



## **O PROTOCOLO DE MONTREAL E AS USINAS TERMELÉTRICAS A GÁS NATURAL: UM ESTUDO DE CASO DOS 10 MAIORES PRODUTORES NACIONAIS DE ENERGIA ELÉTRICA**

José Antônio Maciel Pereira<sup>1</sup>

### **RESUMO**

Este artigo apresenta uma relação da indústria da energia elétrica nacional, representada pelas Usinas Termelétricas a Gás Natural (UTES), classificadas pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) como produtores independentes de energia, e as substâncias listadas pelo Protocolo de Montreal como que causam danos à camada de ozônio (SDOs). A partir das 10 maiores empresas de geração elétrica com usinas em operação, foram identificadas aquelas que utilizam em seus sistemas de condicionamento de ar de combustão das turbinas SDOs em ciclos de compressão a vapor. Em pesquisa de campo, a partir das evidências empíricas, foram identificadas e quantificadas as SDOs das empresas. Verificou-se que somente o HCFC e R-134A são encontrados em UTES de duas empresas, identificadas como estatais, sendo uma delas a maior empresa de energia nacional. Ao final, são feitas recomendações às duas empresas para uma maior integração com governo nacional e instituições envolvidas com o Protocolo de Montreal visando uma melhor gestão de modo integrado para atendimento aos quesitos quanto às SDOs identificadas.

Palavras-chave: Protocolo de Montreal, Substâncias Refrigerantes, Termelétrica.

---

1 Universidade Estadual do Norte Fluminense – UENF. Email: joseantonio.maciell@uol.com.br



## ABSTRACT

This work presents a relationship between the Brazilian electric energy generation industry, represented by Natural Gas Power Plants (UTES) classified by Electric Energy National Agency (ANEEL) as Independent Energy Producer and substances listed on at Montreal Protocol as responsible for Ozone Surface damages (SDOs). Analyzing the running power plants belonged to the 10 bigger energy producers companies, there has been identified the ones which conditioning the gas turbines intake air by chillers from vapor compression systems. Field research, based on empirical evidences, companies` SDOs were identified and quantified. Only SDOs HCFC and R-134A are used in companies for this air chilling process. Just UTES belonged to two state owned companies are listed on as SDOs handler. One of them is the most important Brazilian energy company. At the end, some recommendations have been proposed to both companies in order to manage its UTES according to Montreal Protocol statements, sharing actions with Brazilian governor, private and public institutions.

Keywords: Montreal Protocol, SDOs, Power Generation.

## 1. INTRODUÇÃO

A energia elétrica guarda estreita relação com o comportamento da economia nacional, sendo um excelente indicador do desempenho da própria economia (TOLMASQUIM, 2005).

As Usinas Termelétricas possuem relevância por serem utilizadas em função das expectativas de disponibilidade de água, ou seja, a geração termelétrica complementa a operação de hidroelétricas em períodos de estiagem, cumprindo a função de firmar a energia secundária capaz de garantir os melhores níveis de operação ao longo do tempo ao reduzir o risco de insuficiência do suprimento (BRITO & FIGUEIREDO, 2005). Dentro das empresas de geração termelétricas a gás natural, existem os produtores independentes de energia, que são aqueles que produzem energia elétrica destinada ao comércio livre, assim sofrendo concorrência com outras empresas.

No Brasil, o uso de termelétricas ganhou um grande impulso com o fato do “apagão” do ano de 2001 e o conseqüente racionamento de energia. O Banco de Informações da ANEEL levantou que em novembro de



2008, existiam 85 usinas termelétricas movidas a gás natural, com um total de capacidade instalada de 11 mil MW. Esta capacidade instalada para o atendimento da demanda solicitada depende, dentre outras variáveis, do desempenho das turbinas a gás (LORA e NASCIMENTO, 2004). Um dos modos de melhoria do desempenho destas máquinas térmicas é o condicionamento do ar de combustão através de um sistema de resfriamento após o seu sistema de filtragem (NASCIMENTO et al, 2004), havendo, casos de plantas com o condicionamento de ar de combustão em que ganhos consideráveis de potência instalada ou mesmo fornecida são traduzidas em receitas para a empresa (FARZANEH-GORD e DEYMI-DASHTEBAYAZ, 2009).

