



## **Modelagem do Transporte de SO<sub>2</sub> Gerado em Plataformas de Produção da Bacia de Campos – RJ no Período de Inverno Através do Modelo OCD**

Modelling of the Atmospheric Pollution Generated on the Petroleum and Natural Gas Production Platforms in the Campos Basin - RJ During The Winter Through The OCD Model

Lúcio Silva de Souza<sup>1,2</sup>; Luiz Landau<sup>2</sup> &  
Luiz Cláudio Gomes Pimentel<sup>1</sup>

<sup>1</sup>UFRJ – Departamento de Meteorologia, Instituto de Geociências - IGEO, Centro de Ciências Matemáticas e da Natureza – CCMN, Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ. [lucio@acd.ufrj.br](mailto:lucio@acd.ufrj.br)

<sup>2</sup>COPPE/UFRJ/PEC/ Laboratório de Métodos Computacionais em Engenharia-LAMCE - Cidade Universitária – CT – Bloco I2000 - I-214 - MM05D  
Ilha do Fundão – Rio de Janeiro – RJ  
Caixa Postal 68552 – CEP: 21949-900.

Recebido em: 24/08/2006 Aprovado em: 12/09/2006

### **Resumo**

Este trabalho apresenta a implementação e adequação de um sistema computacional para a simulação da dispersão de poluentes atmosféricos gerados em plataformas de petróleo instalados na BC - RJ. O modelo meteorológico de mesoescala MM5 foi utilizado para a estimativa de parâmetros da atmosfera, complementando o banco de dados meteorológicos necessário para a utilização do modelo de qualidade do ar OCD - *Offshore and Coastal Dispersion Model*. A avaliação dos resultados do MM5 foi desenvolvida a partir de comparações estatísticas com base nos dados meteorológicos observados da região da BC-RJ. Os resultados indicaram que o modelo meteorológico representa adequadamente o campo de vento na região e que os valores previstos para a concentração do poluente SO<sub>2</sub> estiveram sempre abaixo dos padrões de qualidade do ar vigentes, porém, indicaram existir transporte de poluentes das unidades produtoras para o continente.

**Palavras-chave:** modelagem da qualidade do ar; plataforma de produção de petróleo; Bacia de Campos

## Abstract

This work presents the implementation of a low cost computing system for the forecast of the atmospheric pollutant dispersion generated in petroleum platforms in Campos Basin - RJ. A mesoscale meteorological model was used to complement the necessary meteorological database for the use of the dispersion model. To this meteorological model, a series of statistical tests were applied seeking to compare the behavior of the model face to the monitored data available. The results indicated that the meteorological model represented satisfactorily the wind field on the area and that the values foreseen for the concentration of pollutant  $\text{SO}_2$  were always below the effective patterns however, they indicated that there is transport of pollutant from producing units to the continent.

**Keywords:** Air quality modeling; platforms of oil and gas production; Campos basin

## 1 Introdução

As reservas de Petróleo comprovadas no Brasil são da ordem de 13 bilhões de barris e o potencial pode chegar aos 177 bilhões. De acordo com a edição especial da revista Scientific American Brasil, cerca de 90% das reservas nacionais estão concentradas no oceano. Deste total, 80% encontra-se localizado na região da Bacia de Campos, no Norte Fluminense do Estado do Rio de Janeiro. As características das bacias petrolíferas do país, aliado ao esforço nacional para auto-suficiência em petróleo, contribuíram para conduzir a PETROBRAS a posição de líder mundial em prospecção de petróleo em águas profundas (Revista Scientific American Brasil, 2003).

Recentes reportagens publicadas em jornais demonstram a tendência da proximidade das atividades de exploração de petróleo (E & P) para algumas regiões costeiras, especialmente na região nordeste do Brasil. Muitas dessas regiões estão próximas a áreas de proteção ambiental o que tem dificultado ainda mais os processos de licenciamento ambiental das plataformas de produção. Com a proximidade do continente, estas instalações tendem a apresentar impacto na qualidade do ar das regiões costeiras.

As unidades produtoras da Bacia de Campos (BC) são licenciadas seguindo as regulamentações referentes às questões ambientais exigidas pelo Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis – IBAMA. Dentre as exigências estão aquelas diretamente ligadas à contaminação por vazamento de óleo, os planos de emergência e de contingência para acidentes deste tipo, o tratamento dos efluentes gerados na atividade, além dos

procedimentos de controle em todas as operações rotineiras das plataformas de produção constantes nos termos de referência do instituto ([http://www.mct.gov.br/legis/outros\\_atos/in11\\_2003.htm](http://www.mct.gov.br/legis/outros_atos/in11_2003.htm)).

Os poluentes que as unidades de E & P mais emitem para a atmosfera são os óxidos de nitrogênio ( $\text{NO}_x$ ), dióxido de enxofre ( $\text{SO}_2$ ), gás sulfídrico ( $\text{H}_2\text{S}$ ), monóxido de carbono ( $\text{CO}$ ), Hidrocarbonetos, e material particulado. Ampliando o impacto dessas emissões sobre o meio ambiente, esses poluentes primários são precursores da formação dos poluentes secundários, “smog” fotoquímico e aerossóis (Silva de Souza, 2004).

Na elaboração dos Estudos de Impactos Ambientais (EIA), objetivando o licenciamento de atividades de E & P, ferramentas de modelagem computacional da atmosfera e da qualidade do ar podem ser utilizadas para a otimização do projeto do dimensionamento de redes de monitoramento meteorológico e da qualidade do ar, bem como na estimativa da concentração dos poluentes atmosféricos emitidos nas plataformas de produção, e conseqüentemente a identificação da área de influência do empreendimento.

O modelo OCD – *Ossfhore and Coastal Model* foi implementado no Brasil para a Bacia de Campos no trabalho de Silva de Souza (2004), onde se encontra uma descrição do modelo.

