

Pesquisa para Identificação, Caracterização e Quantificação de Gases de Efeito Estufa nas Atividades e Processos Existentes no Sistema de Transmissão da CTEEP

H. M. Wilhelm, DIAGNO¹, P. O. Fernandes, SDM do Brasil, V. R. Cruz, CTEEP, C. A. Galdeano, MGM, E. M. Trindade, DIAGNO, M. Silva Jr., MGM, J. R. Mancin, MGM.

Resumo – Responsáveis pela manutenção da temperatura na superfície da Terra, cerca de 0,01% dos gases constituintes da atmosfera tratam-se dos chamados gases do efeito estufa (GEE), que mesmo apesar da aparente pequena quantidade, representam um efeito significativo no clima. Com a capacidade de absorver, e depois liberar o calor do sol, os GEE funcionam como uma ‘manta’ que protege a superfície da Terra, mantendo a temperatura terrestre cerca de 30 °C acima do que seria sem a existência destes gases. Dentre os gases com capacidade de absorver e liberar calor, estão o Dióxido de Carbono - CO₂, Metano - CH₄, Óxido Nitroso - N₂O, Hidrofluorcarbonos - HFC, Hexafluoreto de Enxofre - SF₆ e o Vapor de Água - H₂O, sendo este último o mais abundante, porém o de mais difícil controle, uma vez que provém, essencialmente, de fontes naturais, como a evaporação de rios, lagos, oceanos e da evapotranspiração – a transpiração das plantas. Cada um destes gases provoca um impacto específico na manutenção do clima, sendo este definido por dois fatores principais: a capacidade de absorção de calor por determinado gás e a sua concentração na atmosfera. Nesta pesquisa foram identificados e quantificados os GEE, nas atividades e processos existentes no sistema de transmissão da CTEEP. Neste contexto também foi determinado o percentual de vazamento de SF₆ nos equipamentos em operação na CTEEP, e estimadas, utilizando-se de um critério estatístico simples, qual a procedência e as possíveis causas desses vazamentos. Os resultados obtidos mostraram o SF₆, proveniente de disjuntores e subestações blindadas, como o GEE de maior relevância na operação da CTEEP.

Palavras-chave – Aquecimento global, Disjuntores, Efeito estufa, GEE, SF₆.

C. A. Galdeano trabalha na MGM Consultoria e Diagnósticos (e-mail: claudio@mgmdiag.com.br).
E. M. Trindade trabalha no DIAGNO Materiais e Meio Ambiente (e-mail: trindade@diagno.srv.br).
H. M. Wilhelm trabalha como consultora no DIAGNO Materiais e Meio Ambiente (email: consultoria@diagno.srv.br).
J. R. Mancin, MGM Consultoria e Diagnósticos
M. M. Silva, Jr. trabalha na MGM Consultoria e Diagnósticos (e-mail: junior@mgmdiag.com.br).
P. O. Fernandes trabalha na SDM do Brasil. (e-mail: paulo@sdmdobrasil.com.br).
V. R. Cruz trabalha na Companhia de Transmissão de Energia Elétrica Paulista - CTEEP (e-mail: vcruz@ctEEP.com.br).

Agradecimentos: ANEEL e CTEEP.

I. INTRODUÇÃO

De forma geral, o “Efeito Estufa” ocorre devido a presença de alguns gases na atmosfera, como Gás Carbônico (CO₂), Metano (CH₄), Óxido Nitroso (N₂O), Hidrofluorcarbonos (HFC), Perfluorcarbonos (CF), Vapor de Água (H₂O) e Hexafluoreto de Enxofre (SF₆), que retém parte da energia solar que a superfície da Terra não absorve, causando um acúmulo de calor na atmosfera. Tais gases são hoje chamados de Gases do Efeito Estufa (GEE). A ilustração da Figura 1 mostra os GEE considerados no Protocolo de Kioto e suas principais origens.

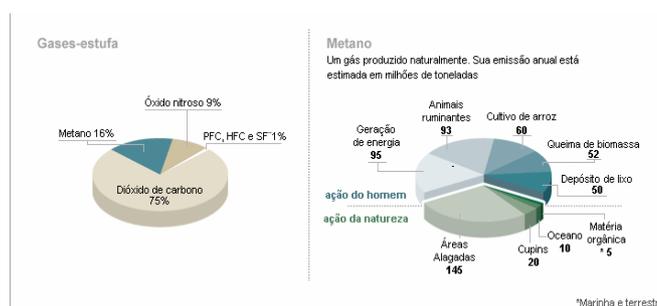


Figura 1. GEE considerados no Protocolo de Kioto e suas principais origens.

De acordo com o Quarto Relatório de Avaliação do IPCC (Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas), os principais problemas relacionados à intensificação do efeito estufa ou aquecimento global são:

- Aumento linear de $0,74 \pm 0,18^\circ\text{C}$ na temperatura nos últimos 100 anos (1906-2005), sendo que 11 dos últimos 12 anos, até 2007, foram registrados como os mais quentes desde o início dos registros (1850);
- descongelamento das calotas polares: desde 1978, observou-se que as calotas vem sendo reduzidas a uma taxa de $2,7 \pm 0,6\%$ por década;
- aumento do nível dos oceanos ($3,1 \pm 0,4$ mm/ano) devido ao derretimento das calotas polares e devido à expansão térmica da água;
- aumento da frequência de ocorrência de eventos extremos, como tempestades e secas.

A intensificação gradativa do aquecimento global e o agravamento dos problemas decorrentes serão, a longo prazo, responsáveis por danos talvez irreversíveis a

ecossistemas terrestres e marinhos, afetando diretamente a saúde de comunidades humanas.

I.1 Protocolo de Kioto

O Protocolo de Kioto, no âmbito da Convenção de Viena, é o resultado de uma série de discussões internacionais sobre a intensificação do efeito estufa que se sucederam desde 1988, com a criação do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), órgão vinculado à ONU e encarregado de estudar e melhor entender a relação entre o aquecimento global e as mudanças climáticas que este fenômeno pode causar.

