

# SIMULAÇÃO DO IMPACTO NA PRODUÇÃO DE GASES DE EFEITO ESTUFA PELA MUDANÇA DA MATRIZ ENERGETICA EM UMA REFINARIA DE PETROLEO

## SIMULATION OF THE IMPACT ON THE PRODUCTION OF GREENHOUSE GASES BY CHANGING THE ENERGY MATRIX IN AN OIL REFINERY

### **CARLOS ENRIQUE DE MEDEIROS JERONIMO**

Engenheiro Processamento, PETROBRAS. Doutor em Engenharia Química. Professor. Universidade Potiguar.  
E-mail: carlos.jeronimo@unp.br

### **HERMANO GOMES FERNANDES**

Engenheiro Químico. UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE.  
E-mail: hermano@qualital.com.br

### **MARCELO FIDELIS MARQUES MENDES**

Biólogo, Universidade de São Paulo. Especialista em Avaliação Ambiental, Unicamp/Prominp.  
E-mail: sonosapatinho@hotmail.com

## RESUMO

A busca por soluções para o abatimento de emissões e consequentemente a mitigação do efeito estufa é uma das principais preocupações do segmento industrial, sobretudo as atividades que envolvem combustão direta para produção de energia. O segmento petroquímico é um dos ramos que mais impacta nesse tipo de contribuição e poluição. Sendo assim, neste trabalho são apresentados resultados da simulação da mudança da matriz energética de uma refinaria de petróleo, passando da utilização dos convencionais óleos e gases combustíveis de refinaria, para o gás natural processado. As simulações foram realizadas mediante a determinação do inventário por meio do sistema GHG PROTOCOL e as simulações das dispersões atmosféricas pela modelagem via AERMOD. Os resultados demonstram que tal mudança promove cerca de 45 mil toneladas abatidas de dióxido de carbono equivalente por ano, considerando investimentos da ordem de R\$ 7 milhões. Ademais, o cenário de qualidade do ar, em relação ao entorno, é melhorado com redução significativa dos níveis de óxidos de enxofre.

**Palavras-chave:** Refinaria. Emissões atmosféricas. GHG Protocol e AERMOD.

## ABSTRACT

*The search for solutions to the reduction of gas emissions and the purpose to mitigate the greenhouse effect is concerning with the industrial sector, especially activities that involve direct combustion for energy production. The petrochemical sector is one of the groups that most impact in this type of contribution and pollution. Thus, this paper presents simulation results of changing the energy matrix of an oil refinery, through the use of conventional oil and gas fuels for natural gas processed. The simulations were performed by determining the inventory through the system GHG PROTOCOL and simulations of the atmospheric dispersion modeling via AERMOD. The results show that this change impacts on about 45,000 tons harvested carbon dioxide equivalent per year, considering investments of approximately US\$ 3,8 million. The scenario of air quality in relation to the environment is improved with significant reduction in the levels of sulfur oxides.*

**Keywords:** Refinery. Atmospheric emissions. GHG Protocol and AERMOD.

## 1 INTRODUÇÃO

Segundo definições das Resoluções do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) 003/1990 e 436/2011, poluente atmosférico é “toda e qualquer forma de matéria ou energia com intensidade e em quantidade, concentração, tempo ou características em desacordo com os níveis estabelecidos em legislação e que tornem ou possam tornar o ar impróprio, nocivo ou ofensivo à saúde, inconveniente ao bem-estar público, danoso aos materiais, à fauna e à flora ou prejudicial à segurança, ao uso e gozo da propriedade e às atividades normais da comunidade”. Conseqüentemente, são os agentes que alteram as características da atmosfera e geram impactos, tais como: danos à camada de ozônio, efeito estufa e/ou chuvas ácidas.

Nesta mesma vertente, a legislação brasileira avançou no controle desses poluentes atmosféricos, visto que em 1990 a resolução CONAMA 003/1990 estabelecia limites para alteração da qualidade do ar, onde os parâmetros de emissões gerados por fontes fixas (qualquer instalação, equipamento ou processo, situado em local fixo, que libere ou emita matéria para a atmosfera, por emissão pontual ou fugitiva) eram monitorados apenas como consequência e não de forma direta, como estabelecia outras legislações adaptadas para água potável e corpos receptores. Entretanto, em 2006 e 2011, com a promulgação das resoluções 382/2006 e 436/2011, tal visão é alterada com o controle direto nas fontes de emissões dos poluentes (sejam elas antigas ou novas).

