(s) Capítulo(s)	TODOS
Assinatura	_____

Profissional	Gabriel Clauzet
Empresa	Tetra Tech Consultoria Ltda.
Registro no Conselho de Classe	
Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental	1031373
Responsável pela(s) Capítulo (s)	TODOS
Assinatura	_____

Profissional	Marco Antonio Corrêa
Empresa	Tetra Tech Consultoria Ltda.
Registro no Conselho de Classe	000.000.000-0
Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental	434236
Responsável pelo(s) Capítulo(s)	TODOS
Assinatura	_____

Profissional	Mariana Coppedê Cussioli
Empresa	Tetra Tech Consultoria Ltda.
Registro no Conselho de Classe	000.000.000-0
Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental	5141104
Responsável pelo(s) Capítulo(s)	TODOS
Assinatura	_____

Profissional	Maurício Person Lammardo
Empresa	Tetra Tech Consultoria Ltda.
Registro no Conselho de Classe	1.065 (AOCEANO)
Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental	272165
Responsável pelo(s) Capítulo(s)	TODOS
Assinatura	_____

APÊNDICE I RESUMO DOS DADOS DE ENTRADA UTILIZADOS NAS SIMULAÇÕES

A Tabela AI-1, a seguir, apresenta um resumo dos dados de entrada utilizados nas modelagens de dispersão das plumas de solução de Fluoresceína descartadas a partir do Gasoduto 3, de acordo com o TR nº 001/2011 - CGPEC/DILIC/IBAMA.

Tabela AI-1 - Resumo dos dados de entrada utilizados nas modelagens de dispersão das plumas provenientes do descarte solução de Fluoresceína a partir do Gasoduto Rota 3.

DESCRIÇÃO	DADOS	JUSTIFICATIVA
Local descarte (coordenadas geodésicas)	24°30'09,80" S e 42°30'53,03" W (SIRGAS 2000)	Item I.1
Profundidade da lâmina d'água local (m)	1.628,0	Item I.1
DADOS DO DESCARTE		
Vazão (bbl/h)	2.798,97	Item II
Fluxo volume descartado (m/s)	–	*
Raio da tubulação de descarga (ft)	2,0	Item II
Profundidade descarga (ft)	5.331,36	Item II
Volume de água descartada (m ³)	–	*
Ângulo vertical de descarga (em graus referentes à horizontal positivo para baixo e negativo para cima)	90°	Item II
Azimute de descarga	–	*
Duração de descarga (s)	–	*
Temperatura do efluente (°C)	3,0	Item II
Salinidade do efluente	–	*
Densidade efluente (g/cm ³)	1,0355 - 1,0356	Item II
Estrutura da plataforma	–	*
DADOS DO AMBIENTE		
Campo próximo		
Intensidade da corrente (m/s)	0,1225 - 0,1230	Item III.5
Direção das correntes (°)	–	*
Temperatura da água do mar (°)	2,37 – 4,26	Item III.2.3
Salinidade da água do mar	34,71 - 34,91	Item III.2.3
Densidade do mar (g/cm ³)	1,0344 - 1,0367	Item III.2.3
Altura de onda significativa (ft)	–	*
Período de onda significativa (s)	–	*
Velocidade de vento (ft/s)	–	*
Temperatura do ar à superfície do mar (°C)	–	*
Descrição da partícula a modelar	Fluorene R2	Item II

* Informação não necessária ou não utilizada na modelagem.

Tabela AI-1 - Resumo dos dados de entrada utilizados nas modelagens de dispersão das plumas provenientes do descarte solução de Fluoresceína a partir do Gasoduto Rota 3 (continuação).

	DADOS	JUSTIFICATIVA
DADOS DO AMBIENTE (cont.)		
Campo afastado		
Intensidade da corrente (m/s)	–	*
Direção das correntes (°)	–	*
Temperatura da água do mar (°)	–	*
Salinidade da água do mar	–	*
Densidade do mar (g/cm ³)	–	*
Altura de onda significativa (ft)	–	*
Período de onda significativa (s)	–	*
Velocidade de vento (ft/sec)	–	*
Temperatura do ar à superfície do mar (°C)	–	*
Descrição da partícula a modelar	–	*
Duração da simulação (s)	–	*
DADOS DO EFLUENTE		
Princípio ativo	–	*
Concentração inicial (ppm)	20	Item II
CEO (%)	–	*
CENO (ppm)	200	Item II
VC (%)	–	*
DADOS DE SAÍDA DA PLUMA		
Campo próximo		
Espessura (m)	6,29 – 6,30	Item III.6
Comprimento (m)	41,2 – 41,3	Item III.6
Profundidade (m)	1.614,1	Item III.6
Concentração (ppm)	0,254	Item III.6
Campo afastado		
Espessura (m)	–	*
Comprimento (m)	–	*
Profundidade (m)	–	*
Concentração (ppm)	–	*

* Informação não necessária ou não utilizada na modelagem.

