DR
230

João Vicente de Assunção

φ

**VIABILIDADE E IMPORTÂNCIA DA REDUÇÃO DA EMISSÃO DE
CLOROFLUORCARBONOS (CFCs) POR RECICLAGEM E
CONTROLE NO USO**

**Tese apresentada à Faculdade de
Saúde Pública da Universidade de São
Paulo para obtenção do grau de
Doutor em Saúde Pública.**

Orientador:

Prof. Dr. Diogo Pupo Nogueira

São Paulo

**Dedico este trabalho à
minha esposa Irene, aos
meus filhos Alexandre e
Nathália e aos meus
pais;**

AGRADECIMENTOS

O autor agradece às seguintes pessoas, entidades e empresas sem as quais este trabalho não poderia ter sido concluído:

Ao Professor Diogo Pupo Nogueira pela competência e presteza da sua orientação, pelas sugestões e pelo apoio e incentivo durante a realização da pesquisa;

Ao Professor Sérgio Colacioppo pelo apoio na visita efetuada e ao Professor José Luiz Mucci pelas informações fornecidas;

Ao Sr. Nelson Nefussi pelas discussões filosóficas durante a elaboração da tese; ao Sr. Ernesto Ronchini Lima pelo incentivo e material fornecido;

À Sra. Laura Maria Regina Tetti, pelo seu apoio quando do início desta pesquisa; aos Srs. Paulo Tetuia Hasegawa, Marcos Antônio Veiga Campos e Sérgio Luis Pompéia e à Sra. Iracy da Silva Leme Monteiro, pelo incentivo, apoio e informações fornecidas; à Sra. Toshiko Ueda Tadaka, pelo incentivo e apoio administrativo na CETESB

Ao Sr. Edson Marcus Bucci pela sua inestimável ajuda e incentivo;

Aos Srs. João Baptista Galvão Filho e Marcos Tadeu Novais dos Santos pelo incentivo e material fornecido; aos Srs. Fernando E. Rios, Sávio Capelossi Filho e Roberto Kenji Suhara pelo incentivo e pelas sugestões apresentadas;

À Hoechst, nas pessoas dos Srs. Edson Dalton Raposo e Paulo Neulander e à DuPont, nas pessoas dos Srs. Ronildo S. Machado e Paulo E. S. Vieira, pelas informações fornecidas;

Aos colegas do Departamento de Saúde Ambiental, em especial à Sra. Ana Evangelina e Srs. Rubens de Oliveira, Edmilson Sousa Santos e Sérgio Luiz Maciel Ribeiro e à Sra. Maria Emília Couy pelo apoio administrativo;

Ao Serviço de Pós-Graduação da Faculdade de Saúde Pública, pelo apoio nos quase cinco anos do programa de doutoramento, em especial à Sra. Ana Angel, Sr. Antonio Alves de Andrade e Srta. Maria Aparecida Mendes;

Ao Serviço de Biblioteca e Documentação da Faculdade de Saúde Pública pelo material bibliográfico conseguido; bibliotecárias Ângela Maria Belloni Cuenca e

Maria do Carmo Alvarez, pelo auxílio no referenciamento bibliográfico; à Sra. Elisa da Conceição Rocha pelo apoio computacional;

Ao Sr. Cícero Souza de Oliveira pela sua dedicação na execução da capa e na impressão da tese;

Ao Setor de Biblioteca da CETESB, em especial às Sras. Arlette Maria Bottesini Jorge e Sônia Terezinha Barbosa, pelo material bibliográfico fornecido;

À Sra. Neide Alcântara Sena e Silva pela execução dos desenhos; à Srta. Andréa Amarante pelo apoio na informatização da tese; às Srtas. Andréia Pérsico e Patrícia Regina de Oliveira Dória e ao Sr. Sérgio Telles, pelo apoio administrativo;

À Sra. Rosa Maria dos Santos Silva Felip, bibliotecária da ABRAVA, pelo material fornecido;

À ECP - Planejamento Ambiental pelo uso da sua infra-estrutura e à CESAT - Engenharia e Planejamento pela digitalização das figuras, em especial ao Sr. Fabrício Florêncio e Sra. Anna Veltroni;

À ABEQ - Associação Brasileira de Engenharia Química, na pessoa do Sr. Kurt F. Ruger, pela minha indicação para o Seminário sobre CFC de Caracas; à UNEP e à Environmental Protection Agency dos EUA, por possibilitarem a minha participação no Seminário sobre CFCs, em Caracas, e no Workshop da Cidade do México respectivamente, com importantes contribuições ao desenvolvimento da pesquisa;

À CETESB e à Secretaria de Meio Ambiente do Estado de São Paulo pelo apoio no levantamento de campo;

Às empresas e profissionais que forneceram informações para o levantamento efetuado;

Em especial à minha família pelo apoio, ajuda e compreensão pelas horas de convívio e de lazer que deixamos de desfrutar em prol deste trabalho.

RESUMO

Uma pesquisa de campo foi conduzida para verificar as condições reais de utilização de clorofluorcarbonos em sistemas de refrigeração e de condicionamento de ar .

A pesquisa cobriu os setores de refrigeração de supermercados, ar condicionado de edifícios e oficinas de reparação e de manutenção de geladeiras, "Freezers" e condicionadores de ar compactos e automotivos.

A região escolhida para a pesquisa está localizada no município de São Paulo, tendo uma superfície de 12,504 Km².

As seguintes conclusões principais resultaram deste estudo: Predomina o consumo do HCFC 22 nos usuários pesquisados; a reciclagem e a recuperação ocorrem em pequena escala na região estudada; os sistemas de condicionamento de ar automotivos são a fonte mais significativa de substâncias agressivas à camada de ozônio, nos usuários pesquisados; vazamentos ocorrem por práticas de serviço não adequadas; a utilização do CFC 11 para limpeza de circuitos reduz o ganho obtido em sistemas que empregam o HCFC 22; a manutenção preventiva mostrou ser eficaz tanto para reduzir o consumo de gás refrigerante, como para reduzir a substituição de peças e componentes; a reciclagem e a recuperação do gás refrigerante tem efeito positivo em relação à camada de ozônio, economiza recursos naturais, reduz o consumo de energia, os riscos ao meio ambiente e à saúde da comunidade em geral.

Finalmente, são feitas recomendações para o estabelecimento de um programa efetivo de reciclagem e recuperação de gases refrigerantes.

SUMMARY

A field study was performed for verifying the actual conditions of the use of chlorofluorocarbons in refrigeration and air conditioning systems.

The study has covered the sectors of supermarket refrigeration, building air conditioning systems, and refrigerators freezers and compact and automobile air conditioning systems repair shops.

The region chosen for this study is located in the city of Sao Paulo and it has an area of 12.504 km²

The following conclusions resulted from the study: There is a predominance of the of HCFC 22 in the systems surveyied; recycling and recuperation are used in small scale in the region of the study; in the users covered by the study, the automobile air conditioning sector is the most important source of emission of ozone depleting substances; leaks occur because of bad service practices; the use of CFC 11 for circuit cleaning decreases the the gain obtained with the use of HCFC 22; the preventive maintenance has proved to be very efficient both for reducing the consum of refrigeration gases and for reducing the consum of parts and components of the refrigeration system; recycling and recuperation of refrigeration gases have positive effects in relation to the ozone layer, it saves natural resources, and reduces the risk to the environment and to the public health.

Finally, recommendations are made for the establishment of an effective refrigerant conservation program.

ÍNDICE

	Página
RESUMO	iv
SUMMARY	v
LISTA DE TABELAS	xiii
LISTA DE FIGURAS	x
LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS	xii
 1. INTRODUÇÃO	
1.1. A Camada de Ozônio	1
1.2. Formação do Ozônio na Estratosfera	5
1.3. Redução da Camada de Ozônio	5
1.4. Efeitos da Redução da Camada de Ozônio	16
1.4.1. Efeitos à Saúde	16
1.4.2. Efeitos ao Meio Ambiente	32
 2. HISTÓRICO SÔBRE OS CLOROFLUORCARBONOS	
2.1. Origem, Tipos e Características dos CFCs	40
2.2. Produção e Usos	42
2.3. Visão Sistêmica da Produção de Clorofluorcarbonos	49
2.4. Toxicidade	55
2.5. Potencial de Redução da Camada de Ozônio e de Aquecimento da Terra.	56
2.6. Formas de Controle	57
2.7. Tendências Mundiais e Ações Internacionais	70
 3. SITUAÇÃO NO BRASIL	
3.1. Produção e Usos	79
3.2. Ações a Nível Nacional	83
3.3. Informações Sôbre Efeitos	87
 4. OBJETIVOS	90

5. METODOLOGIA

5.1. Levantamento Preliminar	91
5.2. Abrangência	91
5.3. O Ciclo de Refrigeração	95
5.4. Seleção da Amostra	98
5.5. Coleta de Dados	102

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1. Supermercados	106
6.2. Condicionadores de Ar de Edifícios	111
6.3. Serviços de Reparação e de Manutenção de Equipamentos de Refrigeração Doméstica e de Ar Condicionadores de Ar de Janela e Automotivos	118
6.4. Análise Global da Emissão de CFCs na Região Pesquisada	122⁰
6.5. Economia com a Implantação de Programa de Reciclagem	124

7. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

7.1. Conclusões	131
7.2. Recomendações	132

8. BIBLIOGRAFIA

135

ANEXO

LISTA DE TABELAS

	pág.
1. Ultra-violeta e câncer de pele na Noruega.	30
2. Incidência de melanoma maligno da pele (Casos por 100.000 habitantes).	31
3. Sensibilidade relativa de alguns vegetais ao aumento da radiação UV-B, baseada na medida de acumulação de biomassa.	33
4. Características Físicas de Alguns Halocarbonos.	43
5. Produção e emissão de CFC 11 e CFC 12, por tipo de aplicação, a nível mundial (10^3 T).	47
6. Padrão de uso dos CFCs 11 e 12 a nível mundial, em 1985, em porcentagem.	49
7. Potencial de redução da camada de ozônio (ODP) dos clorofluorcarbonos, "halons" e de algumas outras substâncias cloradas de interesse.	58
8. Evolução do consumo de clorofluorcarbonos no Brasil (toneladas).	80
9. Consumo de CFC e CFC 12, por país.	81
10. Carga e consumo de gás refrigerante e tipo de manutenção efetuada nos sistemas de refrigeração da amostra.	105
11. Resultados obtidos com a implantação de "contrato de manutenção preventiva" em uma rede de supermercados.	108

LISTA DE TABELAS (Cont.)

	pág.
12. Uso de CFCs em Sistemas de Condicionamento de Ar na Avenida Paulista.	112
13. Resumo das informações dos sistemas de condicionamento de ar da Avenida Paulista.	115
14. Resumo de informações obtidas no levantamento de serviços de reparação e de manutenção de equipamentos de condicionamento de ar de janela e automotivos e de equipamentos de refrigeração doméstica.	119
15. Emissão de clorofluorcarbonos nas empresas ou usuários pesquisados, por tipo de uso e por tipo de produto.	122
16. Emissão calculada (kg.ODP/ano) de clorofluorcarbonos nas empresas ou usuários pesquisados, por tipo de uso e por tipo de produto utilizado.	123

LISTA DE FIGURAS

	pág.
1. Variação da intensidade da radiação ultra-violeta B sobre a superfície terrestre, em função da concentração de ozônio, em Melbourne na Austrália.	2
2. Variação da concentração de ozônio (unidades Dobson), segundo a posição geográfica, na década de 60.	3
3. Perfil típico de variação da concentração de ozônio com a altitude.	4
4. Esquema de formação e de destruição natural do ozônio na atmosfera.	6
5. Variação da concentração do ozônio estratosférico na Antártica (Baía de Halley), no mês de outubro, a partir de 1956.	8
6. "Buraco" na camada de ozônio da Antártica em 5 de outubro de 1987.	9
7. Reações químicas dos clorofluorcarbonos na estratosfera.	12
8. Redução da concentração de ozônio na estratosfera, segundo a latitude, a nível mundial.	14
9. Consumo de CFCs, a Nível Mundial, segundo uso, em 1974 e 1988.	45
10. Crescimento da Produção de CFCs, segundo uso, a partir de 1960.	46

LISTA DE FIGURAS (cont.)

	pag.
11. Fluxograma de produção dos CFCs 11 e 12.	51
12. Fluxo da produção e uso de produtos químicos a partir do recurso natural.	53
13. Participação dos CFCs no Efeito Estufa.	59
14. Potencial de Redução da Camada de Ozônio (ODP) versus Potencial de Aquecimento da Terra (GWP), dos atuais CFCs (círculos) e dos seus potenciais substitutos halogenados (circunferências).	59
15. Influência da proibição do uso de CFCs em aerosóis nas vendas destes produtos, a nível mundial.	71
16. Cronograma de redução da produção de clorofluorcarbonos nos países desenvolvidos, segundo o Protocolo de Montreal, após a reunião de Londres de junho de 1990.	75
17. Esquema típico de ciclo de refrigeração por compressão mecânica de vapor utilizado em sistemas de refrigeração e condicionamento do ar.	97
18. Delimitação da área básica da pesquisa.	100

1. AEROSSÓIS: Ameaça no ar - sprays contendo CFC começam a ser banidos do mercado. Rev bras tec, set 1988.
2. AMERICAN CONFERENCE OF GOVERNMENTAL INDUSTRIAL HYGIENISTS (ACGIH). Threshold limit values for chemical substances and physical agents and biological exposure indices 1990-1991. Cincinnati, ACGIH, 1991.
3. AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS (ASHRAE). Fundamentals handbook. Atlanta, 1985. p. 16.1-8.
4. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA ELÉTRICA E ELETRÔNICA (ABINEE) Grupo Técnico Clorofluorcarbonos. Atas de reunião. São Paulo, 1990 -1992.
5. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA ELÉTRICA E ELETRÔNICA (ABINEE) Grupo Técnico Clorofluorcarbonos. Ata de reunião. São Paulo, 1991. (apêndice à Ata de Reunião no. 160/91).
6. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA QUÍMICA (ABIQUIM). Guia da indústria química brasileira 1989/1990. São Paulo, ABIQUIM, 1990.
7. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE REFRIGERAÇÃO, AR CONDICIONADO, VENTILAÇÃO E AQUECIMENTO (ABRAVA). CFC a busca de solução definitiva. Rev. Abrava, 13(112): 22-9, 1989.
8. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE REFRIGERAÇÃO, AR CONDICIONADO, VENTILAÇÃO E AQUECIMENTO (ABRAVA). Entidade aprova parecer sobre CFCs e anuncia pesquisas. Rev. Abrava, 14 (118): 20-2, 1990.