Diante desse quadro legal brasileiro e as constantes cobranças para o desenvolvimento de acordos internacionais para o abatimento dos níveis de emissões tais quais os protocolos e acordos: Quioto (BRASIL, 2012) e Copenhague (SCIENCEBLOG, 2012), surge a necessidade de um maior controle e o estabelecimento de mecanismos de desenvolvimento limpo para as atividades produtivas industriais, sobretudo, as relacionadas com processos de combustão, ou ditas indústrias com chaminé. Nesse segmento, a indústria de petróleo desponta como uma das atividades com o maior potencial poluidor, na geração dos chamados gases de efeito estufa.

Segundo Quintanilha (2009), os níveis de poluição atmosférica são medidos pela concentração de substâncias poluentes presentes no ar. A variedade das substâncias que podem ser encontradas na atmosfera é muito grande, o que torna difícil a tarefa de estabelecer uma classificação. A medição sistemática da qualidade do ar é restrita a um número de poluentes, definidos em função de sua importância e dos recursos disponíveis para seu acompanhamento. Sendo assim, os grupos de poluentes que servem como indicadores de qualidade do ar, adotados universalmente e que são escolhidos em razão da

frequência de ocorrência e de seus efeitos adversos são: materiais particulados (MP), óxidos de enxofre (SO<sub>x</sub>), óxidos de nitrogênio (NO<sub>x</sub>), monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>) e o ozônio (O<sub>3</sub>). Desses poluentes, são precursores do efeito estufa o CO, CO<sub>2</sub> e o CH<sub>4</sub>; que comumente são agrupados em função da ponderação dos seus níveis de impacto como CO<sub>2</sub>eq, dióxido de carbono equivalente.

A concentração de poluentes está fortemente relacionada à composição dos combustíveis utilizados nas atividades industriais e nas condições meteorológicas. Alguns dos fatores que favorecem altos índices de poluição nas fontes geradoras são os percentuais de enxofre, a capacidade calorífica, os níveis de compostos nitrogenados e a qualidade dos níveis de excesso de oxigênio e temperatura de queima. Já em relação aos elementos meteorológicos, em geral, temos as altas porcentagens de calmaria, ventos fracos e inversões térmicas a baixas altitudes (QUINTANILHA, 2009).

Diante desse cenário, tende-se, nas atividades industriais, a se utilizar cada vez mais combustíveis menos agressivos ao meio ambiente, o que conduz à redução da influência nas matrizes energéticas de combustíveis a base de lenha, óleo combustível, diesel e coque verde de petróleo e incremento na utilização do gás natural. Tais medidas também são observadas no consumo “doméstico”, com a substituição de motores de veículos para a utilização do gás natural veicular (GNV).

Conseqüentemente, no Brasil, inúmeros investimentos vêm sendo realizados para ampliar a malha de produção e distribuição do gás natural, sobretudo, como uma forma de abater os níveis de emissões e atender as metas mundiais, negociadas nos diferentes acordos internacionais.

A inauguração do gasoduto Urucu-Coari-Manaus é um desses marcos, conforme descreve Câmara dos Deputados (2007). A entrada da operação desse empreendimento constitui um dos maiores avanços no transporte de gás natural do país, beneficiando oito cidades com o aumento de oferta de combustível pela exploração de uma das maiores reservas de gás natural do território brasileiro, bem como, subsidiando o fornecimento aos principais consumidores do recurso do estado do Amazonas, em especial, as usinas termoelétricas e as indústrias instaladas no distrito industrial de Manaus.

Diante desse quadro de investimentos, surge a dificuldade de mensurar os ganhos, em termos ambientais, que o desenvolvimento de empreendimentos desse porte agrega em termos de mitigação dos níveis de emissões. Sendo assim, neste trabalho, foi desenvolvida a modelagem matemática, por meio de protocolos internacionais de cálculo para mensurar o abatimento das emissões atmosféricas que a substituição de matrizes energéticas pelo gás natural gera. Para tal, foi desenvolvido um estudo para mensurar os ganhos da substituição em uma refi-

naria de petróleo (com capacidade de processamento de 46 mil barris de petróleo por dia), cuja matriz era essencialmente o óleo combustível (e o diesel), pela totalidade do consumo para o gás natural.

São focados neste trabalho, os resultados das modelagens de dois cenários, em relação à matriz energética de uma refinaria de petróleo, sendo avaliado o impacto da implementação da utilização do gás natural e manutenção da queima de óleo e gás combustível (OC e GC), em relação à qualidade das emissões, qualidade do ar e, especialmente, às metas de redução de Gases de Efeito Estufa (GEE).