Como principal esforço no sentido de controlar as emissões antrópicas de gases do efeito estufa, o protocolo visou o estabelecimento de meios para que um grupo formado pelos países desenvolvidos responsáveis por mais de 55% das emissões totais assumissem o compromisso de reduzir suas emissões de GEE em 5,2%, ou mais, em relação ao registrado no ano de 1990. Esta meta de redução deverá ser atingida entre os anos de 2008 e 2012 (primeira fase do acordo), a partir da adoção de uma série de medidas, entre as quais:

- Promoção de uma melhora da eficiência energética de setores fundamentais de sua economia;
- proteção e promoção do aumento dos reservatórios e sumidouros de GEE não controlados pelo Protocolo de Montreal (relacionado aos gases agressores da camada de ozônio);
- promoção de formas sustentáveis de agricultura, evitando desmatamento de áreas, especialmente através de queimadas;
- desenvolvimento e promoção de novas fontes renováveis de energia bem como de tecnologias de seqüestro de carbono que sejam ambientalmente seguras e inovadoras;
- redução ou eliminação gradual de atividades de setores da economia que são grandes emissores de GEE;
- estímulo de reformas de setores relevantes da economia, de forma a limitar ou eliminar suas emissões;
- estabelecimento de medidas para reduzir ou eliminar as emissões no setor de transportes;
- limite ou redução das emissões de metano, por meio da recuperação e utilização no tratamento de resíduos;
- compartilhamento das medidas e políticas adotadas em âmbito nacional para melhorar a eficácia individual e combinada.

Todas essas medidas devem ser capazes de conciliar o desenvolvimento econômico com a conservação do meio ambiente, em outras palavras, devem estar alinhadas ao conceito de desenvolvimento sustentável. Porém antes que elas sejam tomadas, deve ser feito um inventário de GEE da empresa quantificando todas as emissões, para que as ações prioritárias ocorram em áreas onde haverá maior redução nas emissões, permitindo um maior ganho ao meio ambiente e evitando que muitos recursos sejam gastos em áreas onde o retorno é pequeno em detrimento de outras onde o retorno é maior.

Aliado às medidas internas de controle de emissões, o Tratado de Kioto permite o comércio de redução de emissões entre países. Desta forma, um país que já tenha atingido sua meta de redução de emissões poderia comercializar o 'excedente' a outros países, por meio de certificados de redução de emissões. Tal mecanismo permite que países com dificuldades para atingir suas metas, comercializem créditos de carbono de outros países, e que desta forma alcancem os objetivos traçados.

Neste sentido, este passa a ser o meio pelo qual países em desenvolvimento, como o Brasil, participam do Tratado. Ou seja, apesar de não terem metas específicas de redução de suas emissões, tais países podem promover os chamados "Mecanismos de Desenvolvimento Limpo" (projetos cujo objetivo é a redução ou sequestro de emissão de gases do efeito estufa, em acordo com as normas do United Nations Framework Convention on Climate Change - UNFCCC), e desta forma, conseguir Certificados de Redução de Emissões que podem ser comercializados a países que estejam com dificuldade para atingir suas metas. Tais reduções certificadas de carbono (RCEs) podem ser negociadas diretamente entre as partes interessadas ou disponibilizadas e comercializadas nas bolsas de valores de todo o mundo, como é o caso da BOVESPA no Brasil. Uma tonelada de carbono que valia cerca de €30,00 em Julho de 2008, foi cotada em €8,70 em 17/02/2009, o equivalente a R\$ 25,68 no câmbio do dia.

O Tratado de Kioto estabelece três mecanismos básicos de mercado de redução de emissões entre os países emissores (fonte: SISTEMAS & GESTÃO, v.3, n. 1, p.15-26, 2008):

1. 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 (por ex., *European Union Emissions Trading Scheme*). Empresas que emitirem além do seu limite podem comprar estes créditos.
2. 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 CO₂, um importante gás de efeito estufa. A redução da emissão pode ser utilizada pela empresa alemã.
3. Mecanismos de Desenvolvimento Limpo (MDL). Estes são realizados em países em desenvolvimento (por ex., 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>).

I.2 Gases do Efeito Estufa

A capacidade de absorção do calor, também definida como fator de aquecimento global (*Global Warming Factor – GWF*), indica a contribuição de um determinado gás para o efeito estufa durante um certo intervalo de tempo, no qual este se mantém estável na atmosfera. Nos estudos desenvolvidos, este fator foi arbitrariamente definido como 1 para o CO₂, sendo verificada a capacidade de cada gás em relação a este valor.

Na Tabela 1 são apresentados dados específicos para os principais GEE, quanto ao fator de aquecimento global e a concentração dos mesmos na atmosfera. Dentre os gases reportados na Tabela 1, o hexafluoreto de enxofre (SF₆) é um gás de significativa influência na intensificação do efeito estufa, possuindo um fator de aquecimento global 22.200 vezes superior ao CO₂.

Tabela 1. Contribuição dos principais gases para o Efeito Estufa.

Gases de Efeito Estufa	Fator de Aquecimento Global	Concentração (dados de 2007)
Gás Carbônico	1	379 ppm
Metano	41	1,7 ppm
Óxido Nitroso	114	0,320 ppm
Hidrofluorcarbonos	260	< que 1 ppb
Hexafluoreto de Enxofre	22.200	5,6 ppt

I.2.1. Gás Carbônico

O gás carbônico ou dióxido de carbono (CO₂) é o segundo GEE mais abundante da atmosfera, tendo assim um papel muito importante no agravamento do efeito estufa, pois, apesar do fato de ser menos nocivo se comparado a outros GEE compensa a influência no aquecimento global por sua maior concentração. Segundo o IPCC, a concentração atual de CO₂ na atmosfera é 35% maior que a registrada no período pré-industrial (280 ppm antes de 1750 e 379 ppm em 2007), o que evidencia a influência das atividades humanas na composição da atmosfera.

A principal fonte antrópica de CO₂ provém do uso de combustíveis fósseis (automóveis, indústrias e plantas de geração de energia a carvão, óleo e gás natural). Outra importante fonte são as queimadas de florestas que além de lançar gases na atmosfera, interrompem a transformação de CO₂ em oxigênio durante a fotossíntese.

I.2.2. Metano

Depois do dióxido de carbono (CO₂) e da água, o metano (CH₄) é o gás indutor do efeito estufa de maior importância. Por molécula, um aumento da quantidade de metano no ar causa um efeito de aquecimento 21 vezes maior que a adição de CO₂. Sua concentração média global é de 1,72 ppmv (partes por milhão por volume).

Cerca de 70% das emissões atuais de metano são derivadas das atividades humanas, sendo produzidas por via biológica pela decomposição anaeróbia de matéria de origem orgânica. Tal processo se dá em grande escala onde ocorre por exemplo, decomposição de plantas submersas em água, em pântanos, terrenos úmidos de cultivo de arroz, desflorestamentos, acúmulo de resíduos orgânicos, entre

outros. A expansão de terras alagadas que ocorre por inundação para produção de energia hidrelétrica é somada a esse total. O efeito do aquecimento global do CH₄ e do CO₂ produzido por um reservatório de grandes proporções pode, por muitos anos, exceder o CO₂ que seria emitido se uma planta de queima de carvão fosse usada para gerar a mesma quantidade de energia elétrica. Assim, a energia hidrelétrica não é uma forma de energia isenta de emissões quando a terra é inundada para gerá-la.

