

## VI-187 – INDICADORES DE EMISSÕES ATMOSFÉRICAS NA INDÚSTRIA QUÍMICA BRASILEIRA

**Eliza Frattini Montali<sup>(1)</sup>**

Tecnóloga em Saneamento Ambiental pela Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP). Mestranda em Engenharia Química pela Universidade Estadual de Campinas.

**Edson Tomaz<sup>(1)</sup>**

Professor Assistente Doutor do Departamento de Processos Químicos da Faculdade de Engenharia Química da Universidade Estadual de Campinas.

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Faculdade de Engenharia Química - Universidade Estadual de Campinas, UNICAMP - CP 6066, 13083-970, Campinas-SP, Brasil – Tel: (19) 3521-3953 – e-mail: etomaz@feq.unicamp.br

### RESUMO

Na busca pela sustentabilidade ambiental através de uma gestão ambiental responsável é imprescindível o uso de indicadores. Estes indicadores são importantes para comparação com outros processos similares, para avaliar o potencial de impacto ao meio e para ser empregado como um referencial num programa de metas visando a melhoria contínua do desempenho ambiental. A elaboração da proposta apresentada no presente trabalho ocorreu através de pesquisa na literatura, programas da indústria química, normas e documentos oficiais que se relacionam aos indicadores ambientais, com o objetivo de propor indicadores que contemplem características brasileiras. Os indicadores elaborados abordam as emissões atmosféricas da indústria química, seu desempenho e o potencial impacto ambiental. As emissões atmosféricas consideradas na proposta foram dos óxidos de nitrogênio ( $\text{NO}_x$ ), óxidos de enxofre ( $\text{SO}_x$ ), monóxido de carbono (CO), material particulado (MP), compostos orgânicos voláteis (COV), as substâncias destruidoras da camada de ozônio (SDO) e os gases de efeito estufa. Alguns indicadores foram elaborados se baseando em um potencial impacto das emissões, como a acidificação causada pelos  $\text{NO}_x$  e  $\text{SO}_x$ , o potencial de destruição do ozônio estratosférico pela emissão SDO, o potencial de formação de ozônio troposférico através da emissão de COV também de sua combinação com os  $\text{NO}_x$ . Os demais indicadores consideram as emissões de CO, MP e COV.

**PALAVRAS-CHAVE:** indicador de desempenho ambiental, indicador de potencial impacto ambiental, sustentabilidade, poluição do ar.

### INTRODUÇÃO

Na década de 1960 iniciaram-se as discussões que introduziram os conceitos relacionados ao desenvolvimento sustentável, tais conceitos envolvem a interação entre atividades humanas e sustentabilidade ambiental, social e sua eficiência econômica. Desde então, buscam-se alternativas para que as atividades humanas sejam desenvolvidas sem o esgotamento da capacidade natural de sustentação da vida no planeta.

O foco gerencial no desenvolvimento sustentável é melhor compreendido através de seu conceito mais aceito em todo mundo que resume o desenvolvimento sustentável em um desenvolvimento que atende às necessidades do presente sem comprometer a possibilidade das gerações futuras atenderem as suas próprias necessidades. Tal conceito foi elaborado pela Comissão Mundial do Meio Ambiente e publicado no relatório Nosso Futuro Comum em 1987 (CMMAD, 1991).

Entretanto, o desenvolvimento sustentável apresenta alta complexidade, pois deve considerar as interações entre suas vertentes (ambiental, social e econômica). Bellen (2007) descreve a sustentabilidade a partir do desenvolvimento sustentável e ressalta que existem múltiplos níveis de sustentabilidade e é possível observar a sustentabilidade a partir de subsistemas, como por exemplo, numa comunidade local, um empreendimento industrial ou uma nação.

A sustentabilidade ambiental consiste na capacidade de manter o meio sem sua completa degradação, portanto é um conceito que pode ser relacionado a, por exemplo, padrões adotados em legislações. Para auxiliar as atividades humanas na busca da sustentabilidade ambiental, os padrões estabelecidos devem ser mantidos a fim de preservar a qualidade do meio sem prejudicar qualidade de vida.



Um dos aspectos que está implícito na sustentabilidade ambiental são as emissões de poluentes atmosféricos, que apresentam grande impacto sobre o meio e sobre a saúde pública. Os impactos das emissões atmosféricas podem ter abrangência local, regional ou global, o que varia de acordo com as características do poluente emitido, condições meteorológicas, características da fonte emissora e com o relevo local.