Destarte, o presente estudo se propõe a avaliar os benefícios ambientais do uso do gás natural como fonte motriz de funcionamento do referido empreendimento, tendo em vista a substituição significativa do óleo e gás combustível pelo gás natural, em queimas nas fontes fixas de combustão, partindo-se do pressuposto de que a não utilização do gás natural acarretaria o uso de combustíveis fósseis com maiores emissões de poluentes (OC e GC).

## 2 METODOLOGIA

### 2.1 DADOS GERAIS

O estudo foi desenvolvido, considerando o levantamento das melhorias requeridas para adequação dos sistemas térmicos da refinaria, visando adaptação à queima do gás natural, o que serviu como referência para identificação dos investimentos necessários para a implantação do projeto.

Os dados secundários de consumo de combustíveis, da qualidade dos produtos utilizados, das capacidades térmicas, dos níveis de eficiência de queima e dos índices de excesso de oxigênio padronizados, foram obtidos por meio do relatório do projeto, descrito em Oliveira et al. (2011).

### 2.2 INVENTÁRIO DE EMISSÕES

Os protocolos de cálculo para determinação dos gases de efeito estufa, NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>, MP etc., seguiram a metodologia GHG PROTOCOL desenvolvida pelo Centro de Estudos em Sustentabilidade da EAESP e publicada em FGV (2009). Contudo, foi possível a obtenção do inventário comparativo entre as fontes no cenário com os dois combustíveis avaliados.

### 2.3 DISPERSÃO ATMOSFÉRICA

Segundo Barbon; Gomes (2010), na atmosfera, os processos de dispersão de poluentes desempenham papel fundamental, pois permitem a "renovação" do ar no ambiente, fazendo com que a concentração dos poluentes provenientes das fontes naturais ou antropogênicas assumam níveis aceitáveis para a vida humana.

Sendo assim, foi realizada a modelagem matemática

do efeito da dispersão dos poluentes exclusivamente para os níveis do SO<sub>x</sub> (em função de ser o componente com maior efeito negativo ao entorno da instalação). Para tal, utilizou-se do modelo AERMOD, que consiste num modelo estacionário de pluma gaussiana desenvolvido, segundo Hanna et al (2001), a partir de um projeto de cooperação científica entre a Sociedade de Meteorologia dos Estados Unidos (American Meteorological Society, AMS) e a Agência de Proteção Ambiental do Estados Unidos (United States Environmental Protection Agency, U.S. EPA). A formulação matemática e as características técnicas do AERMOD são descritas por Cimorelli et al. (2004).

A equação diferencial, desenvolvida no AERMOD, que descreve o transporte de poluentes em meio atmosférico é obtida através do conceito de conservação de massa, sendo expressa na sua forma tridimensional, a partir de Fischer et al. (1979) e Seinfeld e Pandis (1997).

### 2.4 DADOS SECUNDÁRIOS

Os dados meteorológicos foram obtidos em INMET (2012) para a estação instalada em Manaus-AM, considerando os pontos de emissões nas coordenadas: latitude sul 03° 08' e longitude Oeste 58° 25'. A região apresenta em altitude de 60 metros acima do nível do mar, tendo-se uma pressão atmosférica mínima de 750,2 mmHg, média de 752,6 mmHg e máxima de 755,6 mmHg.

A direção predominante dos ventos é no sentido NE/E, caracterizados com uma calmaria de 57%, tendo-se uma velocidade máxima entre 17,2 e 20,7 m/s, com valores médios de 0,7 m/s. A média das temperaturas máximas é de 31°C, tendo-se picos que ultrapassam os 42°C. A média diária da temperatura é de 27°C, tendo-se uma média das temperaturas mínimas em 22°C, com registros mínimos de até 18°C.

### 2.5 CENÁRIOS AVALIADOS

Conforme aludido, para se realizar a avaliação proposta, foram determinados dois cenários de operação da refinaria, levando em consideração os combustíveis queimados nas suas fontes fixas de combustão: óleo combustível, gás combustível e gás natural:

- Cenário 1: sem a instalação do Gasoduto Coari-Manaus; sendo os combustíveis a serem queimados OC e GC;
- Cenário 2: com a instalação do Gasoduto Coari-Manaus; sendo os combustíveis a serem queimados GN, OC e GC.

