



## O PAPEL DA METROLOGIA NO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL: O CASO DAS EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA

### RESUMO

O conceito de desenvolvimento sustentável é definido como sendo aquele que atende às necessidades do presente sem comprometer as possibilidades de as gerações futuras atenderem às suas próprias necessidades. Uma das propostas para se promover o desenvolvimento sustentável é o apoio recíproco entre os setores ambientais e econômicos, evitando a adoção de medidas que restrinjam ou distorçam de maneira arbitrária ou injustificável a livre circulação de bens e serviços. Nesse contexto de complexas inter-relações entre comércio e meio ambiente na lógica do desenvolvimento sustentável figura, atualmente, o tema das mudanças climáticas. As ações que envolvem a mitigação do aquecimento global passam inexoravelmente pela redução das emissões de gases estufa. Previamente à redução das emissões, surge a necessidade de quantificação das mesmas, ou seja, a medição da quantidade de cada gás estufa envolvido num determinado processo produtivo, mesmo para fins de sistema de comércio de emissões. Este artigo busca identificar o papel da metrologia na área de emissões de gases de efeito estufa, apresentando e discutindo os principais fundamentos e mostrando a sua importância para o desenvolvimento sustentável.

**PALAVRAS-CHAVE:** Metrologia; Desenvolvimento Sustentável; Gases de Efeito Estufa; Quantificação; Mudanças Climáticas; Aquecimento Global.

## THE ROLE OF METROLOGY IN SUSTAINABLE DEVELOPMENT: THE CASE OF GREENHOUSE GASES EMISSIONS.

### ABSTRACT

The concept of sustainable development stands for meeting the needs of present generations without jeopardizing the ability of futures generations to meet their own needs. One of the proposals to promote sustainable development is the mutual support between the environmental and economic sectors, avoiding the adoption of arbitrary or unjustifiable measures which restrict or distort the free movement of goods and services. In this context of complex interrelationships between trade and environment in the logic of sustainable development currently appears the subject of climate change. The actions that involve mitigation of global warming involve inexorably the reduction of greenhouse gases emissions. Prior to reduce emissions, arises the need to quantify them, or measuring the amount of each gas involved in a production process, even for emission trade system. This article seeks to identify the role of metrology in the area of greenhouse gas emissions, presenting and discussing the fundamentals of this area and showing their importance for sustainable development.

**KEYWORDS:** Metrology; Sustainable Development; Greenhouse Gases; Quantification; Climate Change; Global Warming.

*Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais, Aquidabã, v.3, n.2, Jun, Jul, Ago, Set, Out, Nov 2012.*

ISSN 2179-6858

SEÇÃO: Artigos

TEMA: **Tecnologia Industrial e Meio Ambiente**



DOI: 10.6008/ESS2179-6858.2012.002.0007

**Ricardo Kropf Santos FERMAM**

*Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO), Brasil*

<http://lattes.cnpq.br/4647785249181859>

[rkfermam@inmetro.gov.br](mailto:rkfermam@inmetro.gov.br)

Recebido: 27/02/2012

Aprovado: 10/11/2012

Avaliado anonimamente em processo de pares cegas.

*Referenciar assim:*

*FERMAM, R. K. S.. O papel da metrologia no desenvolvimento sustentável: o caso das emissões de gases de efeito estufa. Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais, Aquidabã, v.3, n.2, p.112-124, 2012.*

## INTRODUÇÃO

O conceito de desenvolvimento sustentável, definido como sendo “*aquela que atende às necessidades do presente sem comprometer as possibilidades de as gerações futuras atenderem às suas próprias necessidades*”, foi elaborado em 1987, pela Comissão Mundial para o Meio Ambiente e o Desenvolvimento da Organização das Nações Unidas, na Noruega. Essa definição consta no documento denominado “Nosso Futuro Comum” também conhecido como Relatório Brundtland, onde os governos signatários se comprometiam a promover o desenvolvimento econômico e social em conformidade com a preservação ambiental (GONÇALVES, 2005).

Assim, soluções sustentáveis devem harmonizar o equilíbrio ecológico, a estabilidade econômica e a harmonia social. Uma das propostas para se promover o desenvolvimento sustentável é o apoio recíproco entre os setores ambientais e econômicos, evitando a adoção de medidas que restrinjam ou distorçam de maneira arbitrária ou injustificável a livre circulação de bens e serviços. Contudo, a interface existente entre políticas ambientais e comércio é complexa e, num mundo crescentemente integrado, essas duas questões têm sido cada vez mais tratadas em conjunto. Os efeitos comerciais de instrumentos regulatórios diretos atuam para limitar a participação nos mercados internacionais, sejam padrões ambientais, regulamentações de produtos e/ou processos (GUTIERREZ, 1998).

Nesse contexto de complexas inter-relações entre comércio e meio ambiente na lógica do desenvolvimento sustentável figura, atualmente, o tema das mudanças climáticas. As mudanças climáticas foram, pela primeira vez, identificadas como um risco potencial pelo químico sueco Svante Arrhenius no final do século 19, mas somente no final dos anos 80 foi que os cientistas tiveram suficientes evidências para concluir que esta transformação estava acontecendo e que representava uma clara ameaça à humanidade (FLAVIN; ENGELMAN, 2009).