Entre os poluentes de efeitos locais pode-se citar como exemplo os óxidos de nitrogênio ( $\text{NO}_x$ ), os óxidos de enxofre ( $\text{SO}_x$ ), material particulado (MP), o ozônio ( $\text{O}_3$ ) e o monóxido de carbono (CO) que são contemplados na resolução CONAMA n. 382 de 2006 que estabelece limites máximos de emissão de poluentes atmosféricos ( $\text{NO}_x$ ,  $\text{SO}_x$ , MP e CO) para fontes fixas e na Resolução CONAMA n. 03 de 1990. Acrescenta-se a esses os compostos orgânicos voláteis (COV) que são poluentes atmosféricos que apresentam efeitos diretos sobre a saúde e potencial de formação de ozônio troposférico. Entretanto, ainda não há legislações nacionais que estabeleçam padrões para este tipo de emissão. Os gases de efeito estufa por sua vez, também devem ser evitadas pelo potencial de aquecimento global, bem como as substâncias destruidoras da camada de ozônio (SDO) que atuam na destruição do ozônio estratosférico.

Para a gestão ambiental responsável dentro de um processo de melhoria contínua é imprescindível o uso de indicadores que representam o desempenho ambiental de um processo ou uma organização empregando uma métrica previamente estabelecida. Estes indicadores são importantes para comparação com outros processos similares, para avaliar o potencial de impacto ao meio e para ser empregado como um referencial num programa de metas visando a melhoria contínua do desempenho ambiental.

No contexto das indústrias químicas o *International Council of Chemical Associations* – ICCA é o órgão disciplinador dos programas de desenvolvimento sustentável de seus associados, atuando em muitos países na maioria das indústrias químicas que correspondem a 90% da produção química global através do programa *Responsible Care* (ICCA, 2009).

O *Responsible Care* auxilia a indústria para que sua produção ocorra de forma segura, com viabilidade econômica e favorável às futuras gerações. Para isto são aplicados sistemas de verificação, indicadores de desempenho e verificação de procedimentos, permitindo que as indústrias possam desenvolver políticas de melhoria e disponibilizar informações com transparência aos seus parceiros, comunidades locais, ambientalistas, autoridades locais e governamentais e também ao público em geral. (RESPONSIBLE CARE, 2009)

O *Responsible Care* foi adotado pela Associação Brasileira das Indústrias Químicas – ABIQUIM em 1992, nomeado no Brasil como Atuação Responsável. Entre os temas do programa está a sustentabilidade ambiental que pode ser avaliada através de indicadores. (ABIQUIM, 2008)

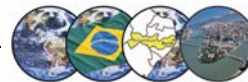
O presente trabalho tem como objetivo propor indicadores de desempenho das emissões atmosféricas para a indústria química brasileira com base em estruturas consolidadas e contemplando as particularidades do país. Os indicadores propostos terão dois componentes para cada aspecto considerado: um indicador (eficiência ambiental) que busca avaliar a eficiência do processo em termos de desempenho potencial, expresso sempre como uma razão entre as quantidades geradas de poluentes ou energia por nível de atividade. O outro componente do indicador (potencial de impacto ambiental) expressa as quantidades totais emitidas de matéria ou energia associadas à poluição ambiental.

## MÉTODOS

Para o desenvolvimento do presente trabalho, foi adotado o seguinte procedimento: pesquisa na literatura científica, pesquisa em organizações vinculadas à indústria química, avaliação de programa existente em indústria químicas brasileiras, pesquisa em órgãos normatizadores e de diretrizes ou guias propostas por iniciativas independentes, e finalmente a elaboração da proposta de indicadores ambientais.

### Proposta de Indicadores Ambientais para a Indústria Química

O Ministério do Meio Ambiente e a Agência Ambiental Federal da Alemanha publicaram em 1997 um documento que apresenta diretrizes para a elaboração de indicadores ambientais corporativos que classifica os



indicadores ambientais como indicadores de desempenho ambiental, indicadores de gerenciamento ambiental e indicadores de condição ambiental.