Dentro dos modelos de sistemas de condicionamento de ar de combustão utilizados nesta indústria, destacam-se os resfriadores ou “chillers”. Este trabalho dará foco aos *chillers*, pois, neste momento, podem representar a maior fonte de desafios para a indústria termelétrica frente ao possível impacto ambiental das substâncias utilizadas para o processo de condicionamento de ar de combustão de turbinas a gás. Os *Chillers* trabalham sob o ciclo de compressão a vapor e os seus fluidos de trabalho (substâncias refrigerantes) são hidrocarbonetos halogenado. Devido aos grandes volumes específicos utilizados, geralmente trabalham com compressores centrífugos. A utilização destes tipos destas substâncias foi bastante controlada a partir da reunião realizada na cidade de Montreal, no Canadá, em 1987. Assim, corrobora-se com este trabalho, a existência de uma ligação entre a geração de frio, a geração elétrica a gás natural e o meio ambiente, através de um estudo de caso aplicado nas 10 maiores empresas geradoras brasileiras, com o objetivo de apresentar e quantificar as substâncias frigorigênicas elencadas como prejudiciais à camada de ozônio pelo Protocolo de Montreal encontradas nas suas usinas termelétricas a gás, contribuindo para a tomada de decisões gerenciais quanto ao seu uso

O objetivo do trabalho é apresentar um estudo descritivo preliminar sobre a existência de substâncias prejudiciais à camada de ozônio utilizadas para o condicionamento de ar de combustão de turbinas a gás em Usinas Termelétricas a Gás Natural produtoras independentes de energia. Utiliza-se uma pesquisa de campo nas 10 maiores empresas nacionais com térmicas em operação, fazendo um levantamento da capacidade instalada de sistemas de geração de frio nas suas unidades termelétricas, bem como o tipo e a quantidade de agente refrigerante, para apontar de modo relevante alguns caminhos para solução dos desafios oriundos do uso do frio em suas plantas térmicas a gás frente ao Protocolo de Montreal assinado



em 1987. Ao mesmo tempo, busca-se contribuir para o entendimento e desenvolvimento de um tema, que é pouco explorado pela literatura acadêmica, em uma área da infraestrutura muito importante para a economia de um país.

## 2. DESENVOLVIMENTO

### 2.1. As Termelétricas a Gás Natural e o Condicionamento do Ar de Combustão de Turbinas a Gás

Conforme dados do Banco de Informações de Geração (BIG) da ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica), o sistema elétrico nacional possuía uma matriz de capacidade instalada de geração elétrica 110,48 GW no ano de 2008. Deste montante, 70,05 % eram de origem hidrelétrica, 9,59 % de origem de termelétricas a gás natural e os demais 20,36 % são produzidos por outras fontes térmicas e renováveis (inclui-se neste montante a importação). Assim, devido a esta predominância de hidrelétricas e termelétricas, o parque gerador nacional é considerado como hidrotérmico, com predominância da energia hidráulica (CARPIA et al, 2006). Deste modo, em cerca de 80% dos casos, as empresas nacionais produtoras de energia elétrica acionam os seus geradores de energia elétrica através da energia potencial existente nos reservatórios de água (transformada em energia mecânica girante através de uma máquina motriz) ou da energia química de combustíveis fósseis (transformada em energia mecânica girante através de uma máquina térmica).

As Usinas Termelétricas a Gás Natural tiveram o seu grande impulso a partir do racionamento do início dos anos 2000, conhecido vulgarmente como "apagão". Com o esgotamento dos melhores potenciais hidráulicos, culminando em um racionamento que alcançou grandes proporções (cerca de 20% de redução de consumo, entre os anos de 2001 e 2002), aliado à baixa atratividade de investimentos na expansão, o gás natural tornou-se uma alternativa importante para a necessária expansão da capacidade de geração de energia elétrica. Neste contexto, foi criado o Plano Prioritário de Termelétricas (PPT), pelo Decreto nº 3.371 de 24 de fevereiro de 2000, que se apresentava decisivo para diversificar a matriz de geração brasileira, cuja potência total deveria passar a ser 80% hidrelétrica e 20% termelétrica até 2009.

Como exemplo deste rápido desenvolvimento, pode-se citar a maior empresa de geração elétrica, a Petrobras, no ano de 2000, em seu Relatório Anual, não havia a menção de qualquer potência instalada à disposição da ANEEL. Oito anos depois, conforme o BIG (Banco de Informação de Geração - 2008) da Agência Nacional de Energia Elétrica, a Petrobrás, em um salto, já era a 8ª maior empresa geradora com capacidade instalada de 4.832,276 MW. A Tabela 1, mostra este movimento, destacando a Petrobrás como responsável por 4,7613% da capacidade de geração do país. No período de Julho de 2007 a Junho de 2008, a empresa ocupava a sexta posição em geração de energia para o Sistema Nacional, com a parcela aproximada de 8,97% do total fornecido (ANEEL, 2010). Do total da capacidade instalada, 92,93%, que correspondem a 4.148 MW, ocorria através de produção de energia elétrica por termelétricas consumindo gás natural utilizando turbinas a gás.