Para obtenção de dados objetivando a comparação entre os dois cenários, foram realizadas simulações das vazões mássicas (toneladas/ano) das emissões dos GEE pelas fontes fixas de combustão, utilizando o balanço de massa, conforme item 2.2. Para a simulação, foram levantados os seguintes dados nas fontes fixas de combustão: consumo anual dos combustíveis, tipos de queimadores, condições de processo e composição dos combustíveis.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

#### 3.1 INVESTIMENTOS NECESSÁRIOS

Para mensurar as ações necessárias às adequações numa refinaria para a utilização do gás natural foram levantadas as propostas técnicas e seus respectivos custos de investimento, de forma a concretizar a distribuição de gás natural. Sendo, então, estabelecidas as seguintes intervenções: instalação das tubulações da "City Gate" (externo) para as unidades de consumo direto do gás natural, constituindo a malha de distribuição; aquisição e instalação de novos queimadores de gás para os fornos das unidades de destilação; aumento do diâmetro da linha de gás do header até os queimadores dos fornos das unidades de destilação; adequação dos bicos dos queimadores de gás do sistema de craqueamento catalítico; adaptação de caldeiras e de sistemas de cogeração para o recebimento e queima do gás natural.

Ainda dentro desse contexto de desenvolvimento sustentável, outros fatores impulsionam a alteração de

matriz energética tais como: Lei Estadual Nº 3.135/2007 – Aquecimento Global e Mudanças Climáticas; Plano Amazônia Sustentável – Governo Federal (2007/2008); Cenário de Inserção: Reservas de Preservação Permanente; Interesse da Mídia Internacional; Preocupações com a Amazônia: projeto de lei de criação do "Royalty Verde".

#### 3.2 INVENTÁRIO DE EMISSÕES

Os resultados da simulação de emissões dos compostos estudados (dados em toneladas por ano) para cada um dos equipamentos contemplados com a mudança de combustível, dentro dos dois cenários avaliados seguem relacionados na Tabela 1. A nomenclatura adotada consiste em (F e B) Fornos e (GV) Caldeiras.

Entre os dados apresentados na Tabela 1 observa-se uma significativa redução nos níveis de emissões para a maioria dos equipamentos, com exceção das caldeiras que apresentam elevação na emissão de NO<sub>x</sub>, resultado da qualidade e excesso de oxigênio atribuídos na queima, sobretudo, nos níveis de temperatura envolvidos.

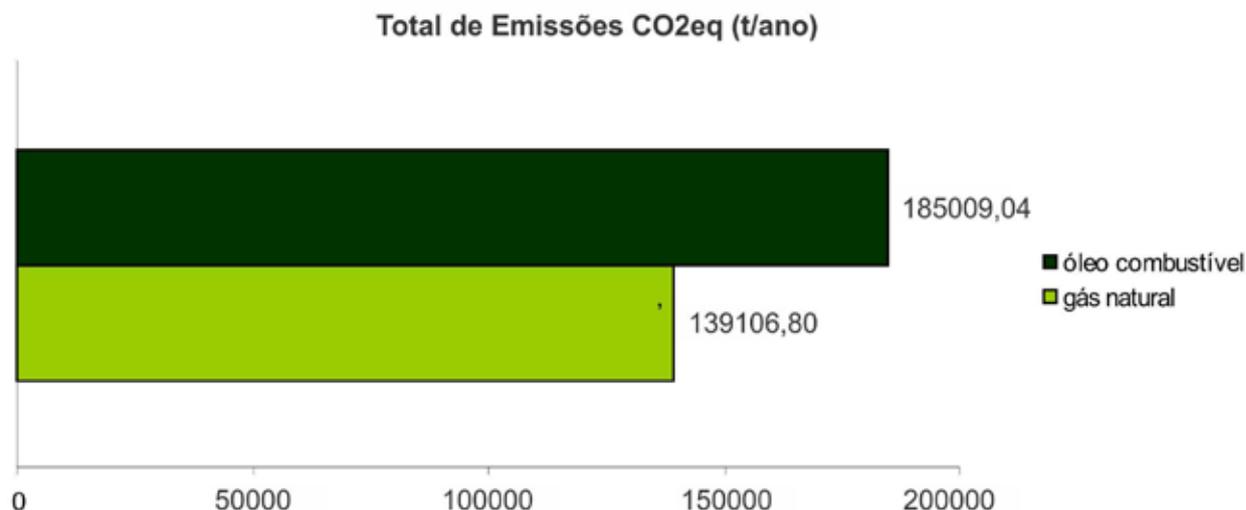
Tabela 1: Valores de emissões nos cenários 1 (OC e GC) e 2 (GN).