O gás metano (CH₄) é um importante gás de efeito estufa. É gerado na decomposição anaeróbica de matéria orgânica (restos de comida, dejetos animais, cadáveres, etc.). Assim, a formação do metano ocorre através de um processo natural, porém o homem tem intensificado a produção desse gás a partir da criação de grandes rebanhos com a finalidade de prover alimentos a uma população cada vez maior. Sendo assim, os grandes rebanhos produzem grandes quantidades de dejetos que são posteriormente degradados e transformados neste gás, dentre outras substâncias.

Tal atividade, contribuiu para o aumento da concentração de metano na atmosfera de 0,715 ppm no período pré-industrial para 1,774 ppm no ano de 2007, um aumento de quase 250%. Esta tendência de aumento se agrava pelo fato de o metano ter um Potencial de Aquecimento Global 21 vezes maior que o CO₂.

I.2.3. Óxido Nitroso

O óxido nitroso ou protóxido de nitrogênio é um gás resultante como subproduto de processos de desnitrificação biológica em ambientes aeróbios e de processos de nitrificação biológica em ambientes anaeróbios. A contribuição antrópica, que representa cerca de 40% das emissões, se dá devido aos processos de degradação que ocorrem em aterros sanitários; a liberação a partir de pastagens plantadas em áreas de antigas florestas queimadas; devido a utilização de fertilizantes a base de amônia; e em função da queima de combustíveis que contém nitrogênio, como no caso do carvão e da biomassa.

Conhecido como gás hilariante, o N₂O chega a ser até 206 vezes mais efetivo que o CO₂ em causar o aumento imediato no aquecimento global. De forma similar ao metano, sua concentração atmosférica se manteve constante até cerca de 300 anos atrás, aumentando cerca de 13% desde o período pré-industrial e sendo a taxa de crescimento anual de cerca de 0,25%.

Apesar do pequeno aumento de emissões, ao longo do tempo, em relação aos demais gases, as concentrações de óxido nitroso se tornam bastante preocupantes uma vez que o seu fator de aquecimento global chega a ser 114 vezes mais efetivo que o CO₂. Além disso, a presença deste gás pode influenciar significativamente na degradação da camada de ozônio, uma vez que promove a destruição catalítica das moléculas de O₃.

I.2.4. Hidrofluorcarbonos

Compostos sintetizados pelo homem para utilização em substituição dos antigos clorofluorcarbonos

(CFCs - responsáveis por grande parte da degradação da camada de ozônio), os hidrofluorcarbonos vem sendo largamente utilizados em sistemas de resfriamento, como congeladores, resfriadores e aparelhos de ar condicionado.

Substâncias bastante persistentes e cuja concentração na atmosfera tem aumentado de forma mais significativa do que qualquer outro GEE (quando contabilizado com os CFCs) nos últimos anos, os hidrofluorcarbonos possuem características de alta eficiência na absorção de determinados tipos de radiação térmica, tendo um potencial de aquecimento global 260 vezes maior que o CO₂. Porém, analisando a presença destes compostos na atmosfera como um todo, o aquecimento produzido é parcialmente cancelado por um efeito independente, o resfriamento induzido na estratosfera em virtude da destruição que provocam na camada de ozônio.

De qualquer forma, a produção destas substâncias tem sido reduzida gradativamente ao longo dos anos, desde o Protocolo de Montreal, que proibiu a utilização de alguns destes compostos; devido aos incentivos a utilização destes em sistemas fechados, nos quais não ocorram vazamentos para a atmosfera; e com a recuperação destas substâncias dos equipamentos antes do eventual descarte. Porém, ações como estas provocarão benefícios apenas a longo prazo, devido à sua já citada alta permanência na atmosfera.

I.2.5. Hexafluoreto de Enxofre

O hexafluoreto de enxofre (SF₆) é um composto inorgânico, gasoso e sintético, utilizado pelas mais diversas indústrias, devido às suas características distintas em relação aos demais gases naturais.

Dielétrico gasoso de alta tensão (acima de 35 kV), tem sido largamente utilizado pela indústria de energia elétrica tanto em disjuntores, quanto em subestações blindadas, como meio isolante e extintor de arco elétrico, em substituição a outras substâncias isolantes, como os óleos dielétricos e ao ar atmosférico.

Utilizado também em aplicações médicas, como agente de contraste para exames de ultra-sonografia, através da injeção endovenosa de micro bolhas, o gás permite um aumento da visibilidade dos vasos sanguíneos, sendo especialmente aplicado para estudo da vascularização de tumores.

O SF₆ é um gás bastante estável e de longa vida na atmosfera e desde 1990, sua concentração tem aumentado gradativamente. Além disso, possui uma grande capacidade de absorção de radiação solar, especialmente nos comprimentos de onda da radiação infravermelha. Sendo assim, o SF₆ é um gás de significativa influência na intensificação do efeito estufa, possuindo um fator de aquecimento global 3.200 vezes superior ao CO₂.

I.3 Estimativas de Redução de Emissões

Apesar do Protocolo de Kioto não obrigar o Brasil a cumprir metas quantitativas de redução de emissões de GEE, é importante que o país tenha uma ação pró-ativa na implantação de projetos de redução de emissões desses gases e não apenas se contentar com a compensação das

emissões ocorridas nos países participantes do protocolo. Desta forma, o Brasil estará contribuindo não apenas com a manutenção nos níveis de GEE na atmosfera, mas ajudando a reduzi-las aos níveis adequados. Segundo o protocolo, os países signatários devem reduzir suas emissões em 5,2% em relação às do ano de 1990, ou seja, reduzir as emissões até que elas atinjam 94,8% do valor registrado em 1990.

As medidas mais comuns para redução de emissões são:

- Substituir ou adaptar automóveis e equipamentos que utilizam combustíveis fósseis para que passem a usar combustíveis alternativos e renováveis como etanol (álcool etílico) e biomassa.
- Controlar rigidamente as emissões involuntárias de gases como o SF₆, que apresentam alto potencial quanto ao efeito estufa. Por ex.: destinação adequada dos resíduos de SF₆, hidrofluorcarbonos e outros GEE.
- Transformação dos GEE mais nocivos em gases menos nocivos por meio da queima controlada ou outras reações químicas. Por ex.: queima de metano que é transformado em CO₂ e água, muito menos nocivos para o efeito estufa que o metano.
- Adotar medidas para aumentar a eficiência dos equipamentos e processos produtivos, ou seja, produzir mais com o mínimo de insumos.
- Evitar o funcionamento desnecessário de equipamentos que emitam GEE, como exemplo: automóveis, grupos geradores, etc.

