

Inventários corporativos de gases de efeito estufa: métodos e usos

Gutemberg Hespanha Brasil¹, ghbrasil@terra.com.br

Paulo Antônio de Souza Junior², pasouza03@yahoo.com.br

João Andrade de Carvalho Junior³, joao.a.carvalho.jr@pesquisador.cnpq.br

¹ Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), Departamento de Estatística, Vitória, ES, Brasil

² Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), Laboratório Associado de Combustão e Propulsão, Cachoeira Paulista, SP, Brasil

³ Universidade Estadual Paulista (UNESP), Departamento de Energia, Guaratinguetá, SP, Brasil

*Recebido: Fevereiro, 2008 / Aceito: Abril, 2008

RESUMO

Inventários corporativos de emissões de gases causadores do efeito estufa, bem como de estoques de carbono em biomassa, contêm informações importantes para os tomadores de decisão de grandes empresas no apoio à formulação de políticas em relação às mudanças climáticas. Apresenta-se aqui uma metodologia de cálculo das emissões de processos e serviços, incluindo também estimativas de incertezas associadas. Discute-se a importância para a empresa no conhecimento dessas incertezas.

Palavras-chave: Inventário de Gases de Efeito Estufa. Incertezas. Sustentabilidade.

1. INTRODUÇÃO

Há dois fatos notórios sobre as observações da superfície da Terra. O primeiro trata do aumento da temperatura média da superfície do planeta desde o início da era industrial. O segundo fato é o aumento da concentração de gases resultantes da combustão de carbono fóssil (e.g., carvões, derivados de petróleo, gás natural, calcários). De acordo com IPCC (2006), observa-se o início do crescimento da concentração de gases de efeito estufa na atmosfera a partir de 1850, resultantes do início da industrialização que utilizou como fontes de energia os combustíveis fósseis. Diversos modelos tentam relacionar estes dois fatos (IPCC, 2006). Não é absoluto consenso na comunidade científica de que o aquecimento da superfície da Terra tenha sido causado exclusivamente pelo aumento da concentração de gases de efeito estufa (GEE), veja por exemplo Singer (2003). Eventuais alterações cíclicas da Terra, com causas não-observáveis, podem ser as causadoras dessa situação da superfície do planeta. Como o problema do aquecimento, e sobretudo das suas consequências para o clima terrestre, é assunto de todos os países, estabeleceu-se na

ECO-92, no Rio de Janeiro, a Convenção Quadro das Nações Unidas para a Mudança do Clima. Esta convenção estabelece dois princípios básicos:

1. O princípio da precaução: este princípio observa que, embora não haja consenso científico sobre a relação causa-efeito entre o aumento da concentração de GEE na atmosfera e o aumento da temperatura da superfície da Terra, alguma ação precisa ser tomada antes que a concentração atinja níveis perigosos. Não se pode, com o conhecimento atual, estimar que concentração seja perigosa.
2. O princípio da responsabilidade comum, porém diferenciada, observa que o problema atual fora causado por todos os países (responsabilidade comum); entretanto, os países desenvolvidos (e.g., EUA, Japão, Canadá, Austrália, Comunidade Econômica Européia) emitiram mais gases do que os países em desenvolvimento (e.g., Brasil, Índia, China).

Os dois princípios base da convenção quadro da ONU foram o alicerce do Protocolo de Kyoto, de 1997. O Protocolo estabelecia aos países desenvolvidos uma meta de redução de 5,2% aos níveis de emissão de 1990. Aos países em desenvolvimento não se estabelecia nenhuma meta de redução (i.e., responsabilidade comum, porém diferenciada). Em fevereiro de 2005, a ratificação da Rússia ao tratado resultou que mais de 55% das emissões globais de GEE foram originados de países signatários. Portanto, mesmo sem a adesão dos EUA e da Austrália ao protocolo de Kyoto, este entrou em vigor tendo os anos de 2008 até 2012 como o seu primeiro período de compromisso. O Tratado de Kyoto estabelece três mecanismos básicos de mercado de redução de emissões entre os países emissores: (a) um sistema *cap&trade* (limite e negocie) onde as empresas têm uma quota para emissão anual estabelecida pelo governo por meio de um plano de alocação nacional que permite ao país atingir as suas metas. Emissões abaixo dos limites estabelecidos podem ser negociadas em bolsa (p.ex, European Union Emissions Trading Scheme). Empresas que emitirem além do seu limite podem comprar estes créditos; (b) o sistema *Joint Implementation* são projetos entre países com metas de redução que promovem a redução de emissão de gases. Por exemplo, uma hidrelétrica privada na Itália financiada por uma empresa alemã, reduz o consumo de energia de termelétricas a carvão, intensas em emissão de dióxido de carbono (CO₂), um importante gás de efeito estufa. A redução da emissão pode ser utilizada pela empresa alemã; (c) Mecanismos de Desenvolvimento Limpo (MDL). Estes são realizados em países em desenvolvimento (e.g., Brasil) e a redução de emissão de GEE pode ser comercializada. Estes créditos, baseados em Projetos, são os conhecidos créditos de carbono. Estes projetos devem ser registrados pela ONU e o seu desempenho deve ser verificado por empresas credenciadas. Todos os projetos são públicos e a metodologia de estimativa de redução de emissões de GEE pode ser livremente acessada (<http://cdm.unfccc.int>).