Fonte	Combustível	Emissões Mássicas em ton/ano							
		CO <sub>2</sub> eq	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	NO <sub>x</sub>	CO	PM	SO <sub>2</sub>
F221001	gás natural	2655,50	2640,37	0,05	0,05	2,37	1,74	0,16	0,00
	óleo combustível	3532,77	3508,64	0,13	0,07	2,56	0,65	0,55	2,40
F211101B	gás natural	22932,67	22802,00	0,41	0,39	20,50	15,03	1,36	0,00
	óleo combustível	30509,34	30300,96	1,12	0,60	22,10	5,62	4,79	20,73
F211101A	gás natural	23834,14	23698,33	0,43	0,41	21,31	15,62	1,41	0,00
	óleo combustível	31708,46	31491,88	1,17	0,62	22,96	5,84	4,98	21,55
B-102	gás natural	6927,60	6888,13	0,12	0,12	6,19	4,54	0,41	0,00
	óleo combustível	9216,23	9153,28	0,34	0,18	6,67	1,70	1,45	6,26
B-101	gás natural	6478,32	6441,41	0,12	0,11	5,79	4,25	0,38	0,00
	óleo combustível	8618,66	8559,79	0,32	0,17	6,24	1,59	1,35	5,86
GV51301C	gás natural	25755,65	25608,90	0,46	0,44	26,44	16,88	1,53	0,00
	óleo combustível	34245,86	34030,92	0,35	0,67	17,63	6,31	5,38	23,29
GV51301B	gás natural	25851,89	25704,58	0,46	0,44	26,54	16,94	1,53	0,00
	óleo combustível	34374,15	34158,41	0,35	0,67	17,70	6,34	5,40	23,37
GV51301A	gás natural	24671,02	24530,44	0,44	0,42	25,33	16,17	1,46	0,00
	óleo combustível	32803,57	32597,69	0,34	0,64	16,89	6,05	5,15	22,31

Em termos de gases de efeito estufa (GEE), ou CO<sub>2</sub>eq, tem-se nas Figura 2 e 3 uma estratificação dos dados obti-

dos, observando-se que há uma redução nos níveis individuais de contribuição e no resultado global da simulação.

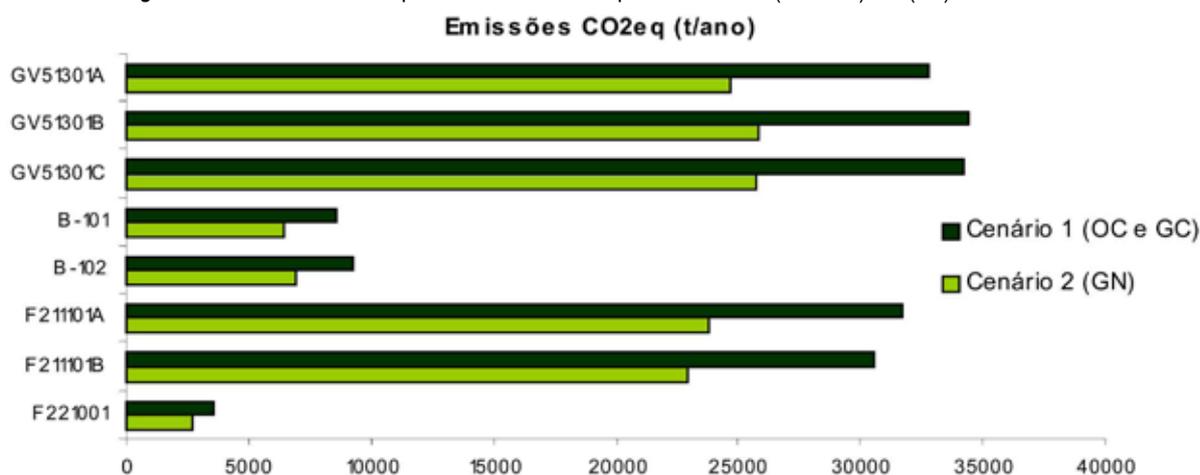
**Figura 1:** Níveis Globais de emissões de CO<sub>2</sub>eq nos cenários 1 (OC e GC) e 2 (GN).



De acordo esses dados (sumarizados na Figura 1), o total anual de redução com a implementação do gás natural nas fontes fixas de combustão é de 45.902 toneladas

de CO<sub>2</sub>eq, representando assim, 25% de redução das emissões dos GEE, partindo do pressuposto de continuidade na utilização do óleo e gás combustíveis.

**Figura 2:** Níveis de emissões por fonte fixa de CO<sub>2</sub>eq nos cenários 1 (OC e GC) e 2 (GN).



Confrontando-se esses valores de emissões de GEE reduzidos com a proposta do Ministério do Meio Ambiente (2012), conforme Figura 3, a qual avalia a meta de redução das emissões totais de CO<sub>2</sub> até 2020 em 38%, do total de 86 milhões toneladas de CO<sub>2</sub>eq a se-

rem abatidas pelo setor energético na qual a indústria de petróleo está inserida, os resultados dessa refinaria (45 mil toneladas de CO<sub>2</sub>eq anuais) representarão, ao longo dos próximos 10 anos, 0,5% da meta estabelecida pelo governo.