HCFC - Hidroclorofluorcarbono

HFC - Hidrofluorcarbono

IBAMA - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis

MCM - Melanoma cutâneo maligno

NASA - National Air Space Administration (EUA)

NIOSH - National Institute for Occupational Safety and Health (EUA)

NSW - New South Wales

ODP - Potencial de Redução da Camada de Ozônio

R - Fluido Refrigerante (R11 = CFC11; R12 = CFC12;
R22 = HCFC22)

TLV - Threshold Limit Value da ACGIH

UNEP - United Nations Environment Programme

UV - Radiação ultra-violeta

UV-B - Radiação ultra-violeta na faixa B

UV-C - Radiação ultra-violeta na faixa C

1. INTRODUÇÃO

1.1. A CAMADA DE OZÔNIO

Nos últimos anos o problema da redução da camada de ozônio da estratosfera vem preocupando a comunidade científica, pelos seus efeitos à saúde pública e ao meio ambiente em geral, e também pelas incertezas quanto aos possíveis efeitos a longo prazo.^{12, 58}

O ozônio (O_3) da estratosfera exerce função importante de filtragem dos raios ultra-violetas na faixa de 280 a 320 nanômetros, do espectro eletro-magnético, faixa essa conhecida como UV-B⁸⁷. A UV-C é mais danosa ao ser humano mas é totalmente absorvida na sua passagem pela atmosfera⁶⁸.

A redução da concentração de ozônio na atmosfera provoca menor absorção dos raios ultra-violetas da faixa B e conseqüentemente uma maior incidência dos mesmos na superfície terrestre. A relação entre a concentração de ozônio e a intensidade da radiação UV-B sobre a Terra está exemplificada na figura 1.

A concentração desta substância na atmosfera varia na vertical e em relação à posição geográfica (figura 2), sendo a variação mais pronunciada em relação ao perfil vertical (figura 3). Em geral a altitude de máxima concentração é de aproximadamente 17 km nos polos, no inverno, e de 25 km sobre o equador. No verão a concentração máxima sobre os polos está a aproximadamente 22 km de altitude.⁸²

O termo "Camada de Ozônio" significa a camada da atmosfera com maior concentração de ozônio (O_3). Esta camada situa-se na estratosfera, numa faixa de aproximadamente 10 km a 50 km de altitude⁷³, com maior concentração entre 20 km e 25 km de altitude⁷⁴.

FIGURA 1. Variação da intensidade da radiação ultra-violeta B sobre a superfície terrestre, em função da concentração de ozônio, em Melbourne na Austrália.
 Fonte: SCIENTIFIC assessment of ozone depletion⁷⁴

- Medidor tipo Dobson
- Outros tipos de medidores

FIGURA 2. Variação da concentração de ozônio (unidades Dobson), segundo a posição geográfica, na década de 60. Fonte: USA. Council of Environmental Quality.⁸²

FIGURA 3. Perfil típico de variação da concentração de ozônio com a altitude.
Fonte: SCIENTIFIC assessment of ozone depletion⁷⁴

1.2. FORMAÇÃO DO OZÔNIO NA ESTRATOSFERA

Uma molécula de ozônio é produzida na atmosfera quando a radiação ultra-violeta atinge uma molécula de oxigênio (O_2). Um fóton quebra uma molécula de oxigênio em dois átomos de oxigênio altamente reativos (O'), os quais se combinam rapidamente com outras moléculas de oxigênio, formando ozônio (O_3). O ozônio, ao absorver luz ultra-violeta, dissocia-se nos seus componentes (O_2 e O'); o átomo de oxigênio junta-se com outra molécula de oxigênio formando novamente o ozônio. A dissociação e formação prossegue até que a molécula de ozônio colide com um átomo de oxigênio, dando origem a duas moléculas de oxigênio⁷⁷. Em condições de equilíbrio a formação de ozônio será igual à taxa de remoção⁶¹. A figura 4 mostra o esquema de formação e de destruição natural do ozônio.

A medida da espessura da camada de ozônio é expressa em unidades Dobson. 1 Dobson corresponde a 1 centésimo de milímetro de camada de ozônio nas condições normais de temperatura e pressão.⁷⁷

1.3. REDUÇÃO DA CAMADA DE OZÔNIO

Em 1985 cientistas atmosféricos britânicos da "British Antarctic Survey" publicaram uma descoberta não esperada: as suas medições, na Baía de Halley, indicaram que a concentração de ozônio naquela região tinha sido reduzida em mais de 40%, entre 1977 e 1984, na época da primavera austral. As concentrações tinham caído de um valor normal de 300 Dobsons, no início da década de 70, para cerca de 180 Dobsons em 1984.⁷⁷

Outros grupos logo verificaram que a área da redução

FIGURA 4. Esquema de formação e de destruição natural do ozônio na atmosfera.
Fonte: STOLARSKI, R.S.⁷⁷

era maior que o continente Antártico, estendendo-se grosseiramente de 12 a 24 km de altitude.⁷⁷

A figura 5 mostra a concentração de ozônio da estratosfera na Baía de Halley, na Antártica, no mês de outubro, a partir de 1956.

Essa grande redução na camada de ozônio na Antártica ficou conhecida como "O Grande Buraco de Ozônio"⁸⁵. A figura 6 mostra a variação da concentração de ozônio na região do polo sul.

No início da década de 70, o químico inglês, James E. Lovelock⁴⁷, realizando medições de compostos de flúor mais estáveis na atmosfera, como indicadores da movimentação de massas de ar, verificou que um de seus aparelhos instalados na Irlanda (51°40'N, 09°45'W), em posição considerada representativa de condições de concentrações de fundo (concentrações de "background") para o hemisfério norte, registrou concentrações significativas de CCl_3F (CFC 11) e SF_6 (hexafluoreto de enxôfre), compostos de origem artificial, mesmo para ventos oriundos de regiões sem fontes de emissão desses compostos.

Teve participação importante nesta descoberta a invenção, por Lovelock, do detetor de captura de elétrons para cromatografia gasosa, que permitiu a detecção de substâncias a nível de partes por trilhão (ppt), concentrações em que se encontram os clorofluorcarbonos na atmosfera.⁶⁰

Dois compostos de cloro e fluor, o CCl_3F e o CCl_2F_2 (CFC 11 e CFC 12), tem sido detectados na estratosfera em concentrações da ordem de 10 e 6 partes por 10^{11} por volume, respectivamente, correspondendo à produção industrial integrada destes compostos até à data de detecção.⁴⁷

- Medidor Dobson localizado no solo.
- Medição através de satélite (Nimbus-7 TOMS)

FIGURA 5. Variação da concentração do ozônio estratosférico na Antártica (Baía de Halley), no mês de outubro, a partir de 1956. Fonte: STOLARSKI, R.S.⁷⁷

Unidades Dobson

FIGURA 6. "Buraco" na camada de ozônio da Antártica em 5 de outubro de 1987.

Fonte: STOLARSKI, R.S.⁷⁷

Em 1974, MOLINA & ROWLAND⁵⁸, pesquisadores do Departamento de Química da Universidade da Califórnia, em Irvine, apresentaram a teoria da destruição da camada de ozônio da estratosfera pelos clorofluorcarbonos. Segundo essa teoria, os CFCs permanecem na atmosfera por longo período, 40 a 150 anos, sendo que as concentrações poderiam atingir valores de até 30 vezes a concentração naquela época, tendo em vista que as emissões estavam crescendo a uma taxa constante. Ao ascender à estratosfera o cloro presente na molécula do CFC se liberaria e reagiria com o ozônio, de forma catalítica, ou seja, não se modificaria no processo. Cada átomo de cloro poderia destruir cerca de 100.000 moléculas de ozônio antes de ficar inativo, retornando eventualmente à troposfera, onde a precipitação e outros processos o removeriam da atmosfera.

Segundo STOLARSKI⁷⁷, um átomo de cloro (Cl), ao colidir com uma molécula de ozônio (O_3), retira deste um átomo de oxigênio (O), formando o radical monóxido de cloro ($ClO^{\cdot}$), que é uma molécula com número ímpar de elétrons e muito reativa. Quando este radical encontra um átomo de oxigênio, um importante passo na reação catalítica, há uma excitação do oxigênio presente na molécula de ClO e sua subsequente liberação, formando uma molécula de oxigênio (O_2). O cloro "abandonado" está livre então para um novo ciclo de destruição. Ocorrem outras reações paralelas, em médias latitudes, como por exemplo a reação do monóxido de cloro com NO , produzindo NO_2 e um átomo de cloro. Quando o NO_2 absorve luz visível, este libera um átomo de oxigênio que fica disponível para reagir com uma molécula de oxigênio e regenerar o ozônio. Esta reação também ocorre no "smog" fotoquímico, dando origem ao ozônio troposférico. Uma outra importante reação é aquela em que o átomo de cloro ou o radical ClO combina com outra molécula para formar um produto estável, que temporariamente age como "reservatório de cloro". Dois importantes "reservatórios" são o nitrato de

cloro (ClONO_2), formado na união do ClO e NO_2 , e o cloreto de hidrogênio (ácido clorídrico - HCl), formado na união do cloro com metano (CH_4). Eventualmente esses reservatórios recebem um fóton de energia ou reagem com outras substâncias, quebram a molécula e liberam o cloro para destruição da camada de ozônio. Estas reações estão esquematizadas na figura 7.

As seguintes características climatológicas da Antártica são importantes para explicar o processo da grande redução da camada de ozônio, que ocorre nos meses de setembro e outubro:⁶⁸

a) A dinâmica atmosférica naquela região origina correntes de ar circulares (vórtice polar), que encerra a massa gasosa onde o ozônio se degrada;

b) Naquela região ocorrem as temperaturas mais baixas do planeta e se formam nuvens estratosféricas polares (NEP), pelo processo de condensação de gases atmosféricos, a cerca de 15 a 20 km de altitude, justamente a região onde é mais intensa a interação química de destruição do ozônio.

As reações gás-gás são lentas pela distância entre as moléculas mas, quando se forma o núcleo estratosférico polar, se produz uma aproximação molecular entre os gases que se solidificaram, passando então para o campo da química de sistemas heterogêneos (gás-sólido), com altas velocidades de reação. Quando isso ocorre dentro do vórtice, a degradação do ozônio é vertiginosa.⁶⁸

Conforme STOLARSKI⁷⁷, "o suporte para uma explicação química não elimina a possibilidade de que processos naturais, como as alterações da dinâmica atmosférica, sejam também importantes para o processo de redução da camada de ozônio. Os processos dinâmicos não destroem o ozônio; eles

FIGURA 7. Reações químicas dos clorofluorcarbonos na estratosfera.
Fonte: STOLARSKI, R.S.⁷⁷

simplesmente o redistribui".

Uma ação natural que tem demonstrado ter efeito sobre a camada de ozônio são os vulcões, como foi o caso da erupção do El Chichon no México em 1983¹³. A recente erupção do vulcão Pinatubo nas Filipinas ocasionou uma carga de aerossóis muito maior que a do vulcão El Chichon e que é esperada persistir por muitos anos.