Reconhecendo a necessidade de informações científicas confiáveis e atualizadas para os formuladores de políticas, a Organização Meteorológica Mundial – OMM e o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente estabeleceram o Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima – IPCC, em 1988. Em 1990, o IPCC lançou o seu Primeiro Relatório de Avaliação, confirmando que a mudança do clima era, de fato, uma ameaça e incitando à negociação de um acordo global para tratar do problema. Nesse relatório, os cientistas manifestavam certeza de que as emissões provenientes de atividades humanas estavam aumentando substancialmente as concentrações de gases de efeito estufa, tendo como resultado o aquecimento adicional da superfície terrestre (JURAS, 2008).

Assim, em 1992, por ocasião da Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas, foi adotado pelos chefes de Estado no Rio de Janeiro e, em 1997, foi negociado o Protocolo de Kyoto, com comprometimento legal sobre os limites de emissões para os países industrializados. Os gases de efeito estufa (GEE) definidos pelo Protocolo de Kyoto, além do

dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) são o metano (CH<sub>4</sub>), o óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), os hidrofluorcarbonetos (HFCs), os Perfluorcarbonetos (PFCs) e o Hexafluoreto de Enxofre (SF<sub>6</sub>).

Os gases de efeito estufa<sup>1</sup> (GEE) ou gases estufa são os componentes gasosos da atmosfera, tanto naturais como antropogênicos, que absorvem e emitem radiação em determinados comprimentos de onda do espectro de radiação infravermelho, refletida pela superfície da Terra, pela atmosfera e pelas nuvens. Estes gases absorvem a maior parte da radiação proveniente da Terra, emitindo outra parte de volta ao espaço. O efeito líquido é um aprisionamento local de parte da energia absorvida é uma tendência a aquecer a superfície planetária. Esta propriedade chama-se efeito estufa (NTS-TS 005, 2009; IPCC, 2007).

O aumento na quantidade de um determinado gás estufa<sup>2</sup> na atmosfera muda o balanço entre a quantidade de radiação solar incidente sobre o planeta e de radiação irradiada de volta para a atmosfera, desestabilizando o equilíbrio energético no planeta e originando o fenômeno conhecido como Aquecimento Global (WALTER; STRECK; ROSA, 2010), o qual pode ocasionar diversas mudanças no clima da Terra. De acordo com o 4º Relatório do IPCC, o aquecimento do sistema climático é inequívoco, evidenciado a partir de observações dos aumentos globais nas temperaturas médias do ar e dos oceanos, derretimento generalizado da neve e do gelo, e o aumento do nível médio global dos mares (IPCC, 2007).

De 1750 a 2005, a concentração atmosférica de dióxido de carbono passou de um valor pré-industrial de cerca de 280 ppm para 379 ppm (partes por milhão), desencadeando uma alteração nos fluxos naturais entre os estoques de carbono e contribuindo para o aumento da capacidade da atmosfera em reter calor, ou seja, para um aumento do efeito estufa. Conforme projeções do IPCC, as concentrações de CO<sub>2</sub> na atmosfera até 2100 poderão alcançar valores de 540 a 970 ppm, isto é, 90 a 250% acima do nível de 1750. Os resultados apontados alertam para um aumento médio global das temperaturas entre 1,8°C e 4,0°C até 2100, considerando a média de 1990 como referência (IPCC, 2007).

Deste modo, as ações que envolvem a mitigação do aquecimento global passam inexoravelmente pela redução das emissões de gases estufa. Previamente à redução das emissões, surge a necessidade de quantificação das mesmas, ou seja, a medição da quantidade de cada gás estufa envolvido numa determinado processo produtivo. Segundo a Norma ABNT NBR ISO 14064-1:2007, uma das etapas da quantificação das emissões consiste na seleção e uso de metodologias, tais como uso de modelos, correlações específicas de instalações,

---

<sup>1</sup> Por sua natureza química, principalmente a estrutura molecular, estes gases absorvem uma fração significativa da radiação infravermelha emitida pela superfície terrestre. Essa absorção implica um aumento nos movimentos vibracionais e rotacionais das moléculas. Esses gases, por sua vez, também passam a irradiar no infravermelho. Essa radiação se espalha em várias direções, inclusive retornando à superfície, que se mantém mais quente do que seria na ausência da atmosfera (TOLENTINO; ROCHA-FILHO, 1998).

<sup>2</sup> Os gases de efeito estufa são os principais responsáveis pelo aumento da temperatura da Terra. Esta conclusão foi obtida a partir do cálculo dos forçamentos radioativos dos vários fenômenos, naturais e antropogênicos, contribuintes para o aquecimento global, pelo IPCC. O forçamento radiativo é uma medida da influência de um fator na alteração do equilíbrio energético de entrada e saída no sistema Terra-atmosfera, sendo um índice da importância do fator como um potencial mecanismo de mudança climática, geralmente expresso em Watts/metro quadrado (IPCC, 2007).

abordagem de balanço de massa e na medição propriamente dita, de forma contínua ou intermitente.

Quando se relata o resultado de medição de uma grandeza física, como a concentração de um gás, é obrigatório que seja fornecida alguma indicação quantitativa da qualidade do resultado, de maneira que aqueles que o utilizam possam avaliar sua confiabilidade. Sem essa indicação, resultados de medição não podem ser comparados, seja entre eles mesmos ou com valores de referência fornecidos numa especificação ou numa norma. É, portanto, necessário que haja um procedimento prontamente implementado, facilmente compreendido e de aceitação geral para caracterizar a qualidade de um resultado de uma medição, isto é, para avaliar e expressar sua incerteza (GUM, 2003).