Existe uma crescente pressão da sociedade por ações relacionadas a mudanças climáticas. As principais ações são o compromisso sério de muitas empresas, especialmente européias, na busca obsessiva por redução das emissões de gases associados aos seus processos ou serviços, a adoção de metas voluntárias, o desenvolvimento de tecnologias que causem a redução de emissão (e.g., biocombustíveis), a formação de mercados alternativos a Kyoto (e.g., CCX na Bolsa de Chicago, South Wales na Austrália), medidas de ação em índices de sustentabilidade (e.g., Dow Jones Sustainability Index e o Índice de Sustentabilidade da Bovespa), organização de informações para investidores (e.g., Carbon Disclosure Project), organização de comerciantes de emissões (e.g., International Emissions Trading Association, IETA), Fórum Nacionais e Estaduais de Mudanças Climáticas (<http://www.forumclima.org.br/>), neutralização de emissões voluntárias em eventos por meio de plantio de árvores (p. ex., <http://www.sosmatatlantica.org.br/>), apenas para citar algumas iniciativas e ações. É inegável o impacto causado, na produção e nos serviços, em todo o mundo, pelas ações relacionadas às mudanças climáticas. O Prêmio Nobel da Paz de 2008 foi concedido ao ex-vice-Presidente dos EUA, Al Gore e ao Painél Intergovernamental para Mudanças Climáticas (IPCC) pela contribuição de ambos “*pelos esforços de recolha e difusão de conhecimentos sobre as mudanças climáticas provocadas pelo Homem e por terem lançado*

os fundamentos para a adoção de medidas necessárias para a luta contra estas alterações”.

O ponto de convergência de toda a discussão relacionada às mudanças climáticas é a medida de emissão de gases gerada por um dada empresa ou país. A melhor expressão da emissão de um país é a Comunicação Nacional, responsabilidade de todo o país membro da Convenção Quadro das Nações Unidas para Mudanças Climáticas, independente da sua ratificação ao tratado de Kyoto. Não será foco deste trabalho o inventário nacional de emissões de gases de efeito estufa. Para a realização de inventários corporativos de gases de efeito estufa, bem como dos seus estoques de carbono em biomassa (e.g., florestas, parques, cinturões verdes), foram estabelecidos diversos protocolos e até uma norma ISO, a 14064. Toda ação empresarial relacionada a mudanças climáticas deve ser fundamentada no conhecimento das suas emissões. A melhor expressão dessas emissões é um inventário.

Este trabalho define e apresenta conceitos importantes relacionados a inventários corporativos de gases de efeito estufa, com atenção principal a cuidados no levantamento de incertezas de medidas associadas a estas emissões, com discussão sobre as conseqüências para as tomadas de decisão advindas da presença de incertezas nos inventários corporativos.

2. O CÁLCULO DE EMISSÃO

Toda emissão de gases de efeito estufa, de acordo com as recomendações do IPCC (1997), deve ser calculada como um produto de um dado de atividade por um fator de emissão adequado. Ou seja, a quantidade de combustível utilizado, considerando a maneira como ele é utilizado. Exemplos de dados de atividade e de fatores de emissão serão apresentados a seguir.

2.1 DADO DE ATIVIDADE

O dado de atividade é uma medida que expressa a intensidade de uma dada fonte emissora. São exemplos de dados de atividade a distância percorrida por caminhões trazendo insumos para uma indústria, o consumo de combustível em uma frota de ônibus de transporte de funcionários, o consumo de óleo diesel em geradores de energia elétrica, o número de horas de trabalho de uma bomba d'água, a quantidade (*i.e.*, massa) de eletrodos de grafite utilizados em soldas, a quantidade de resíduos orgânicos gerados, e assim por diante. Na medida de atividade, não se leva em consideração a qualidade de combustíveis, insumos, matérias-primas, mas apenas a quantidade consumida, percorrida ou produzida.