**Figura 3:** Níveis de emissões por fonte fixa de CO<sub>2</sub>eq nos cenários 1 (OC e GC) e 2 (GN).

Ações de Mitigação (NAMAs)	2020 (tendencial)	Amplitude da redução 2020 (mi tCO <sub>2</sub> )		Proporção de Redução	
<b>Uso da terra</b>	<b>1084</b>	<b>669</b>	<b>669</b>	<b>24,7%</b>	<b>24,7%</b>
Red Desmatamento Amazônia (80%)		564	564	20,9%	20,9%
Red Desmatamento no Cerrado (40%)		104	104	3,9%	3,9%
<b>Agropecuária</b>	<b>627</b>	<b>133</b>	<b>166</b>	<b>4,9%</b>	<b>6,1%</b>
Recuperação de Pastos		83	104	3,1%	3,8%
ILP - Integração Lavoura Pecuária		18	22	0,7%	0,8
Plantio Direto		16	20	0,6%	0,7%
Fixação Biológica de Nitrogênio		16	20	0,6%	0,7%
<b>Energia</b>	<b>901</b>	<b>166</b>	<b>207</b>	<b>6,1%</b>	<b>7,7%</b>
Eficiência Energética		12	15	0,4%	0,6%
Incremento do uso de biocombustíveis		48	60	1,8%	2,2%
Expansão da oferta de energia por Hidroelétricas		79	99	2,9%	3,7%
Fontes Alternativas (PCH, Bioeletricidade, eólica)		26	33	1,0%	1,2%
<b>Outros</b>	<b>92</b>	<b>8</b>	<b>10</b>	<b>0,3%</b>	<b>0,4%</b>
Siderurgia - sub carvão de desmate por plantadas		8	10	0,3%	0,4%
<b>Total</b>	<b>2703</b>	<b>975</b>	<b>1052</b>	<b>36,1%</b>	<b>38,9%</b>

Fonte: <http://www.mma.gov.br/sitio/index.php?ido=ascom.noticiaMMA&codigo=5324>

### 3.3 DISPERSÃO DE POLUENTES

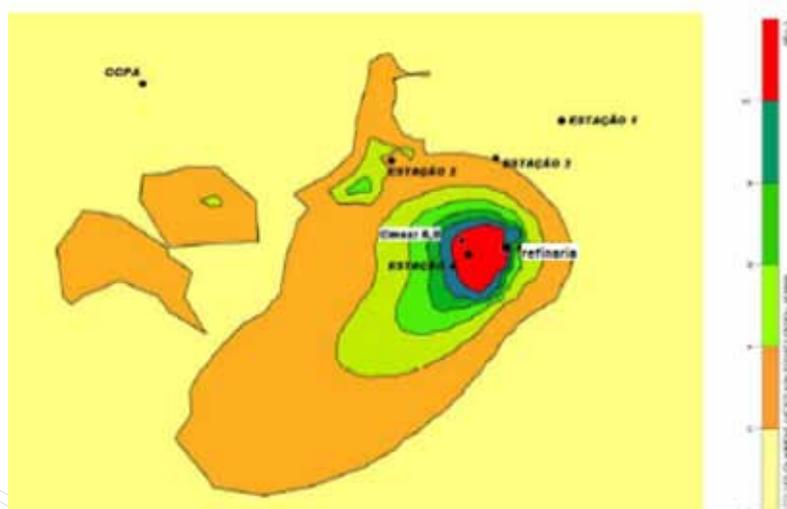
O êxito no ganho ambiental foi estudado através do impacto das emissões de SO<sub>x</sub> provenientes das fontes fixas nos dois cenários analisados. O mapeamento da pluma de dispersão de emissões foi gerado pelo programa AERMOD, no qual se observou que a partir da queima de OC e GC, a pluma mostrou-se mais intensa nas proximidades da refinaria, decorrendo de concentrações mais severas de SO<sub>2</sub>. No entanto, o emprego de GN minimiza bruscamente as emissões de SO<sub>2</sub>, partindo da contemplação da nova tecnologia de queima nos equipamentos caracterizados como fontes fixas de combustão.