O documento apresenta os indicadores de desempenho ambiental divididos em indicadores de materiais e energia e também em indicadores de infra-estrutura e transporte, estes são concentrados no planejamento, auxiliando no controle e monitoramento do impacto ambiental da organização. Os indicadores de gerenciamento ambiental mostram as ações da gerência da organização a fim de minimizar os impactos ambientais, como, por exemplo, o treinamento de equipe, o número de auditorias ambientais, entre outros. Os indicadores de condição ambiental descrevem a qualidade do meio ao redor da organização e podem ser empregados na definição de suas prioridades na determinação de seus objetivos.

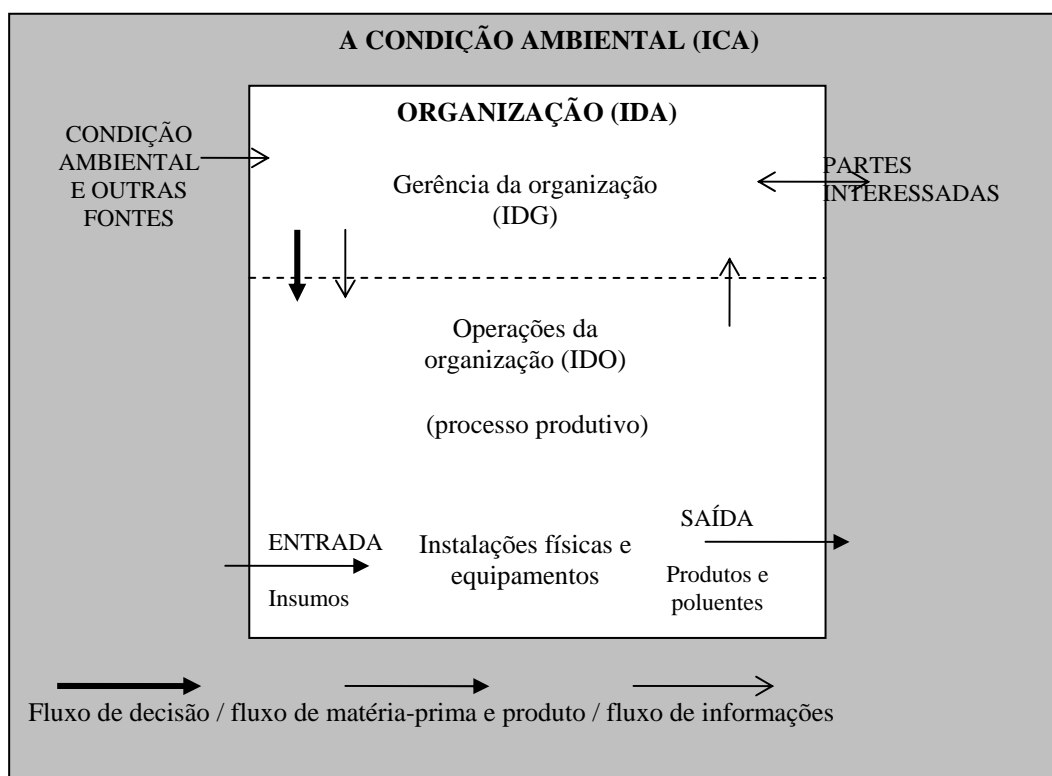
A norma ISO 14031 (1999) foi estruturada de maneira semelhante aos indicadores apresentados no documento alemão. Suas diretrizes apresentam indicadores de avaliação do desempenho ambiental de dois diferentes tipos: indicador de desempenho gerencial (IDG) e indicador de desempenho operacional (IDO), e também apresentam o indicador de condição ambiental.

Os indicadores de desempenho gerencial apresentam esforços da gerência da organização. São divididos em quatro categorias: implementação de políticas e programas, conformidade das ações com requerimentos e expectativas, relações com a comunidade e as relações ambientais com o desempenho financeiro.

Os indicadores de desempenho operacional estão relacionados com entradas e saídas de materiais, fluxo de materiais, características operacionais e instalações físicas do processo. Tem o objetivo de fornecer de informações sobre o desempenho ambiental das operações da organização

O último indicador apresentado pela norma ISO 14031 é o indicador de condições ambientais que apresenta informações qualitativas sobre condições ambientais locais, regionais, nacionais ou globais. Seu objetivo é ajudar a identificação de impactos reais e potenciais da organização sobre o meio.

A norma ISO 14031 apresenta as interações entre a organização (operação e gerência) com as condições do meio, conforme mostrado na Figura 1.