## 2 Objetivos

Considerando a crescente demanda de petróleo no Brasil e a ampliação das atividades de E & P nas regiões das Bacias Petrolíferas nacionais, o objetivo desse trabalho é apresentar um estudo sobre o transporte do poluente dióxido de enxofre, oriundo das atividades de E & P da BC, considerando somente três plataformas do Campo de Marlim, através do uso do modelo gaussiano OCD.

Os modelos gaussianos possuem uma concepção onde a pluma se dispersa segundo uma distribuição gaussiana. A Figura 1 ilustra o desenho esquemático deste tipo de dispersão.

O modelo OCD desenvolvido pela USMMS - *United States Minerals Management Service* e, disponibilizado pela USEPA - *United States*

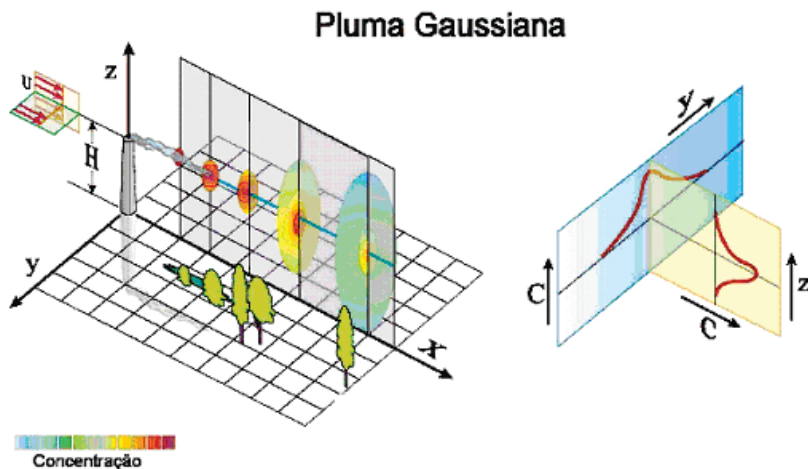


Figura 1 Esquema da Pluma gaussiana (Seinfeld, 1998).

*Environmental Protection Agency*, vem sendo utilizado nos Estados Unidos exatamente para fins de licenciamento ambiental das plataformas de petróleo. Como o modelo exige um banco de dados meteorológicos contendo parâmetros que não são convencionalmente medidos em estações meteorológicas convencionais, foram desenvolvidas simulações computacionais com o modelo meteorológico de mesoescala - *PSU/NCAR Mesoscale Modeling System MM5 Versão 3*, objetivando a estimativa de parâmetros meteorológicos para complementar o banco de dados de entrada necessários para as simulações com o modelo OCD. A área escolhida para a implementação pioneira deste modelo para o Brasil foi a Bacia de Campos (BC), que é a principal região produtora nacional de petróleo.

### 3 Metodologia

Para a utilização do sistema proposto, dois modelos numéricos foram utilizados. O modelo OCD e o modelo MM5. Apresentamos nesta seção uma breve descrição de ambos, bem como as características meteorológicas reinantes na região da BC-RJ. Uma descrição detalhada dos modelos e da região pode ser encontrada em Silva de Souza (2004).

<sup>1</sup> Pennsylvania State University / National Center for Atmospheric Research numerical model home page (<http://www.mmm.ucar.edu/mm5/mm5-home.html>).

O modelo OCD foi idealizado de modo a melhor representar as diferenças entre as camadas limite continental, costeira e oceânica bem como o comportamento da trajetória da pluma ao cruzar a linha da região da costa de determinada região. Este modelo tem forte base empírica onde muitas parametrizações foram idealizadas de experimentos e conferências realizadas ao longo dos anos, um detalhamento sobre esses trabalhos pode ser encontrado em Hanna *et al* (1985). Modelos com concepção gaussiana como o modelo OCD, necessitam para sua execução de parâmetros relacionados à Camada Limite em desenvolvimento sobre o oceano e sobre o continente, assim estudos relacionados à estrutura dessa região da atmosfera, estão intrinsecamente relacionados aos estudos de qualidade do ar.

O modelo do NCAR – *National Center for Atmospheric Research / PSU - Pennsylvania State University Mesoscale – MM5* (<http://www.mmm.ucar.edu/mm5/>) foi utilizado neste trabalho a fim de determinar os seguintes parâmetros meteorológicos utilizados nas simulações com o modelo OCD: altura da camada de mistura, regime da camada limite, umidade relativa do ar, temperatura do ar, direção e intensidade do vento nas regiões “onshore” e “offshore”. Além disso, foi utilizado o parâmetro temperatura da superfície do mar disponível na base de dados do modelo MM5. O modelo meteorológico MM5 possui em um de seus módulos um pré-processador apropriado para gerar as características do terreno da região onde esta sendo realizada a simulação. As características do terreno são oriundas do USGS<sup>2</sup> (*United States Geological Survey*). A localização das plataformas e dos pontos receptores utilizados neste trabalho foi disponibilizada pelo Banco de Dados de Petróleo - BAMPETRO.

A breve descrição do meio físico está baseada no Estudo de Impacto Ambiental realizado para o Sistema de Rebombeio Autônomo e Escoamento dos Campos de Marlim Leste, Marlim Sul e Roncador (Complexo PDET – Trecho Marítimo)<sup>3</sup>, EIA RIMA para o FPSO 50 e da dissertação de mestrado de De Pinho (2003). O período do estudo da climatologia da região foi de 1979 a 1990. A região possui um clima quente e úmido, com temperaturas médias anuais em torno de 23,3°C e umidade relativa média anual de 81%. A estação das chuvas vai de outubro a abril e geralmente há uma curta estiagem em fevereiro, que é interrompida pelas chuvas de março, sendo o total anual das chuvas no período analisado de 1.122,2 mm. O mês mais chuvoso nesse período foi dezembro, com média mensal de 181,4 mm. Na extremidade oceânica do Complexo PDET – Trecho Marítimo, os ventos predominantes foram de nordeste e de norte com velocidade média de 6,8 m/s. Na extremidade terrestre do Complexo PDET – Trecho Marítimo, ressalta-se a predominância dos ventos de nordeste como sendo os mais frequentes (28,37%) e mais intensos da região.