2.2 FATOR DE EMISSÃO

O fator de emissão é uma expressão da emissão associada a uma unidade de atividade da fonte. Os fatores de emissão reportam a quantidade de CO₂ equivalente emitida por unidade de atividade. Assim, expressam o quão intensiva é uma dada atividade em emissão de gases de efeito estufa, ou seja, é uma medida da taxa de emissão. Por exemplo, um fator de emissão médio resultante da combustão da gasolina é 2,135 kgCO₂ / m³ gasolina. Este fator de emissão depende da composição do combustível (e.g., o teor de álcool etílico anidro na gasolina varia de 20 a 25%), das condições do motor (e.g., idade da frota, PROCONVE (2004)).

É comum o uso de fatores de emissão disponíveis na literatura (e.g., EFDB). É importante entender as componentes que influenciam o valor de um dado fator de emissão. O cálculo do fator de emissão da gasolina é um exemplo. Ela contém concentrações distintas de álcool de país para país, e ainda no Brasil varia de região para região, e da época do ano (*i.e.*, é menor no período de entressafra da cana-de-açúcar). Estes fatores trazem incertezas para a estimativa do fator de emissão e, por conseguinte, para a emissão das fontes poluidoras. A sessão 3 deste artigo discute as considerações sobre incerteza no cálculo da emissão de gases de efeito estufa em uma dada atividade. O fator de atividade será tanto melhor quanto mais informações se dispuserem a respeito da qualidade do

material em questão. Por exemplo, conhecer bem um produto que contenha carbono (e.g., ferro-esponja) é importante para o fator de emissão de um processo produtivo que contenha ou consuma este material.

Quando não se dispõe de informação detalhada, há a opção de se utilizar fatores de emissão disponíveis na literatura. Neste caso, é importante que se tenha cuidado para empregar fatores o mais próximos da realidade e, se possível, conservadores. São fatores conservadores aqueles que superestimem alguma emissão em razão do desconhecimento de alguma informação. Por exemplo, se não se conhece o teor de álcool na gasolina deve-se considerar como o menor valor possível, pois este resulta na maior emissão de GEE possível. Desta forma, paga-se um preço pelo desconhecimento, sem prejuízo do cenário de emissão da empresa junto a *stakeholders*.

2.3 CALCULO DA EMISSÃO DE GASES DE EFEITO ESTUFA

Conhecido um dado de atividade e o fator de emissão correspondente pode-se calcular a emissão pelo produto dessas grandezas. Para o caso de transporte de funcionários de uma dada empresa, as alternativas da Tabela 1 podem ser observadas:

Tabela 1. Exemplo de dados de atividades e fatores de emissão para o transporte de funcionários de uma dada empresa em frota própria.

Dado de Atividade	Incertezas Típicas	Fator de Emissão	Incertezas Típicas
km percorridos	Alterações de rota. Erro de anotação. Precisão dos odômetros.	kg CO ₂ / km rodado	Diversidade da frota (idade, modelo, fabricante). Manutenção dos motores. Relevo dos percursos. Carga transportada pelos veículos.
L diesel consumidos	Precisão das bombas de abastecimento. Temperatura na hora do abastecimento com medidores sem correções para a densidade. Vazamentos em tanques.	kg CO ₂ / L consumido	Varição da composição do combustível. Manutenção dos motores.
Viagens de carro pequeno em transporte eventual ou executivo	Modelo dos veículos. Distância percorrida ou volume de combustível. Todas as incertezas já citadas acima.	kg CO ₂ / atividade	Todas as incertezas acima.

3. A INCERTEZA NO CÁLCULO DA EMISSÃO DE GEE

O produto dos fatores de emissão com os dados de atividades como ilustrado na Tabela 1 fornece, par a par, uma emissão associada à atividade de transporte de funcionários da empresa. Os exemplos de fontes de erros deverão ser considerados e quantificados se se deseja calcular a incerteza associada à fonte. O IPCC faz recomendação para o cálculo de emissões de gases de efeito estufa, IPCC(2006). Existe uma Norma ISO (ISO14064, 2006) que orienta a realização de inventários de gases de efeito estufa; entretanto, ela é absolutamente vaga sobre o cuidado com o levantamento e tratamento de incertezas em inventários. Realizar um inventário de gases de efeito estufa e de remoções de estoques de carbono é um trabalho que requer um bom entendimento e uma boa descrição de processos, seleção e tratamento estatístico de dados industriais. Além das variações naturais do processo produtivo e da qualidade de matérias-primas, há incertezas relacionadas ao método de mensuração e dos instrumentos utilizados em medidas. É otimismo demais imaginar que a indústria está preparada para observar os dados com tanto detalhe. A equipe que realiza um inventário dessa natureza trabalha com