ANEXO A DESCRIÇÃO DO SISTEMA DE MODELOS CORMIX

O CORMIX (*Cornell Mixing Zone Expert System*), desenvolvido na *Cornell University*, é um sistema de modelos computacionais desenvolvido para a análise, previsão e planejamento do descarte de efluentes em diferentes corpos d'água (JIRKA *et al.*, 1996). Este modelo possui aprovação do órgão ambiental dos EUA, e é utilizado em consultorias e órgãos ambientais de vários outros países (entre eles a CETESB de São Paulo).

A ênfase do sistema se dá na previsão da geometria e das características de diluição da zona de mistura inicial, permitindo que valores aceitáveis de qualidade de água sejam calculados e discutidos.

Embora sua metodologia considere condições ambientais estacionárias (descarte contínuo, profundidade, intensidade e direção de correntes constantes), o sistema representa uma ferramenta adequada de previsões qualitativas (*e.g.*, classificação de fluxos) e quantitativas (*e.g.*, taxas de diluição, trajetórias) dos processos de misturas resultantes de diferentes configurações de descartes, e em vários tipos de corpos d'água, incluindo rios, lagos, reservatórios, estuários e águas costeiras.

Estas simplificações dinâmicas se justificam uma vez que os processos do campo próximo possuem durações curtas e ocorrem em curtas distâncias, não exigindo dessa forma, da representação da dinâmica local que ocorre em escalas maiores.

O CORMIX é composto por três subsistemas:

- (a) CORMIX1, para a análise de lançamentos pontuais abaixo da superfície (*submerged single port discharges*) e utilizado no presente estudo;
- (b) CORMIX2, para a análise de múltiplos lançamentos pontuais (difusores multiorifícios) abaixo da superfície (*submerged multiport diffuser discharges*);
- (c) CORMIX3, para a análise de lançamentos superficiais (*surface discharges*) não submersos e com escoamento de superfície livre (*i.e.* canais).

A.1 BIBLIOGRAFIA

JIRKA, G.H.; R.L. DONEKER & S.W. HINTON, 1996. User's manual for CORMIX. A hydrodynamic mixing zone model and decision support system for pollutant discharges into surface waters. U.S. Environmental Protection Agency. 152pp.

ANEXO B DESCRIÇÃO DO NCEP/NCAR

Os dados atmosféricos de reanálise do NCEP/NCAR são resultados de simulações numéricas que utilizam as ferramentas mais modernas em assimilação de dados em conjunto com a mais extensa base de dados disponível. Esta base de dados tem sido aprimorada e beneficiada pela inclusão de observações (coleta de dados) realizadas em diversos países. Tais simulações são realizadas no NCEP usando um modelo espectral de cobertura global de 28 níveis verticais. Este modelo numérico inclui parametrizações dos maiores processos físicos, a saber, convecção, precipitação de grande escala, convecção superficial, arrasto devido a ondas de gravidade, radiação de ciclo diurno e interação com nuvens, física das camadas limites, interação da hidrologia superficial e processos horizontais e verticais de difusão. Detalhes da dinâmica e da física incorporada ao modelo são descritos em *NMC Development Division* (1988), Kanamitsu (1989), e Kanamitsu *et al.* (1991).

Os dados utilizados nas análises apresentadas no presente estudo foram obtidos via endereço eletrônico (<http://www.esrl.noaa.gov/psd>). É importante salientar que a Tetra Tech mantém um sistema automatizado de “download” de arquivos do NCEP/NCAR (endereço acima) e que, portanto, por ser atualizado diariamente, possibilitando apenas definir a data do último acesso (24 de janeiro de 2013).

O NCEP utiliza como sistema de referência um geóide denominado “*Spherical Earth*” (comunicação pessoal: ESRL/PSD Data Management <esrl.psd.data@noaa.gov>). Este possui valores diferentes para os parâmetros semieixo maior e achatamento, quando comparado com os do WGS 84:

- Spherical earth: semieixo maior = 6.371.200 m / achatamento = 0;
- WGS 84: semieixo maior = 6.378.137 m / achatamento = 1/298,257223563.

Esta aproximação da forma da Terra a uma esfera (i.e. com semieixos iguais) é geralmente utilizada para a simplificação das transformações de coordenadas.

A diferença entre as temperaturas do ar no litoral durante o dia e a Temperatura da Superfície do Mar (TSM) costeira induz pequenas células de

circulação denominadas de brisas marítimas. No caso da reanálise do NCEP/NCAR (resolução espacial de 2,5° x 2,5°), ressalta-se que essas células costeiras não são representadas, como consequência da resolução espacial do modelo.

B.1 BIBLIOGRAFIA

KANAMITSU, M., 1989. Description of the NMC global data assimilation and forecast system. **Weather and Forecasting** 4:335-342.

KANAMITSU, M.; ALPERT, J.C.; CAMPANA, K.A.; CAPLAN, P.M.; DEAVEN, D.G.; IREDELL, M.; KATZ, B.; PAN, H.-L.; SELA, J. & WHITE, G.H., 1991. Recent changes implemented into the global forecast system at NMC. **Weather and Forecasting** 6:425-435.

NMC Development Division, 1988. Documentation of the research version of the NMC Medium-Range Forecasting Model. NMC Development Division, Camp Springs, MD. 504pp.