Este projeto de P&D foi desenvolvido no sentido de proporcionar à CTEEP, meios de atingir os objetivos acima, e obter redução significativa de suas emissões de gases de efeito estufa.

II. OBJETIVO

Desenvolver mecanismos e ferramentas para identificação, caracterização e quantificação de gases de efeito estufa nas atividades e processos existentes no sistema de transmissão CTEEP.

III. DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA

É importante definir, primeiramente, o que são as perdas de gás SF₆ e as emissões, termos constantemente utilizados neste trabalho:

- Perdas: referem-se ao volume de gás SF₆ que saiu do sistema e que precisa ser repostado. Assim, este parâmetro foi estimado a partir do volume de gás adquirido pela concessionária. A perda é composta pela quantidade emitida, pelo gás removido em manutenção e não reciclado e pelo gás remanescente nos cilindros após utilização.
- Emissão: é o volume de gás efetivamente lançado na atmosfera, por meio de vazamentos.

Inicialmente foi realizado um levantamento do número de equipamentos isolados a gás SF₆ na CTEEP, dos equipamentos nas SE'S blindadas e dos disjuntores ao tempo.

Foram quantificadas as emissões resultantes das atividades da empresa em conformidade com as prescrições do Protocolo de Kioto de forma a estabelecer a “linha de base (base line)” para o estabelecimento de um futuro projeto MDL – Mecanismo de Desenvolvimento Limpo, pois, toda ação empresarial relacionada a mudanças climáticas deve ser fundamentada inicialmente no conhecimento das suas emissões. A linha de base indica o cenário provável que seria verificado em termos de emissões de GEE que ocorreria na ausência da atividade do projeto.

Para a quantificação das emissões foi utilizada a Metodologia geral contida no “GHG Protocol - The Greenhouse Gas Protocol” elaborado pelo World Business Council for Sustainable Development (WBCSD) e pelo World Resources Institute (WRI). Esta é a ferramenta de cálculo reconhecida pelo Protocolo de Kioto, necessária para a determinação da linha de base e para a elaboração futura de projetos MDL. Neste trabalho foram determinados os “Fatores de emissão” para os diversos combustíveis. Para efeito de estimativas de emissão de GEE, no entanto, outros fatores devem ser considerados.

A emissão de CO₂, que apresenta significado para o aquecimento global e para a elaboração de projetos MDL, é aquela que libera à atmosfera o Carbono de origem fóssil. Pois este é o composto de carbono que efetivamente introduz um incremento na concentração total de CO₂ atmosférico. As emissões de CO₂ devidas ao etanol são na verdade constituídas por CO₂ já oriundo da própria atmosfera, resultando em incremento nulo. Para o cálculo das emissões, portanto, aquelas devidas ao uso de etanol como combustível devem ser desconsideradas. A Tabela 2 resume os fatores utilizados nesse trabalho para realização do cálculo.

Tabela 2. Fatores de Emissão de CO₂.

Combustível	Fator de Emissão (kg de CO ₂ /kg)	Taxa de Emissão de CO ₂ Fóssil Relativa	Fator Corrigido
Etanol Hidratado	1,75	0,00	0
Gasolina C	2,88	0,74	2,13
Gasolina A	3,18	1,00	3,18
GNV	2,75	0,79	2,17
Diesel	3,20	0,86	2,75

Portanto, a quantidade estimada de CO₂ emitido pelos veículos automotores e GAES foi obtida pelo produto da quantidade de combustível consumida e o respectivo fator de emissão corrigido.

No caso das emissões devidas aos equipamentos isolados a SF₆, as emissões devem ser apresentadas em “toneladas de CO₂ equivalentes”. Estes valores foram obtidos pelo produto da quantidade de SF₆ efetivamente emitida e o GWF do SF₆. Para efeito deste trabalho foi utilizado o GWF atualizado de 22.200.

Foi estimada, utilizando-se de um critério estatístico simples, qual a procedência e possíveis causas dos vazamentos de SF₆. Estas estimativas foram realizadas por meio de inspeções de campo nos equipamentos em operação no sistema de transmissão CTEEP. Para atingir os objetivos programados, fez-se necessário estabelecer um critério de amostragem que permitisse estabelecer conclusões com nível de confiabilidade aceitável. Uma vez que as inspeções de vazamento requerem o desligamento do equipamento a inspecionar, estas foram coordenadas com os desligamentos já programados pela manutenção da CTEEP, de forma a evitar os custos associados ao processo.

Para o estabelecimento de um critério de amostragem aceitável, foram utilizadas as normas “ABNT NBR 5426 - Planos de amostragem na inspeção por atributos” e “ABNT NBR 5427 – Guia para utilização da norma ABNT NBR 5426 – Planos de amostragem na inspeção por atributos”.

Para elaboração do plano de amostragem foram consideradas duas hipóteses nos cálculos estatísticos:

1. Todos os equipamentos isolados com gás SF₆ seriam considerados como iguais.
2. Os equipamentos seriam classificados em famílias, levando em consideração o tipo de fabricante do equipamento.

Para a primeira hipótese, seria necessário amostrar 80 equipamentos para o nível de amostragem 3 (nível mais rigoroso da norma); 50 para o nível 2; e 20 para o nível 1 (nível menos rigoroso da norma). Para a segunda hipótese seria necessário amostrar 135 equipamentos para o nível de amostragem 3; 86 para o nível 2; e 45 para o nível 1. Em função do plano de amostragem obtido para estas duas hipóteses, ou mais precisamente, ao número de equipamentos a serem medidos em cada hipótese, foi escolhida a hipótese 1 por ser técnica e economicamente viável, considerando o cronograma do projeto e os recursos disponíveis.

De acordo com a normalização utilizada e, de forma a tender as disponibilidades do sistema da CTEEP, foi adotado o plano de inspeção “simples severa”, em seu nível II, que fornece grau de confiança de 80% para os resultados obtidos sendo, portanto, necessário amostrar 50 equipamentos, considerando a primeira hipótese.

Em função dos prazos para execução do projeto, as determinações de campo foram realizadas em parte pela empresa SF6 Serviços, empresa prestadora de serviços de campo em equipamentos SF₆ e, em sua maioria, pelas equipes de manutenção de campo da CTEEP. Todos os resultados foram utilizados nos cálculos, sem qualquer avaliação prévia, para cumprir com os critérios estatísticos selecionados. As medições dos vazamentos foram realizadas com o instrumento SF6-IR Leak da GAS.