As medições das diversas grandezas físicas com suas respectivas incertezas é objeto de estudo da ciência da medição denominada metrologia. A metrologia tem papel imprescindível nas relações de comércio, tendo-se em vista que as medições estão presentes, direta ou indiretamente, em praticamente todos os processos de tomada de decisão. Com o aumento da complexidade e sofisticação dos modernos processos industriais, surge a necessidade de medições de alto refinamento e confiabilidade para um grande número de grandezas. Complementarmente, figura o irreversível estabelecimento da globalização nas relações comerciais e nos sistemas produtivos de todo o mundo, potencializando a demanda por metrologia, em virtude da grande necessidade de harmonização nas relações de troca, atualmente muito mais intensas, complexas, e envolvendo um grande número de grandezas a serem medidas com incertezas cada vez menores e com maior credibilidade, a fim de superar as barreiras técnicas ao comércio (CBM, 2008).

De fato, um dos efeitos da globalização do comércio é a obrigatoriedade de medições rastreáveis, comparáveis e mutuamente aceitáveis em todo o mundo, não apenas no comércio de produtos manufaturados e matérias-primas, mas também em quase todos os aspectos do comércio internacional. Isso inclui a multiplicidade de medições, que são parte do processo de proteção do ambiente.

É geralmente reconhecido que a inovação tecnológica, juntamente com o financiamento, transferência e implementação generalizada de tecnologias, será fundamental para os esforços globais de adaptação à mudança climática. A inovação tecnológica, voltada para a mitigação das emissões, pode também se constituir em melhorias na eficiência de processos e no desenvolvimento de novos processos produtivos, possuindo a metrologia papel de suma importância para estas inovações.

Este artigo busca identificar o papel da metrologia como ferramenta para o desenvolvimento sustentável, especificamente na área de emissões de gases de efeito estufa, apresentando e discutindo os principais fundamentos e mostrando a importância da mesma para o atendimento das metas ambientais.

## As Legislações Ambientais: Emissões de Gases de Efeito Estufa.

Um importante instrumento para a concretização do desenvolvimento sustentável é o uso das políticas públicas. As legislações ambientais, sob a forma de leis, decretos, portarias etc. são a forma pela qual um país materializa suas políticas ambientais nos mais diversos setores da sociedade, sendo um dos principais instrumentos de gestão ambiental. Dependendo do enfoque do texto legal, as legislações ambientais podem ser classificadas como instrumentos de comando e controle, onde o poder público estabelece os padrões e monitora a qualidade ambiental, regulando as atividades e aplicando sanções e penalidades. Como exemplos de instrumentos de comando e controle, podem citar-se o estabelecimento de padrões de emissão de poluentes, o licenciamento e as sanções administrativas e penais (JURAS, 2009).

Com relação às emissões de gases de efeito estufa, o Brasil dispõe, além da legislação federal, de legislações estaduais e municipais. No entanto, essas legislações são genéricas, não trazendo nenhuma meta efetiva de redução de emissões, com exceção do Estado de São Paulo (Lei Nº 13.798, de 09/11/2009 - Institui a Política Estadual de Mudanças Climáticas – PEMC). Além disso, elas deixam a cargo das respectivas Secretarias Ambientais a elaboração dos inventários estaduais segundo metodologias reconhecidas ou comparáveis nacional e/ou internacionalmente, sem, no entanto, especificar as metodologias ou os critérios mínimos de comparabilidade e reconhecimento. O quadro 1 mostra as legislações estaduais sobre mudanças do clima, a metodologia utilizada para elaboração do inventário estadual e as metas de redução de emissões com seus respectivos prazos. Da tabela, percebe-se que somente alguns Estados brasileiros possuem legislações acerca das mudanças climáticas. Dentre estes, a região sudeste e sul, mais desenvolvidas, são as que possuem mais Estados com legislações sobre o tema.

**Quadro 1:** Legislações Estaduais sobre Mudanças Climáticas, com as metodologias adotadas para elaboração do inventário estadual de emissões, metas de redução e prazos.

ESTADO (SIGLA)	LEI	METODOLOGIA DO INVENTÁRIO	METAS DE REDUÇÃO/PRAZOS
RJ	Lei nº 5690, de 14/04/2010- Institui a Política Estadual sobre Mudança Global do Clima e Desenvolvimento Sustentável e dá Outras Providências	1) Não especifica nenhuma metodologia. Deverá ser utilizada “metodologia a ser especificada e detalhada em regulamentação específica”.	Não estabelece metas e nem prazos.
SP	Lei Nº 13.798, de 09/11/2009 - Institui a Política Estadual de Mudanças Climáticas – PEMC.	1) Não especifica nenhuma metodologia. Deverão ser utilizadas “metodologias comparáveis nacional e internacionalmente”. 2) Apresenta estrutura mínima para o inventário de emissões: Energia, Processos Industriais, Uso de solventes e outros produtos, Agropecuária e Resíduos.	20% até 2020, com base em 2005.
ES	Lei Nº 9.531 de 16/09/2010 - Institui a Política Estadual de Mudanças Climáticas - PEMC, contendo seus objetivos, princípios e instrumentos de aplicação.	1) Não especifica nenhuma metodologia. Deverão ser utilizadas “metodologias comparáveis nacional e internacionalmente”.	1) Não estabelece metas. 2) Redução de emissões até 2025 com base em inventário de 2012.
SC	Lei Nº 14.829, de 11/08/2009 - Institui a Política Estadual sobre Mudanças Climáticas e Desenvolvimento Sustentável de Santa Catarina, e adota outras providências.	Metodologia adotada pelo IPCC - Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas, adaptada às circunstâncias do Estado de Santa Catarina.	Não estabelece metas e nem prazos.
RS	Lei N.º 13.594, de 30/12/2010 - Institui a	O Estado definirá metodologia da	1) Não estabelece metas.