<sup>2</sup> <http://www.usgs.gov/>

<sup>3</sup> Fonte: <http://www.ibama.gov.br/licenciamento/estudos/rimas/rimas.php>

O dia 03 de julho de 2002 foi escolhido para o estudo em face da disponibilidade de dados de condições iniciais e de contorno para o modelo MM5, provenientes do *National Center of Environment Prediction* – NCEP e dos dados meteorológicos para a região da BC, fornecidos pela Petrobras. Os meses de inverno tendem a apresentar situações de estabilidade atmosférica, conduzindo à inibição da dispersão de poluentes e, no dia do estudo, houve uma predominância de ventos de leste e sudeste, conduzindo para um cenário de possibilidade de transporte de poluente para o continente.

## 4 Resultados

Primeiramente apresentamos os resultados para o campo de vento gerado pelo modelo MM5 e a comparação estatística com os dados observados. Uma segunda análise é feita objetivando o estudo da dispersão do poluente dióxido de enxofre via OCD.

### 4.1 Campo de Vento MM5

O modelo MM5 foi utilizado nas simulações principais aqui apresentadas, após uma série de testes de sensibilidade realizados com suas opções de parametrizações. Conforme discussão feita por Correa *et al.* (2004) os resultados das simulações são influenciados devido à utilização das diferentes parametrizações físicas disponíveis no modelo e diferentes métodos de refinamento e aninhamento de grades nos prognósticos das variáveis meteorológicas do modelo. Foram utilizadas no trabalho as parametrizações de cumulus de GRELL (Grell, 1993), baseada na razão de quase-equilíbrio, parametrização de microfísica de GODDARD (Tao & Simpson, 1993) no domínio 1 e de Dudhia (1989) nos demais domínios. A parametrização de Camada Limite Atmosférica baseada no esquema de MELLOR-YAMADA (Janjic, 1994) foi utilizada como equação de fechamento para os fluxos turbulentos. As grades para os experimentos foram elaboradas conforme descrição na Tabela 1.

Esquemas de Grades	Domínios	Características		
		Pontos	Resol. Espacial (km)	Resolução Topografica (km)
2	1	25 x 30	37	19
	2	34 x 37	12.3	9
	3	34 x 34	4.1	0.9

Tabela 1 Esquema de grade utilizada nas simulações do modelo MM5

A Figura 2 ilustra as regiões geográficas cobertas por cada uma das três grades, respeitando a hierarquia descrita na tabela 1 com a grade 1 sendo a mais externa.

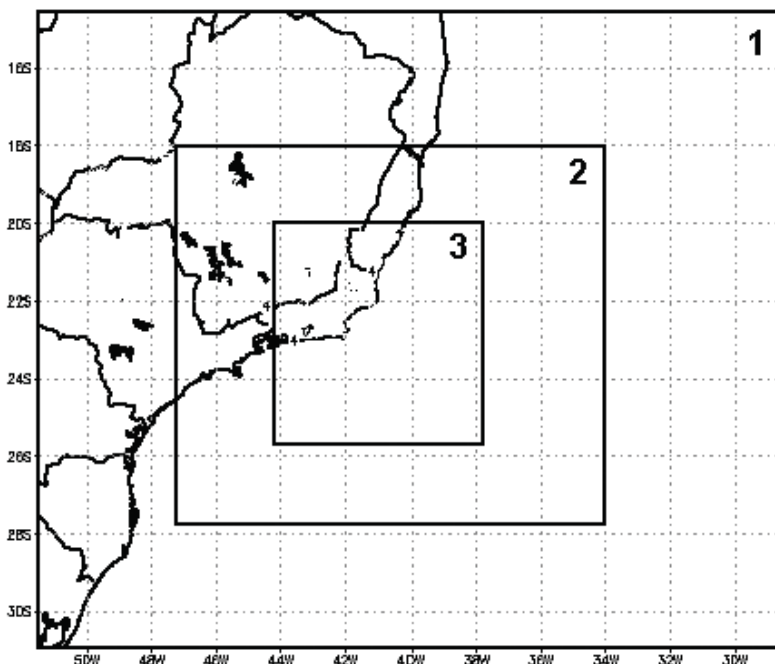


Figura 2 Regiões Geográficas cobertas pelas grades do MM5

Os critérios utilizados para montagem dos esquemas de aninhamento de grade no modelo MM5 foram relação da resolução espacial de 1:3 em quilômetros variando neste caso de 37 km (mais externa) para 12.3 km (grande do meio) para 4.1 km (Grade interna), necessária para que a interação bidirecional entre os domínios seja realizada pelo MM5. Foi utilizado esse critério de decaimento de grade também para definir a relação da grade de mais baixa resolução do MM5 com a grade do NCEP. Essa iniciativa foi no sentido de amenizar o impacto da assimilação realizada pela grade de mais baixa resolução do MM5 (com resolução de 37 km), com a grade do modelo global do NCEP (com resolução de  $1^\circ \sim 111$  km). O modelo foi inicializado com dados do National Centers for Environment Prediction (NCEP) do dia 03 de julho de 2002 às 00Z e integrado até o dia 05 de julho de 2002 às 00Z.