FONTE: ISO 14031

**Figura 1: Relações entre a direção e operação de uma organização com as condições ambientais.**



A OECD apresenta a estrutura de indicadores através do modelo pressão-estado-resposta, seguindo a estrutura da norma ISO 14031 onde a pressão representa os indicadores de desempenho operacional, as atividades humanas, envolvendo a utilização de recursos e a geração de poluentes e de resíduos, o estado representa os indicadores de condição ambiental, a qualidade ambiental como referência para medidas preventivas e corretivas por parte da organização, e a resposta é onde se enquadram os indicadores de desempenho gerencial. Nesta dimensão são relacionados não apenas a direção da organização, mas também a sociedade.

Os documentos consultados apresentam um mesmo direcionamento quanto a elaboração dos indicadores, embora apresentem de diferentes formas estruturais.

Neste trabalho, propõem-se dois tipos de indicadores que tem como objetivos quantificar o desempenho ambiental do processo ou da organização e quantificar o potencial de impacto ambiental, sempre a partir de dados das fontes de poluição atmosférica. Serão denominados Indicador de Desempenho Ambiental (IDA) e Indicador de Potencial de Impacto Ambiental (IPIA), respectivamente.

#### **Indicador de Desempenho Ambiental (IDA)**

Este indicador quantifica o consumo de recursos naturais energéticos e os poluentes primários liberados para atmosfera ou de compostos com potencial de geração de poluentes secundários, expresso em massa em relação ao nível de atividade da fonte. Neste indicador, quanto mais eficiente o processo menor o indicador. Este indicador possibilita a comparação com outros processos similares e permite que o indicador continue válido mesmo com a ampliação das atividades do processo industrial.

#### **Indicador de Potencial de Impacto Ambiental (IPIA):**

Este indicador é similar ao indicador de eficiência ambiental, mas é expresso simplesmente em massa por ano. Neste indicador, quanto maior o processo ou a fontes, maior o valor do indicador. Este indicador pode ser empregado para avaliar o impacto ao meio ambiente decorrente de suas atividades que está relacionada com seu porte e a seu desempenho ambiental. Seria esperado um grande impacto ambiental de um processo de grande porte com baixo desempenho ambiental (IEA alto).

Portanto, os dois indicadores estão relacionados através do nível de atividade do processo, que pode ser expresso pela quantidade de produtos produzida ou pela quantidade de matéria prima processada.

### **DESENVOLVIMENTO DOS INDICADORES**

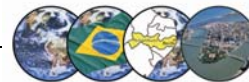
#### **Indicadores de acidificação**

A acidificação é resultados principalmente das emissões de compostos de nitrogênio e de enxofre que na atmosfera são transformados em sulfatos e nitratos que são removidos através da deposição seca ou úmida. Os óxidos de nitrogênio ( $\text{NO}$  e  $\text{NO}_2$ ) e os compostos de enxofre ( $\text{SO}_2$  principalmente) são gerados principalmente em processos de combustão na geração de energia. Alguns processos industriais geram quantidades expressivas de  $\text{NO}_x$  como a produção de ácido adípico e ácido nítrico. Dióxido de enxofre também é emitido em processos industriais como a produção de ácido sulfúrico e processos de sulfatação e sulfonação. O indicador de acidificação é expresso de acordo com as equações 1 e 2.

$$I_{\text{acidificação}}^{\text{IDA}} = \frac{\text{quantidade } \text{NO}_x \text{ e } \text{SO}_x \text{ emitida}}{\text{ton de produto produzidas}} \quad (1)$$

$$I_{\text{acidificação}}^{\text{IPIA}} = \text{quantidade } \text{NO}_x \text{ e } \text{SO}_x \text{ emitida} \quad (2)$$

Para a estimativa das emissões de  $\text{NO}_x$  e  $\text{SO}_x$  deve-se empregar prioritariamente dados de amostragem de chaminé. Métodos alternativos também podem ser utilizados como fatores de emissões do AP-42 – *Compilation of Air Pollutant Emission Factors* (U.S.E.P.A, 2008a) ou dados de monitoramento contínuo de fontes.