	Política Gaúcha sobre Mudanças Climáticas - PGMGC -, fixando seus objetivos, princípios, diretrizes e instrumentos e dá outras providências.	Avaliação Ambiental Estratégica, para estabelecer parâmetros de medição de emissões e gases de efeito estufa.	2) Compromisso de redução de emissões até 2020.
BA	Lei Nº 12.050 de 07/01/2011 - Institui a Política sobre Mudança do Clima do Estado da Bahia, e dá outras providências.	Não consta nenhuma menção.	Não estabelece metas e nem prazos.
PE	Lei Nº 14.090, de 17/06/2010 - Institui a Política Estadual de Enfrentamento às Mudanças Climáticas de Pernambuco, e dá outras providências.	Metodologia e protocolo de contabilização de emissões adotado pelo Governo Federal, observando-se o Plano Estadual de Mudanças Climáticas.	Não estabelece metas e nem prazos.
TO	Lei Nº 1.917, de 17/04/2008 - Institui a Política Estadual sobre Mudanças Climáticas, Conservação Ambiental e Desenvolvimento Sustentável do Tocantins, e adota outras providências.	Metodologia reconhecida internacionalmente, adaptada às circunstâncias estaduais.	Não estabelece metas e nem prazos.
AM	Lei N.º 3.135, de 05/06/2007 - Institui a Política Estadual sobre Mudanças Climáticas, Conservação Ambiental e Desenvolvimento Sustentável do Amazonas, e estabelece outras providências.	Metodologia reconhecida internacionalmente, adaptada às circunstâncias estaduais.	Não estabelece metas e nem prazos.

Do quadro 1, a maioria dos Estados que dispõe de legislação sobre mudanças do clima não especifica as metodologias a serem utilizadas na elaboração do inventário de gases, ficando prejudicada a verificação da eficiência, da eficácia e da efetividade do dispositivo legal. Como saber se o Estado está efetivamente reduzindo suas emissões? A legislação é eficaz para redução das emissões estaduais? Os mecanismos propostos no texto legislativo para redução de emissões são eficientes? Apenas o Estado do Rio de Janeiro especificou a metodologia a ser utilizada, a partir da publicação da Resolução INEA número 43 de 18.11.2011, que no seu artigo 3º e parágrafo 2º adota a metodologia do GHG Protocol (WRI/WBSCD) para o cálculo do inventário.

Merece destaque ainda a indefinição, no texto legal, sobre a metodologia para elaboração de inventários a ser utilizada. Existem, no mundo, cerca de 20 esquemas com suas respectivas metodologias para realização de inventários atualmente (Fermam, 2011). Estas metodologias para elaboração de inventários envolvem a quantificação das emissões em suas fontes, sumidouros e reservatórios<sup>3</sup>. (ABNT NBR ISO 14064-1:2007) Em geral, a quantificação de emissões envolve as seguintes etapas:

- a) Identificação de fontes e sumidouros de gases de efeito estufa.
- b) Seleção de metodologia de quantificação, envolvendo cálculos e/ou medições.
- c) Seleção e coleta dos dados de atividade de gases de efeito estufa.
- d) Seleção ou desenvolvimento de fatores de emissão ou remoção de gases de efeito estufa, considerando, *inter alia*, a incerteza da quantificação.
- e) Cálculo das emissões e remoções de gases de efeito estufa.

Dependendo da metodologia utilizada, os resultados obtidos podem ser discrepantes entre si. Cabe ao legislador pré-definir qual metodologia será utilizada para elaboração dos inventários, sob pena de obter inventários estaduais que não refletem a real situação das emissões. Definida a

<sup>3</sup> Unidade física ou componente da biosfera, geosfera ou hidrosfera, com a capacidade de armazenar ou acumular um gás de efeito estufa removido da atmosfera por meio de um sumidouro ou um gás de efeito estufa capturado de uma fonte (ABNT NBR ISO 14064-1:2007).

metodologia, outro ponto importante a ser considerado versa sobre a medição na quantificação de gases de efeito estufa. A medição envolve uma série de princípios que visam a garantir a sua qualidade, sendo importante que o legislador, ao elaborar o texto legislativo, inclua um dispositivo que garanta o uso e a adequação das medições aos seus princípios. Medições adequadas e confiáveis podem assegurar a equidade e eficácia das atividades do Estado, especialmente com relação à proteção ambiental.