as áreas de suprimentos, controle de processo, manutenção, laboratórios, vendas, logística, meio ambiente, etc. Todo esse trabalho se resume no levantamento de três informações: quanto de um material é utilizado, o que é o material e como ele é medido. Por exemplo, considere-se que a empresa sendo inventariada receba carbonato calcário (CaCO_3) como um dos insumos do seu processo. As três perguntas básicas a serem respondidas na realização de qualquer inventário são:

Quanto de carbonato é consumido (i.e., o dado de atividade)?

Há diversas fontes para esse dado. Pensando no processo de verificação do inventário, pode-se considerar obter o valor efetivamente pago pela empresa ao fornecedor (R\$/ton calcário). O valor pode ser pago com base na quantidade de cálcio fornecido, mas não de carbono! Isso nos remeterá à segunda pergunta:

O que é o carbonato (i.e., o fator de emissão)?

O cálcio em carbonatos minerais pode estar associado não apenas ao carbonato, mas também a silicatos e o carbonato pode conter impurezas de magnésio (formando um pouco de dolomita). Isso o levará a fazer uma pesquisa com os técnicos do laboratório da empresa sobre os métodos de medida do teor de cálcio e alguma eventual inferência sobre o teor de carbono. Que incertezas esse procedimento traz? Depois de um bom trabalho, será possível transformar os valores da nota fiscal em quantidade de carbono.

Como o carbonato é medido (i.e., incertezas)?

A quantidade de carbonato pode ser medida em uma balança rodoviária, em número de carretas, bags, e as medidas podem aparecer de outras formas ainda mais criativas e com maior incerteza... Há incertezas também nos procedimentos realizado no laboratório.

4. INVENTÁRIOS DE EMISSÃO DE GASES DE EFEITO ESTUFA

Um inventário de gases de efeito estufa é, portanto, a contabilização da emissão de todas as fontes definidas em grupos de atividades associadas a uma empresa. Definir bem os limites de atividades é imperativo na realização de um bom inventário. Um inventário de gases de efeito estufa deve considerar premissas amplamente aplicadas, isto é utilizadas também, em inventários de outras empresas, e as fontes devem também ser agrupadas sobre algum critério geral. Um agrupamento, ou escopo típico, é classificar as fontes que sejam de emissões diretas, indiretas ou associadas à geração de energia elétrica (incluindo calor e vapor). Define-se a seguir como as fontes devem ser agrupadas e que premissas se devem utilizar no cálculo de emissões.

A aplicação de premissas é fundamental para garantir que a informação relacionada a GEE seja resultado de um cálculo seguro. Os princípios (ou premissas) formam a base que sustenta a uniformidade de métodos no inventário e entre inventários de diferentes empresas. Os princípios aqui apresentados correspondem às premissas apresentadas pelo GHG Corporate Protocol (WRI, 2004) e previstos pela Norma ISO 14064 (ISO14064, 2006).

4.1 PREMISSAS

a) Abrangência

Todas as emissões e as remoções relevantes de GEE da empresa devem ser incluídas. Aqui se deve considerar a abrangência também sobre dois aspectos: a discrepância material e se todas as fontes relevantes foram consideradas. Discrepância material pode ser definida como um limite em que a soma de todas as fontes desconsideradas juntas não deve ultrapassar. Qualquer exclusão da emissão indireta do consumo de energia elétrica deverá ser justificada. Esta justificativa será cuidadosamente analisada pelos verificadores sob a ótica da norma ISO14064; particularmente aquela exclusão que possa resultar em uma diferença material potencial.

b) Consistência

Comparações significativas entre informações relacionadas a GEE são possíveis, especialmente entre inventários realizados em diferentes períodos. É muito importante que se mantenham os mesmos métodos de cálculo entre diferentes versões do inventário. Qualquer alteração metodológica ou de atividade e processos produtivos deve ser reportada.

c) Precisão

As incertezas devem ser reduzidas até onde for praticável. Nenhuma norma ou protocolo associa o “nível praticável” associado a metas de redução compulsória ou voluntária. Praticável é definido por quem realiza o inventário normalmente em termos de custos para a realização do inventário (De Souza et al. 2007).

d) Transparência

Todas as informações relevantes devem ser reveladas de modo a permitir a tomada de decisão com razoável confiança. Exemplos de decisão podem ser a realização de um projeto de crédito de carbono, adesão de meta voluntária ou disclosure de relatório de emissão.

e) Relevância

As fontes, sumidouros e reservatórios de GEE, dados e metodologias apropriadas para as necessidades do usuário do inventário de GEE são selecionados e reportados.

f) Conservação

Consideração, valores e procedimentos conservativos são utilizados para se assegurar que as emissões não sejam subestimadas e os seqüestros e estoques não sejam sobre-estimados.