As Figuras 4 e 5 demonstram os resultados da simulação

do impacto das emissões de SO<sub>2</sub> provenientes das fontes fixas nos dois cenários analisados. Nota-se que, além do maior diâmetro da pluma de dispersão gerada com a queima de OC e GC, a área sobre a qual decorrem as concentrações mais severas de SO<sub>2</sub> é também significativamente maior, uma vez que o emprego de GN elimina a emissão atmosférica desse rejeito a partir dos equipamentos contemplados.

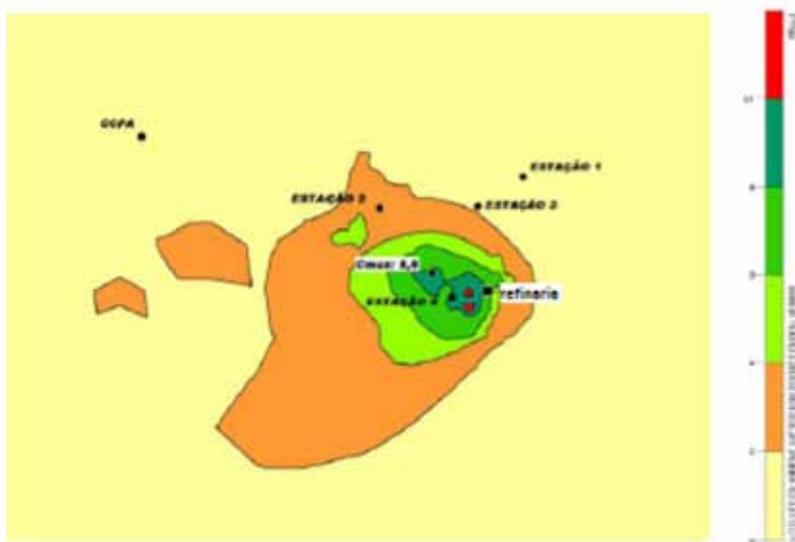
O ganho adicional, não contabilizado na análise acima, incide sobre a qualidade da bacia aérea do entorno da refinaria, oriunda de menores emissões de N<sub>2</sub>O, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, CO e material particulado com o uso do GN. Tais resultados são semelhantes ao estudo desenvolvido para uma refinaria no Paraná, desenvolvido por Barbon e Gomes (2010).

**Figura 4:** Plumam de dispersão de emissões de SO<sub>2</sub> no entorno da refinaria nos cenários sem implementação da queima de gás natural.



Fonte: Aermom®

**Figura 5:** Plumas de dispersão de emissões de SO<sub>2</sub> no entorno da refinaria nos cenários com a implantação do gás natural.



Fonte: Aermod®

Outros ganhos indiretos que são observados no cenário operacional dizem respeito a:

- aumento na eficiência nas caldeiras pelo uso de combustível livre de materiais incrustantes.
- ausência de incrustação nos tubos e câmaras de combustão dos fornos e caldeiras pela substituição do óleo combustível por gás natural.
- diminuição da contaminação por enxofre dos medidores de O<sub>2</sub> online.
- eliminação das etapas de ramonagem e diminuição significativa nas limpezas dos conjuntos de queimadores nos fornos e caldeiras.
- capacitação de trabalhadores com a introdução de novas tecnologias.
- melhorias na qualidade de vida e bem estar da comunidade e dos colaboradores.

#### 4 CONCLUSÕES

Com a disponibilidade do gás natural, uma refinaria reduz significativamente suas emissões atmosféricas, contribuindo assim, tanto às questões ambien-

tais locais (compostos tóxicos e particulados) quanto mundiais (GEE).

Com os resultados das simulações, conclui-se que a implementação da queima do GN contribui para o Brasil a atingir sua meta de redução de emissões proativas estimadas pelos programas do Governo Federal e acordada em tratado internacional. Resultado este que se reveste de importância tanto no cenário ambiental quanto no cenário político-econômico e estratégico das companhias de Petróleo.

Outra mudança identificada é o impacto futuro no mercado de óleo combustível, que necessita de uma política de mercado para redirecionamento desta produção, de acordo com sua exclusão da matriz energética com as vantagens observadas com a utilização do gás natural.

Os investimentos necessários para as referidas adaptações, cerca de R\$ 7 milhões, para um abatimento de 45 mil toneladas por ano, remetem a um custo de R\$ 150,00 por tonelada abatida, que quando comparado a técnicas de replantio ou outros meios de abatimento, consiste num valor inferior e bastante representativo, conforme dados do Ministério do Meio Ambiente (2012).