## **A Metrologia.**

A Metrologia pode ser definida como sendo a ciência que abrange todos os aspectos teóricos e práticos relativos às medições, qualquer que seja a incerteza em qualquer campo da ciência ou tecnologia (VIM, 2000). O objetivo principal da metrologia é prover confiabilidade, credibilidade, universalidade e qualidade às medidas.

A Metrologia é uma parte essencial da infra-estrutura do mundo moderno, estando presente em muitos aspectos do cotidiano. Por meio da metrologia, são asseguradas a qualidade e a eficiência da produção industrial, a equidade no comércio, a proteção ao consumidor, a saúde e segurança da vida animal e vegetal e a proteção do meio ambiente (RACINE, 2011).

Os aumentos dos fluxos de comércio nacional e internacional requerem demonstração da conformidade com normas e especificações e o reconhecimento mútuo de medições e ensaios. Os estudos sobre o clima global dependem de dados consistentes e confiáveis, gerados por diversas áreas de conhecimento, referindo-se frequentemente a longos períodos de tempo; assim, a qualidade dos dados só pode ser garantida com base em medições<sup>4</sup> rastreáveis a padrões de medição os quais estão, por sua vez, ligados a constantes fundamentais e atômicas.

Toda medição pressupõe uma descrição da grandeza que seja compatível com o uso pretendido de um resultado de medição, de um procedimento de medição e de um sistema de medição calibrado que opera de acordo com um procedimento de medição especificado, incluindo as condições de medição. Um resultado de medição é geralmente expresso por um único valor medido e uma incerteza de medição (VIM, 2000).

A incerteza é necessária para expressar o grau de dúvida associado ao resultado da medição. Dessa forma, a incerteza é fundamental em diversas situações, como, por exemplo, na verificação de um resultado do ensaio quanto à sua aprovação ou não e na área legal, para verificar conformidade de resultados de medições com limites de tolerâncias legais. A incerteza possibilita a comparabilidade das medições e é particularmente útil ao cliente na tomada de decisões. Quando há um limite de tolerância máximo ou mínimo para o mensurando, seja ele estabelecido por uma legislação ou de alguma outra forma, a incerteza torna-se imprescindível para a interpretação correta do resultado da medição.

---

<sup>4</sup> Medição é definida como o processo de obtenção experimental de um ou mais valores que podem ser, razoavelmente, atribuídos a uma grandeza (VIM, 2000).

Assim, se, por exemplo, uma legislação estabelece que o limite máximo de emissões de CO<sub>2</sub> no escapamento de veículo é de 170,0 g/Km e o resultado da medição for de 168,5 g/Km, surge a seguinte pergunta: a legislação está sendo atendida ou a emissão de CO<sub>2</sub> está acima do permitido? Note que é impossível deliberar sobre a qualidade da medição sem saber a incerteza a ela associada. Ressalte-se que atualmente, no Brasil, a incerteza da medição não é levada em consideração para verificação do atendimento aos requisitos legais, ainda que seja possível constatar uma preocupação de alguns entes legisladores com o tema, os quais passam a exigir a acreditação<sup>5</sup> de laboratórios de ensaios<sup>6</sup> para emissão de laudos técnicos com fins legais.

Uma medição realizada com uma incerteza muito alta acarreta em prejuízos econômicos e ambientais, considerando, por exemplo, o impacto da incerteza da medição de emissões de gases de efeito estufa no cenário mundial de comércio de créditos de carbono. Supondo, para fins de exemplo, que o valor de uma tonelada de CO<sub>2</sub> equivalente<sup>7</sup> numa determinada bolsa de créditos de carbono corresponda a € 5,00 (cinco euros) e que uma determinada empresa tenha lançado nesse mercado 400.000 toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente, com incerteza de medição de 50.000 toneladas (ocasionada por problemas na calibração dos aparelhos que realizam esta medição, por exemplo). Isto significa que essa empresa pode estar comercializando, na verdade, 350.000 toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente, gerando um prejuízo financeiro para quem adquirir seus créditos de 250.000 euros, além do evidente prejuízo ambiental.

É importante destacar a preocupação dos países desenvolvidos com as medições relativas às emissões de gases de efeito estufa. Em 2010, a Europa lançou uma proposta de projeto de pesquisa para o estabelecimento de uma infraestrutura de medição reconhecida e aceita internacionalmente de forma a suportar o Esquema Europeu de Comércio de Emissões (*European Emissions Trading Scheme*, ETS), bem como o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo, relativo ao Acordo de Kyoto. Conforme esta proposta, elaborada no âmbito da Associação Europeia de Institutos Nacionais de Metrologia (*European Association of National Metrology Institutes*, EURAMET),

a melhoria nas medições são necessárias para garantir a rastreabilidade e a comparabilidade entre as diferentes abordagens de estimativas e de cálculo utilizadas atualmente. Se a UE não desenvolver uma infraestrutura de medição harmonizada e rigorosa para apoiar o ETS, as indústrias da UE e os governos estarão em desvantagem na negociação de acordos internacionais e no mercado de carbono global em desenvolvimento (EURAMET, 2010).

---

<sup>5</sup> Acreditação é definida como sendo “o reconhecimento, de terceira parte, de que um organismo de avaliação da conformidade atende aos requisitos especificados e é competente para desenvolver tarefas relativas à avaliação da conformidade” (ABNT NBR ISO/IEC 17000:2005).