4.2 ESCOPOS

São listados aqui grupos de fontes que devem ser utilizadas para a melhor organização de inventários. A divisão de escopos em emissão e estoques é proposto neste artigo e não está presente, nesta forma, nas normas e protocolos aqui referenciados.

a) Escopo 1 - A: Emissões Diretas de GEE

Deverão ser quantificadas as emissões diretas de GEE das unidades produtoras; exceto aquelas associadas à geração de energia elétrica.

b) Escopo 1 - B: Remoções Diretas de GEE

O seqüestro e os estoques de carbono deverão ser contabilizados neste grupo. O seqüestro de carbono pode ser considerado o crescimento de biomassa em floresta nativa (e.g., parque florestal, jardim botânico, reserva legal) ou produtiva ou a variação de um estoque geológico de CO₂ realizado por meio de injeção do gás no subsolo (IPCC, 2005).

c) Escopo 2: Emissão Indireta de GEE associada à Energia

A quantificação das emissões indiretas de GEE oriundas do consumo de energia, calor ou vapor que são gerados por outra organização serão contabilizadas neste escopo. Para esta quantificação deverão ser verificados eventuais critérios de rateio do consumo de energia elétrica estabelecidos pela área de controle da empresa.

d) Escopo 3: Emissões Indiretas de GEE

Grande parte das emissões associadas a serviços e atividades associadas que não são *core business* (e.g., eventos de marketing) deverão ter suas emissões analisadas ou alguma eventual exclusão criticamente revisada. Estas são as emissões que não são diretamente associadas ao negócio e aos processos intrínsecos da empresa.

A exclusão de uma determinada fonte ou sumidouro de GEE pode ser feita desde que a sua contribuição potencial não resulte em discrepância material. Ou seja, as exclusões serão verificadas com atenção também à sua totalidade, pois este conjunto não pode resultar também em diferença material. São ainda razões para a exclusão de fontes do inventário: o fato de a quantificação não ser tecnicamente executável ou que tenha custo de determinação excessivo. As justificativas para exclusões de fontes e sumidouros deverão ser analisadas pelos eventuais verificadores do inventário. Naturalmente poderão ser solicitadas revisões das justificativas de exclusão oferecidas pela unidade. Atenção especial deve ser dada às emissões consideradas como fugitivas em processos.

Atendendo ao princípio da transparência, a exclusão de qualquer fonte (ou sumidouro) de GEE do inventário da unidade deve ser documentada, justificada, e acompanhada ainda de uma proposta para medida futura desta fonte e de uma estimativa conservadora, se aplicável, da emissão de GEE, seqüestro ou estoque de carbono.

Um inventário de emissões de gases de efeito estufa, e de estoque de carbono, se bem feito, representa sempre uma excelente oportunidade para revisar procedimentos de medida de insumos, produtos e subprodutos. Não raro novas variáveis de controle de processo são intensamente discutidas e empregadas em razão da realização do inventário.

5. AS INCERTEZAS DE UM INVENTÁRIO E AS AÇÕES DA EMPRESA

O estabelecimento das incertezas de um inventário também pode contribuir para visualizar-se a qualidade do inventário. O usual é categorizar as diferentes incertezas associadas a um inventário de GEE. Duas grandes classificações incluem (i) incerteza dos parâmetros e, (ii) incerteza dos modelos. Este segundo tipo de incerteza advém da utilização de modelos matemáticos/estatísticos que porventura sejam utilizados para caracterizar relações entre os diversos tipos de parâmetros e emissões do processo. Isso porque, alguns modelos empregados nestes inventários não são conhecidos da empresa ou são de uso pouco comum em processos industriais.