Tabela 1 - Os 10 Agentes de Maior Capacidade Instalada no País (Usinas em Operação).

Nº	Agentes do Setor	Potência Instalada (kW)
1º	Companhia Hidro Elétrica do São Francisco CHESF	10.615.131
2º	Furnas Centrais Elétricas S/A. FURNAS.	9.504.000
3º	Centrais Elétricas do Norte do Brasil S/A. ELETRONORTE.	9.256.933,10
4º	Companhia Energética de São Paulo CESP	7.455.300
5º	Itaipu Binacional ITAIPU	7.000.000
6º	Tractebel Energia S/A TRACTEBEL	6.965.350
7º	CEMIG Geração e Transmissão S/A CEMIG-GT	6.817.584
8º	Petróleo Brasileiro S/A PETROBRÁS	5.031.176,60
9º	Copel Geração e Transmissão S.A.COPEL-GT	4.544.914
10º	AES Tietê S/AES TIETÊ	2.645.050

Fonte: Banco de Informação de Geração – ANEEL (2008).

Uma termelétrica produz energia elétrica através de um gerador, que, de um modo geral, é acoplado a uma turbina a gás. Como a turbina a gás é uma máquina térmica que absorve o ar atmosférico como seu fluido de trabalho, seu desempenho será afetado quando a razão massa de ar que entra no compressor for diferente das condições de referência ISO de 15 °C, 60% UR e 1,013 bar (KAKARAS *et al.*, 2004). Deste modo, a eficiência térmica e mecânica das turbinas a gás dependem, dentre outros fatores, da



temperatura ambiente do ar de combustão na entrada do compressor de ar (ALHAZMY e NAJJAR, 2004). Isso porque a redução da temperatura de ar de combustão faz com que a massa específica do ar se reduza, aumentando o fluxo mássico para a entrada no compressor da turbina, proporcionando um considerável aumento de potência no eixo para o gerador. (NASCIMENTO et al, 2004). Existem diferentes meios redução da temperatura do ar de combustão, buscando ganho de potência. Jonsson e Yan (1994) estabelecem três tipos de sistemas de resfriamento de ar de combustão de turbinas: sistemas evaporativos "*evaporative media coolers*"; sistemas de neblina "*fogging systems*" e sistemas de compressão a vapor ou absorção "*mechanical vapour compression or absorption chillers*". No caso dos sistemas de compressão a vapor, os Chillers (resfriadores) diferentes dos resfriadores evaporativos, não são limitados pela temperatura de bulbo úmido (ou seja, temperatura ambiente). A temperatura desejada é limitada somente pela capacidade do dispositivo do resfriador em produzir frio e à transferência de calor pela serpentina (LORA e NASCIMENTO, 2004).

Diversos estudos já quantificaram o ganho de potência de uma turbina a gás através do resfriamento do ar de combustão, estes trabalhos são elencados, em grande parte, por ALHAZMY e NAJJAR (2004). Além disto, estes autores estudaram um ciclo Brayton de turbina a gás padrão aberto para a determinação do ganho de potência da turbina com sistema de chillers por compressão a vapor, chegando à conclusão de um incremento de 10 a 18% de potência bruta. Para as termelétricas este excedente é declarado como potência instalada, para efeito de remuneração, que se traduz em receita para a empresa geradora.

## **2.2. A Camada de Ozônio e os Hidroclorofluorcarbonos (HCFCs)**

A camada de ozônio ( $O_3$ ) é uma proteção natural contra a radiação emitida pelos raios ultravioleta solares, funcionando como um filtro bloqueador para a manutenção da vida atual em nosso planeta. Com a evolução do mundo industrializado, esta camada começou a sofrer efeitos da emissão de gases nocivos que são produto da poluição crescente. Destas diversas substâncias que a degradam, os denominados, SDOs (Substâncias Destruidoras da Camada de Ozônio), destacam-se fluidos tais como o Halon, Tetracloroeto de Carbono (CTC), Hidrofluorcarbono (HCFC), CFC (Clorofluorcarbono) e Brometo de Metila (MMA, 2010).

O uso indiscriminado dos SDOs colocou o mundo em alerta, resultando em 1985, na realização da Convenção de Viena para a Proteção da Camada de Ozônio. Em 1987, como desdobramento, foi assinado o Protocolo de Montreal sobre as Substâncias que Destroem a Camada de Ozônio, que obriga os seus participantes a trabalhar para a eliminação dos SDOs. Em 1990, foi implementado o Fundo Multilateral para Implementação do Protocolo de Montreal (FML), constituído de aportes financeiros de países industrializados, já que são os consumidores históricos dos SDOs, para auxílio a projetos em países em desenvolvimento. A partir das medidas adotadas, estima-se que, entre 2050 e 2075, a camada de ozônio sobre a Antártica retorne aos níveis que apresentava em 1980 (MMA, 2010).