IV. RESULTADOS E DISCUSSÃO

IV.1 Levantamento da base de dados e dos equipamentos geradores de GEE

A principal atividade da CTEEP é a transmissão de energia elétrica. Esta atividade não gera por si, qualquer gás dos GEE considerados pelo Protocolo de Kioto. No entanto, várias das atividades secundárias da empresa, principalmente as atividades de manutenção, podem causar a emissão não controlada de vários GEE. Nas atividades de manutenção são manipulados diversos tipos de equipamentos que podem levar à emissão de GEE. Uma avaliação detalhada das atividades desenvolvidas pela empresa revelou as fontes de emissão da Tabela 3.

Tabela 3. Fontes de emissão de GEE provenientes das atividades desenvolvidas na CTEEP.

Fonte de Emissão	Gás considerado	GWF
Veículos	CO ₂	1
Grupos Geradores de Emergência (GAEs)	CO ₂	1
Equipamentos isolados a SF ₆	SF ₆	22.200

O levantamento resumido do número de equipamentos isolados a gás SF₆ na CTEEP, com o respectivo custo unitário e total, estão mostrados no Quadro 01. Aproximadamente 69% do gás SF₆ em uso na CTEEP está concentrado nas SE's blindadas, que corresponde a 47.296,5 Kg.

Quando a aquisição de gás SF₆, no período de 3 anos (2001 – 2005), foram adquiridos 43.712 Kg a um custo médio unitário de R\$ 59,69, perfazendo um custo médio total de R\$ 2.609.169,28.

Quadro 01. Levantamento resumido do número de equipamentos isolados a SF₆ na CTEEP com o respectivo custo unitário e total.

TOTAL DE GÁS SF6 NAS SE's BLINDADAS:	47.296,7 Kg
TOTAL DE GÁS SF6 DISJ. AO TEMPO:	21.361 Kg
TOTAL DE GAS SF6 NA CTEEP:	68.657,7 Kg
PESO MÉDIO DE UM CILINDRO:	50 Kg
QUANTIDADE DE CILINDROS:	1.373.154
CUSTO MÉDIO DE UM CILINDRO:	R\$ 70,00
CUSTO MÉDIO DE UM CILINDRO:	R\$ 3.500,00
CUSTO TOTAL DO GÁS SF6 EM USO:	R\$ 4.806.039,00

A idade média das GAE's da CTEEP é de 31,4 anos.

Quando a frota de veículos da empresa, foram levantados 228 veículos do tipo leves e 86 do tipo pesados, conforme mostrado na Tabela 4. Os veículos leves da frota da CTEEP são 100% locados e substituídos no prazo máximo de dois anos. Incluem-se nesta categoria os seguintes veículos: Parati, Palio, Gol e utilitários tipo Pick Up's. Os veículos pesados são na grande maioria movidos com combustível diesel. Se incluem nesta categoria os veículos tipo: Vans (Sprinter), F-250, caminhões 3/4, caminhões tipo munck e carretas tipo tanque de combustível.

Tabela 4. Frota de veículos da CTEEP.

Tipo	Média de idade	Combustível	Quantidade
Leves	2 anos	Flex	228
Pesados	10 anos	Diesel/Gasolina	85

IV. 2 Quantificação das emissões

A estimativa para veículos automotores foi realizada a partir das seguintes premissas:

- A frota de veículos leves consome etanol como combustível. Sua emissão, portanto, foi desconsiderada.
- A frota de veículos utilitários e pesados consome diesel como combustível. Consumo médio anual: 800.000 L de diesel (ou 616.000 kg).
- Os grupos geradores de emergência (GAEs) consomem diesel como combustível. Consumo médio anual: 96.300 L de diesel (74.000 kg).

A emissão média anual em "kg de CO₂" para os veículos automotores e GAEs da CTEEP equivale a: 1.897.500.

O total de SF₆ adquirido nos últimos 3 anos foi de 43.710 kg o que leva a uma média anual de 14.570 kg de SF₆. Descontando o gás mantido em estoque, novo ou a recuperar, tem-se uma emissão anual estimada de 12.620 kg de SF₆. A emissão anual média em "kg de CO₂ equivalente" para a emissão de gás SF₆ na CTEEP equivale a: 280.164.000.

Na Tabela 5 estão apresentadas as fontes de emissão de GEE da CTEEP com as respectivas toneladas de CO₂ emitidas. Os resultados obtidos demonstram que a principal fonte de emissões de GEE na operação da CTEEP é a utilização de equipamentos elétricos isolados a gás SF₆. As estimativas mostraram que as emissões devidas à utilização de combustíveis fósseis em veículos e GAEs são desprezíveis em relação às emissões de SF₆. Portanto, medidas para reduzir as emissões de SF₆ devem ser implantadas na concessionária.

Tabela 5. Fontes de emissão de GEE da CTEEP com as respectivas toneladas de CO₂ emitidas.

Fonte de Emissão	Toneladas de CO ₂ Emitidas (média anual)
Veículos	1.694
Grupos Geradores de Emergência (GAEs)	203
Equipamentos isolados a SF ₆	280.164

IV.3 Identificação e quantificação de vazamentos de gás SF₆ nos equipamentos em operação

As principais causas de emissão de SF₆ para a atmosfera são, pela ordem de importância, os vazamentos em equipamentos em operação, gás perdido durante a manutenção de equipamentos em campo e gás contaminado em operação e não recuperado. Nesta fase, os trabalhos se concentraram na principal causa de perdas para a atmosfera, os vazamentos. Assim, foi determinado o percentual de vazamento de SF₆ nos equipamentos em operação na CTEEP, as quantidades foram estimadas, utilizando-se de um critério estatístico simples, qual a procedência e as possíveis causas desses vazamentos. Estas estimativas foram realizadas por meio de inspeções de campo nos equipamentos em operação no sistema de transmissão CTEEP, conforme descrito no item II (Metodologia) deste trabalho.

Para realização das inspeções dos equipamentos isolados a SF₆ era fundamental que as determinações fossem realizadas por um instrumento capaz de determinar tão somente a presença do gás SF₆ no ar. Os instrumentos convencionais, baseados em sensores múltiplos, sofrem interferência de outros gases ou mesmo da umidade atmosférica. Era também necessário que o equipamento usado apresentasse sensibilidade suficiente para detectar a presença do SF₆ mesmo em ambientes externos sujeitos a ventos. Deverá também ser imune à interferência do campo eletromagnético existente nas subestações da empresa. Por último, o instrumento utilizado deverá ser comercialmente disponível, com assistência técnica e calibração a custos e prazos razoáveis.

Foram verificadas as características dos diversos instrumentos existentes no mercado. A Tabela 6 resume as informações encontradas.

Baseado nas avaliações resumidas acima, foi selecionado o instrumento SF₆-IR Leak da GAS, por preencher todos os requisitos pré-determinados.