### Indicadores de Monóxido de Carbono

O monóxido de carbono é um poluente característico de processos de combustão e tem efeito direto sobre a saúde pública. Alguns processos industriais emitem monóxido de carbono como o craqueamento catalítico de gasóleo em refinarias e a produção de negro de fumo. O indicador pode ser expresso de acordo com as equações 3 e 4.

$$I_{CO}^{IDA} = \frac{\text{quantidade CO emitida}}{\text{ton de produto produzidas}} \quad (3)$$

$$I_{CO}^{PIA} = \text{quantidade CO emitida} \quad (4)$$

Para a estimativa das emissões de monóxido de carbono deve-se empregar prioritariamente dados de amostragem de chaminé. Métodos alternativos também podem ser utilizados como fatores de emissões do AP-42 – *Compilation of Air Pollutant Emission Factors* ou dados de monitoramento contínuo de fontes.

### Indicadores de Material Particulado

As emissões de material particulado podem ter inúmeras fontes de emissões. Podem-se citar os processos de combustão, transporte pneumáticos de sólidos, sistemas de exaustão em processos de moagem, peneiramento ou ensacamento, arraste eólico de sólidos em pilhas ou correias transportadoras, entre outras.

O indicador para material particulado pode ser expresso pelas equações 5 e 6.

$$I_{MP}^{IDA} = \frac{\text{quantidade Material particulado emitida}}{\text{ton de produto produzidas}} \quad (5)$$

$$I_{MP}^{PIA} = \text{quantidade material particulado emitida} \quad (6)$$

As emissões de material particulado devem ser estimadas prioritariamente por amostragem de chaminé para emissões em dutos por fluxos forçados. Alternativamente podem ser utilizados fatores de emissões do EPA (AP-42 – *Compilation of Air Pollutant Emission Factors*). Para emissões de fontes não pontuais, recomenda-se o uso de fatores de emissões de acordo com a especificidade de cada fonte.

### Indicadores de compostos orgânicos voláteis

Os compostos orgânicos voláteis têm uma importância muito grande nos problemas de poluição atmosférica, pois além do potencial de causar efeitos nocivos à saúde na sua forma primária, tem um potencial de formação do ozônio troposférico que é um dos principais problemas contemporâneos de poluição atmosférica.

A simples totalização dos compostos orgânicos voláteis emitidos por um processo não é suficiente para representar o potencial desses poluentes de gerar ozônio troposférico, pois cada um deles tem uma reatividade fotoquímica diferente. Carter (1994) tem publicado sistematicamente dados de sua pesquisa sobre reatividade fotoquímica para diversas moléculas, empregando um parâmetro, a máxima reatividade incremental (MIR – *Maximum Incremental Reactivity*), que é expressa em termos de quantidade de ozônio gerado por meio de processo fotoquímico na atmosfera por molécula de cada composto orgânico volátil emitida. O produto da máxima reatividade incremental pela quantidade de composto orgânico volátil fornece uma estimativa do potencial de formação de ozônio troposférico.

Portanto, os compostos orgânicos voláteis são considerados neste indicador apenas como um precursor de um poluente secundário. As equações 7 e 8 apresentam as equações que permitem calcular o indicador expresso em termos de massa de ozônio gerado por massa produzida e a massa de ozônio gerada, respectivamente.



$$I_{COV}^{IDA} = \frac{\sum ((\text{massa de COV emitida}) (\text{reatividade MIR}))}{\text{ton de produto produzidas}} \quad (7)$$

$$I_{COV}^{IPIA} = \sum ((\text{massa de COV emitida}) (\text{reatividade MIR})) \quad (8)$$

As fontes de emissões de compostos orgânicos voláteis são diversificadas e as taxas de emissões podem ser estimadas por amostragens de chaminés para lançamento em dutos com fluxo forçados em fontes de combustão ou alívios de processos. Para emissões de tanques de armazenamento de efluentes deve-se seguir a metodologia do EPA empregando o software do TANKS 4.09d (U.S.E.P.A, 2008b). Para emissões fugitivas de processos deve-se seguir os procedimentos do EPA utilizando a metodologia do *Protocol for Equipment Leak Emission Estimates para Sythetic Organic Chemical Manufacturing Industry* (U.S.E.P.A, 2009). Para emissões atmosféricas de compostos orgânicos voláteis de estações de tratamento de efluentes deve-se empregar o método do USEPA EPA-453/R-94-080A - 1994 *Air Emissions Models For Waste And Wastewater* o software WATER9 do USEPA. Para estimar as emissões dos processos de transferências de substâncias voláteis pode-se empregar o procedimento do AP-42 - *Compilation of Air Pollutant Emission Factors - 5.2 Transportation And Marketing Of Petroleum Liquids, Volume 1. Fifth Edition*.