O Brasil faz parte dos 193 signatários atuais do Protocolo e da Convenção e já recebe recursos do FML desde 1993 para o cumprimento de algumas metas estabelecidas, sendo o progresso das ações resumidas pela Tabela 2:

Tabela 2 - Comportamento Brasileiro das Metas de Redução do Protocolo de Montreal

SUBSTÂNCIA	METAS DE REDUÇÃO	BRASIL
CFC	2005 - 50%	Ok
	2007 - 85%	Ok
	2010 - 100%	em andamento
Brometo de Metila	2005 - 20%	Ok
	2015 - 100%	em andamento
Halon	2005 - 50%	Ok
	2010 - 100%	em andamento
CTC	2005 - 85%	Ok
	2010 - 100%	em andamento

Fonte: Secretaria de Mudanças Climáticas e Qualidade Ambiental do Ministério do Meio Ambiente (Site: [mma.gov.br](http://mma.gov.br))

Para o caso dos HCFCs, os mais conhecidos são o R-22, R-123 e o R-141b, além de outras substâncias da mesma família e suas misturas (blends). Estas substâncias foram colocadas no mercado para a substituição dos CFCs por possuírem uma capacidade 90% menor de destruir a camada de ozônio, mas ainda sacrificam a atmosfera e também contribuem para o aquecimento global (REVISTA ABRAVA, 2008). Em setembro de 2007, houve a 19ª Reunião entre as Partes do Protocolo de Montreal sobre as SDOs, onde foi acordada a decisão XIX/6, que prevê o abandono destas substâncias em



um ritmo mais rápido do que o previsto anteriormente, conforme Tabela 3. (LUDOVICE & BARROS, 2009). Segundo Soares (2009) são lançados pelos pelo Brasil cerca de 8.000 t/ano de HCFC, juntamente com HFC (hidrofluorcarbono). A continuação do uso do HCFC pode ser um desafio para o mercado, pois, atualmente, o controle de importação ocorre desde 2005, conforme Instrução Normativa nº 207, de 19 de novembro de 2008 e para o seu manuseio, deve-se atender à Resolução nº 267 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Além disto, o seu consumo será congelado no ano de 2013 e também banido mundialmente no ano de 2040 (SOARES, 2009).

Tabela 3 - Novo Cronograma das Reduções no Consumo dos HCFCs estabelecido pela Decisão XIX/6

<b>Linha de Base = Média do Consumo nos anos 2009 e 2010</b>
2013 > congelamento no valor da linha base
2015 > redução de 10% em relação à linha base
2020 > redução de 35% em relação à linha base
2025 > redução de 67,5% em relação à linha base
2030 > redução de 97,5% em relação à linha base
2040 > redução de 100% em relação à linha base

Fonte: Ludovice & Barros, 2009

Como amostra de atitude governamental brasileira existe, no momento, dentro de outras atividades, a redação do Programa Brasileiro de Eliminação dos Hidroclorofluorcarbonos (HCFCs) – PBH, que é coordenado pelo Ministério do Meio Ambiente, com a presença do Instituto Brasileiro de Meio Ambiente (IBAMA) e de outros Ministérios integrantes do PROZON (*Comitê Executivo Interministerial para Proteção da Camada de Ozônio*). LUDOVICE & BARROS (2009) estabelecem que o Programa tem como objetivo definir a forma como estes compromissos serão cumpridos no Brasil. Além disto, o Programa tem como proposta a operacionalização da ajuda financeira existente do Fundo Multilateral do Protocolo de Montreal para que as empresas potencialmente elegíveis, ou seja, que utilizam direta ou indiretamente os HCFCs, com capital totalmente ou parcialmente nacional, invistam na aquisição de tecnologias, de novos equipamentos e/ou treinamento para a transição visando abandonar o uso desta substância nos prazos previstos.





O PBH ainda não estabeleceu os parâmetros definitivos de seleção das empresas para a habilitação ao uso dos recursos do Fundo, que são transferidos a fundo perdido, mas poderão ser considerados alguns critérios, tais como o montante de recursos por tonelada de HCFC eliminada na produção (relação custo-efetividade), o momento de início de operação da empresa a partir da qual não se aceitará mais a candidatura aos recursos do Fundo e tratamento para as empresas que já se beneficiaram anteriormente com recursos do Protocolo de Montreal durante a conversão dos CFCs.