Uma forma eficiente de se verificar o comportamento de um modelo numérico é a comparação entre os valores simulados com dados reais observados. Alguns destes testes vêm sendo implementados em muitos trabalhos científicos (Nin Brauer, 2004). O detalhamento desses testes pode ser sucintamente encontrado em Silva de Souza (2004). A Tabela 2 apresenta alguns resultados da análise estatística para o período do estudo. Os testes foram aplicados para a velocidade do vento na região offshore, para os dias 3 e 4 do mês de Julho/2002. Nocasos da região onshore os testes também apresentaram bons resultados para a velocidade do vento. Testes para outras variáveis meteorológica não foram realizados neste estudo e a ilustração dos resultados ficando retida somente aos resultados de vento.

Índices	Valores
Índice de correlação	0.77489833
Erro quadrático médio	0.05461327
Fator de dois	0.92422835
Desvio Fracional	0.07875536
Desvio Fracional Padrão	0.12467015

Tabela 2 Índices estatísticos

A verificação dos resultados calculados para os testes estatísticos indica que o modelo MM5 teve bom desempenho para os dias de simulação, quando consideramos a comparação estatística para os resultados da velocidade do vento. O erro quadrático médio apresentou valor próximo de zero. O coeficiente de correlação indicou que 77% dos valores calculados estão bem correlacionados com os valores observados, considerando que a correlação máxima é um (100%). O fator de dois apresentou valor próximo de um que é o valor ideal e o desvio fracional e desvio fracional padrão apresentaram valores positivos e próximos de zero.

Para o parâmetro direção do vento foi apresentada uma comparação gráfica entre os resultados (Figura 3). Analisando as direções predominantes do vento, percebemos que no período estudado no mês de julho (de 3 a 5) o modelo MM5 apresentou valores calculados da direção do vento próximos aos valores observados. As comparações têm início as 16 HL adequando-se aos horários de dados disponibilizados pela PETROBRAS.



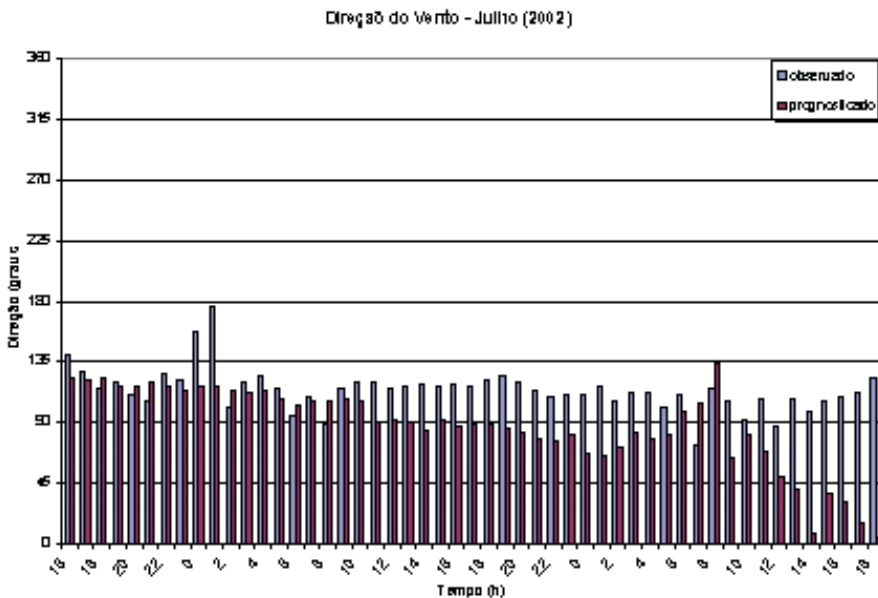


Figura 3 Comparação entre os resultados do modelo MM5 e dados observados da direção do vento – 3, 4 e 5 de Julho (2002)

## 4.2 Resultados das Simulações para a Região da Bc

O período de integração do OCD compreende os dias 03 e 04 de julho. O formato de exibição das concentrações previstas pelo modelo OCD foi configurado de forma a ilustrar sempre as 10 maiores concentrações médias previstas dentre os 37 receptores discretos, configurados para todas as simulações. As fontes de emissão, em um total de 3, são correspondentes as plataformas no campo de Marlim. O vento observado na região foi monitorado na plataforma P-40 e todos os demais parâmetros *offshore* foram extraídos do modelo MM5 na mesma localização de latitude e longitude desta unidade. As simulações foram realizadas para o poluente  $\text{SO}_2$  uma vez que o estudo proposto por Villaseñor *et al.* (2003) indica que as maiores emissões atmosféricas em plataformas de petróleo são deste poluente. O padrão de emissão utilizado para as simulações foi de 5.7 g/s, como proposto através do inventário de emissões realizadas no Golfo do México (Villaseñor *et alii*, 2003).

Considerando as diversas possibilidades de se desenvolver as simulações com o modelo OCD, foram feitas comparações dos campos de concentração estimados a partir de três configurações distintas de assimilação de dados de entrada no modelo : **1ª simulação** – utilizando direção e velocidade do vento na região offshore proveniente dos dados observados disponibilizados pelo CENPES/PETROBRAS; **2ª simulação** – utilizando o vento simulado para a região offshore fornecido pelo modelo MM5 e; **3ª simulação** – utilizando a parametrização do modelo OCD para o vento offshore conforme a formulação proposta por Hsu (1981). Para todas as simulações foram utilizados os seguintes parâmetros meteorológicos provenientes do modelo MM5: **Região onshore** - direção e velocidade do vento, altura da camada de mistura, temperatura do ar, classe de estabilidade; **Região offshore** - altura da camada de mistura, umidade, temperatura do ar e temperatura da superfície do mar.

Com base na análise das figuras 4 (a), (b) e (c) são apresentados os resultados para a concentração média de 6 horas para 03/07/2002.