<sup>6</sup> Assim, a exigência da incerteza da medição associada a um dispositivo legal passa a ser indireta, pois este parâmetro é imprescindível para a acreditação de um laboratório de ensaio. Evidencia-se, deste modo, a presença indireta da metrologia nas questões legais.

<sup>7</sup> Pode ser definido como sendo a concentração de CO<sub>2</sub> que causaria o mesmo nível de forçamento radioativo que um determinado gás de efeito estufa (GEE). A concentração de CO<sub>2</sub> equivalente (CO<sub>2</sub>e) é calculada a partir do somatório do produto da quantidade de emissões de cada gás de efeito estufa envolvido (CH<sub>4</sub>, HFC, SO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O, PFC, SF<sub>6</sub> e o próprio CO<sub>2</sub>) pelo seu respectivo Potencial de Aquecimento Global (Global Warming Potential, GWP, em inglês). O GWP é definido na norma ABNT NBR ISO 14064-1:2007 como sendo “o fator que descreve a intensidade da irradiação de uma unidade de massa de um dado GEE, relativa a uma unidade equivalente de CO<sub>2</sub> durante um dado período de tempo”. Por definição, o GWP para o CO<sub>2</sub> é igual a unidade.



Ainda segundo este documento, as incertezas alvo para comunicar as emissões variam de 2,5% a 10%, dependendo do tamanho da instalação em questão, representando um desafio significativo adicional quanto a medição.

Há uma falta de compreensão sobre as incertezas relacionadas com as entradas para os modelos; uma escassez de linhas de base de qualidade e fatores de emissão; uma incerteza nos fatores de emissão e uma falta de aceitação dos métodos da indústria, normas, cálculos. É necessário que haja avaliações e medições da precisão e incerteza de todos os métodos considerados para quantificar as emissões, a fim de ajudar a selecionar os métodos mais apropriados. Nilsson *et al.* (2000) demonstraram que há incertezas substanciais envolvidas nos métodos atuais de contabilidade das emissões de gases de efeito estufa, especialmente para os sumidouros.

De acordo com o IPCC (IPCC, 2000), as incertezas dos inventários obedecem pelo menos a três processos diferentes: incertezas que resultam das definições (por exemplo, significado incompleto ou pouco claro, ou definição incorreta de uma emissão ou absorção); incertezas geradas pela variabilidade natural do processo que produz uma emissão ou absorção; incertezas que resultam da avaliação do processo; dependendo do método usado. Exemplos: medição, amostragem etc.

Assim, ligadas ao processo de medição, as incertezas podem advir das limitações da resolução do instrumento utilizado, da inexatidão dos valores das normas de medição e dos valores de referência, das aproximações e hipóteses incluídas no método de medição e o procedimento de estimação ou mesmo das variações na repetição das observações sobre a emissão, absorção ou parâmetros conexos, efetuadas em condições aparentemente idênticas.

A exatidão das medições é garantida por meio da rastreabilidade a padrões de medida internacionalmente reconhecidos. Isto permite confiar na informação obtida das medições e nas ações que são tomadas como consequência destas. Os padrões de medida são utilizados na calibração dos instrumentos, na avaliação de um método de medição ou na atribuição de valores a materiais.

No caso de gases, a grandeza física a ser medida é a concentração em uma determinada amostra, o que passa necessariamente pela determinação da quantidade de matéria, expressa em mol<sup>8</sup>, que não possui ainda uma representação física. Assim, reveste-se de fundamental importância o uso de Materiais de Referência, os quais se constituem no padrão de medida para grandezas químicas.

A cadeia de calibração para análise de gases começa na maioria dos casos com a preparação gravimétrica de um material de referência primário em um cilindro pressurizado. É imprescindível que o interior do cilindro não apresente contaminantes e que tanto o cilindro quanto

---

<sup>8</sup> De acordo com BIPM (Bureau International de Poids e Mesures), o mol é definido como “a quantidade de matéria de um sistema que contém tantas entidades elementares quantos são os átomos em 0,012 quilogramas de Carbono 12. Quando o mol é usado, as entidades elementares devem ser especificadas e podem ser átomos, moléculas, íons, elétrons, outras partículas ou grupos específicos dessas partículas” (BIPM, 2012).

as válvulas sejam construídos com materiais inertes àquela mistura gasosa. O gás analito deve ter sua pureza determinada, deve-se garantir que o enchimento do cilindro seja livre de contaminação e que existam boas instalações para a pesagem dos cilindros de gás. Para calibração multicomponente, é necessário conhecer as técnicas de enchimento da mistura gasosa com injeção direta de líquido, conhecer o comportamento de absorção de compostos individuais na parede do cilindro, e o comportamento da condensação de compostos sob pressão em diferentes regimes de temperatura etc. (LEER, 2006).

A norma ISO 6143:2001 *Comparison methods for determining and checking the composition of calibration gas mixtures* é internacionalmente reconhecida para certificação de misturas gasosas padrão. Esta norma reconhece e leva em conta as incertezas da composição química e da leitura instrumental e, então, usa a função de análise resultante para atribuir valores para as amostras de gás, produzindo uma estimativa completa da incerteza de forma consistente com o Guia de Expressão da Incerteza de Medição (GUM) (GUENTHER; POSSOLO, 2011).