Os aerossóis produzidos pelos vulcões, principalmente na forma de sulfatos, promovem reações químicas na estratosfera na forma de processos heterogêneos sólido-gás, onde a área superficial efetiva do aerossol é muito importante.

Uma modelagem do impacto da erupção do vulcão Pinatubo concluiu por uma diminuição na camada de ozônio de 3% a 12% nas latitudes norte entre 30°N e 60°N⁷⁴.

MOLION(*), cientista do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), considera a ação natural mais importante do que a dos clorofluorcarbonos.

Informação recente, baseada nas medições da NASA - "National Aeronautics and Space Administration", dos EUA, mostra que o buraco na camada de ozônio na Antártica triplicou em 1992, em relação a 1985.⁶¹

No entanto, a diminuição da camada de ozônio não está ocorrendo somente na Antártica. Há uma redução a nível global, exceto nas proximidades do equador, conforme mostrado na figura 8.

(*)MOLION, L.C.B. Informação pessoal, 1992.

FIGURA 8. Redução da concentração de ozônio na estratosfera, segundo a latitude, a nível mundial. Fonte: GERMAN BUNDESTAG²⁸

Na América do Sul, de dezembro a março, a redução começa a ser observada a partir da latitude 18°S , sendo que entre 18°S e 30°S , correspondente ao extremo sul do Brasil, Bolívia e Paraguai, a redução é de 1% a 2%. No período de maio a setembro a redução atinge uma área maior da América do Sul, indo até o paralelo 8°S , atingindo portanto maior área do território brasileiro.⁶⁹

Recente verificação da NASA (fim de 1991, começo de 1992) mostrou que a concentração de monóxido de cloro é alta também no hemisfério norte. Estudos anteriores mostravam que os níveis de ozônio haviam decrescido de 4% a 8% naquele hemisfério, durante a década de 80. Os dados atuais implicam que a camada de ozônio, sobre o hemisfério norte, acima da latitude 50°N , incluindo parte dos EUA, Canadá, Europa e Rússia, poderia ser reduzida temporariamente no fim do inverno e no início da primavera, em mais de 40%. Isso poderia ser tão ruim quanto ou pior que a redução de 50% sobre a Antártica, face à maior densidade populacional naquelas regiões.⁴⁵

De outubro de 1978 a outubro de 1985 os dados do "Solar Backscatter Ultraviolet" (SBUV), normalizados para os dados do medidor Dobson, indicaram uma diminuição de 2,5% entre 53°N e 53°S , ou 0,35% por ano.³⁶

Em 1988 o "Ozone Trends Panel" analisou 17 anos de medidas de ozônio, feitas do solo, e concluiu que a redução da camada de ozônio, em médias latitudes norte (aproximadamente entre Seattle e New Orleans), era de 1% a 3% por década.³⁶

Novas medidas feitas por satélite da NASA, através do TOMS - Espectrômetro de Mapeamento de Ozônio Total ("Total Ozone Mapping Spectrometer"), e anunciadas pela Agência de Proteção Ambiental dos EUA, indicaram perdas de ozônio

estratosférico de 4% a 5% por década, nesta região. A redução a nível mundial é de 2,3% por década.³⁷

1.4. EFEITOS DA REDUÇÃO DA CAMADA DE OZÔNIO

1.4.1. EFEITOS À SAÚDE

Já é um fato conhecido e comprovado que a poluição do ar apresenta sérios riscos à saúde pública. Episódios agudos de poluição do ar ocorridos em várias partes do mundo ceifaram a vida de milhares de pessoas. A poluição do ar crônica tem aumentado a morbidade, principalmente nos grandes centros urbanos. Isso é mostrado numa extensa revisão e análise histórica do problema da poluição do ar realizado por NOGUEIRA⁶⁶, que assinala que "foi a partir da Revolução Industrial que a vida do homem nas grandes cidades foi profundamente afetada".

Recentemente a poluição do ar pela ação antrópica passou também a apresentar sério risco à saúde da população e ao meio ambiente, não pela sua ação direta, mas sim por uma ação indireta, através da alteração da camada de ozônio.

A redução da camada de ozônio tem como efeitos prováveis, em relação à saúde pública, a maior incidência de doenças da pele (queimaduras e câncer de pele); envelhecimento precoce da pele pela sua degeneração elástica; redução da camada de gordura com aumento de infecções fúngicas e bacterianas; aumento da incidência de cataratas; alterações do sistema imunológico.¹²

O ozônio presente na troposfera, formado principalmente pela reação fotoquímica entre hidrocarbonetos e óxidos de nitrogênio ("smog" fotoquímico), originários principalmente de veículos, como ocorre na cidade de São Paulo, tem efeito maléfico ao ser humano, principalmente na parte

respiratória. Na estratosfera este mesmo ozônio é um filtro protetor da terra, reduzindo a passagem de radiações ultra-violetas.¹²

Segundo o Painel de Efeitos Ambientais da UNEP⁸⁰ a radiação ultra-violeta biologicamente ativa, no hemisfério norte, medida em termos de danos ao ácido desoxirribonucleico (DNA), tem aumentado em cerca de 5% por década a 30°N e em cerca de 10% por década na região polar. No hemisfério sul o aumento tem sido de 5% por década, a 30°S, 15% a 55°S e 40% a 85°S. Na região equatorial (entre 30°N e 30°S) não tem sido observada tendência estatisticamente significativa.

É importante notar que o hemisfério sul, pelos dados acima, tem uma situação mais crítica do que o hemisfério norte, principalmente nas altas latitudes.

Segundo KIRCHOFF³⁸, os países equatoriais não estão imunes ao aumento da radiação ultra-violeta que atinge à superfície terrestre. Mesmo que a redução da camada de ozônio seja menor na região equatorial, como é esperado, ainda assim o efeito seria grande, pois a atenuação de fótons UV-B é menor nas latitudes menores.

Medições feitas por BRUNTHALER & AMBACH¹³, nos alpes suíços, mostram que, no período de 1981 a 1989, houve uma tendência de aumento da radiação ultra-violeta incidente naquela região.

CÂNCER DE PELE

Um dos mais definidos efeitos resultantes da redução da camada de ozônio é o aumento na frequência esperada de câncer de pele, como resultado, mesmo de pequenas doses, de raios UV-B que atingem a superfície terrestre.^{40, 84}

A maioria dos carcinomas cutâneos baso-celulares e espinho-celulares ocorre nas partes fortemente expostas ao sol, em povos de origem caucasiana com pele clara, e a taxa de incidência dos mesmos aumenta com a idade. Essas observações sugerem que a exposição cumulativa ao sol durante toda a vida é responsável ou pelo menos exerce uma função importante na indução desses tumores.⁴⁰

A incidência de carcinomas cutâneos, entre pessoas de pele clara, é maior em países de maior insolação. Isto confirma a impressão de que a adaptação da pele não é suficiente para enfrentar a indução de carcinomas de pele pela UV. O mesmo se aplica em relação ao envelhecimento da pele, que também parece acontecer mais rápido em locais de maior insolação.⁸⁴

Segundo URBACH⁸³, a distribuição geográfica sugere uma relação com a exposição acumulativa ao sol, durante toda a vida.

"O aumento da incidência de carcinomas de pele, observado nas últimas décadas, pode não ser devido à redução recente ocorrida na camada de ozônio, uma vez que a redução significativa observada ocorreu nas últimas duas décadas, o que não seria suficiente para ocasionar um impacto significativo na incidência de cancer de pele, já que este leva várias décadas para se desenvolver. No entanto, se a redução da camada de ozônio continuar a ocorrer no futuro, o aumento na incidência de câncer de pele estará acima do aumento já verificado nas últimas décadas".⁴⁸

O aumento da longevidade da população e mudanças no estilo do vestuário e nos hábitos recreacionais tem ocasionado aumento na exposição aos raios solares. Outros fatores ainda não identificados, como substâncias químicas

presentes no ambiente, tem sido considerados também como importantes possíveis contribuintes para o aumento da incidência de cancer de pele.⁴⁰

"O aumento do câncer de pele durante as últimas décadas nos EUA é, provavelmente, parte devido ao aumento da exposição natural e artificial ao UV-B e parte devido ao aumento da longevidade, propiciando o aparecimento dos carcinomas de pele de longa latência (várias décadas). Há uma evidência extensiva de que a incidência de carcinomas basais e espino-celulares aumentará se a redução da camada de ozônio continuar. A incidência de tumores é proporcional à dose recebida regularmente e ao período em que a dose ocorre (frequentemente correspondente à idade). Não há evidência de qualquer limiar".⁸⁷

A população de pele clara seria a mais atingida, com 45.000 novos casos por ano de câncer não melanômico, a nível de população mundial, para uma redução de 1% na camada de ozônio e 240.000 novos casos anualmente, para uma redução de 5% na camada de ozônio.⁸⁴

Pesquisas sobre incidência de carcinomas da pele nos EUA indicam que estes tem aumentado dramaticamente nas últimas décadas, tendo sido estimado que mais de 400.000 novos casos de câncer são diagnosticados anualmente, naquele país.⁴⁰

Os carcinomas não-melanômicos, se detectados no início, tem uma taxa de cura alta. A taxa de mortalidade é da ordem de 1% e redução na exposição pode ajudar a reduzir o aumento da incidência de câncer devido à redução da camada de ozônio.⁸⁷

O ozônio está diminuindo 2,3% por década, globalmente. A Agência de Proteção Ambiental dos EUA (EPA) estima que uma redução dessa magnitude poderia causar 200.000 mortes

adicionais por câncer de pele, nos próximos 50 anos.³⁷

É estimado que a incidência anual de câncer não-melanocítico nos EUA atingiu 500.000 casos, enquanto o de melanoma atingiu 27.000 casos.⁸³

MELANOMAS

Os melanomas são carcinomas do sistema celular pigmentoso. Eles são menos frequentes, mas são muito mais perigosos. Existem indicações de que a radiação solar exerce um importante papel no desenvolvimento de melanomas, mas pouco é conhecido quanto à forma de atuação da luz solar. Não existe experimentação animal no qual os melanomas tenham sido induzidos por UV.⁸⁴

Segundo DE GRUIJL²⁴ existe suspeita de que a UV exerce um papel importante na etiologia do melanoma cutâneo, um câncer de pele com mortalidade muito maior que os outros tipos de carcinomas de pele.

Nos EUA, a incidência de melanoma aumenta com a proximidade ao equador. Tendo em vista que a radiação ultravioleta é o principal fator ambiental conhecido a exibir tal gradiente com a latitude, é de se presumir que a mesma seja responsável pelas diferenças geográficas na incidência de melanoma cutâneo.⁴⁰

"A possível influência na incidência de melanomas é uma das mais importantes questões com respeito ao efeito da redução da camada de ozônio na saúde humana. Devido à falta de conhecimento, a resposta é ainda altamente incerta. Para alguns efeitos como os carcinomas de pele, os cientistas estão suficientemente confiantes nas estimativas quantitativas. Para outras influências, eles preferem respostas qualitativas e verbais".⁸⁴

" A relação com a UV não é tão clara como para os outros tipos de carcinomas de pele. Por exemplo: os melanomas de pele ocorrem em locais não regularmente expostos ao sol, e também não ocorrem predominantemente em trabalhadores externos. Usar o gradiente latitudinal na incidência de melanomas, e o correspondente gradiente na dose de UV anual, para quantificar o possível efeito da redução da camada de ozônio na ocorrência de melanomas, é ainda um exercício conjectural. O que resulta deste exercício é que 10% de redução na camada de ozônio resultaria num aumento de incidência de melanomas entre 5% e 20%, na população branca dos EUA".²⁴

Estudos realizados no laboratório do Departamento de Imunologia da Universidade do Texas, usando camundongos, para indução de melanomas sugere que a UV-B pode contribuir tanto para a indução como para o subsequente crescimento de melanomas cutâneos.⁴⁰

Existe a hipótese de que a UV-B contribua para a indução de câncer de pele por meio de seus efeitos ao sistema imunológico, em adição aos seus efeitos cancerígenos diretos. Esta hipótese é particularmente importante no caso de melanoma cutâneo, pois isto poderia explicar como a UV-B contribui para o desenvolvimento de melanomas em locais do corpo não expostos à radiação.⁴⁰

Cálculos predizem que a redução de 1% na concentração de ozônio ocasionaria uma incidência correspondente de melanoma cutâneo entre 1% e 1,5%.⁴⁰

"A falta, até recentemente, de modelos em animais experimentais tem impedido o progresso na questão. Entretanto, o UV-B aumentou a incidência de melanoma em dois animais e notou-se que um crescimento maior ocorre quando

êste é transplantado para a pele de animais irradiados com UV, sugerindo que esta radiação poderia ser não só o iniciador de melanomas, mas teria também efeitos de promoção de tumores deste tipo".⁴⁰

"A incidência de melanoma tem aumentado nos EUA. Este aumento foi de 83% nos últimos 7 anos. Enquanto o câncer basal e o câncer espino-celular parecem aumentar com a exposição total a UV, o melanoma estaria associado com a exposição aguda, como no caso de queimaduras de sol severas."⁴³