(Observa-se que o IPCC (2006) identifica sete fontes principais de incerteza: 1. Erros de mensuração - tem dois componentes: aleatório e sistemático (vício ou tendência); 2. Erros de amostragem estatística; 3. Falta de representatividade dos dados; 4. Registro e classificações deficientes; 5. Ausência de dados; 6. Falta de completitude – incertezas que resultam onde foram tentadas mensurações mas não se conseguiu obter nenhum valor; e 7. Incertezas nos modelos).

As incertezas nos parâmetros referem-se às incertezas associadas à quantificação de parâmetros usados como entradas nos modelos de estimação e/ou metodologias, como descrito nas seções anteriores. As principais fontes de incerteza (categorias) consideradas nas metodologias, como, por exemplo, aquela mencionada na seção 2 são, WRI (2004), IPCC (2006):

- I) Dados de atividade – incertezas nos dados básicos e atividade relacionadas à adequação dos dados, exatidão ou completitude;
- II) Fatores de Emissão (FE's) – decorre do uso de representações simplificadas com valores médios ou aplicação inapropriada de FE's que não representam o processo ou as condições de operação;
- III) Equipamento de amostragem usado para obtenção das mensurações das emissões não calibrado;
- IV) Uso de conjuntos de dados que não representam completamente as operações das instalações (e.g., desconsidera a emissão fugitiva em fornos).

Essas categorias de incerteza, dados de atividade, FE's e outros parâmetros, devem ser avaliadas através de análises estatísticas, se dados estiverem disponíveis: determinação da precisão dos equipamentos de mensuração e/ou, eventualmente, a adoção da opinião de especialistas para determinação das estimativas envolvidas. O IPCC

recomenda o uso de intervalos de confiança de 95%, na determinação da amplitude das incertezas.

No cálculo da incerteza total para uma estimativa da emissão de uma determinada fonte, as incertezas dos parâmetros devem ser combinadas utilizando-se regras estatísticas de "propagação de incertezas" (e.g., Mood et al (1974), IPCC (2006) e Taylor (1997)).

Para quantificar as incertezas e sua conseqüente propagação, são necessárias estimativas das quantidades utilizadas bem como alguma medida de erro/incerteza dessas medidas. Em muitos casos usam-se a média e o desvio-padrão. Um pressuposto adotado, para garantir independência pelo menos aproximadamente, é o de que as incertezas devem ser relativamente pequenas, i.e., com coeficiente de variação menor que 30%. O coeficiente de variação expressa quantos desvios padrão cabem dentro de uma média. Ter um coeficiente de variação inferior a 30% significa que o desvio padrão deve ser menor que 30% do valor da média.

Na propagação de incertezas geralmente encontram-se duas situações: as quantidades envolvidas se apresentam de forma aditiva ou de forma multiplicativa. Também é freqüente a apresentação do resultado na forma de erros percentuais. Então, o cálculo pode ser realizado de dois modos: (a) propagando-se as incertezas na forma de variâncias; e (b) propagando-se as incertezas na forma de erros percentuais. Em qualquer caso as regras a seguir devem ser apropriadamente utilizadas:

Considere as variáveis aleatórias X e Y com médias $E(X) = \mu_x$, $E(Y) = \mu_y$ e variâncias $V(X) = \sigma_x^2$, $V(Y) = \sigma_y^2$, respectivamente. Os resultados são apresentados para variáveis independentes.

Incetezas combinadas de forma aditiva: $Z = X + Y$. Um exemplo é o calculo de consumo de combustível em caminhão tanque com réguas de nível e de consumo de combustível com bombas de abastecimento. As incertezas são diferentes e devem ser somadas para que se expresse a quantidade final de combustível.

$$E[Z] = E[X + Y] = E(X) + E(Y) = \mu_x + \mu_y$$

$$V[Z] = V[X \pm Y] = V(X) + V(Y) = \sigma_x^2 + \sigma_y^2$$

Incetezas combinadas de forma multiplicativa $Z = X.Y$:

$$E[Z] = E[XY] = \mu_z = E(X).E(Y) = \mu_x \mu_y$$

$$V[Z] = V[XY] = \sigma_z^2 = \mu_x^2 \sigma_y^2 + \mu_y^2 \sigma_x^2 + \sigma_x^2 \sigma_y^2$$

$$E(W) = E(XYZ) = E(X).E(Y).E(Z) = \mu_x \mu_y \mu_z$$

$$V(W) = \sigma_x^2 \cdot \sigma_y^2 \cdot \sigma_z^2 + \sigma_x^2 \cdot \sigma_y^2 \cdot \mu_z^2 + \sigma_x^2 \cdot \mu_y^2 \cdot \sigma_z^2 + \sigma_x^2 \cdot \mu_y^2 \cdot \mu_z^2 + \mu_x^2 \cdot \sigma_y^2 \cdot \sigma_z^2 + \mu_x^2 \cdot \sigma_y^2 \cdot \mu_z^2 + \mu_x^2 \cdot \mu_y^2 \cdot \sigma_z^2$$