A prática atual do mercado é a substituição do HCFC por substâncias ambientalmente corretas. Deste modo, buscam-se fluidos alternativos que seriam ambientalmente corretos tais como HFCs (hidrofluorcarbonos), formiato de metila, hidrocarbonetos (HCs), amônia e o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). Já existem esforços coordenados de setores específicos. Ao que parece, a Associação Brasileira de Supermercados (ABAS) saiu na frente, ao assinar em março de 2008, o primeiro grande acordo de conhecimento da literatura, para obter a redução gradual das emissões de gases pela substituição dos HCFCs por outras fontes alternativas visando à adequação ao Protocolo de Montreal (Revista ABRAVA, 2009). Este acordo, denominado, Acordo de Cooperação Técnica, tem a participação do Ministério do Meio Ambiente (MMA) e a ABRAVA.

### **3. METODOLOGIA**

Buscando-se estabelecer as condições de contorno do estudo de caso, foi utilizada uma amostra de considerável representatividade por se tratar das 10 maiores empresas produtoras de energia elétrica do país conforme dados contidos no Balanço Energético Nacional do ano de 2008, oriundo do Ministério de Minas e Energia.

Para o levantamento de informações e dados para este estudo de caso foram utilizadas evidências empíricas, predominantemente qualitativas, obtidas a partir de trabalho de campo, através de três fontes distintas: entrevistas telefônicas (não estruturadas e semi-estruturadas), questionário via e-mail e pesquisa documental na internet. YIN (2005) sugere que uma pesquisa qualitativa, visa descrever uma situação em profundidade, buscando ilustrar e dar realismo a ela, pela maior quantidade de dados e informações coletadas



A tabela 4 indica que tipo de coleta de dados foi feito para cada uma das 10 empresas produtoras de energia com o objetivo de levantar que empresas possuíam sistemas de chillers para compressão a vapor em Termelétricas.

Para a categorização das Usinas Termelétricas a Gás Natural, foi utilizada a tipologia da Resolução nº 109 de 26 de outubro de 2004 da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). Esta resolução apresenta uma classificação pelo tipo de destino da energia: Serviço Público, Auto-Produção de Energia, Registro e Produtores Independentes de Energia. O estudo ficará restrito às que são tidas como Produtoras Independentes de Energia, ou seja, que produzem “*energia elétrica destinada ao comércio de toda ou parte da energia produzida, por sua conta e risco*”, sendo responsáveis por 8.790.194 KW dos 10.598.502 kw produzidos no ano de 2008 (Banco de Informação de Geração – ANEL, 2009), ou seja, cerca de 83% da geração elétrica produzida no nosso país.

Tabela 4 - Metodologia para Coleta de Evidências Empíricas das Empresas

<b>Agentes do Setor</b>	<b>Coleta de Evidências Empíricas</b>
Companhia Hidro Elétrica do São Francisco CHESF	Via e-mail
Furnas Centrais Elétricas S/A. FURNAS.	Via e-mail e Contato Telefônico
Centrais Elétricas do Norte do Brasil S/A. ELETRONORTE.	Via e-mail e Contato Telefônico
Companhia Energética de São Paulo CESP	Via Pesquisa Internet
Itaipu Binacional ITAIPU	Via Pesquisa Internet
Tractebel Energia S/A TRACTEBEL	Via e-mail e Contato Telefônico
CEMIG Geração e Transmissão S/A CEMIG-GT	Via e-mail e Contato Telefônico
Petróleo Brasileiro S/A PETROBRÁS	Via e-mail e Contato Telefônico
Copel Geração e Transmissão S.A.COPEL-GT	Via e-mail e Contato Telefônico
AES Tietê S/AAES TIETÊ	Via Pesquisa Internet

Fonte: Pesquisa de Campo.

#### 4. RESULTADOS ENCONTRADOS

Buscando-se a compreensão de um fenômeno, que pode estar ligado ao estudo de caso e com a proposta de obter explicações sobre a realidade existente entre a geração de energia elétrica em termelétricas a gás natural e o Protocolo de Montreal, são apresentadas a seguir, nas Tabelas 5 e

6, as evidências empíricas que foram levantadas a partir de fontes variadas do trabalho de campo. A tabela 5 mostra que apenas 20% das empresas estudadas possuem sistema de chillers. Já a tabela 6 mostra a substância utilizada pelas termelétricas e as quantidades destas substâncias nos sistemas.