### Indicadores de ozônio estratosférico

Halogênios como o cloro estão presentes em substâncias químicas artificiais que são liberados na atmosfera sendo responsáveis pela destruição do ozônio na estratosfera. Uma grande parte desses compostos está em moléculas como as do Clorofluorcarbonos (CFCs - 11, 12, 113, 114 e 115), brometo de metila e halons (agentes de extintores de incêndio - 1211, 1301, 2402). Os CFCs, inventados em 1928, foram utilizados durante anos em geladeiras, condicionadores de ar, sistemas de refrigeração, isolantes térmicos e sprays.

Estes compostos quimicamente estáveis nas condições da troposfera são transportados ao longo de muitos anos para estratosfera onde se decompõem pela exposição intensa à radiação UV-C, liberando radicais livres que destroem a camada de ozônio.

Entre as substâncias destruidoras da camada de ozônio estão os clorofluorcarbonos, bromofluorcarbono (halons), o tetracloreto de carbono, o metil clorofórmio, brometo de metila, entre outras, empregadas em unidades de refrigeração, em aerossóis, na fabricação de espumas, em extintores de incêndio, etc. Cada uma dessas substâncias tem um potencial de destruição da camada de ozônio em função da sua capacidade de liberar radicais reativos na estratosfera.

Define-se como Potencial de Destruição do Ozônio Estratosférico (PDO) como uma quantidade relativa de degradação da camada de ozônio tendo como referência o triclorofluorcarbono (CFC-11) cujo PDO é igual à unidade. O Protocolo de Montreal e seus aditivos estabelecem, entre outras coisas, o Potencial de Destruição da Camada de Ozônio para as substâncias destruidoras da camada de ozônio (SDO).

Para o indicador de substâncias destruidoras da camada de ozônio, propõe-se o somatório das contribuições de cada SDO para a destruição da camada de ozônio, expressas pelas equações 9 e 10.

$$I_{COV}^{IDA} = \frac{\sum ((PDO)(\text{quantidade emitida em toneladas por ano}))}{\text{ton de produto produzidas}} \quad (9)$$

$$I_{COV}^{IPIA} = \sum ((PDO)(\text{quantidade emitida em toneladas por ano})) \quad (10)$$

### Indicadores de ozônio troposférico

O ozônio troposférico é produzido principalmente pelas reações fotoquímicas na atmosfera sob ação da radiação ultravioleta e a partir de precursores como o dióxido de nitrogênio e os compostos orgânicos voláteis. Tendo em vista que o aumento das concentrações desses precursores favorece a formação do ozônio





troposférico, propõe-se um indicador de ozônio troposférico representado pelo produto da quantidade emitida de compostos orgânicos voláteis pela quantidade emitida de óxidos de nitrogênio, de acordo com a equação 11.

$$I_{O_3}^{IPIA} = (\text{massa (t) COV emitida}) * (\text{massa (t) NOx emitida}) \quad (11)$$

### Indicadores de emissões de Gases de Efeito de Estufa

Os gases de efeito estufa são compostos responsáveis pelo aquecimento global que provocam as mudanças climáticas. O IPCC – Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC, 2001) descreve que o Protocolo de Quioto focaliza seis principais gases de efeito estufa que devem ser contemplados nos inventários: dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>), óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), hidrofluorcarbonos (HFC), perfluorcarbonos (PFC) e hexafluoreto de enxofre (SF<sub>6</sub>).

Os gases de efeito estufa (GEE) tem origem em diversas atividades, tais como a queima de combustíveis fósseis em caldeiras e fornos, o consumo de energia elétrica de rede de distribuição (emissão indireta), consumo de CFC em sistemas de refrigeração, operações de transporte, emissões de processo, etc.

Para indicar as emissões de gases de efeito estufa recomenda-se a utilização do Guia para Elaboração de Inventários Nacionais de gases de efeito estufa, metodologia do IPCC (2006) que descreve as emissões dos processos da indústria química e possibilita a escolha do método de acordo com os níveis disponíveis e também a utilização de fatores de emissão para determinar as emissões das fontes de combustão para geração de calor, vapor ou eletricidade.