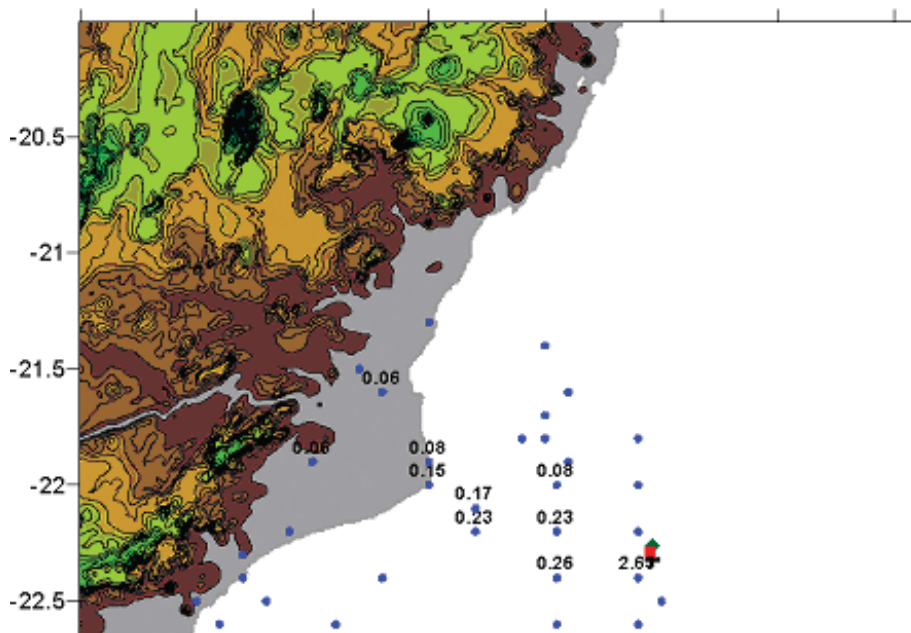


Figura 4 (a) – Campo de concentração média ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) de 6 horas – **1ª simulação** e Altitude (m)

Modelagem do Transporte de  $\text{SO}_2$  Gerado em Plataformas de Produção da  
 Bacia de Campos – RJ No Período de Inverno Através do Modelo Ocd  
 Lúcio Silva de Souza; Luiz Landau & Luiz Cláudio Gomes Pimentel

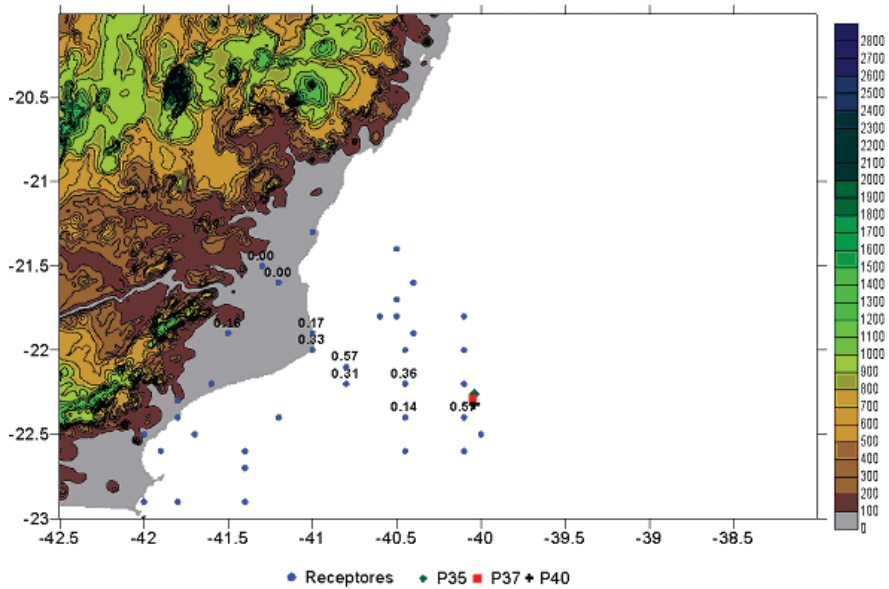


Figura 4 (b) – Campo de concentração média ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) de 6 horas – 2ª simulação e Altitude (m)

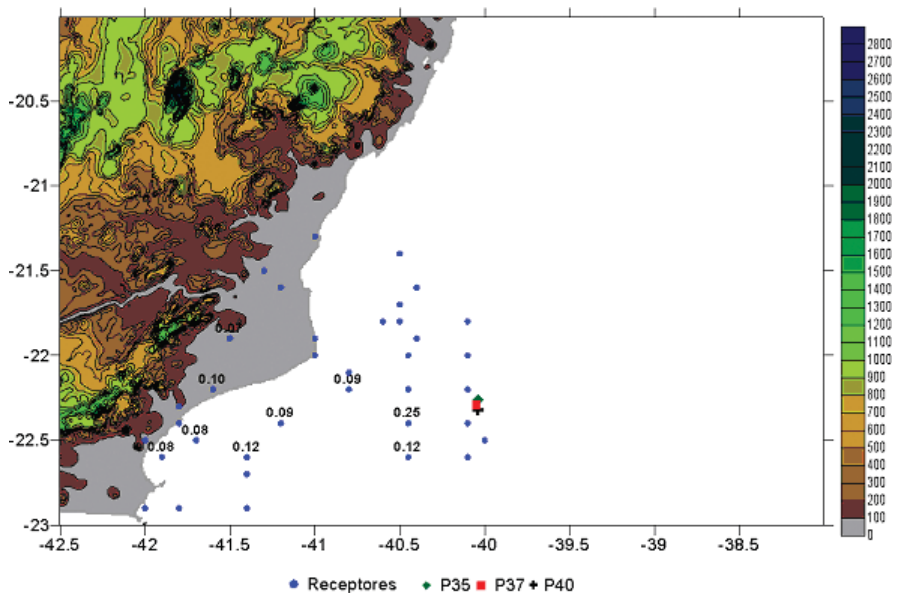


Figura 4 (c) – Campo de concentração média ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) de 6 horas - 3ª simulação e Altitude (m)

Considerando a comparação dos resultados da configuração da 1ª e 2ª simulação, Figuras 4 (a) e (b), respectivamente, percebemos uma boa concordância entre as posições de localização dos receptores que apresentaram as maiores concentrações.