Incetezas combinadas na forma de quociente: $Z = \frac{X}{Y}$:

$$E[Z] = \mu_z = E\left[\frac{X}{Y}\right] \approx \frac{\mu_x}{\mu_y} + \frac{\mu_x}{\mu_y^3} V(Y)$$

$$V[Z] = V\left[\frac{X}{Y}\right] \approx \left(\frac{\mu_x}{\mu_y}\right)^2 \cdot \left(\frac{V(X)}{\mu_x^2} + \frac{V(Y)}{\mu_y^2}\right)$$

Propagação de incertezas na Forma de Erros Percentuais

A propagação das incertezas na forma de erros percentuais é similar. Por exemplo, considere várias fontes de emissão, $i = 1, 2, \dots, n$. As quantidades geradas por essas fontes podem ser vistas como variáveis aleatórias X_i com média μ_i e desvio-padrão σ_i . Um intervalo de confiança de p% é dado pela expressão:

$$\bar{X}_i \pm z \cdot EP(\bar{X}_i)$$

onde \bar{X}_i representa uma estimativa da quantidade, z representa um p-quantil apropriado (o IPCC recomenda $p=0,95$) e $EP(\bar{X}_i)$ é o erro padrão de \bar{X}_i . As incertezas percentuais associadas às fontes são calculadas como ($z = 1,96$, para distribuições normais e 95% de confiança):

$$U_i = z \cdot \frac{EP(\bar{X}_i)}{\bar{X}_i} \quad ; \quad i = 1, 2, \dots, n.$$

Então, mostra-se que, a combinação por adição é dada por:

$$U_{TOTAL} = \frac{\sqrt{(\bar{X}_1 \cdot U_1)^2 + \dots + (\bar{X}_n \cdot U_n)^2}}{\bar{X}_1 + \dots + \bar{X}_n}$$

onde U_{Total} é a incerteza percentual na soma das quantidades (metade do intervalo de confiança de 95% dividida pelo total, e expressa como percentagem).

\bar{X}_i e U_i são as quantidades mensuradas e as incertezas percentuais associadas a elas, respectivamente.

Combinação por multiplicação

$$U_{TOTAL} = \sqrt{U_1^2 + \dots + U_n^2}$$

U_{Total} = a incerteza percentual no produto das quantidades (metade do intervalo de confiança de 95% dividido pelo total, e expresso como percentagem).

U_i = as incertezas percentuais associadas a cada uma das quantidades.

O inventário de GEE é principalmente a soma de produtos de fatores de emissão, dados de atividade (consumo) e outros parâmetros de estimação. Logo, as equações de propagação podem ser usadas repetidamente para estimar a qualidade do inventário e as incertezas.

A combinação de diversas fontes num inventário corporativo deve vir acompanhada da propagação e conseqüente expressão de incertezas.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A meta estabelecida para redução de emissões de gases de efeito estufa sob o Tratado de Kyoto é da 5,2% aos níveis de 1990. É importante observar que esta é uma responsabilidade do País signatário do Tratado e que é por ele contingenciado (p.ex. Canadá, Europa, Japão). Após a realização do inventário nacional de emissões o país prepara um plano de alocação nacional de emissões que resulta na divisão compulsória da responsabilidade da redução da emissão entre setores produtivos. Entretanto, as comunicações nacionais disponíveis não quantificam as incertezas associadas a estes inventários. Incertezas típicas em inventários corporativos trazem incertezas na ordem das metas de Kyoto, ou superiores. Portanto, é importante que os inventários nacionais e corporativos contemplem o cálculo e declaração de incertezas associadas aos processos de medida das emissões de gases; o que é correto em qualquer procedimento de melhoria. Somente assim se terá uma declaração segura da efetiva redução de emissões ou julgamento do quão apropriada são as metas voluntárias ou compulsórias de redução da emissão de gases de efeito estufa, e as conseqüentes valorações pelo mercado.

7. REFERÊNCIAS

CARVALHO JR, J. A.; BRASIL, G. H.; DE SOUZA, P. A., Methodology for Determination of Greenhouse Gas Emission Rates from a Combustion System: Accounting for CO, UHC, PM,

and Fugitive Gases, **Proceedings**. 4th EUROPEAN CONGRESS ECONOMICS AND MANAGEMENT OF ENERGY IN INDUSTRY, Porto, Portugal, 30 November, 2007.