Na estimativa da geração de gases de efeito estufa associada ao consumo de energia devem-se considerar os processos de transferência de energia pelos limites do sítio da organização devido à compra e venda de energia na forma de vapor ou eletricidade. As emissões decorrentes da geração de energia por terceiros devem ser computadas como emissões do consumidor da energia a fim de evitar distorções. Este é caso específico dos pólos petroquímicos onde há uma empresa de serviços e utilidades para fornecimento, entre outras coisas, de vapor. Portanto, deve-se considerar pelo menos as duas formas mais comuns de energia comercializadas entre empresas: vapor e eletricidade.

O indicador das emissões de gases de efeito estufa (E<sub>GEE</sub>) proposto é descrito pela equação 12:

$$I_{GEE}^{IDA} = (E_P + E_{NR} + E_{EI} - E_{EE} + E_{TI} - E_{TE}) / (\text{ton produto produzida}) \quad (12)$$

$$I_{GEE}^{IPIA} = E_P + E_{NR} + E_{EI} - E_{EE} + E_{TI} - E_{TE} \quad (13)$$

$E_P$  emissões de processo dentro do sítio (outras emissões exceto aquelas para a geração de energia)

$E_{NR}$  emissões associadas à geração de energia não renovável dentro do sítio

$E_{EI}$  emissões associada à energia elétrica importada (comprada da concessionária de distribuidora)

$E_{EE}$  emissões associada à energia elétrica exportada (vendida para a concessionária de distribuidora)

$E_{TI}$  emissões associada à energia térmica importada (comprada de terceiros)

$E_{TE}$  emissões associada à energia térmica exportada (vendida de terceiros)

Cada um dos termos de emissões da equação 12 pode ser calculado pelo produto da quantidade de energia ou combustível envolvido pelo fator de emissão correspondente.

As emissões oriundas do processo produtivo ( $E_P$ ) da indústria devem ser estimadas, sempre que possível, de acordo com a metodologia do IPCC (2006) que descreve os fatores de emissões dos processos da indústria química.

A energia térmica comprada de terceiros terá suas emissões ( $E_{TI}$ ) calculadas de acordo com o fator de emissão do combustível utilizado e a quantidade de energia gerada. Se a indústria exportar parte dessa energia, deve-se



então subtrair as emissões ( $E_{TE}$ ) referentes à porção exportada que será relatada pela indústria consumidora ( $E_{TI}$ ).

A partir do perfil da matriz de energia elétrica brasileira e dos fatores de emissão de cada uma das fontes foi calculado um fator de emissão para o Sistema Interligado Nacional (SIN), pois as emissões decorrentes do consumo de energia elétrica adquirida através da rede nacional devem compor o indicador de GEE.

**Tabela 1: Fator de emissão para o SIN, calculado de acordo com a matriz energética de maio de 2009.**

FONTE	Participação <sup>(1)</sup> (%)	Fator de emissão (kg/MW.h)					
		Bruto <sup>(2)</sup>			Ponderado		
		CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O
Não renovável							
Derivados de Petróleo	4,46	270,54	0,010714	0,0021	12,07	4,78E-04	9,37E-05
Gás Natural	9,48	200,36	0,003571	0,0004	18,99	3,39E-04	3,79E-05
Gás Industrial	1,11	205,71	0,003571	0,0004	2,28	3,96E-05	4,44E-06
Carvão Mineral	1,30	382,14	0,003571	0,0054	4,97	4,64E-05	7,02E-05
Nuclear	1,80	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Renovável							
Hidráulica + Importação	77,42	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Biomassa	4,65	0,00	0,11	0,01	0,00	0,00	1,53E-05
Fator de Emissão da Matriz					38,31	0.0009	0.0002

(1) ANEEL/2009

(2) IPCC/2006 e MCT/2008

O fator de emissão do SIN é de 38,31 tCO<sub>2</sub>/kW.h deve ser multiplicado pela quantidade de energia consumida, resultando na quantidade de emissão correspondente a energia elétrica importada ( $E_{EI}$ ).

Se ao invés de comprar energia elétrica da rede nacional a indústria gerá-la, deve-se relatar a emissão ( $E_{NR}$ ) através do fator de emissão relativo a fonte de energia empregada, ressalta-se que se a geração for por fonte renovável o fator de emissão será zero.

Se a geração de energia da indústria for excedente ao seu consumo e a energia for vendida, a emissão referente à quantidade de energia exportada deve ser subtraída de seu indicador a fim de que não haja duplicação de quantidade emitida através desta energia.