Os resultados obtidos mostraram que cerca de 11% dos equipamentos em operação na CTEEP apresentam vazamentos mensuráveis, sendo que aproximadamente 10% apresentam vazamentos de grandes proporções. Os resultados obtidos confirmaram, considerando o grau de confiança fornecido pelo critério estatístico adotado (80%), que a maior causa de emissões de GEE no sistema CTEEP são os vazamentos em equipamentos isolados a SF₆. Observou-se também, dentro dos mesmos limites

estatísticos, que 90% dos vazamentos localizam-se em juntas e conexões.

Tabela 6. Características comparativas de detectores de vazamento.

Produto	Fabricante	Interferentes	Sensibilidade Eletromagnética	Sensibilidade
SF ₆ Leak Detector	DILO	Vapor d'água, outros gases	Não	1 ppm
L-790	ISM	Vapor d'água, outros gases	Sim	alta
H25-IR	Bacharach	Não	Não	baixa
SF ₆ -IR Leak	Usom	Vapor d'água e gases fluorados	Não	alta
SF ₆ IR-Leak	GAS	Não	Não	1 ppm

De forma geral, baseado em informações internacionais, a maior parte dos vazamentos está concentrada em equipamentos antigos, por admitirem níveis elevados de vazamentos. A tecnologia empregada na construção destes equipamentos não permite atingir um nível baixo de perdas por meio de intervenções de manutenção. A solução para estes equipamentos consiste na substituição por modelos de tecnologia mais recentes e/ou o desenvolvimento de soluções em conjunto com o fabricante.

Não foi possível comparar os números obtidos neste projeto com informações de outras concessionárias nacionais, porque este tipo de informação não tem sido divulgado.

Outra causa de perda de gás SF₆ cuja avaliação não foi contemplada neste projeto, são as perdas devidas aos procedimentos de manutenção. Uma vez que a CTEEP ainda não tem estabelecido uma sistemática de avaliação e controle da qualidade e níveis de contaminação do gás SF₆ instalado em seu sistema, não foi possível obter uma estimativa segura dos níveis de emissão devido ao envelhecimento inerente do gás. Por conta disto, o gás comprado para substituição do gás em operação em atividades de manutenção compõem parte da compra anual de gás e, portanto, da perda. Ou seja, implantando a metodologia de recuperação do gás envelhecido, a concessionária deixará de comprar gás novo, diminuindo as perdas.

IV.4 Elaboração de plano de emissão zero

Como demonstrado, as emissões de GEE no sistema CTEEP devidas ao uso do gás SF₆ é significativa. Estimativas realizadas pelo Prof. Carlos Roberto Lima, da UNICAMP, mostram que uma Usina termelétrica de 200 MW de capacidade causará uma emissão de cerca de 25

toneladas de CO₂ por hora, o que se traduz em uma emissão anual de 219.000 toneladas de CO₂. A emissão anual devida a perdas de SF₆ do sistema CTEEP corresponde a 280.164 toneladas, ainda maior do que a de uma pequena termelétrica.

A redução dos atuais níveis de emissão do sistema CTEEP resultará nos seguintes benefícios:

- Redução de custos de aquisição de gás SF₆ novo.
- Implementação de projeto de MDL com conseqüente venda de créditos de carbono no mercado internacional.

Assim, o estabelecimento de uma meta realista de redução de emissões trará benefícios econômicos significativos para a empresa.

Um levantamento das emissões de SF₆ no sistema elétrico norte americano realizado pela *Environmental Protectio Agency* (EPA), em 1999, mostrou que o sistema emitia na média anual, cerca de 15% do total de gás instalado.

A partir de então, foram implementadas uma série de medidas, tanto nos Estados Unidos da América como na Comunidade Européia, destinadas a reduzir estes níveis de emissão até patamares aceitáveis. As principais medidas adotadas foram:

- Aprovação de legislação dando à EPA e à Autoridade Ambiental Européia o poder de fiscalizar as emissões de SF₆.
- Todas as emissões de SF₆ devem ser evitadas tanto quanto possível.
- Os equipamentos novos isolados a SF₆ devem ter um nível máximo de vazamentos admissível de acordo com o tipo de situação, conforme descrito na Tabela 8.

Tabela 8. Vazamento máximo admissível para diferentes situações em que se encontra o gás SF₆.

Situação	Vazamento máximo admissível (% do total instalado por ano)
Desenvolvimento, fabricação e testes	1,5 %
Instalação e comissionamento	0,1%
Operação, incluindo manutenção e reparos para equipamentos fabricados antes de 2004	Alta tensão: 0,6% até 2020
Operação e manutenção para equipamentos fabricados após 2004	Média tensão: 0,1% Alta tensão: 0,5%

- Todo o pessoal em contato com o SF₆ deverá ser informado e treinado.
- O trabalho de manutenção só poderá ser executado por pessoal treinado por instituição qualificada.

- Todos os equipamentos contendo gás SF₆ deverão ser monitorados e os níveis de vazamento reportados.
- O gás deve ser reusado e reciclado conforme métodos aprovados.
- Todos os equipamentos isolados a SF₆ deverão ser devidamente rotulados.

Com a implementação deste conjunto de medidas, os níveis de emissão do sistema elétrico norte-americano foram gradativamente reduzidos até o nível atual de 5,5% em 2007, conforme demonstrado na Figura 2.

O nível atual de emissão de SF₆ no sistema CTEEP é de cerca de 24% do total instalado. Uma vez que a CTEEP é uma empresa que opera em padrões internacionais de qualidade e eficiência, é razoável propor uma meta de redução até os níveis atuais conseguidos internacionalmente. Esta meta deverá ser atingida em um horizonte de 10 anos a partir do início da implementação do programa.

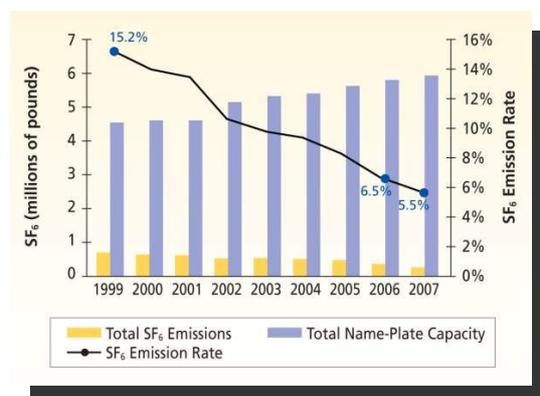


Figura 2. Redução dos níveis de emissão do sistema elétrico norte-americano.

As reduções das perdas por vazamento e manutenção atuais no sistema CTEEP possibilitarão benefícios financeiros diretos e indiretos. Os benefícios financeiros diretos incluem a redução dos custos de aquisição de gás novo, como descrito no Quadro 2.