Tabela 5 - Usinas Termelétricas com PIE e a Existência de Sistemas de Condicionamento de Ar de Combustível

<b>Agentes do Setor</b>	<b>Sistemas Chillers Compressão a Vapor em PIEs</b>
Companhia Hidro Elétrica do São Francisco CHESF	Não Possui
Furnas Centrais Elétricas S/A. FURNAS.	Não Possui
Centrais Elétricas do Norte do Brasil S/A. ELETRONORTE.	Sistema de Chillers
Companhia Energética de São Paulo CESP	Não Possui
Itaipu Binacional ITAIPU	Não Possui
Tractebel Energia S/A TRACTEBEL	Não Possui
CEMIG Geração e Transmissão S/A CEMIG-GT	Não Possui
Petróleo Brasileiro S/A PETROBRÁS	Sistema de Chillers
Copel Geração e Transmissão S.A.COPEL-GT	Não Possui
AES Tietê S/AAES TIETÊ	Não Possui

Fonte: Pesquisa de Campo

Tabela 6 - Características dos Sistemas de Compressão para Condicionamento de Ar de Combustão das Usinas Termelétricas – PIE.

<b>UTE</b>	<b>Proprietária</b>	<b>Localização</b>	<b>Capacidade Instalada de Refrigeração (TRs)</b>	<b>Substância</b>	<b>Quantidade de Substância no Sistema (kg)</b>
Termo Ceará	Petrobrás	Ceará	6.225	R-134 A	1.500
Juiz de Fora	Petrobrás	Minas Gerais	5.000	HCFC 123	3.600
Mário Lago	Petrobrás	Rio de Janeiro	37.500	HCFC 123	27.000
Barbosa Lima Sobrinho	Petrobrás	Rio de Janeiro	20.000	HCFC 123	14.400
Aparecida	Eletronorte	Amazonas	2.500	R-134A	1.800
Rio Madeira	Eletronorte	Amazonas	2.500	HCFC 123	1.800
- x-	- x-	TOTAL	73.725	TOTAL	50.100

Fonte: Pesquisa de Campo



## 5. ANÁLISE

Sob o aspecto de importância para o país, a Revista ABRAVA (2008), veículo impresso de divulgação da Associação Brasileira de Refrigeração, Ar Condicionado, Ventilação e Aquecimento, mostra que o mercado nacional de condicionamento de ar apresentava em 2008 uma capacidade instalada estimada de 1.600.000 TR em um mercado que teve um faturamento estimado para o ano de 2008 de R\$ 19,06 bilhões (ABRAVA, 2009) para os setores relativos à indústria, ao comércio e serviços. Também informa que, segundo o Ministério do Meio Ambiente, 40% dos HCFCs são utilizados nos supermercados e os outros 60% estão distribuídos nos setores de espuma, ar condicionado e solventes. Presume-se que os Sistemas de Condicionamento de Ar Condicionado das UTEs estariam inseridas neste contexto da indústria, ocupando um percentual significativo no percentual relacionado a ar condicionado. Assim, analisando-se as UTEs das 10 maiores empresas de geração, chega-se a um montante de 73.725 TRs, o que sugere uma participação significativa de 4,6 % de toda a capacidade instalada de condicionamento de ar nacional. Vale ressaltar que, estes 73.725 TRs são responsáveis pela produção de cerca de 260 MWh, o que representa o consumo de eletricidade de uma cidade com quase 01 milhão de habitantes.

Analisando as evidências empíricas levantadas, podemos entender que as substâncias refrigerantes utilizadas pelos 10 maiores produtores de energia elétrica nacionais para condicionamento de ar de combustão de suas turbinas são o R-134A e o HCFC 123. Isto sugere que a preocupação ao atendimento ao Protocolo pode estar limitada a apenas ao HCFC, pois é utilizado na maioria das UTEs. Por outro lado, o R-134A é uma substância com baixo efeito ambiental para a camada de ozônio, contudo tem um alto potencial de incrementar o aquecimento global, tocando no Protocolo de Kyoto. Apesar disso, seu uso é tolerado caso não exista outra substância viável (LUDOVICE & BARROS, 2009). Vale destacar que o prazo final de abandono do HCFC pode ser maior do que a vida útil do equipamento de compressão a vapor, o que pode justificar uma estratégia deliberada do não envolvimento de UTEs nos programas existentes. Isto tende a ser corroborado, como, por exemplo, pelo documento *Recomendação Técnica 02 do Grupo Técnico de Manutenção de Usina Térmicas-GTMT da Associação Brasileira de Empresas Geradoras de Energia-ABRAGE* (2005, p.57), que nada menciona sobre as SDOs, ao tentar estabelecer rotinas para equipamentos de condicionamento de ar em termelétricas quando paradas por longos



períodos. Independente disto, as grandes quantidades concentradas de SDOs nas unidades justificam a necessidade de construção e validação de procedimentos operacionais, de parada, de conservação e, principalmente, de manutenção muito bem alinhados ao Protocolo.