"A Agência de Proteção Ambiental dos EUA (EPA) estima que a redução na camada de ozônio conduzirá a um adicional de 31.000 a 126.000 novos casos de melanoma entre os brancos nascidos antes de 2.075 e um adicional de 7.000 a 30.000 mortes entre os mesmos."⁴³

A EPA considera prudente incluir o melanoma de pele entre os efeitos potenciais à saúde, pela redução da camada de ozônio.⁸⁷

Embora a maioria dos tipos de cancer de pele sejam curáveis, um tipo, o melanoma, é mais perigoso e afeta pessoas de todas as raças. Estima-se que 6000 norte-americanos morreram de melanoma em 1988, e este número é esperado crescer. O melanoma tem sido relacionado com borbulhas formadas por queimaduras solares, e tem uma relação forte com com fatores genéticos, viroses, e exposição a produtos químicos cancerígenos.²⁷

Os melanomas cutâneos malignos tem aumentado nos EUA a uma taxa de 4% ao ano. Em 1987 foi estimado que haveriam 25.800 casos e 5.800 mortes por melanoma cutâneo maligno nos EUA. A causa exata não é conhecida, mas há evidências que sugerem que o aumento da exposição ao UV-B do sol é

parcialmente responsável.⁴⁶

Relações empíricas derivadas do nível de UV-B e incidência e mortalidade por melanoma cutâneo maligno (MCM) resultaram em aumentos de 1% a 2% na incidência e de 0,8% a 1,5% na mortalidade por este tipo de câncer.⁴⁶

Se a atual tendência persistir, o risco durante toda a vida de adquirir MCM, para indivíduos nascidos nos EUA, no ano 2000 será de 1 em 150. Isto sem redução significativa da camada de ozônio.⁴⁶

Segundo ainda LONGSTRETH⁴⁶, após controle de outras variáveis que poderiam também ocasionar o aparecimento de melanomas, cada 1% de aumento na UV-B está associado com o aumento de menos de 1% na incidência de melanoma cutâneo.

ALTERAÇÃO NO SISTEMA IMUNOLÓGICO

O mais recente efeito fisiológico descoberto em relação à UV-B é a sua habilidade de modificar a função imunológica. Tais mudanças podem ocorrer localmente na região irradiada, ou sistemicamente em locais distantes da área exposta.⁴⁰

"Estudos experimentais em animais mostraram que, após irradiação de UV, células de Langerhans não eram mais capazes de apresentar antígenos para proteger linfócitos T. Quando um alergênico de contato é aplicado à pele irradiada com UV, ela não apresenta alergia de contato e, ao invés disso, induz supressores linfócitos que previne uma resposta alérgica subsequente ao mesmo antígeno. Tendo em vista que os linfócitos supressores circulam por todo o corpo, o que começa por um efeito localizado é transmitido à supressão de imunidade sistêmica por todo o corpo e por toda a vida".⁴⁰

"Em adição aos seus efeitos diretos em células

imunológicas da pele, exposição de animais de laboratório a UV pode também suprimir certas respostas imunológicas em locais distantes do irradiado. O câncer de pele induzido por UV-B é capaz de se formar em camundongos irradiados por UV-B, porque estes animais tem linfócitos supressores que previnem especificamente a rejeição desses tumores".⁴⁰

Embora exista pouca informação sobre os efeitos da UV-B no sistema imunológico de humanos, vários estudos indicam que mudanças imunológicas ocorrem em pessoas expostas a fontes naturais e artificiais de UV.⁴⁰

"A questão mais urgente que suscitam os estudos sobre efeitos imunológicos é se o aumento da UV-B aumentaria a incidência e a severidade de doenças infecciosas por meio dos seus efeitos no sistema imunológico. Nenhuma informação está disponível em relação a esta questão em humanos, sendo que a investigação dos efeitos da UV-B sobre doenças infecciosas em animais só está começando".⁴⁰

"A radiação UV-B parece modificar a função imunológica em camundongos irradiados em diferentes formas, tanto localmente, no ponto de irradiação, como sistemicamente".⁸⁷

A supressão sistêmica da função imunológica tem sido demonstrada: a) ocorrer em diversas espécies de animais; b) aumentar com o aumento da dose de UV-B; e c) persistir além do período inicial de exposição.⁸⁷

Dois estudos de agentes infecciosos mostraram que a UV-B resultou em supressão da resposta imunológica em camundongos para herpes simples, que durou por muitos meses e que camundongos irradiados com UV-B e infectados com leishmania não exibiu as respostas imunológicas de hipersensibilidade retardada que eram exibidos em camundongos não irradiados.⁸⁷

Entretanto, não existe evidência suficiente para uma estimativa quantitativa da dependência do potencial aumento na incidência de tipos específicos de doença infecciosa, no ser humano, devido à redução da camada de O₃.⁸⁷

A redução do sistema imunológico pela UV-B tem especial importância onde as condições sanitárias são inadequadas e as doenças infecciosas são prevalentes.⁴³

CATARATAS

O olho humano não tem a adaptação ao UV como a pele tem. Qualquer problema causado pelo UV-B aos olhos aumentará com a redução da camada de ozônio.⁸⁴

Há evidências de que a UV-B aumenta a formação de cataratas e que 1% de redução na camada O₃ aumentaria a prevalência de catarata entre 0,25 a 0,6%, significando 24.000 a 57.000 casos a mais nos EUA, por ano, no atual nível de população.⁸⁷

O aumento da incidência de catarata seria o mais difundido efeito à saúde pois afetaria toda a população. A EPA estimou o adicional de 550.000 a 2,8 milhões de novos casos de catarata para as pessoas nascidas até 2.075, devido à redução da camada de ozônio.⁴³

EFEITOS NA SÍNTESE DA VITAMINA D

A exposição da pele a UV-B causa a formação da Vitamina D₃. Tem sido sugerido que alguns segmentos da população que sofrem de deficiências de vitamina D, por exemplo: crianças de pele escura, nas cidades do hemisfério norte; crianças em família com dieta macrobióticas estritas; pessoas idosas que vivem mais em ambiente interno, e especialmente crianças, poderiam se beneficiar de um aumento de UV-B. Excesso de

produção de vitamina D₃ em outros grupos não seria esperado uma vez que a sua formação é auto-limitante.⁸⁷

FATOR DE AMPLIFICAÇÃO

Um aumento maior do que a resposta linear pode ser predito devido a vários fatores, incluindo a amplificação ótica e biológica.

O fator de amplificação ótica para o espectro de ação próximo de 300 nm é aproximadamente 2, ou seja, para 1% de redução na camada de ozônio, a quantidade de radiação efetiva aumentará em 2% aproximadamente. Para o carcinoma basal a incidência é proporcional ao fator 2 da irradiância efetiva, aproximadamente, e a incidência de carcinomas espino-celulares é proporcional ao fator 3 da irradiância efetiva. Isto tem como consequência que um aumento de 1% na irradiância efetiva levará, a longo prazo, ao aumento da incidência de carcinomas basais em 2% e de carcinomas espino-celulares em 3%. Os fatores de amplificação biológica são 2 e 3 respectivamente.⁸⁴

Se os fatores de amplificação ótica e biológica forem considerados em conjunto, para cada 1% de redução na camada de ozônio significará um aumento de 2% na irradiância efetiva, levando ao aumento da incidência de carcinoma basal em 4% e de carcinoma espino-celular em 6%.⁸⁴

Se considerados alguns cenários que são presentemente apresentados como realísticos, decréscimo de 5% na camada de ozônio é esperado depois de várias décadas. Com o fator de amplificação 2, isto levaria ao aumento de carcinomas basais em cerca de 22%, e em cerca de 34% os carcinomas espino-celulares. Para a população branca, a nível mundial, isto poderia levar a 360.000 novos casos de carcinomas de pele, por ano.⁸⁴

Com base em um espectro de ação determinado recentemente para carcinogênese da UV em camundongos, pode ser calculado, usando ambos os fatores de amplificação, que:

a) Com 1% de diminuição na camada de ozônio.

- a radiação UV-B efetiva aumentará aproximadamente 1,6%;
- a incidência de câncer baso-celular aumentará em aproximadamente 2,7%;
- a incidência de câncer espino-celular aumentará em aproximadamente 4,6%;
- A incidência global de câncer não-melanômico aumentará em aproximadamente 3%.

b) Com 5% de diminuição na camada de ozônio.

- A incidência de cancer basal aumentará em aproximadamente 14%;
- A incidência de câncer espino-celular aumentará em cerca de 25%;
- A incidência global de câncer cutaneo não-melanômico será de aproximadamente 16%.

EXACERBAÇÃO DA FORMAÇÃO DO SMOG FOTOQUÍMICO E SEUS EFEITOS.

Com o aumento da radiação UV-B é esperado aumentar a formação do ozônio troposférico e de aerossóis ácidos, estes devido ao aumento da concentração de peróxido de hidrogênio na superfície. Os efeitos à saúde associados ao ozônio troposférico e aos aerossóis ácidos são esperados ocorrerem com maior frequência e severidade .⁸⁷

No entanto a presença de ozônio e de partículas de sulfato, na baixa atmosfera de grandes centros urbanos e

industriais, atua no sentido inverso ou seja, reduzem a incidência de UV-B na superfície da Terra nesses locais. O Painel de Efeitos Ambientais da UNEP considera que pode ter ocorrido uma redução da incidência de UV-B entre 3% e 10%, face à presença de ozônio troposférico, e entre 6% e 18% devido à presença de partículas de sulfato, em algumas localidades.⁸⁰

VARIAÇÃO GEOGRÁFICA

Na Nova Zelândia ocorrem altas taxas de incidência de melanomas. A taxa anual, padronizada por idade, no período de 1978-1982 foi de 156 por milhão de habitantes, para homens e 214 por milhão de habitantes, para mulheres comparadas às taxas médias de 25 e 43 por milhão de habitantes, em várias partes do Reino Unido, de onde a maioria dos grupos da Nova Zelândia provém. Na base da associação geral entre incidências de melanoma e latitude no hemisfério norte, taxas de 36 e 60 por milhão de habitantes, seriam esperadas para a latitude norte equivalente àquela da Nova Zelândia. O excesso verificado está provavelmente relacionado com os 13% extras de UV, devido ao efeito do hemisfério sul, e da baixa turbidez atmosférica na Nova Zelândia. Esta condição coloca este país numa posição de receber grande influência da redução da camada de ozônio, com aumento dos casos de câncer de pele. Estimativas do casos de melanoma em excesso são menos seguras do que aquelas para outros tipos de câncer de pele. 10% de aumento de UV tem sido relacionado com aumento de 3,5% a 9,0% nos casos de melanoma.⁵³

Na Noruega, HENRIKSEN et al³⁴ selecionaram diferentes regiões do país e analisaram a incidência de melanoma maligno e outros carcinomas da pele no período de 1970-1979, concluindo que os mesmos aumentaram com as doses naturais de UV. Para ambos os tipos de câncer verificou-se que uma

relação dose-efeito quadrática era válida, como primeira aproximação. Os dados indicaram que a incidência de câncer de pele aumentaram cerca de 2% para cada 1% de redução na camada de O_3 .

A tabela 1 mostra a variação da dose de UV, a incidência de melanomas malignos e a incidência de câncer não-melanômico, conforme resultados do estudo feito por HENRIKSEN et al.³⁴

A Austrália tem sido reconhecida como o país onde ocorrem as mais altas taxas de cancer de pele no mundo. Contudo, não há evidência suficiente para sugerir que essa alta incidência esteja relacionada com a redução da camada de ozônio. O episódio de redução da camada de ozônio sobre a Antartica em 1987 afetou os níveis sobre a região ao sul da Austrália. Níveis de UV que foram medidos ao nível do solo, durante período de céu claro, mostraram um aumento de UV que estava associado à redução da camada de ozônio. No entanto, a presença de nuvens nesta época era frequente e fez com que os níveis de UV não fossem tão diferentes dos esperados para aquela parte do ano.⁵¹

A tabela 2 mostra a incidência de melanoma maligno em várias partes do mundo, na qual está também caracterizada a variação da incidência de acordo com a raça.