Ao compararmos os resultados da 3ª **simulação**, percebemos uma distorção no posicionamento das maiores concentrações calculadas pelo modelo. O padrão de transporte no eixo sudeste-noroeste, indicado com as configurações da 1ª **simulação**, não aparece pronunciado sob tais condições (3ª **simulação**). Para esta configuração o modelo previu um transporte no eixo leste – oeste indicando um transporte de poluentes atmosféricos para a região costeira de Macaé e Quissamã. De um modo geral os valores previstos, considerando as diversas configurações de simulação, indicam concentração muito abaixo dos padrões de qualidade do ar vigentes. No entanto, todas as simulações identificaram que existe transporte para o continente.

A seqüência da análise se refere aos resultados para a concentração média de 12 horas calculada pelo modelo OCD, que são ilustrados através das Figuras 5 (a), (b) e (c). Na análise dos campos de saída gerados pelo modelo OCD utilizando a configuração da 1ª **simulação** e 2ª **simulação**, percebemos que não ocorrem grandes discrepâncias entre as localizações das maiores concentrações previstas pelo modelo OCD. O transporte de poluentes é mantido no sentido sudeste – noroeste. Nota-se que utilizando o modelo OCD conforme a configuração da 1ª **simulação**, ocorrem níveis mais elevados de poluentes, principalmente próximo à fonte de emissão. Um padrão notadamente identificado é a alternância nas maiores concentrações monitoradas nos receptores, para uma mesma longitude, quando comparamos os resultados das duas configurações de simulação. Além disso, observamos um ligeiro transporte para as localizações ao N-NW da fonte, quando foram assimilados dados observados de vento na região *offshore*.

Os resultados obtidos com a configuração da 3ª **simulação** foram aqueles que conduziram as maiores discrepâncias nas localizações dos receptores com as maiores concentrações. Ao observamos as concentrações apresentadas na Figura 5 (c), percebemos claramente um transporte na direção de E-W, indicando sempre as maiores concentrações segundo este eixo de orientação que podem estar diretamente ligadas à parametrização dos ventos offshore segundo proposto por Hsu (1981).

As Figuras 6 (a), (b) e (c) reportam os resultados para a concentração média de 24 horas. Analisando-se os padrões de concentração de poluentes considerando média de 24 horas, percebemos marcantes diferenças entre os resultados. Primeiramente os resultados oriundos dos ventos observados em offshore indicaram um transporte no sentido sudeste noroeste para os maiores valores de concentração previstos. Enquanto as saídas do modelo OCD que utilizaram ventos offshore modelados (2ª **simulação** e 3ª **simulação**) apresentaram uma distribuição similar entre elas, indicando um transporte leste – oeste.

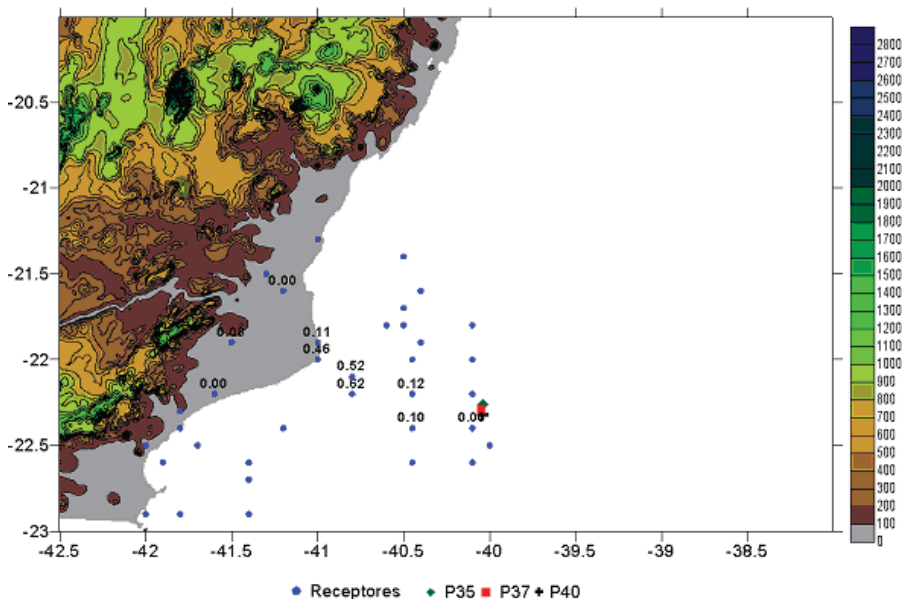


Figura 6 (a) Campo de concentração média ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) de 24 horas - 1ª **simulação** – Altitude (m)

Modelagem do Transporte de  $\text{SO}_2$  Gerado em Plataformas de Produção da  
Bacia de Campos – RJ No Período de Inverno Através do Modelo Ocd