#### REFERÊNCIAS

- BARBON, A.; GOMES, J. Simulação das emissões atmosféricas sobre o município de Araucária com uso do modelo AERMOD. **Revista de Engenharia Sanitária e Ambiental** – ABES, v.15, n.2, p. 129-140, 2010.
- BRASIL, Ministério do Meio Ambiente – MMA. Brasil anuncia metas de mitigação de emissão de gases-estufa para a COP-15. **Portal do Ministério do Meio Ambiente**. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/sitio/index.php?ido=ascom.noticiaMMA&codigo=5324>>. Acesso em: 10 abr.2012.
- \_\_\_\_\_. Ministério da Ciência e Tecnologia. INPE. **Protocolo de Quioto, 2012**. Disponível em: <[http://mudancasclimaticas.cptec.inpe.br/~rmclima/pdfs/Protocolo\\_Quito.pdf](http://mudancasclimaticas.cptec.inpe.br/~rmclima/pdfs/Protocolo_Quito.pdf)> Acesso em: 18 mar.2012.

CIMORELLI, A.J. et al. **AERMOD description of model formulation**. EPA-454/R-03-004. 2004.

CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE - CONAMA. Nº 382, de 26/12/2006 Estabelece os limites máximos de emissão de poluentes atmosféricos para fontes fixas.

CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE - CONAMA. **Resolução n.º 003 de 28 de junho de 1990**. Padrões de Qualidade do Ar. Brasília, 1990.

\_\_\_\_\_. **Resolução n.º 436, de 22 de dezembro de 2011**. Estabelece os limites máximos de emissão de poluentes atmosféricos para fontes fixas instaladas ou com pedido de licença de instalação anteriores a 02 de janeiro de 2007. Brasília, 2011.

COPENHAGEN: DESAFIOS PARA UM NOVO PROTOCOLO DE EMISSÕES. **ScienceBlogs**: Ciência, cultura, política. Disponível em: <[http://scienceblogs.com.br/rastrodecarbono/2009/08/copenhagen\\_desafios\\_](http://scienceblogs.com.br/rastrodecarbono/2009/08/copenhagen_desafios_)> Acesso em: 20 mar.2012.

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA). **Users guide for the AERMOD meteorological preprocessor (AERMET)**. EPA-454/B-03-002. 2004a.

\_\_\_\_\_. **Users guide for the AMS/EPA Regulatory Model - AERMOD**. EPA-454/B-03-001. 2004b.

\_\_\_\_\_. **Users guide for the AERMOD terrain preprocessor (AERMAP)**. EPA-454/B-03-003. 2004c.

FISCHER, H. et al. **Mixing in inland and coastal waters**. 1 Ed. San Diego, CA: Academic Press, 1979.

FUNDAÇÃO GETÚLIO VARGAS (FGV). **Guia para a elaboração de inventários corporativos de emissões de gases do efeito estufa/realização GVCes Centro de Estudos em Sustentabilidade da Fundação Getúlio Vargas**. São Paulo: FGV, 2009.

HANNA, S.R. et al. Evaluation of the ADMS, AERMOD and ISC3 dispersion models with de Optex, Duke, Forest, Kinkaid, Indianapolis and Lovett Field data sets. International. **Journal of Environment and Pollution**, v. 16, n. 1-6, p. 301-314, 2001.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/sim/sonabra/convencionais.php>>. Acesso em: 20 mar.2012.

MANAUS. Câmara dos Deputados. **Gasoduto Coari-Manaus e Província Petrolífera de Urucu: Um marco no Desenvolvimento do País. Relatório sobre a visita realizada pelos membros da Comissão da Amazônia, Integração Nacional e de Desenvolvimento Regional da Câmara dos Deputados às obras do Gasoduto Coari-Manaus e Província Petrolífera de Urucu, em 27 e 28 de maio de 2007**. Brasília, 2007.

OLIVEIRA, P. S. et al. Avaliação da mudança da matriz energética da REMAN visando reduzir as emissões de GEE. **Prêmio Qualidade Amazonas** - FIEAM. Apresentação Final. Manaus, AM, 2011.

PIMENTEL, L.C.G. et al. Estudo da dispersão atmosférica de poluentes convencionais utilizando o modelo AERMOD. **Ciência e Natura**, Santa Maria, v. 1, p. 57, 2003.

QUINTANILHA, L. O universo das emissões atmosféricas e a atuação do setor industrial. **Revista Meio Ambiente Industrial**. p. 27-40, 2009.

SEINFELD, J.H.; PANDIS, S.N. **Atmospheric chemistry and physics: from air pollution to climate changes**. 1 ed. New York: John Wiley & Sons, 1997.

SILVA, F.M. O desenvolvimento sustentável e os projetos de MDL no Brasil. **Revista Brasileira de Direito Constitucional** – RBDC, n. 16, jul./dez. 2010.