TABELA 1. Ultra-violeta e câncer de pele na Noruega

Latitude	População	Dose de UV (*)	Taxa de melanoma maligno (casos/100.000)	Taxa de câncer não-melanômico (casos/100.000)
1. 69,5°N	133.000	0,66	5,1	22,8
2. 63,5°N	307.000	0,86	6,6	34,8
3. 60,0°N	1.487.000	1,00	10,6	47,4
4. 58,5°N	398.000	1,07	11,2	52,5

* Valores relativos, sendo fixado o valor 1,00 para 60,0°N (correspondente a Oslo)
Dados válidos para o período 1970-1979.
Fonte: HENRIKSEN, T. et al.³⁴

TABELA 2. Incidência de melanoma maligno da pele (Casos por 100.000 habitantes)

Local	Raça	Incidência		Período	Incidência		Período
		M	F		M	F	
São Paulo	Todas	2,1	2,1	1973	3,5	4,0	1978
Porto Alegre		-	-	-	3,7	2,7	78-82
Recife		-	-	-	1,6	2,1	1980
Fortaleza		-	-	-	1,3	1,0	78-82
Austrália	Todas						
Sul		13,0	17,6	73-77	13,8	16,4	78-82
NSW		16,6	18,1	73-77	17,1	16,1	78-82
Queensland		-	-	-	30,9	28,5	1982
Los Angeles	Branca	10,2	8,7	72-77	12,4	10,9	78-82
	Espanhola	2,2	2,4		2,1	2,6	
	Negra	0,7	1,1		1,9	1,1	
	Japonesa	0,6	0,7		0,2	1,1	
	Chinesa	0,4	0,0		0,6	1,7	
San Francisco	Branca	8,4	8,4	72-77	10,3	9,0	78-82
	Negra	0,7	0,9		0,7	0,7	
	Japonesa	0,0	1,2		0,6	-	
	Chinesa	0,4	0,4		0,3	0,2	
Hawai	Branca	11,8	7,5	73-77	22,8	18,8	78-82
	Havaiana	3,4	1,3		1,2	1,2	
	Chinesa	0,0	0,0		0,5	2,2	
	Filipina	1,6	0,6		1,1	0,9	
	Japonesa	0,1	0,3		1,7	1,2	
Itália (Varese)		2,0	3,9	76-77	3,5	3,7	78-81

Fonte: WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO) 88, 89

1.4.2. EFEITOS AO MEIO AMBIENTE

A preocupação em relação à redução da camada de ozônio e consequente aumento da radiação ultravioleta é ainda recente. Isso justifica a ausência, muitas vezes de informações conclusivas a respeito, bem como pode-se considerar que muitos dos prováveis efeitos só virão a longo prazo, não sendo ainda detectáveis.

Tôda matéria viva está acostumada ou em equilíbrio com as condições atuais do meio ambiente. Alterações, principalmente na qualidade e intensidade de energia incidente sobre o meio ambiente, conduz evidentemente à formulação de hipóteses.

Assim, verificou-se, nos possíveis efeitos do aumento da UV-B no ambiente, que serão mencionados neste capítulo, que muitos deles ainda necessitam ser testados.

EFEITOS SOBRE A VEGETAÇÃO TERRESTRE

Experimentos realizados mostram que a vegetação terrestre pode ser afetada pela variação da intensidade da radiação ultra-violeta incidente.

"A produtividade da agricultura pode ser afetada tanto positivamente quanto negativamente, sendo que algumas espécies não apresentam alteração da biomassa".¹²

A tabela 3 mostra a sensibilidade relativa de alguns vegetais ao aumento da incidência de radiação UV-B, com base na variação da biomassa, conforme levantamento realizado por KRUPPA & KICKERT.⁴¹

TABELA 3. Sensibilidade relativa de alguns vegetais ao aumento da radiação UV-B, baseada na medida de acumulação de biomassa.

Vegetal	Sensibilidade		
	Tolerante	Moderadamente sensível	Sensível
Abóbora			*
Acelga			*
Alcachofra	*		
Alface		*	
Alfafa	*		
Algodão	*		
Amendoim		*	
Arroz		*	
Aspargos	*		
Aveia			*
Batata		*	
Berinjela	*		
Beterraba			*
Brócoli			*
Cana de Açúcar			*
Calêndula	*		
Cebola	*		
Centeio		*	
Cevada			*
Couve			*
Couve-flor			*
Crisântemo	*		
Espinafre			*
Feijão		*	
Girassol	*		
Laranja	*		
Melancia			*
Melão			*
Milho doce			*
Pepino			*
Petúnia		*	
Rabanete	*		
Repolho	*		
Soja			*
Tomate			*
Trigo	*		

TOLERANTE: Sem alteração significativa da biomassa

SENSÍVEL: Biomassa alterada

Fonte: KRUPPA, J.V. & KICKERT, R.N.⁴¹

Serviço de Biblioteca e Documentação
FACULDADE DE SAÚDE PÚBLICA
UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

O relatório do Painel da "United Nations Environment Programme" (UNEP)⁸⁰ relativo a efeitos ambientais da redução da camada de ozônio, atualização 1991, relata que "tem sido demonstrado que o crescimento das plantas, e em alguns casos a fotossíntese, pode ser alterada na germinação. Não se sabe se isso se mantém verdade para plantas maduras, mas esses resultados indicam a importância potencial da radiação UV-B, mesmo sem redução da camada de ozônio".

"Medições recentes da penetração da UV-B nos tecidos das plantas tem confirmado que mudanças internas nas características anatômicas e na pigmentação variam de acordo com a espécie de planta. Estas mudanças resultam em alterações na resposta da planta à radiação UV-B. Aumento da UV-B tem também mostrado que pode alterar as relações bióticas de plantas superiores, como demonstrado pelas alterações na susceptibilidade das plantas a doenças e o balanço da competição entre espécies de plantas".⁸⁰

"A UV-B tem efeito direto na fotossíntese e, ao mesmo tempo, redução da fotossíntese geralmente é acompanhada por mudanças na pigmentação, anatomia e espessura da folha. Depois da exposição à UV-B acima do normal, o regime de luz interna das folhas é alterado".¹⁴

"Estudos de campo e em estufas tem mostrado que o crescimento e a fotossíntese são negativamente afetados pelo aumento da radiação UV-B, em algumas espécies de árvores"... "Embora poucos dados estejam disponíveis para espécies tropicais, estudos preliminares em estufas indicaram que o crescimento, a fotossíntese e a produtividade diminuíram em algumas culturas de arroz".⁸⁰

Em estudo recente, *Brassica campestris*, originária de latitudes norte, e *B. carinata*, originária da Etiópia (latitude sul), foram submetidas à radiação UV-B, em

laboratório. A *Brassica campestris*, mais sensível à radiação ultra-violeta, respondeu com um aumento de 45% na espessura da folha, assim como pelo aumento de 21% nos pigmentos selecionantes, relativamente aos controles. O conteúdo de clorofila, por área de folha, e a fotossíntese, medida como fluorescência de clorofila, diminuíram.¹⁴

A penetração da UV nas folhas foi estudada em 22 espécies diversas de plantas, incluindo herbáceas e dicotiledôneas lenhosas, gramíneas e coníferas. Neste estudo verificou-se que houve grande variação na penetração da UV. Por exemplo, a transmitância das dicotiledôneas herbáceas variou de 18% a 41%, com penetração de até 140 mm, enquanto as coníferas excluíram uma grande quantidade da radiação incidente. A penetração da UV-B nas folhas de dicotiledoneas lenhosas e gramíneas ficou entre aquelas das dicotiledoneas herbáceas e das coníferas.⁸⁰

Segundo o relatório do painel da UNEP sobre efeitos⁸⁰, "muito tem sido aprendido sobre os mecanismos de ação da UV-B nas plantas. Tanto a irradiação da UV-B a longo prazo na planta toda, como a irradiação de curto prazo nos cloroplastos poderiam induzir à síntese de certos polipeptídeos em membranas fotossintéticas que poderiam exercer papel na mitigação dos efeitos da UV-B. A influência da UV-B no crescimento parece ser mediado pelos fito-hormônios, tanto através da foto-destruição como por reações enzimáticas. Permanece para ser demonstrado se outras respostas morfológicas ao UV-B são também mediadas pelos fito-hormônios. Reparo do dano do DNA por foto-reativação tem sido claramente demonstrado em diversos sistemas de plantas. Entretanto, os limites desta capacidade de foto-reativação ainda não foram demonstrados".

O relatório da UNEP⁸⁰, na parte relativa a efeitos a plantas terrestres, recomenda cautela ao se fazer previsões

das consequências da alteração da camada de ozônio na agricultura e ecossistemas naturais, face à complexidade da maneira pela qual o aumento da UV-B interage com outros fatores bióticos e abióticos no crescimento das plantas e também porque as pesquisas sobre a vegetação está limitada a alguns poucos projetos contínuos.

A maioria das pesquisas até o momento lidam com espécies de latitudes temperadas. Pouco se sabe sobre a ação da UV-B sobre espécies agrícolas e nativas de latitudes tropicais, nem da adaptação à maior intensidade de radiação ultravioleta.

EFEITOS NOS SISTEMAS AQUÁTICOS

Dois terços do planeta são cobertos por água. Os ecossistemas aquáticos são considerados maiores formadores de biomassa do que os ecossistemas terrestres, sendo a produção estimada de 104×10^9 T/ano pelos sistemas aquáticos e 100×10^9 T/ano pelos ecossistemas terrestres.⁸⁰

As plantas microscópicas dos mares são as mais produtivas, contribuindo com 75% da produção marinha total, correspondendo a 20% do global. Essa produção é conseguida através de processos fotossintéticos.⁹⁰

Mais de 30% da proteína animal, para consumo humano vem do mar. Assim, as populações humanas podem ser afetadas pelos efeitos diretos e indiretos da UV-B na cadeia alimentar aquática.⁸⁰

Desde a década de 20 os cientistas estavam cientes da possibilidade de efeitos da radiação UV-B, que é prontamente absorvida pelas proteínas e ácidos nucleicos e induz reações fotoquímicas em plantas e animais.⁹⁰

A efetividade biológica da radiação ultra-violeta faz com que os efeitos sejam muito maiores do que o aumento ocorrido na radiação incidente. Assim, uma redução de 10% na camada de ozônio num local a 45°N resultaria em aumento de 1,1% na radiação ultra-violeta total incidente (290 - 390 nm) e 8% na faixa do UV-B (290 a 320 nm), mas teria um aumento de 28% na efetividade biológica em relação ao DNA e de 21% para plantas terrestres. Para 40% de redução na camada de ozônio o aumento do UV total seria de 5,2%; 38% de aumento na UV-B e 213% de aumento na efetividade biológica às plantas.⁹⁰

Perto da superfície nas águas oceânicas, em latitudes temperadas, o aumento da UV-B, simulando-se uma redução de 25% na camada de ozônio, poderia causar uma diminuição da produtividade primária de cerca de 35%. A redução estimada na produção, para toda a zona eufótica seria de 10%.⁹⁰

A alta produtividade nas águas subpolares da Antártica e a ocorrência do buraco de ozônio nesta região, tem concentrado o estudo dos efeitos da UV-B nesta região.⁸⁰

O fitoplâncton é a base da cadeia alimentar na estrutura trófica e serve de alimento para os consumidores primários (ex: larvas de peixe e camarão), que por sua vez são consumidos pelos consumidores secundários e terciários (ex: peixes). Os consumidores finais desta cadeia trófica são os peixes maiores, pássaros e mamíferos, inclusive o homem.⁸⁵

A concentração de fitoplâncton nas regiões subpolares aquáticas é 1.000 a 10.000 vezes maior do que a concentração nas regiões marinhas tropicais e subtropicais.⁸⁰

A maioria das pesquisas na Antártica se concentram nos seguintes efeitos:⁸⁰

.Redução na produção de biomassa, resultando em redução do suprimento de alimento para o homem;

.Mudanças na composição das espécies e na biodiversidade;

.Diminuição da assimilação de nitrogênio por microorganismos procarióticos, possivelmente conduzindo a uma drástica deficiência de nitrogênio para ecossistemas de plantas superiores, como arrozais e,

.Redução da capacidade como sumidouro de CO₂ atmosférico, aumentando portanto o efeito estufa.

Muitas espécies animais marinhas não sofrerão provavelmente efeitos diretos em função do aumento da intensidade de UV-B incidente, mas poderão ter efeitos indiretos em função dos efeitos na base da cadeia alimentar. Um exemplo é a produtividade do kril, um importante alimento para outras espécies marinhas. Se a estimativa conservadora de redução de 10% na produção primária, devida ao aumento da exposição à radiação UV-B, significasse uma redução proporcional na biomassa de kril, haveria uma perda de produção entre 5 milhões a 100 milhões de toneladas anuais desse importante alimento, quantidade essa maior do que a que é retirada pela pesca comercial, que tem variado de 128.000 a 446.000 toneladas anuais.⁸⁵

EFEITOS AOS MATERIAIS

Vários materiais são modificados ou danificados pela radiação UV-B, como os plásticos e a madeira, reduzindo sua vida útil em aplicações ao ar livre.