Dos empreendimentos elencados, três são ex-Usinas Termelétricas *Merchants* Termoceará (ex-MPX), Mário Lago (ex-Macaé Merchant) e Barbosa Lima Sobrinho (ex-Eletrobolt). São compostas apenas por turbinas a gás em ciclo aberto, ou seja, sem o projeto para o reaproveitamento dos gases provenientes da combustão para um outro tipo de utilização energética. Contudo, apresentam chillers para rápido aumento da potência de suas turbinas a gás. Tolmasquim (2005) tenta justificar este fato, ao mencionar que as Termelétricas *Merchants* possuíam a função de fornecer energia elétrica o mais breve possível, sem maiores preocupações pela eficiência.

Dentro da delimitação do estudo, sugere-se que o problema estaria restrito à esfera estatal, pois os SDOs identificados foram encontrados em empresas de controle estatal, o que pode facilitar a adesão e participação nos programas patrocinados e/ou criados pelo próprio governo.

## 6. CONCLUSÃO

As termelétricas que utilizam sistemas de compressão a vapor através de *chillers* para condicionamento de ar de combustão de suas turbinas a gás, devem estar em plena sintonia com órgãos de tecnologia e normativos que possam agregar valor ao seu trabalho. Assim, as empresas de geração têm o desafio de estarem sempre engajadas em projetos e programas governamentais, a partir de decisões gerenciais que estimulem a adequação das UTEs ao Protocolo de Montreal. Deste modo, são apresentadas algumas sugestões de engajamento das empresas, tais como:

- a. Possibilidade de contribuição das empresas termelétricas para o Comitê Redator de Normas da Área de Refrigeração e Ar Condicionado (CB55) da ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) ou mesmo liderá-lo para avaliar a abrangência dos comitês sobre questões de uso de ar condicionado e manutenção destes equipamentos em Usinas Termelétricas a Gás Natural, gerando como produto uma norma específica para o setor. Ela abrangeria a condição da usina em operação, em manutenção, na condição de “*stand by*”, parada por longos períodos e, princi-



palmente, em manutenções e desmobilização do equipamento, quando há maior risco de lançamento de HCFC na atmosfera.

- b. Surgimento de oportunidades para o desenvolvimento de soluções tecnológicas para a obtenção de alta eficiência energética e sustentabilidade empresarial. Na busca do conceito de sustentabilidade, é necessário que sejam identificados e ressaltados os aspectos que precisam ser otimizados nas UTEs, visando utilizar menos energia e buscar a ecoeficiência e a produção mais limpa através de novos projetos e execução de melhoria de performance dos equipamentos atuais (*retrofits*).
- c. Envolvimento com órgãos governamentais para processo de substituição dos gases halogenados, buscando alinhamento com as metas e orientações do Protocolo de Montreal para geração e implementação de projetos de investimentos para a cobertura dos custos de capital e de operação para a conversão de empreendimentos, utilizando os fundos de recursos multilaterais disponíveis através do Programa Brasileiro de Eliminação de Hidroclorofluorcarbonetos .
- d. Utilização de benchmarking e implementação de fóruns para a disseminação de boas práticas e do conhecimento gerado pela aprendizagem do uso e manuseio destes gases refrigerantes em parceria com associações nacionais de empresas, como, por exemplo, o capítulo nacional da ASHRAE (American Society of Heating, Air Conditioning and Refrigeration) e ABRAVA (Associação Brasileira de Ar Condicionado Ventilação e Aquecimento), representantes de fabricantes e a própria empresa geradora.

Esta pesquisa apresenta duas limitações básicas: a primeira é só relacionar SDOs envolvidas em condicionamento de ar para turbinas a gás em usinas termelétricas produtoras independentes de energia e, a segunda, não buscar informações sobre outros tipos de SDOs em outros processos da tecnologia de geração de energia elétrica, como, por exemplo, o agente SF-6, utilizado em disjuntores de alta tensão para extinção de arco elétrico e sistemas de condicionamento de ar de ambientes prediais, que podem estar utilizando um SDO relacionado no Protocolo de Montreal. Fica a proposta, deste modo, como sugestão de trabalhos futuros para aprofundamento do tema na área de energia elétrica.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRAGE-GTMT, Recomendação Técnica 02 – Conservação de Termelétricas Paradas, Dezembro, 2005.

ALHAZMY, M. M.; NAJJAR, Y. S. H. Augmentation of gas turbine performance using air coolers/ Applied Thermal Engineering 24 (2004) 415–429. Disponível em [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com). Acesso em 13/11/2009.

BANCO DE INFORMAÇÕES DE GERAÇÃO (BIG) disponível no endereço: <http://www.aneel.gov.br/area.cfm?idArea=15&idPerfil=2> Acesso em 05/12/2009.