Misturas de padrões primários são elaborados segundo o método gravimétrico, baseado nos conceitos descritos pela norma ISO 6142:2001 – “Análise de gás – Preparação de misturas gasosas – Método gravimétrico”. Este método contabiliza cada componente (incluindo as impurezas) como uma fração da mistura total, avaliando, então, a incerteza de cada fração.

A mistura é preparada pela adição gravimétrica de cada componente e é realizada numa estação de enchimento, constituída por tubos polidos eletronicamente, válvulas, medidores de vácuo e de pressão e bombas de vácuo turbo moleculares isentas de óleo. A rastreabilidade da composição do gás ao sistema SI é garantida pelo uso de instrumentação calibrada, assim como massas calibradas e rastreadas ao padrão nacional, utilizadas num comparador mássico, quando se pretende obter a massa do componente gasoso adicionado ao cilindro (DIAS; BAPTISTA, 2012).

## CONCLUSÕES

A capacidade de medir com precisão, o relatório e a verificação das emissões de gases de efeito estufa (GEE) é vital para o futuro das estratégias de redução e verificação de GEE. Sem medições acuradas das emissões, não será possível determinar se as reduções necessárias estão sendo feitas. No entanto, diferentes países usam diferentes sistemas de elaboração de relatórios. Além disso, alguns setores industriais têm uma vasta experiência na elaboração de relatórios de emissões de GEE, enquanto outros têm muito pouco.

Confiança na acurácia e comparabilidade das emissões nos relatórios de redução são fundamentais para a viabilidade de mercados de carbono e o desenvolvimento de projetos de compensações. Há uma necessidade de analisar as limitações e incertezas nos atuais métodos de quantificação, e, então, definir um caminho para redução destas incertezas. Uma incerteza

muito alta na medição da emissão de CO<sub>2</sub>, por exemplo, pode levar ao prejuízo de milhões de dólares no mercado de carbono.

Emissões de GEE são variadas e complexas, gerando muitos desafios para medição, monitoramento, verificação e relatórios. A diversidade dos sistemas de medida e monitoramento é necessária para avaliar a eficácia de estratégias de mitigação de GEEs, compreender o impacto das emissões sobre o clima e para o planeta, para apoiar as políticas de carbono, e para orientar os esforços futuros em todas essas áreas.

Sistemas atuais de medição e monitoramento cobrem uma ampla gama de sensores de gases de efeito estufa, instrumentos, plataformas de medição, sistemas de monitorização e inventário, associados com ferramentas analíticas, incluindo bases de dados, modelos e métodos de inferência. O desenvolvimento e a aplicação de tais sistemas podem fornecer caracterizações precisas das emissões de GEE a partir de tecnologias existentes e avançadas ou recém-adotadas; permitir uma maior compreensão do desempenho da tecnologia e da eficácia das estratégias de mitigação; e identificar formas de melhorar a eficácia da gestão de carbono.

No contexto de um mercado de carbono, a quantificação e a verificação de GEE servirão de base para apoiar o comércio e o investimento em carbono como uma commodity de mercado. No entanto, é imprescindível que esta quantificação seja realizada de acordo com os princípios internacionais da metrologia, de forma que os resultados possam ser mutuamente aceitos pelos países e empresas, garantindo o desenvolvimento sustentável a partir de uma melhor proteção ambiental, justiça comercial na venda de permissões de emissões e do bem-estar social.

## REFERÊNCIAS

ABNT NBR ISO 14064-1:2007. **Gases de efeito estufa Parte 1:** Especificação e orientação a organizações para quantificação e elaboração de relatórios de emissões e remoções de gases de efeito estufa. ABNT, 2007.

ABNT NBR ISO/IEC 17000:2005. **Avaliação de conformidade:** vocabulário e princípios gerais. ABNT, 2005.

AMAZONAS. **Lei n. 3.135, de 05/06/2007.** Institui a Política Estadual sobre Mudanças Climáticas, Conservação Ambiental e Desenvolvimento Sustentável do Amazonas, e estabelece outras providências.

BAHIA. **Lei n. 12.050 de 07/01/2011.** Institui a Política sobre Mudança do Clima do Estado da Bahia, e dá outras providências. Diário Oficial da Bahia, Poder Executivo, Bahia, 07 Jan 2011, Parte I.

BIPM. Bureau International des Poids et Mesures. **SI brochure**, Section 2.1.1.6. Unit of amount of substance (mole).

CBM. **Diretrizes Estratégicas para a Metrologia Brasileira 2008-2012.** Rio de Janeiro: CBM, 2008.

LEER, E. W. B. The metrological infrastructure for gas analysis: accreditation and quality assurance: **Journal for Quality, Comparability and Reliability in Chemical Measurement**, v.11, n.4, 2006.

DIAS, F. A.; BAPTISTA, G.. **Materiais de referência certificados em metrologia de gases.** Disponível: <[http://www.spmet.pt/comunicacoes\\_2\\_encontro/Florbela\\_Dias.pdf](http://www.spmet.pt/comunicacoes_2_encontro/Florbela_Dias.pdf)>. Acesso: 01 Fev 2012.

ESPÍRITO SANTO. **Lei n. 9.531 de 16/09/2010**: Institui a Política Estadual de Mudanças Climáticas - PEMC, contendo seus objetivos, princípios e instrumentos de aplicação. Diário Oficial do Estado do Espírito Santo, Poder Executivo, Espírito Santo, 16 set. 2010, Parte I, p.2-7.