Em relação aos plásticos, o uso de estabilizadores químicos resistentes à UV-B poderia resolver o problema.⁸⁰

O efeito mais comum é a mudança da coloração dos plásticos e da polpa de madeira, dando-lhes coloração amarelada. Em alguns tipos de plásticos (polipropileno e polietileno), além da alteração da cor pode ocorrer a modificação das propriedades mecânicas.⁸⁰

2. HISTÓRICO SÔBRE OS CLOROFLUORCARBONOS

2.1. ORIGEM, TIPOS E CARACTERÍSTICAS DOS CFCs

Os clorofluorcarbonos são compostos orgânicos sintéticos totalmente halogenados que contêm na molécula os elementos cloro e fluor. Os dois primeiros CFCs sintetizados foram o CFC 11 (triclorofluormetano) e o CFC 12 (diclorodifluormetano), nos laboratórios da General Motors, em 1928, resultado de pesquisa de substâncias refrigerantes não tóxicas e não inflamáveis.

O seu inventor foi Thomas Midgley Jr., que procurava desenvolver substâncias não tóxicas, não inflamáveis e estáveis quimicamente. Midgley também inventou o chumbo tetra-etila para uso como anti-detonante na gasolina.⁷²

Coincidentemente, essas substâncias estão condenadas, face ao seu efeito tóxico e/ou problemas ambientais, e estão sendo eliminadas. No Brasil o chumbo tetra-etila foi substituído pelo álcool etílico anidro, reduzindo drasticamente o nível de chumbo no ar das grandes cidades evitando-se assim um grande risco para a saúde da população, principalmente as crianças.

Em 1929 os clorofluorcarbonos foram introduzidos no mercado como alternativas mais seguras em relação aos gases amônia e dióxido de enxôfre, utilizados como refrigerantes.⁷²

A descoberta de um refrigerante não inflamável permitiu o uso seguro do condicionador de ar em unidades de menores capacidades, como o condicionador de ar residencial.

Os clorofluorcarbonos mais utilizados são:

CFC 11 - TRICLOROFLUORMETANO (CFCl_3)

CFC 12 - DICLORODIFLUORMETANO (CF_2Cl_2)

CFC 113 - TRICLOROTRIFLUORETANO ($C_2F_3Cl_3$)

Outros hidrocarbonetos parcialmente halogenados utilizados como refrigerantes são os HCFCs (HIDROCLOROFLUORCARBONOS), em especial o HCFC 22, que tem essa denominação pela presença de átomos de hidrogênio na molécula, e os HFCs (HIDROFLUORCARBONOS), que não contém cloro na molécula, como por exemplo o HFC 152a (DIFLUORETANO CH_3CHF_2).³

Os números que identificam os vários clorofluorcarbonos tem o seguinte significado:

- a) O primeiro dígito à direita representa o número de átomos de flúor no composto;
- b) O segundo da direita para a esquerda é igual a um mais o número de átomos de hidrogênio no composto;
- c) O terceiro dígito a partir da direita é o número de átomos de carbono no composto menos um. Quando este dígito é zero, ele é omitido;
- d) O quarto dígito a partir da direita é igual ao número de ligações insaturadas carbono-carbono no composto. Quando este dígito é zero ele é omitido do número. Este dígito é sempre zero se o terceiro dígito for zero;
- e) Uma letra minúscula após o número do CFC indica a variação na simetria dos átomos em torno do carbono;
- f) A série 500 é reservada para misturas comerciais azeotrópicas.

As principais características que tornaram os CFCs de uso extensivo na refrigeração, em sistemas de condicionamento de ar e como propelentes, são a sua baixa toxicidade, não inflamabilidade, estabilidade química e não explosividade. Além disso, possuem características físicas que permitem o seu uso em várias aplicações como elevada

pressão de vapor, baixa condutividade na fase vapor, características de solubidade e compatibilidade com muitos materiais.⁵²

"O CFC como agente de limpeza permite uma confiabilidade maior de componentes eletrônicos e mecânicos, equipamentos de comunicação, computadores, instrumentos de navegação e controle de aeronaves. A sua baixa condutividade térmica na fase vapor contribui para a eficiência térmica de isolantes para refrigeradores, freezers, edifícios etc."⁵²

A tabela 4 apresenta algumas propriedades físicas dos CFCs mais comuns, e do HCFC 22 e HFC 152a, como exemplos.

2.2. PRODUÇÃO E USOS

Os CFCs são utilizados como substâncias refrigerantes em segmentos de refrigeração e ar condicionado; como propelentes de aerossóis; como agente de limpeza; como agente expensor além de outros usos de menor consumo. As aplicações usuais por tipo de CFC estão mostradas abaixo:⁷

- CFC 11 - REFRIGERANTE; AGENTE EXPANSOR; PROPELENTE;
AGENTE DE LIMPEZA DE CIRCUITO DE REFRIGERAÇÃO.
- CFC 12 - REFRIGERANTE; AGENTE EXPANSOR; PROPELENTE
- CFC 113 - REFRIGERANTE; AGENTE EXPANSOR; AGENTE DE
LIMPEZA
- CFC 114 - REFRIGERANTE; AGENTE EXPANSOR
- CFC 115 - COMPONENTE DO REFRIGERANTE R 502 (mistura de
HCFC 22 e CFC 115)
- HCFC 22 - REFRIGERANTE; AGENTE EXPANSOR
- HFC152a - REFRIGERANTE; PROPELENTE

TABELA 4. Características Físicas de Alguns Halocarbonos.

HALOCARBONO	MASSA MOLE- CULAR	PONTO DE EBULIÇÃO (°C)	PONTO DE CONGELA- MENTO (°C)	TENSAO SU- PERFICIAL (N/m ²)	ÍNDICE DE REFRAÇÃO DO LÍQUIDO	INFLAMA- BILIDADE
CFC 11	137,38	23,82	-111	18	1,362	NÃO
CFC 12	120,93	-29,79	-158	8,9	1,288	NÃO
CFC 113	187,39	49,57	-35	19	1,357	NÃO
CFC 114	170,94	3,8	-94	12	1,294	NÃO
CFC 115	154,48	-39,1	-106	5,1	1,221	NÃO
HCFC 22	86,48	-40,76	-160	8,0	1,234	NÃO
HFC 152a	66,05	-25	-117	ND	ND	SIM

ND = não disponível

Fonte: AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR
CONDITIONING ENGINEERING (ASHRAE)³

A distribuição do consumo pelas várias aplicações principais tem variado ao longo dos anos, principalmente a partir da década de 70 em função do problema da redução da camada de ozônio, conforme mostrado na figura 9.

A teoria de MOLINA & ROWLAND⁵⁸, publicada em 1974, provocou uma grande influência na produção e no padrão de consumo dos CFCs. Em 1974, 69% do consumo mundial se dirigiam para os aerossóis enquanto que, em 1988, o consumo de CFCs em aerossóis caiu para 19%. Cresceu bastante no período o seu uso como agente expensor, passando de 5% em 1974 para 28% em 1988, e o uso como agente de limpeza, passando de 6% em 1974 para 19% em 1988. A queda acentuada no uso em aerossóis fez com que a produção mundial decrescesse de 1974 a 1980, voltando a crescer a partir de 1980 com o contínuo crescimento dos outros usos, conforme mostrado na figura 10.

A produção mundial em 1974 era de 917.000 toneladas enquanto em 1988 essa produção tinha passado para 1.137.000 toneladas, representando crescimento de cerca de 24% em 14 anos.⁵²

A produção mundial e respectiva emissão de 1965 a 1985, por tipo de uso dos CFCs 11 e 12, mostra que houve maior crescimento na emissão proveniente do seu uso como agente expensor, conforme mostrado na Tabela 5.

Nas outras aplicações houve crescimento pelo menos até 1975, passando então a decrescer, provavelmente pelo menor uso em aerossóis, mas com praticamente o mesmo valor em 1985, em relação a 1980.

1974

1988

FIGURA 9. Consumo de CFCs, a nível mundial, segundo uso, em 1974 e 1988.
Fonte: MCFARLAND, M.⁵²

FIGURA 10. Crescimento da Produção de CFCs, segundo uso, a partir de 1960.
Fonte: McFARLAND, M.⁵²

TABELA 5. Produção e emissão de CFC 11 e CFC 12, por tipo de aplicação, a nível mundial (10³ T)

ANO	PRODUÇÃO	EMIÇÃO POR APLICAÇÃO				EMIÇÃO TOTAL
		REFRIGERAÇÃO (HERMÉTICA)	REFRIGERAÇÃO (NÃO HERMÉTICA)	AGENTE EXPANSOR *	OUTRAS APLICAÇÕES	
1965	321,9	0,8	44,9	5,7	231,1	283,5
1970	559,2	1,2	68,5	16,3	420,7	506,7
1975	695,1	1,8	103,8	35,4	574,0	715,0
1980	639,8	2,6	156,1	65,0	359,7	583,4
1985	703,1	3,9	188,2	99,4	357,8	649,3

* Somente espumas de células fechadas.
Fonte: CHEMICAL MANUFACTURERS ASSOCIATION (CMA) ¹⁸

A emissão total também seguiu a tendência crescente, pelo menos até 1975, passando a decrescer, voltando novamente a crescer. Na refrigeração as emissões são sempre crescentes.

O padrão de uso dos CFCs 11 e 12, a nível mundial, em 1985, apresentado na tabela 6, mostra que 58% do CFC 11 é utilizado com agente expensor, 31% como propelente de aerossóis e somente 3% na refrigeração. Já o CFC 12 tem maior uso como propelente de aerossóis (32%) em seguida em condicionadores de ar de veículos (20%), 12% com agente expensor, 3% na refrigeração de alimentos e 3% em refrigeradores domésticos.⁷⁰

Uma estimativa da CMA - Associação dos Fabricantes de Produtos Químicos dos EUA¹⁸ mostrou que a emissão total acumulada de CFC 11 e CFC 12, proveniente do seu uso, desde 1931, era de 12,36 milhões de toneladas, em 1985.

Segundo McCARTHY, a emissão de CFC na produção é estimada em 1%, se tanto. FULLER et al assumiu uma perda de 1,5% na produção, para CFCs comercialmente produzidos.⁸⁷

O uso do CFC 113 aumentou significativamente a partir da década de 70. Nos EUA o seu uso cresceu de 31.000 T em 1976 para 73.000 T em 1985. No ano 2000 a projeção seria de 172.000 T nos EUA e 400.000 T no mundo.²¹

A produção anual mundial de CFCs em 1986 era estimada em $1,1 \times 10^6$ T, sendo que a Europa Ocidental produzia 39% deste total, a América do Norte 29% e o Japão cerca de 12%.⁷⁸

O consumo anual "per capita" tem uma distribuição diferente, sendo de 0,9 kg na Europa Ocidental; 1,2 kg na América do Norte e 1,1 kg no Japão.⁷⁸

TABELA 6. Padrão de uso dos CFCs 11 e 12 a nível mundial, em 1985, em porcentagem.*

USO	CFC 11	CFC 12
AGENTE EXPANSOR	58	12
REFRIGERAÇÃO	3	-
CONDICIONADOR DE AR AUTOMOTIVO	-	20
REFRIGERAÇÃO DE ALIMENTOS (varejista)	-	3
REFRIGERAÇÃO DOMÉSTICA	-	3
AEROSSÓIS	31	32
"CHILLERS"	-	1
MISCELÂNIA	8	7
NÃO ALOCADO**	-	22

(*) excluídos os países do leste europeu

(**) diferença entre a produção e a alocação estimada.

Fonte: RAND⁷⁰

2.3. VISÃO SISTÊMICA DA PRODUÇÃO DE CLOROFLUORCARBONOS

A produção industrial envolve a utilização de energia e a geração de resíduos. A tendência atual é procurar reduzir o consumo de energia e a geração de resíduos, através da reciclagem, recuperação, alterações de processo e matérias-primas ou de melhores práticas e cuidados operacionais, conduzindo então à "Produção Mais Limpa", terminologia empregada atualmente pela UNEP - Programa das Nações Unidas Para o Meio Ambiente.

Para analisar o impacto da produção e uso dos CFCs 11 e 12, do ponto de vista sistêmico (global), deve-se levar em

consideração também o impacto da produção das matérias primas e dos insumos que entram no processo de produção, desde a sua extração, bem como o impacto do uso do produto e do seu descarte final (esgotamento de recursos naturais; poluição das águas do ar e do solo etc.) incluindo-se também todos os riscos envolvidos, tanto para os trabalhadores, como para a comunidade em geral e o meio ambiente. Um fluxo geral que mostra esta visão sistêmica está apresentado na figura 11. Esta análise sistêmica faz parte da prática de verificação do "Ciclo de Vida do Produto", prática esta que está começando a ser aplicada a nível mundial, com o incentivo da UNEP. A seguir, para exemplificar, são apresentadas as diversas etapas do ciclo de vida dos CFCs, para mostrar que, os impactos não se restringem somente à unidade de produção, sem entrar na caracterização dos impactos e dos riscos envolvidos neste ciclo, uma vez que se trata de assunto muito extenso e importante, que merece um estudo específico.