**Tabela 2: Fatores de emissões de CO<sub>2</sub> em função do tipo de combustíveis**

Tipo de Combustível	Fator de Emissão (t CO <sub>2</sub> /t)
Alcool	2,09057
Gás liquefeito de petróleo	2,91997
Gás natural	2,61934
Óleo combustível	3,09436
Óleo diesel	3,11997
Outros energéticos de petróleo *	3,11685
Gasolina	3,11685

Foram adotadas as seguintes hipóteses para a estimativa dos fatores de emissões:

- Densidade do óleo combustível tipo A de 1,02 kg/L;
- Densidade do óleo combustível tipo B de 0,98 kg/L;
- Densidade do óleo diesel de 0,85 kg/L;
- Densidade do gás natural (ar @ 20 °C, 1 atm) de 0,63 kg/m<sup>3</sup>
- Massa específica do gás natural (@ 20 °C, 1 atm) de 0,78

FONTE: CETESB (2007)





## CONCLUSÕES

O presente trabalho propôs um conjunto de indicadores para poluentes atmosféricos para a indústria química incluindo indicadores específicos para compostos orgânicos voláteis levando em conta o seu potencial de formar ozônio troposférico. Além disso, foi proposto um indicador específico para ozônio troposférico baseado nas quantidades emitidas de seus precursores.

Os indicadores propostos podem ser utilizados para comparação entre processos similares e pode ser usado como parâmetro para o estabelecimento de metas dentro de um programa de melhoria contínua. Podem ser utilizados para a geração de relatórios de sustentabilidade gerando transparência e credibilidade à indústria.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABIQUIM, Associação Brasileira das Indústrias Químicas. Atuação Responsável. Disponível em: <<http://www.abiquim.org.br/atuacaoresponsavel>>. Acesso em 18 de agosto de 2008.
2. BELLEN, Hans Michel van. Indicadores de sustentabilidade: uma análise comparativa. Rio de Janeiro: Editora FGV, 2007.
3. BONN/BERLIN. A guide to corporate environmental indicators. Publicado por Federal Environmental Ministry, Bonn e Federal Environmental Agency, Berlin. Dezembro de 1997
4. CMMAD – Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento. Nosso Futuro Comum. Rio de Janeiro: Fundação Getúlio Vargas, 1991. 493p.
5. CONAMA. Resolução, n. 03 de 28 de junho de 1990. Dispõe sobre padrões de qualidade do ar, previstos no PRONAR. Publicada no DOU, de 22 de agosto de 1990, Seção 1, p. 15937-15939
6. CONAMA. Resolução, n. 267 de 14 de dezembro de 2000. Dispõe sobre a proibição da utilização de substâncias que destroem a Camada de Ozônio. Publicada no DOU n. 237, de 11 de dezembro de 2000, Seção 1, p. 27-29
7. CONAMA. Resolução, n. 382 de 26 de dezembro de 2006. Estabelece os limites máximos de emissão de poluentes atmosféricos para fontes fixas. Publicada no DOU n. 1, de 2 de janeiro de 2007, Seção 1, p. 131-137
8. ICCA - International Council of Chemical Associations. Disponível em: <[www.icca-chem.org/Home/ICCA-initiatives/Responsible-care/](http://www.icca-chem.org/Home/ICCA-initiatives/Responsible-care/)>. Acesso: 31 de março de 2009.
9. IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change. Climate change 2001: Synthesis report. A Contribution of Working Groups I, II and III to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press, 2001a. 398p.
10. IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change. Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido e Nova York, NY, EUA, 996 p. 2007
11. IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. IGES, Japão, 2006.
12. ISO - International Organization for Standardization. Environmental Performance Evaluation Guidelines, 1999.
13. OECD Environmental Indicators Development, Measurement and Use. 2003
14. RESPONSIBLE CARE. Disponível em : <[www.responsiblecare.org](http://www.responsiblecare.org)>, acesso: 31 de março de 2009
15. U.S.E.P.A., AP 42, Compilation of Air Pollutant Emission Factors, Volume 1: Stationary Point and Area Sources, 5. ed. Disponível em: <<http://www.epa.gov/ttn/chief/ap42/index.html>>. Acesso em: 18 de agosto de 2008 a.
16. U.S.E.P.A, AP42, Emissions Factors Software and Tools. TANKS Emissions Estimation Software, Version 4.09D. Disponível em: < <http://www.epa.gov/ttn/chief/software/tanks/>>. Acesso em: 18 de agosto de 2008 b.