Quadro 2. Benefícios financeiros diretos.

Níveis atuais de consumo de gás	Massa de SF ₆ adquirida: 12.160 Kg	Custos de aquisição do gás: R\$ 851.200,00
Níveis consumo após atingida a meta:	Massa de SF ₆ adquirida: 2.852 Kg	Custos de aquisição do gás: R\$ 199.640,00
Economia anual:	Em massa de gás: 9.308 kg	Em dinheiro: R\$ 651.560,00

Os benefícios financeiros indiretos são representados pelo potencial de venda de créditos de carbono no mercado internacional, após a implementação de

um projeto MDL para a redução das emissões. Estes benefícios estão resumidos no Quadro 3.

Quadro 3. Benefícios financeiros indiretos.

Redução de emissões ao final do projeto:	9.308 kg de SF ₆ ao ano
Redução em Toneladas equivalentes de CO ₂	206.637
Valor de mercado atual:	R\$ 4.503.343,46 (*)

(*) Cotações da Ton de CO₂ e do Euro em 30/12/2009

Assim, o benefício financeiro total poderá chegar à cifra anual de R\$ 5.154.903,46.

Para que as metas de emissão sejam atingidas dentro dos prazos sugeridos o conjunto de medidas descrito na seqüência deverá ser implementado na CTEEP.

a. Treinamento do pessoal envolvido

Todos os profissionais da empresa envolvidos no manuseio, aquisição ou manutenção de equipamentos isolados a SF₆ deverá ser treinado por meio do seguinte conteúdo mínimo, por profissional devidamente qualificado:

Características Básicas:

- Características elétricas.
- Compatibilidade.
- Aplicações típicas.
- Meio Ambiente, Saúde e Segurança.
- Manuseio, armazenagem e transporte.
- Níveis máximos aceitáveis de impurezas.

Manutenção e Controle:

- O gás em operação.
- Processos de decomposição do SF₆.
- Produtos de decomposição e suas características.
- Métodos de análise do SF₆ e seus significados.
- Vazamentos: Valores máximos admissíveis no ar, saúde e segurança.

Manutenção Preventiva:

- Os efeitos dos produtos de decomposição sobre o equipamento.
- Valores de referência para manutenção.
- Processos de recuperação.
- Características do gás recuperado.

Manutenção Preditiva:

- Conceitos básicos.
- Tipos de falhas em equipamentos isolados a gás.

b. Rotulagem e sinalização dos equipamentos isolados a SF₆

Todos os equipamentos isolados a gás SF₆ deverão ser sinalizados com rótulos que contenham, no mínimo, as seguintes informações:

- Equipamento que contém gás SF₆.
- Equipamento contém Gás de Efeito Estufa: Não liberar na atmosfera.
- Operação e manutenção apenas por pessoal qualificado.

c. Estabelecimento de programa de monitoramento quanto a vazamentos

Deverá ser estabelecido um programa de verificação de vazamentos que inclua todos os equipamentos da empresa, com as seguintes características:

- Periodicidade anual.
- Classificação dos equipamentos conforme a intensidade dos vazamentos observados.

d. Estabelecimento de programa de monitoramento quanto à qualidade do gás isolante

Deverá ser estabelecido um programa de monitoramento da qualidade do gás isolante, que inclua todos os equipamentos da empresa, com as seguintes características:

- Periodicidade anual.
- Determinar: teor de umidade, pureza, teor de produtos de decomposição.
- Classificação dos equipamentos em função da qualidade do gás.

e. Plano de ações corretivas

Com base nos resultados dos programas de monitoramento já descritos, deverá ser estabelecido um plano de ações corretivas com as seguintes características:

- Correção dos vazamentos conforme a intensidade medida.
- Substituição dos equipamentos cujos vazamentos não possibilitem correção.
- Elaboração de programa de manutenção preventiva e preditiva que inclua todos os equipamentos isolados a SF₆.
- Tratamento do gás dos equipamentos para reutilização, conforme os resultados de qualidade do gás obtidos no monitoramento.

f. Financiamento do “Plano de emissão zero”

O plano acima descrito poderá ser implementado sem custos para a empresa ou mesmo com vantagens financeiras. Para tanto, deverá ser elaborado um projeto de “Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL)”, que contemple todas as etapas acima, objetivando a redução de

emissões proposta. Assim, a comercialização dos créditos de carbono resultantes fornecerá os recursos necessários à implantação do programa, incluindo a compra de equipamentos elétricos de maior qualidade quanto a vazamentos.

IV 5. Tratamento e recuperação do gás SF₆

Descargas parciais em SF₆ podem levar ao acúmulo de produtos de decomposição. A estabilidade elétrica do total de gases em um equipamento qualquer é bastante grande comparativamente a de produtos estranhos ao meio, contudo solventes e/ou reagentes com características corrosivas podem gerar reações com as superfícies dos componentes dos equipamentos isolados a SF₆. Um dos efeitos negativos sobre as superfícies e que não pode ser desconsiderado, é o efeito sobre os isoladores rígidos como, por exemplo, os discos espaçadores em epóxi. Como prováveis conseqüências, pode-se citar a redução da sua resistência superficial bem como a degeneração irreversível dos espaçadores por corrosão. Considerando que os equipamentos elétricos são utilizados, por razões econômicas, no limite de carga, uma falha completa do sistema de isolamento pode acontecer devido à redução da resistência superficial dos espaçadores.

De acordo com vários experimentos laboratoriais e medições em campo, o envelhecimento dos gases isolantes foi comprovado, ficando por esclarecer ainda a questão da redução da resistência elétrica superficial da resina epóxi como função da energia total das descargas. A questão da degradação da resina epóxi devido aos produtos da decomposição do gás SF₆ foi discutida em várias publicações, sendo levantados como primordiais responsáveis as descargas por centelhamento e por arco elétrico.

Assim é uma exigência das boas práticas de manutenção preventiva e preditiva, a inspeção sistemática e periódica das características do gás em operação de forma a evitar a ocorrência de desligamentos não programados por motivo de falha, bem como possibilitar a extensão segura da vida útil dos equipamentos.

O estabelecimento de uma sistemática de inspeção, recuperação e reutilização do gás SF₆ em operação, levará a uma redução significativa das emissões de GEE, bem como a redução significativa de custos devidos a desligamentos, reparos e aquisição de gás.

Os produtos finais de decomposição do SF₆ sob descarga, podem ser gasosos ou sólidos. Os primeiros resultantes da reação dos produtos intermediários de oxidação com a umidade existente no meio, e os últimos resultantes da reação dos subprodutos ácidos com os metais dos contatos e com os próprios componentes dos isoladores.