OBTENÇÃO DO TETRACLORETO DE CARBONO (CCl_4)

O CCl_4 , matéria-prima para a produção dos CFCs 11 e 12, é obtido, nos processos atualmente utilizados no Brasil, pela reação do cloro com o propeno.⁶

O cloro, por sua vez, é obtido através da eletrólise do cloreto de sódio (sal comum), que produz também a soda cáustica (processo cloro-soda), utilizando células-diafragma e células de mercúrio⁷⁶. O processo que utiliza células de mercúrio é mais antigo e o que apresenta maior risco ambiental pela presença de mercúrio.

O propeno é um hidrocarboneto obtido do petróleo, que passa pelas fases de refino e processamento petroquímico.

FIGURA 11. Fluxo da produção e uso de produtos químicos a partir do recurso natural.

Portanto, os recursos naturais básicos para a produção de tetracloreto de carbono são o sal, extraído do mar ou de minas, recurso abundante, e o petróleo.

OBTENÇÃO DO ÁCIDO FLUORÍDRICO (HF)

O ácido fluorídrico é produzido a partir da fluorita (CaF_2 - minério de fluor) e do ácido sulfúrico.⁷⁶

O ácido sulfúrico é produzido a partir de enxôfre, oxigênio do ar e água. O enxôfre é obtido de minérios que contêm este elemento (pirita principalmente) ou de minas de enxôfre, formado por atividades vulcânicas ou de processos dessulfurizadores que o recuperam.²³

PRODUÇÃO DOS CFCs

A produção dos CFCs 11 e 12 é feita a partir do tetracloreto de carbono (CCl_4) e do ácido fluorídrico (HF), conforme mostrado na figura 12. A produção do HCFC 22 segue o mesmo fluxograma de produção substituindo-se o tetracloreto de carbono pelo clorofórmio.⁷⁶

A reações químicas envolvidas são as seguintes:⁷⁶

a) CFC 11

b) CFC 12

OBS.: O Sb_2Cl_5 atua como catalizador das reações acima.

FIGURA 12. Fluxograma de produção dos CFCs 11 e 12. Fonte: SHREVE, R.N. & BRINK JR., J.A.⁷⁶

Estima-se que ocorra emissão da ordem de 1,5% a 3,3% do produto (CFC) na sua produção propriamente dita. Isso significa um impacto direto em relação à camada de ozônio.

USO E DESCARTE

O uso dos CFCs provoca a sua emissão para a atmosfera em maior ou menor grau dependendo do tipo de uso. Quando

utilizado como propelente em aerossóis por exemplo, o mesmo é lançado na atmosfera toda vez que o aerossol é acionado, no entanto, o uso de CFCs em aerossóis atualmente no Brasil é de apenas 1% do total de CFCs consumidos (base 1991)¹⁶; no caso do uso em refrigeração e ar condicionado, que absorve 47% do total consumido (base 1991)¹⁶, os CFCs são lançados na atmosfera por ocorrência de vazamentos no sistema ou por ação deliberada quando da sua manutenção ou reparação e após a vida útil do sistema, se houver rompimento do circuito; o uso em espumas absorve 40% do total consumido no país, sendo que liberação do CFC se dá no início da sua vida útil, no caso de espumas de células abertas) ao longo da sua vida útil, no caso de espumas de células fechadas, e no descarte do produto ao fim de sua vida útil, pela possibilidade de rompimento das células; um outro uso é como solvente na produção de componentes eletro-eletrônicos onde pode ocorrer emissão para a atmosfera, bem como o líquido contaminado pode ser descartado no esgoto da empresa, sendo a participação desse setor de 7% do total, em 1991¹⁶. Os impactos indiretos à saúde e ao meio ambiente pelos CFCs são de grande magnitude, conforme detalhado em outras partes deste relatório.

RECICLAGEM E RECUPERAÇÃO

A reciclagem e a recuperação (re-processamento com controle de qualidade) reduz o consumo de recursos naturais a geração de resíduos e vários riscos de etapas que deixam de ser necessárias, conforme mostrado na figura 11. São fundamentais dentro do conceito de "produção mais limpa" e de "desenvolvimento sustentado". No caso dos CFCs, a adequada coleta, reciclagem e/ou recuperação são importantes na produção dos mesmos, mas principalmente durante o seu uso, como é o caso de sistemas de condicionamento de ar e de refrigeração e no uso como solvente e no descarte ao fim da vida útil do produto. A reciclagem envolve somente a

retirada de umidade, óleo e partículas, sendo na maioria das vezes realizada no próprio local onde o sistema está instalado, enquanto a recuperação envolveria a remoção do CFC do sistema e o seu envio para uma unidade de tratamento mais apurado, passando também pelo processo de destilação, voltando a ter características dentro do padrão de qualidade exigido pelo produto. Nota-se portanto que a reciclagem evita um "caminho" muito mais longo que a recuperação, mas no entanto a recuperação também evita grande parte do caminho percorrido até a produção do CFC "virgem", conforme mostrado na figura 12.

2.4. TOXICIDADE

Os clorofluorcarbonos foram desenvolvidos para substituir a amônia e o dióxido de enxôfre na refrigeração, substâncias essas de toxicidade alta.

A baixa toxicidade direta aos seres humanos é uma realidade até o momento. Isso pode ser ilustrado pelos Limites de Tolerância (TLVs) da "American Conference of Governmental Industrial Hygienists" (ACGIH), reconhecidos internacionalmente.²

Os CFCs de maior uso (11, 12, e 113) apresentam TLV de 1000 ppm, ou seja, estão na classe dos compostos de baixa toxicidade, sendo que, para o CFC 11, o valor de 1000 ppm é considerado "valor-teto", não devendo ser ultrapassado em nenhum momento, enquanto que, para os demais, o valor é a média ponderada de 8 horas.²

Para se ter uma comparação, os TLVs da amônia e do dióxido de enxôfre são de 25 ppm e 2 ppm respectivamente, média ponderada de oito horas.²

"A cinética e o metabolismo dos CFCs são caracterizados

pela rápida absorção pulmonar e distribuição. Não há indicações de qualquer acúmulo no organismo. A transformação metabólica é desprezível, se acontecer. A toxicidade a curto prazo do CFCs é muito baixa, como demonstrado em várias espécies animais por diferentes vias de administração. Ela é caracterizada por efeitos no coração, no sistema respiratório e ocasionalmente no fígado. Os efeitos estão de acordo com a sintomologia observada em intoxicação em humanos. Os estudos em animais indicam que não há risco de efeito cancerígeno no ser humano."⁸⁷

"Em seres humanos, sintomas no sistema nervoso central, cardiovascular e respiratório podem ocorrer em casos de abusos severos e em exposição a liberações acidentais."⁸⁷

Um estudo feito pelo NIOSH - "National Institute of Safety and Health"⁶², dos EUA, mostrou que a exposição acidental ao CFC 113, em espaços confinados, pode causar morte por asfixia e arritmia cardíaca, sendo já registrados vários casos de mortes nesta situação.

2.5. POTENCIAL DE REDUÇÃO DA CAMADA DE OZÔNIO E DE AQUECIMENTO DA TERRA.

O potencial de ataque à camada de ozônio não é o mesmo para todos os CFCs. O CFC 11 foi tomado como padrão numa escala relativa do Potencial de Redução da Camada de Ozônio (ODP), conforme mostrado na tabela 7.

Além do efeito direto na camada de ozônio, os CFCs participam também do efeito estufa. Os CFCs absorvem intensamente a radiação infravermelha na chamada "janela atmosférica" que é a região do espectro eletromagnético entre 7 e 13 nm, sendo, na base molécula por molécula, são 10.000 vezes mais eficientes na absorção da radiação infravermelha que o gás carbônico²⁹. A contribuição atribuída aos

CFCs para este efeito tem variado na faixa de 20 a 25% (figura 13)^{29, 44, 30}

A capacidade dos CFCs de absorverem radiação infra-vermelha varia de acordo com o tipo de CFC. A figura 14 mostra os potenciais de aumento do efeito estufa (GWP) e de redução da camada de ozônio (ODP) para vários CFCs e também para os seus potenciais substitutos halogenados.

2.6. FORMAS DE CONTROLE

As alternativas para a redução das emissões de clorofluorcarbonos são:^{52, 60}

- a) substituição por produtos de outra espécie (não-halocarbonos);
- b) substituição por produtos da mesma espécie (halocarbonos), mas de menor potencial de destruição da camada de ozônio;
- c) reciclagem e recuperação de CFCs usados;
- d) redução do consumo por melhoria das condições de uso;
- e) redução do consumo através de restrição ao uso de processos, equipamentos ou produtos que utilizem CFC;
- f) Implantação de equipamentos de controle de emissões.

TABELA 7. Potencial de redução da camada de ozônio (ODP) dos clorofluorcarbonos, "halons" e de algumas outras substâncias cloradas de interesse.

SUBSTÂNCIA		ODP
<u>CLOROFLUORCARBONOS</u>		
CFC 11	TRICLOROFLUORMETANO	1,0
CFC 12	DICLORODIFLUORMETANO	1,0
CFC 13	CLOROTRIFLUORMETANO	1,0
CFC 111	PENTACLOROFLUORETANO	1,0
CFC 112	TETRACLORODIFLUORETANO	1,0
CFC 113	TRICLOROTRIFLUORETANO	0,8
CFC 114	DICLOROTETRAFLUORETANO	1,0
CFC 115	CLOROPENTAFLUORETANO	0,6
<u>HALONS</u>		
HALON 1211	BROMOCLORODIFLUORMETANO	3,0
HALON 1301	BROMOTRIFLUORMETANO	10,0
HALON 2402	DIBROMOTETRAFLUORMETANO	6,0
<u>HIDROCLOROFLUORCARBONOS</u>		
HCFC 22	DIFLUORMONOCLOROMETANO	0,055
HCFC 123	TRIFLUORDICLOROETANO	0,02
HCFC 141b	DICLOROMONOFLUORETANO	0,11
<u>OUTRAS SUBSTÂNCIAS</u>		
TETRACLORETO DE CARBONO		1,11
METIL-CLOROFÓRMIO		0,11

Fonte: UNEP⁸¹

FIGURA 13. Participação dos CFCs no efeito estufa. Fonte: LEAN, G. et al⁴⁴

FIGURA 14. Potencial de Redução da Camada de Ozônio (ODP) versus Potencial de Aquecimento da Terra (GWP), dos atuais CFCs (círculos) e dos seus potenciais substitutos halogenados (circunferências). Fonte: MANZER, L.E.⁵⁰

SUBSTITUIÇÃO POR PRODUTOS DE OUTRA ESPÉCIE

A substituição por produtos de outra espécie tem como exemplo principal a utilização de hidrocarbonetos, principalmente propano e butano, como propelentes de aerossóis no lugar dos halocarbonos.¹

O uso de propano e butano nos aerossóis, apresenta a desvantagem desses gases serem inflamáveis.

Nos EUA, já em 1978, eram os CFCs proibidos de utilização em aerossóis, exceto para alguns poucos usos^{50,52}. Fora dos EUA, uma quantidade significativa (mais que $1,5 \times 10^8$ kg) de CFCs continuam sendo usados como propelentes de aerossóis, apesar de que a substituição dos CFCs em aerossóis poderia ocorrer rapidamente.⁵⁰

Segundo MANZER⁵⁰, "30% do mercado vai mudar para substitutos não-da-mesma-espécie, mais baratos. Por exemplo, sistemas baseados em compostos orgânicos e água poderiam ser utilizados para certas aplicações de limpeza, e CO₂, hidrocarbonetos e água poderiam ser usados como agentes expansores de espuma."

A substituição de CFCs por outros produtos não-da-mesma-espécie pode trazer como consequência uma redução da eficiência de isolamento térmico, e aumento do consumo de energia. "A expansão de espumas com ar ou CO₂ ocasiona uma redução da eficiência térmica por um fator 2, em relação aos CFCs e HCFCs".⁵⁰

REIJNDERS⁷¹ apresenta várias alternativas para a substituição de clorofluorcarbonos, na espumação de plásticos, por substâncias não-halogenadas. Nos plásticos para embalagem podem ser utilizados o pentano e o vapor de

água. Para os plásticos de isolamento térmico podem ser utilizados o gás carbônico junto com vapor de água, havendo no entanto o inconveniente de ocupar maior espaço para a mesma eficiência de isolamento. Se o espaço for problema, podem ser utilizados plásticos com células fechadas menores. A mudança para o isolamento com vácuo também é uma técnica promissora bem como a utilização de outros materiais é possível em vários casos.

Nesta substituição é importante verificar os impactos advindos pela utilização de compostos ou produtos que muitas vezes são mais tóxicos ao ser humano, de forma direta, que os CFCs.

SUBSTITUIÇÃO POR PRODUTOS DA MESMA ESPÉCIE (HALOCARBONOS)

A substituição dos CFCs por outros produtos da mesma espécie tem sido motivo de pesquisas pelos principais produtores de CFCs no mundo.