BELLORIO, Marcos B. Aplicação de Sistemas Evaporativos no Ciclo de Turbinas a Gás. Relatório de Projeto de Graduação 2. Faculdade de Tecnologia – Engenharia Mecânica. Universidade de Brasília. Janeiro 2005.

CARPIA, Lúcio; ROSA, Pinguelli; NASSI, Carlos Modelagem do Custo de Disponibilidade das Usinas Termelétricas no Sistema Elétrico Brasileiro – Primeiro Relatório. Fundação COPPETEC – Programa de Planejamento Energético – COPPE/UFRJ. Março 2006.

FARZANEH-GORD, M.; DEYMI-DASHTEBAYAZ, M. A new approach for enhancing performance of a gas turbine (case study: Khangiran refinery) Applied Energy 86 (2009) 2750–2759. Disponível em [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com). Acesso em 13/11/2009.

HCFCs já têm substitutos. Disponível em <http://www.oeco.com.br/blog-ecocidades/106-blog-ecocidades/23679-hcfc-ja-tem-substitutos>. Acesso em 01/04/2010.

<http://www.abrava.com.br/> Acesso em 05/12/2009

<http://www.mma.gov.br/> Acesso em 02/10/2010

<http://www.protocolodemontreal.org.br/> Acesso em 02/04/2010.

JABARDO, José M. S. “Reduzir o consumo de energia é o desafio”. In: Revista da ABRVA, ed.261, p-06-07, out. 2008.

JONSSON M, YAN J. Humidified gas turbines – a review of proposed and implemented cycles. Energy 2005; 30(7): 1013–78.



KAKARAS, E; DOUKELIS, A; KARELLAS, S; Compressor intake-air cooling in gas turbine plants. *Energy* 29 (2004) 2347–2358. Disponível em [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com). Acesso em 13/11/2009.

LORA, Electo E. S. e do NASCIMENTO, Marco A. R., *Geração Termelétrica*, v. 01, Editora Interciência, Rio de Janeiro, 2004.

LUDUVICE, Magna; BARROS, Ruy G. L.; Um Novo Desafio: o abandono dos HCFCs. Artigo. In *Revista Abrava*. Edição 272. pp 122 a 123. Setembro 2009.

NASCIMENTO, MARCO A. R. DO; GOMES, Eli E. B. e VENTURINI, Osvaldo J. Capítulo 6 - Turbinas a Gás, in *Geração Termelétrica*, v. 01, Coord: LORA, Electo E. S. e do NASCIMENTO, Marco A. R., Editora Interciência, Rio de Janeiro, 2004.

NOGUEIRA, Luiz Augusto Horta. *Uso racional: a fonte energética oculta*. São Paulo, v.21, n.59, Apr. 2007. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0103](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103)>. Acesso em: 03 Dec. 2008.

ONS NT-3/219/2009 - PROGRAMA MENSAL DE OPERAÇÃO ELETROENERGÉTICA PARA O MÊS DE DEZEMBRO. Disponível em [http://www.ons.org.br/download/agentes/pmo/NT\\_3-219-2009\\_PMO.pdf](http://www.ons.org.br/download/agentes/pmo/NT_3-219-2009_PMO.pdf).

PARTICIPAÇÃO DOS AGENTES ECONÔMICOS NO MERCADO DE ENERGIA ELÉTRICA – 2º TRIMESTRE DE 2008. Disponível em <http://www.aneel.gov.br/arquivos/PDF/ParticipacaoGeracao2oTrim2008.pdf>. Acesso em 01/03/2010.

PROGRAMA BRASILEIRO DE ELIMINAÇÃO DE HCFCs – Como se candidatar ao Recebimento de Recursos pelo Fundo Multilateral. Disponível em: <http://www.protocolodemontreal.org.br/>. Acesso em 01/04/2010.

REVISTA ABRAVA. Artigo “Em evidência – Ar Condicionado – Qual a sua aposta?” Edição 259ª, pp. 30 a 34, Agosto 2008.

REVISTA ABRAVA. Artigo “Balanço Social/Perspectivas 2009” Edição 264ª, pp. 15 a 19, Janeiro 2009.

REVISTA ABRAVA. Artigo “Panorama Setorial: Acordo de Cooperação Técnica – Os Primeiros” Edição 269ª, pp. 14 e 15, Junho 2009.

SOARES, Evandro. Recomendações para o Programa de Eliminação do Consumo de HCFC no Brasil. Artigo. In *Revista Abrava*. Edição 270. pp 41 a 43. Janeiro 2009.





TOLMASQUIM, Maurício T. Geração Elétrica no Brasil (Coord.) Ed. Interciência, 2005 p.58.

YIN, R. K. Estudo de caso: planejamento e métodos 3ª Ed. Porto Alegre, 2005.