COORDENACÃO-GERAL DE MUDANÇAS GLOBAIS DO CLIMA, Ministério da Ciência e Tecnologia, Comunicação Nacional Inicial do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima, 2004; <http://www.mct.gov.br/index.php/content/view/21037.html>.

BRASIL G. H.; DE SOUZA JR., P. A.; CARVALHO JR., J. A. Incertezas em Inventários Corporativos de Gases de Efeito Estufa, XXXIX SBPO: A Pesquisa Operacional e o Desenvolvimento Sustentável, 28 a 31 de Agosto de 2007, Fortaleza, CE, Brasil, **Anais...**São Paulo: Sociedade Brasileira de Pesquisa Operacional, p. 867-77, 2007

DE SOUZA JR.; P. A., BRASIL G H; CARVALHO JR., J. A. O que faltou na ISO 14064? **Banas Qualidade**, p.70-1, 2007.

IPCC, **Intergovernmental Panel on Climate Change (1997)**, Scientific Basis Report, 1997a.

IPCC, **IPCC 2005 Special Report on Carbon Dioxide Capture and Storage**. Prepared by Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Metz, B., O. Davidson, H. C. de Coninck, M. Loos, and L. A. Meyer (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 442 pp.

IPCC, **2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories**, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T. and Tanabe K. (eds). Published: IGES, Japan. 2006.

IPCC, **Climate Change: The Physical Science Basis**, IPCC Working Group I, 4th Assessment Report, Summary for Policymakers, Paris, 5 février, 2007.

IPCC, revised 1996 IPCC Guidelines for national Greenhouse Gas Inventories Reporting Instructions, 1997b.

ISO14064/2006 - **Part 1: Specification with guidance at the organization level for the quantification and reporting of greenhouse gas emissions and removals; Part 2: Specification with guidance at the project level for the quantification, monitoring and reporting of greenhouse gas emission reductions and removal enhancements; Part 3: Specification with guidance for the validation and verification of greenhouse gas assertions**. 2006.

MOOD, A. M.; GRABYLL, F. A.; BOES, D. C. **Introduction to the Theory of Statistics**, 3rd edition, McGraw-Hill, 1974.

Regulation (EC) No 1907/2006 of the European Parliament and of the Council of 18 December 2006 concerning the Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals (REACH), establishing a European Chemicals Agency, amending Directive 1999/45/EC and repealing Council Regulation (EEC) No 793/93 and Commission Regulation (EC) No 1488/94 as well as Council Directive 76/769/EEC and Commission Directives 91/155/EEC, 93/67/EEC, 93/105/EC and 2000/21/EC; **Official Journal of the European Union**, L 396, Volume 49, 30 December 2006.

PROCONVE, Programa de Controle de Poluição do Ar por Veículos Automotores, 2004.
<http://www.ibama.gov.br/proconve> (acessado em 28/03/2007).

Singer, S. F., Letter to the Editor, Science 301 (2003) 595-596.

TAYLOR, J. R., **An Introduction to Error Analysis**, 2. ed., University Science Books, Sausalito, CA, USA, 1997.

WRI, **World Business Council for Sustainable Development e World Resources Institute**, Greenhouse Gas Protocol – Corporate Module, Revised Edition, 2004.

Corporate greenhouse gas emissions inventories: methods and uses

Gutemberg Hespanha Brasil¹, ghbrasil@terra.com.br

Paulo Antônio de Souza Junior², pasouza03@yahoo.com.br

João Andrade de Carvalho Junior³, joao.a.carvalho.jr@pesquisador.cnpq.br

¹ Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), Departamento de Estatística, Vitória, ES, Brasil

² Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), Laboratório Associado de Combustão e Propulsão, Cachoeira Paulista, SP, Brasil

³ Universidade Estadual Paulista (UNESP), Departamento de Energia, Guaratinguetá, SP, Brasil

*Received: February, 2008 / Accepted: April, 2008

ABSTRACT

Corporate inventories of greenhouse gas emissions, as well as the biomass stock, contain relevant information for the decision makers at the private sector to support their policies related to climate change. A methodology for the calculation of emissions from processes and services is presented. This methodology includes the expressions of uncertainties associated to the calculation of greenhouse gas emissions. The importance of the knowledge of these uncertainties is also discussed.

Keywords: Greenhouse Gas Emissions Inventory. Uncertainty. Sustainability.