EURAMET. **EMRP Call 2010**: Industry & Environment. Topic number: SRT-04e. Title: Metrology to support emissions trading schemes. Disponível: <<http://www.emrponline.eu/call2010/docs/srt/srt04e.pdf>>. Acesso: Jun 2012.

FERMAM, R. K. S.. Comércio internacional e mudanças climáticas: o papel da cadeia de avaliação da conformidade. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, Aquidabã, v.2, n.1, p.31-44, 2011.

FLAVIN, C.; ENGELMAN, R.. The perfect storm. In: **2009 State of the World**: into a warming world. A Worldwatch Institute report on progress toward a sustainable society. New York: The Worldwatch Institute; W.W. Norton & Company, 2009.

GONÇALVES, D. B.. Desenvolvimento sustentável: o desafio da presente geração. **Revista Espaço Acadêmico**, v.5, n.51, 2005.

GUENTHER, F. R.; POSSOLO, A.. Calibration and uncertainty assessment for certified reference gas mixtures. **Anal. Bioanal. Chem.**, n.399, p.489-500, 2011.

GUTIERREZ, M. B. S.. **Desenvolvimento sustentável no Mercosul**: a proposta de um marco regulatório. Rio de Janeiro: IPEA, 1998.

GUM. **Guia para a expressão da incerteza de medição**. Rio de Janeiro: ABNT, INMETRO, 2003.

IPCC. **Climate Change 2007**: synthesis report. contribution of working groups i, ii and iii to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. Geneva: IPCC, 2007.

IPCC. **Orientación del IPCC sobre las buenas prácticas y la gestión de la incertidumbre en los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero**. Geneva: IPCC, 2000.

ISO 6142:2001. **Gas analysis**: preparation of calibration gas mixtures: gravimetric method. ISO, 2011.

JURAS, L. A. G. M.. Aquecimento global e mudanças climáticas: uma introdução. **Plenarium**, v.5, n.5, p.34-46, 2008.

JURAS, L. A. G. M.. **Uso de instrumentos econômicos para a gestão ambiental**: países da OCDE e América Latina. Brasília: Câmara dos Deputados, 2009.

NILSSON, S. A.; SHVIDENKO, V.; STOLBOVOI, M.; GLUCK, M.; JONAS, M.; OBERSTEINER. Full carbon account for Russia. **Interim Report IR-00-021**, Luxemburg: International Institute for Applied Systems Analysis, 2000.

NTS-TS 005. **Empresas de transporte terrestre automotor especializado, empresas operadoras de chivas y otros vehículos automotores que presten servicio de transporte turístico**: requisitos de sostenibilidad. Universidad Externado de Colombia. Facultad de Administración de Empresas Turísticas y Hoteleras. 2009.

PERNAMBUCO. **Lei n. 14.090, de 17/06/2010**: institui a política estadual de enfrentamento às mudanças climáticas de pernambuco, e dá outras providências. Diário Oficial do Estado de Pernambuco, Poder Executivo, Pernambuco, 18 Jun 2010, Parte I, p.4-7.

RACINE, J. L.. **Harnessing quality for global competitiveness in Eastern Europe and Central Asia**. The World Bank, 2011.

RIO DE JANEIRO. **Lei n. 5690, de 14/04/2010**: institui a política estadual sobre mudança global do clima e desenvolvimento sustentável e dá outras providências. Diário Oficial do Estado do Rio de Janeiro, Poder Executivo, Rio de Janeiro, 15 Abr 2010. Parte I, p.1-2.

RIO GRANDE DO SUL. **Lei n. 13.594, de 30/12/2010**: institui a política gaúcha sobre mudanças climáticas - pgmc -, fixando seus objetivos, princípios, diretrizes e instrumentos e dá outras providências. Diário Oficial do Estado do Rio Grande do Sul, Poder Executivo, Rio Grande do Sul, 31 Dez 2010.

SANTA CATARINA. **Lei n. 14.829, de 11/08/2009**: institui a política estadual sobre mudanças climáticas e desenvolvimento sustentável de Santa Catarina, e adota outras providências.

SÃO PAULO. **Lei n. 13.798, de 09/11/2009**: institui a política estadual de mudanças climáticas – PEMC. Diário Oficial do Estado de São Paulo, Poder Executivo, São Paulo, 10 Nov 2009, Seção I, p.1-20.

TOCANTINS. **Lei n. 1.917, de 17/04/2008**: institui a política estadual sobre mudanças climáticas, conservação ambiental e desenvolvimento sustentável do Tocantins, e adota outras providências. Diário Oficial do Estado de Tocantins, Poder Executivo, Tocantins.

TOLENTINO, M.; ROCHA-FILHO, R. C.. A química no efeito estufa. **Química Nova na Escola**, n.8, 1998.

VIM. **Vocabulário Internacional de Termos Fundamentais e Gerais de Metrologia**. 4 ed. Brasília: Inmetro – CNI - SENAI, 2000.

WALTER, L. C.; STRECK, N. A.; ROSA, H. T.. Mudança climática e seus efeitos na cultura do arroz. **Ciência Rural**, v.40, n.11, p.2411-2418, 2010.