Lúcio Silva de Souza; Luiz Landau & Luiz Cláudio Gomes Pimentel

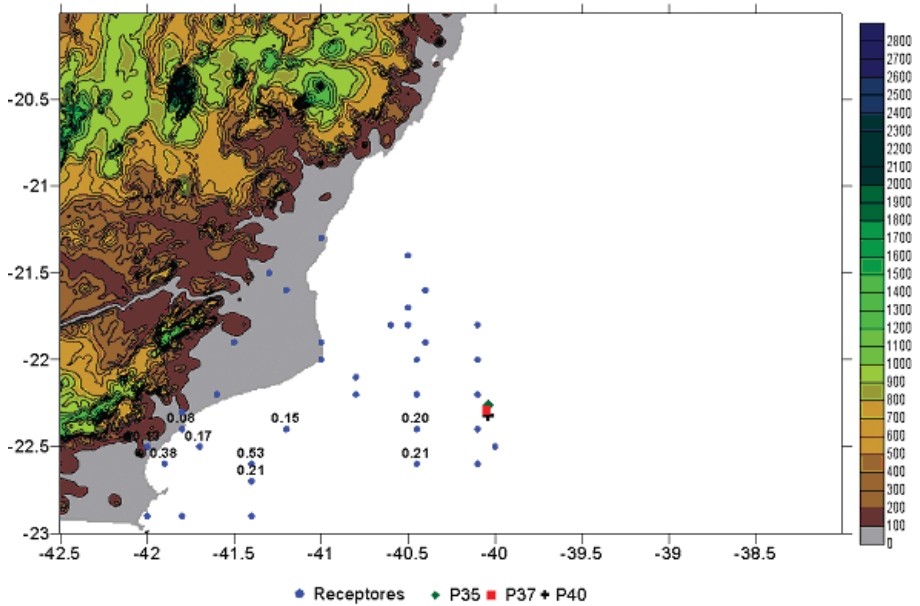


Figura 6 (b) Campo de concentração média ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) de 24 horas - 2ª simulação – Altitude (m)

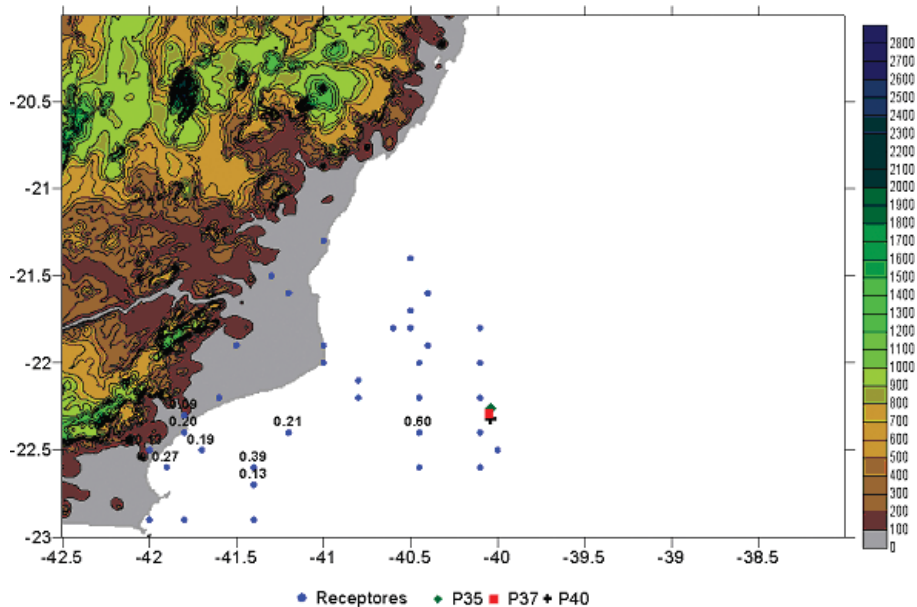


Figura 6 (c) Campo de concentração média ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) de 24 horas - 3ª simulação – Altitude (m)

Em linhas gerais os valores das concentrações previstas pelo modelo OCD sempre estiveram muito abaixo dos padrões de qualidade do ar vigentes para o  $\text{SO}_2$ . As concentrações previstas mais elevadas apresentaram valores horários da ordem de  $3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , quando o padrão proposto pela Organização mundial da Saúde, é de  $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$  e o padrão nacional é de  $365 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ambos para 24 horas. Na região da BC existem mais de 40 plataformas de petróleo e nas simulações desenvolvidas consideramos apenas três pontos de emissão. Tais observações reforçam a importância da elaboração de um inventário de emissão para a região. Situações emergenciais onde as plataformas de produção tenham necessidade de emissões elevadas podem ser rotineiras na atividade e, o modelo OCD pode ser um bom indicador das possíveis áreas afetadas por tais emissões, seja na região costeira, seja no efeito aos trabalhadores embarcados nestas unidades.

Existe ainda a necessidade da comparação dos valores modelados de concentração com valores observados na região. Até o encerramento deste trabalho, tais dados estavam indisponibilizados.

## 5 Conclusões

Pioneiramente o modelo OCD foi implementado para a modelagem do transporte de poluentes atmosféricos para o Brasil. Devido à indisponibilidade de dados de inventário de emissões para a região da BC-RJ, foi necessária para a complementação deste estudo, a utilização de parâmetros de emissão advindos de um estudo da qualidade do ar realizado pela indústria petrolífera mexicana para uma região de E & P no Golfo do México. O modelo meteorológico de mesoescala MM5 foi utilizado para completar o banco de dados meteorológicos necessário para a utilização do OCD

Os resultados do modelo MM5 obtiveram um bom desempenho nos testes estatísticos aplicados ao modelo (índice de correlação, erro quadrático médio, fator de dois, desvio fracional e desvio fracional padrão).

Ao considerarmos os resultados para a BC, podemos generalizá-los da seguinte forma: para o período analisado e considerando apenas as emissões provenientes das plataformas P35, P37 e P40, os valores de concentração calculados para o  $\text{SO}_2$  sempre estiveram abaixo do padrão estabelecido pelo CONAMA ( $320 \frac{1}{4}\text{g}/\text{m}^3$ ) e pela OMS ( $120 \frac{1}{4}\text{g}/\text{m}^3$ ). No entanto, as simulações indicaram transporte do poluente dióxido de enxofre para o continente, reforçando a importância de um estudo mais abrangente, considerando emissões mais realísticas para a região.