Os produtos gasosos de decomposição irão permanecer em mistura com o gás em operação, diminuindo sua capacidade de isolamento e causando a deterioração dos materiais sólidos presentes nos equipamentos. Para que estes conseqüências indesejáveis sejam evitadas, é necessário que tais produtos sejam retirados do interior dos equipamentos.

A remoção dos produtos de decomposição pode ser feita tanto pela troca da carga de gás, quanto pela

recuperação da carga existente e sua reutilização. A simples troca do gás contaminado por uma nova carga, resulta, inevitavelmente na geração de resíduo a ser lançado na atmosfera ou disposto de forma adequada. É, portanto, fácil perceber que a alternativa de tratamento para reuso é a escolha adequada a fazer para o estabelecimento de uma sistemática de manutenção preventiva e preditiva eficaz.

Devido à natureza ácida dos produtos gasosos de decomposição do SF₆, sua remoção é possível por meio da percolação por agentes nucleofílicos como aluminas, sílicas, óxidos de metais alcalinos, etc. Uma série de equipamentos para esta finalidade podem ser encontrados no mercado, todos baseados neste mesmo princípio.

Os principais equipamentos destinados ao tratamento do gás SF₆ utilizam os elementos filtrantes listados na Tabela 9. Um esquema básico de equipamento de recuperação de gás é mostrado na Figura 3.

Tabela 9. Elementos filtrantes utilizados nos equipamentos destinados ao tratamento do gás SF₆.

Contaminante	Tipo de Filtro
Contaminação geral: partículas, óleo, etc.	Filtro tipo absoluto com porosidade de 10 mm
Partículas de carbono, poeira	Filtro tipo absoluto com porosidade de 1 mm
Umidade	Alumina, Peneiras moleculares
Produtos de decomposição	Carvão ativado e Zeólitas
Óleo	Carvão ativado e Vidro sinterizado
SO ₂ ; SOF ₂ ; SO ₂ F ₂ , HF	Alumina, Sílica, Cal sodada

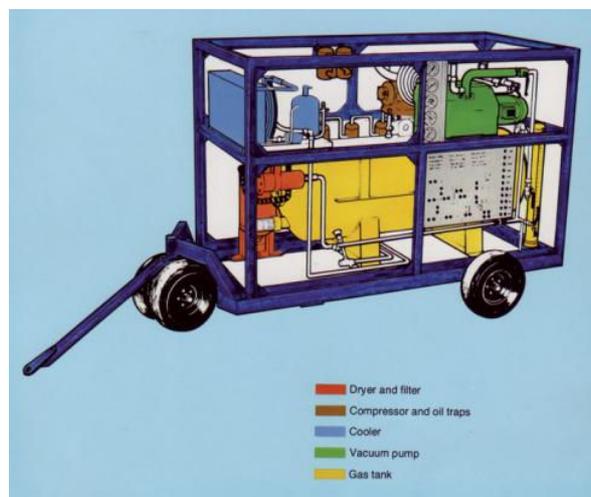


Figura 3. Esquema básico de equipamento de recuperação de gás SF₆.

Para implantar futuramente uma metodologia de tratamento e de recuperação do gás SF₆, a CTEEP deverá

inserir as seguintes práticas de manutenção preditiva e preventiva:

- Estabelecer uma sistemática de avaliação e de controle da qualidade e dos níveis de contaminação do gás SF₆ instalado em seu sistema.
- Definir uma metodologia de monitoramento da qualidade do gás SF₆ em campo, nos equipamentos energizados.
- Construir um banco de dados que permita estabelecer valores de referência para tratamento e de recuperação do gás usado.

Uma vez que a CTEEP ainda não tem estabelecido uma sistemática de avaliação e controle da qualidade e níveis de contaminação do gás SF₆ instalado em seu sistema, e que este projeto não contemplava essas determinações, não foi possível obter uma estimativa segura da redução dos níveis de emissão por meio dessa metodologia.

V. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos nesse trabalho permitiram concluir o que segue:

- O GEE de maior relevância na operação da CTEEP é o SF₆.
- O nível atual de emissão de SF₆ no sistema CTEEP é de cerca de 24% do total instalado.
- Observou-se que o percentual de equipamentos que apresentou vazamentos (11%) é considerado baixo e compatível com os padrões internacionais.
- As emissões em Toneladas de CO₂ equivalente devidas ao SF₆ são cerca de 150 vezes maiores do que as resultantes da utilização de toda a frota de veículos e das GAEs da CTEEP.
- As emissões em Toneladas de CO₂ equivalente devidas à utilização de SF₆ são comparáveis às que seriam resultantes da operação de sistemas de geração termelétrica de pequeno porte.
- Cerca de 11% dos equipamentos em operação na CTEEP apresentaram vazamentos mensuráveis, sendo que aproximadamente 10% apresentaram vazamentos de grandes proporções.
- Dentro dos limites estatísticos considerados, 90% dos vazamentos de SF₆ localizam-se em juntas e conexões. Com esta informação, a CTEEP poderá instigar os fabricantes a melhorarem a qualidade destes produtos.
- Os valores estimados para as emissões justificam plenamente a implementação de projetos complementares para sua minimização (Plano de Emissão Zero).
- A elaboração de um projeto de MDL visando reduzir as emissões poderá financiar a implementação do Plano de Emissão Zero na CTEEP, pela comercialização dos créditos de carbono resultantes. A compra de equipamentos elétricos de maior qualidade quanto a vazamentos também poderá ser contemplada com esses recursos.

VI. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] BAIRD, C., Química Ambiental, Bookman Ed. 2a ed., 2002.
- [2] FEARNSIDE, P. M.; “Emissões de Gases de efeito estufa por represas hidrelétricas: controvérsias fornecem um trampolim para repensar uma fonte de energia supostamente limpa” Coordenação de Pesquisas em Ecologia, INPA, Manaus, AM, 2004.
- [3] FEARNSIDE, P. M.; “As usinas hidrelétricas mitigam o efeito estufa? O caso da barragem de Curuá-Una” Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA), Manaus-AM, 2004.
- [4] FEARNSIDE, P. M.; “Emissões de gases de efeito estufa de um reservatório hidrelétrico (a represa de Tucuruí) e as suas implicações para a política energética” Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA), Manaus-AM, 2002.
- [5] FIGUEIREDO, S. A.; “Emissão veicular de gases de efeito estufa devida ao tipo de combustível”. São Paulo. Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) de Janeiro, 2003.
- [6] SANTOS, M. A.; “Inventário de emissões de gases de efeito estufa derivadas de hidrelétricas” Rio de Janeiro, 2000. Tese (Doutorado em Ciências em Planejamento Energético), Universidade Federal do Rio de Janeiro.