## 6 Agradecimentos

Os autores agradecem a Agência Nacional do Petróleo (ANP), através do Programa de Formação de Recursos Humanos para o setor Petróleo e Gás Natural (PRH – 02) pelo apoio no desenvolvimento desta pesquisa científica bem como o apoio na participação em congressos, treinamentos, cursos e outros eventos científicos. Agradecemos ao CNPq e FAPERJ pelo apoio dado no desenvolvimento do trabalho através do Programa de Apoio a Núcleos de Excelência intitulado Núcleo de Excelência em Turbulência.

## 7 Referências

- Correa, E. B.; Moraes, N. O.; Silva, R. M.; Silva de Souza, L.; Cataldi, M. & Pimentel, L. C. G. 2004. Análise da Sensibilidade do Modelo MM5 aos Refinamentos e Aninhamentos de Grades – Um Estudo de Caso Sobre a Cidade do Rio de Janeiro. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA*, 13, CD-ROM, Fortaleza-CE, SBMET.
- De Pinho, U.F. 2003. *Caracterização dos Estados de Mar na Bacia de Campos*. Coordenação dos Programas de Pesquisa e Pós-graduação em Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Dissertação de Mestrado, 123p.
- Dudhia J. 1989. Numerical Study of Convection Observed During the Winter Monsoon Experiment using a Mesoscale Two-Dimensional Model. *Journal of Atmospheric Science*, 46: 3077-3107.
- EPA, 1997: EPA, 1989: *User guide for OCD5 model*. (<http://www.epa.gov/scram001/tt22.htm#ocd>).
- Grell, G. A. 1993. Prognostic Evaluation of Assumptions Used by Cumulus Parameterizations. *Monthly Weather Review*, 121: 764-787.
- Hanna, S.R.; Briggs, G.A.; Dearnorf, J.; Egan, B.A.; Gifford, F.A. & Paquill, F. 1977. AMS Workshop on Stability Classification Schemes and Sigma Curves-Summary of Recommendations. *Boullletin of the American Meteorological Society*, 58 (12): 1305-1309.
- Hanna, S.R.; Schulman, R.; Paine, R.J. & Pleim, J.E. 1985: Development and Evaluation of the Offshore and Coastal Dispersion Model. *Journal of the Air Pollution Control Association*, 35: 1039 – 1047.
- Hsu, S.A. 1981. Models for Estimating Offshore Winds from Onshore Meteorological Measurements. *Boundary Layer Meteorology*, 20: 341-352.



- Janjic, C. & Zavisla, I. 1994. The Step Mountain Eta Coordinate Model: Further Development of the Convection, Viscous Sublayer and Turbulent Closure Schemes. *Monthly Weather Review*, 122: 927-945.
- Nin Brauer, C. 2004. *Um modelo Euleriano de Dispersão de Contaminantes Aplicados em Todas as Condições de Estabilidade*. Programa de Pós Graduação em Física, Centro de ciências Naturais e Exatas, Universidade Federal de Santa Maria, Tese de Doutorado, 174 p.
- Revista SCIENTIFIC AMERICAN BRASIL. 2003. *Edição Especial Petróleo*. Rio de Janeiro e São Paulo, Editora Duetto.
- Seinfeld, J. H.; Pandis H. & Spyros, N. 1998. *Atmospheric Chemistry and Physics – From Air Pollution to Climate Changes*. John Wiley & Sons, Inc. 1326 p.
- Silva de Souza, L.; Correa, E. B.; Landau, L. & Pimentel, L. C. G. 2003. Estudo da Meteorologia da Poluição do Ar na Cidade de São João de Meriti – RJ. In: CONGRESSO LATINO AMERICANO E IBÉRICO DE METEOROLOGIA, 10. CD-ROM. Ciudad de La Habana, Havana, Cuba.
- Silva de Souza, L.; Correa, E. B., Landau, L. & Pimentel, L. C. G. 2003. Estudo do Transporte de Poluentes Atmosféricos Gerados em Plataformas de Petróleo Via Modelo OCD – Offshore and Coastal Dispersion Model. In: WORKSHOP BRASILEIRO DE MICROMETEOROLOGIA, 3 Revista Ciência e Natura. Volume Especial, p.21-24 .
- Silva de Souza, L. 2004. *Implementação do Modelo de Qualidade do Ar OCD – OFFSHORE AND COASTAL DISPERSION MODEL – para a Bacia de Campos - RJ*. Coordenação dos Programas de Pesquisa e Pós-graduação em Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Dissertação de Mestrado, 129 p.
- Silva de Souza, L.; Martins, C. A.; Landau, L. & Pimentel, L. C. G. 2004. Análise de Sensibilidade do modelo USMMS/USEPA – OCD (Offshore and Coastal Dispersion Model). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 13 CD-ROM. Fortaleza – CE. SBMET.
- Tao, W.-K. & Simpson J. 1993. Goddard Cumulus Ensemble Model. Part I: Model Description. *Terrestrial, Atmospheric and Oceanic Sciences*, 4: 35-72.
- Villaseñor, R.; Magdaleno, M.; Quintanar, A.; Gallardo J.C.; López, M. T.; Jurado, R.; Miranda, A.; Aguilar, M.; Melgarejo; L., Palmerín, A.; Almerín, E.; Vallejo, C.J. & Barchet, W.R. 2003. An Air Quality Emission Inventory of Offshore Operations for the Exploration and Production of Petroleum by the Mexican Oil Industry. *Atmospheric Environment*, 37: 3713 – 3729.