Neste caso os CFCs seriam substituídos por halocarbonos de menor potencial ou de potencial zero de redução da camada de ozônio. Estes substitutos são principalmente os compostos da classe dos hidroclorofluorcarbonos (HCFCs) e dos hidrofluorcarbonos (HFCs). A presença de hidrogênio na molécula dos HCFCs torna-os menos estáveis quimicamente, possibilitando a sua decomposição na troposfera e por conseguinte sua vida média na atmosfera é menor que a dos CFCs.⁵²

O HCFC 22 é um hidroclofluorcarbono que vem sendo utilizado comercialmente há muitos anos. "Refrigerante largamente empregado em condicionadores de ar, nos quais as temperaturas de evaporação são elevadas, é indicado para baixas temperaturas de evaporação - refrigeradores e

freezers - e requer reformulação de projeto e de alguns equipamentos. Sua eficiência energética é inferior à do CFC12 em cerca de 10 por cento"⁷. A eficiência energética representa a relação entre a energia útil do sistema (efeito refrigeração), em relação à energia fornecida ao sistema, em geral em forma de energia elétrica. Portanto, redução de eficiência energética implica em maior consumo de energia.

O HFC 134a, "apontado como o mais provável substituto do CFC 12, tem potencial de redução da camada de ozônio igual a zero. Os testes realizados acusam problemas quanto à incompatibilidade com lubrificantes e umidade, podendo também elevar o consumo de energia em cerca de 10 por cento"⁷.

Outros substitutos em teste incluem várias misturas de HFCs e HCFCs, dentre elas as seguintes:⁷

HCFC 22 + HCFC 142b

Não tem eficiência energética comprovada.

HFC 134 e HFC 143:

As eficiências energéticas destes dois substitutos aparentam ser melhores que as do HFC 134a.

HCFC 22 + HFC 152a + HCFC 124:

As informações são incompletas. Tem baixo potencial de redução da camada de ozônio. Tem eficiência energética próxima do CFC 12. Não são esperados problemas relativos à umidade e à solubilidade com óleos lubrificantes.

HCFC 134a + HFC 152a + HFC 134:

Faltam dados relativos à eficiência energética.

HCFC 123 e HCFC 141b:

Apontados como substitutos para o CFC 11 na expansão de espuma rígida de poliuretano. Possuem altos valores de condutividade térmica e podem levar ao aumento do consumo de energia em 10 por cento.

"Para a área de espumação, além dos testes que vêm sendo realizados com os HCFCs 123 e 141b, há ainda outra possibilidade, que implica em redução do uso do CFC, via processos alternativos já conhecidos, e que empregam somente 50 por cento da quantidade convencional. No entanto, os testes registram aumento na condutividade térmica, e em consequência, no consumo de energia, em torno de 5 por cento".⁷

Na utilização de substitutos deve ser levado em consideração o potencial de aquecimento em relação ao Efeito Estufa. Os substitutos que estão sendo cogitados felizmente possuem baixo Potencial de Aumento do Efeito Estufa (GWP), conforme mostrado na figura 14.^{50, 59}

Segundo MOUTON⁶⁰, a capacidade de absorção da radiação terrestre dos clorofluorcarbonos é de 12.000 a 18.000 vezes maior que a do CO₂, enquanto que, para os substitutos HCFCs e HFCs, essa capacidade de absorção é 6.000 a 13.000 vezes maior que a do CO₂. Além disso, a vida média menor dos HCFCs e HFCs na atmosfera diminui o impacto acumulativo no Efeito Estufa.

Adicionalmente tem que ser considerado que a menor eficiência de isolamento térmico ou maior condutividade

térmica dos substitutos, levará a um aumento no consumo energético, o que redundará em aumento da emissão de CO₂ da queima de combustíveis, contribuindo para o aumento do Efeito Estufa.

Uma estimativa feita por MONTAGUE & PERRINE⁶⁷, tendo como base vários cenários de substituição, concluiu que a substituição planejada dos CFCs 11 e 12 por HCFCs e HFCs significará uma redução significativa do aquecimento potencial da Terra.

Segundo NORMAN⁶⁷, a maior redução, a curto prazo, no efeito estufa virá da eliminação da produção dos clorofluorcarbonos, que atualmente contribuem com 10% das emissões de gases causadores deste efeito.

A utilização dos substitutos terá uma repercussão econômica que precisa ser avaliada. O comitê de opções técnicas do setor de refrigeração, condicionamento de ar e bombas de calor da UNEP estimou que, se se alterasse a data de eliminação da produção de CFCs do ano 2000 para o ano de 1997, o custo adicional seria de 6,2 bilhões de dólares para estes setores.⁸¹

Além dos gastos com substituição de equipamentos, os usuários destes produtos arcarão com o custo mais alto dos substitutos halogenados, estimado ser de 3 a 5 vezes maior que os atuais CFCs.⁴⁸

RECICLAGEM E RECUPERAÇÃO

Em relação à reciclagem e recuperação de CFCs, o processo envolve a remoção do CFC usado do sistema, sua limpeza e, em alguns casos seu reprocessamento, visando sua purificação, para posterior retorno ao sistema, que pode ser o mesmo de onde o CFC foi retirado ou não.

O termo remoção significa a "retirada do refrigerante, em qualquer condição, de um sistema e a sua estocagem em um recipiente externo ao mesmo, sem necessariamente testá-lo ou processá-lo".⁴⁹

O termo reciclagem significa "limpar o refrigerante para reutilização, através da separação do óleo, umidade e partículas em uma ou múltiplas passagens através de dispositivos, como filtros-secadores que reduzem umidade, acidez e material particulado".⁴⁹

O termo recuperação significa "o reprocessamento do refrigerante para que este readquira as especificações do produto novo, por meios que podem incluir a destilação. A recuperação requer a análise química do refrigerante, para verificar se as especificações apropriadas do produto foram atingidas".⁴⁹

A reciclagem é realizada usualmente no local onde o sistema encontra-se instalado, enquanto a recuperação envolve o transporte do refrigerante usado para uma unidade de reprocessamento, para purificação, tendo que ser considerado então os custos de transporte. A principal vantagem da recuperação é a certificação da qualidade do produto.⁴⁹

Estima-se que as medidas de conservação de CFCs, que incluem a reciclagem e a recuperação, podem contribuir com 29% do total da demanda prevista no ano 2000, no mundo, em relação à atual (1990) utilização de CFCs. Os HCFCs participariam com 30%; os HFCs com 9% e outros não-fluorcarbonos com 32%.³⁹

Vários países já possuem legislação que exige a reciclagem e a recuperação de gases refrigerantes. Os EUA

passaram a proibir o lançamento deliberado de CFCs na atmosfera a partir de 1 de julho de 1992, como parte do "Clean Air Act Amendment" de 1990, exigindo então que dispositivos de recolhimento e reciclagem sejam utilizados, bem que seja procedida a recuperação dos CFCs quando for o caso. Alguns Estados naquele país se anteciparam à legislação federal, como é o caso do Estado do Oregon que passou a exigir a reciclagem a partir de 10 de agosto de 1991, para médias e grandes oficinas de reparação e de manutenção de condicionador de ar de veículos, e a partir de 10 de agosto de 1992 para pequenas oficinas, além de proibir a venda de alguns produtos que contêm CFC, tais como embalagens plásticas, recipientes pequenos para recarga de CFCs em condicionadores de ar automotivos, do tipo "do-it-yourself" e solventes para limpeza em aplicações não comerciais e não-médicas.⁴²

Na Holanda um decreto estabeleceu requisitos técnicos para prevenir vazamentos de instalações de refrigeração já existentes, e de novas unidades também, definindo que somente técnicos certificados possam trabalhar com refrigerantes que atacam a camada de ozônio, de forma a prevenir serviço e manutenção sem os devidos cuidados. Nos EUA, a partir de 15 de maio de 1993, todos os produtos que contenham CFCs, ou outras substâncias que atacam a camada de ozônio, terão que ter etiqueta fixa para alertar para o fato, de forma a promover a sua reciclagem. No México, dois workshops foram realizados em 1992, para treinamento prático em remoção e reciclagem de CFCs.⁶⁵

Na Alemanha, a partir de 1 de novembro de 1991, os fornecedores de CFCs e halons são obrigados a receber esses produtos de volta, para recuperação ou incineração, após uso.⁶³

Na França o governo fez um acordo com a indústria de

condicionamento de ar e de refrigeração para recolher os CFCs usados através da Associação Francesa de Refrigeração (AFF). Uma diretriz completa foi elaborada pelas associações profissionais para todos os técnicos que atuam nestes setores. Um programa foi implementado, com apoio financeiro do governo, de forma a fornecer equipamentos para profissionais, na base de aluguel.⁸¹

Ainda na França, desde 1988 a indústria de ar condicionado automotivo já havia estabelecido programas de redução do uso do CFC 12. Estes programas incluem cargas menores, mangueiras menos permeáveis e cuidados nas operações de montagem. Práticas de serviço que antes lançavam o gás na atmosfera e que eram tidas como práticas normais estão sendo substituídas por reciclagem, recuperação e práticas de serviço projetadas para minimizar emissões. Estima-se que 0,40 kg de CFC 12 por veículo por ano é lançado na atmosfera, nas condições atuais (1991). Com a implementação de medidas de conservação este valor cairia em 40% ou seja, passaria para 0,24 kg por veículo por ano, numa base mundial. Aproximadamente 85% dos aparelhos de condicionamento de ar automotivo estão localizados nos países desenvolvidos.⁸¹

Equipamentos de reciclagem de CFC de condicionadores de ar automotivo, que atendam as normas da Sociedade de Engenheiros Automotivos (SAE), já estão disponíveis a um custo que varia de US\$ 1800,00 a US\$ 3000,00, a nível mundial, com uma média de US\$ 2400,00.⁸¹

Um estudo realizado nos EUA, numa amostra de 227 veículos de diferentes marcas, em diferentes idades e quilometragens, de diferentes partes do país, com condicionadores de ar em boas e más condições, mostrou que os equipamentos de reciclagem portáteis e simples são suficientes para limpar o gás a níveis aceitáveis. Este

estudo foi utilizado para convencer a indústria automotiva a aceitar a reciclagem para carros ainda dentro da garantia de fábrica.³³

MELHORIA DAS CONDIÇÕES DE USO

A redução do consumo de CFCs, por melhoria das condições de uso, envolve cuidados na operação, na manutenção do sistema de forma preventiva ou corretiva, na utilização de instrumentação e controle adequados, bem como na checagem periódica da existência de vazamentos. O objetivo de todos esses cuidados é evitar a ocorrência de vazamentos, seja na operação normal, seja na realização da manutenção. Partes e peças de boa qualidade também são de fundamental importância para a redução de vazamentos.

Projeto e instalação cuidadosos de sistemas e equipamentos, operação supervisionada quando apropriado, manutenção rotineira e a observação de procedimentos adequados quando da realização da reparação de equipamentos e sistemas, reduzirão significativamente a emissão de substâncias refrigerantes de sistemas de refrigeração e de condicionamento de ar.⁸¹

A "American Society of Heating Refrigerating and Air-conditioning Engineers" (ASHRAE) defende que procedimentos de conservação mais cuidadosos devem ser adotados afim de minimizar as emissões de todos os refrigerantes, incluindo-se a recuperação dos mesmos de equipamentos ao fim de sua vida útil.⁸

Para tanto, aquela entidade desenvolveu um manual de procedimentos (Manual ASHRAE 3) para minimizar a emissão de gases refrigerantes durante a fabricação, instalação, teste, operação, manutenção e remoção de equipamentos e sistemas de refrigeração e condicionamento de ar.⁹

Estudos feitos, na área de estocagem e processamento de alimentos, mostraram que as emissões por vazamentos podem ser reduzidas de 10% da carga por ano para 1 a 2%, através de projetos melhorados para evitar vazamentos e com rotinas adequadas de operação e de manutenção, descritas nos novos códigos de boas práticas.⁸¹

RESTRIÇÃO AO USO DE PROCESSOS EQUIPAMENTOS OU DE PRODUTOS QUE UTILIZEM CFC.

A redução do consumo através da restrição ao uso de processos, equipamentos ou produtos que utilizem CFC está limitada à disponibilidade de alternativas. Em muitos casos isto é difícil. Por exemplo, todas as geladeiras atuais utilizam CFC 12. Não é aceitável a não utilização de geladeiras tendo em vista a importância da refrigeração para a conservação de alimentos. No caso de aerossóis, em havendo opção com e sem CFC, poder-se-ia escolher a alternativa sem CFC, ou mesmo, escolher-se-iam embalagens do tipo não-aerossóis. Embalagens de proteção de produtos, do tipo isopor, poderiam ser substituídas por outros tipos de embalagens, menos agressivas ao meio ambiente. Trata-se portanto de método de redução de emissão de CFCs que envolve conscientização e motivação do usuário e dos fabricantes de produtos alternativos àqueles que utilizam CFC.

IMPLANTAÇÃO DE EQUIPAMENTOS DE CONTROLE DE EMISSÕES

A implantação de equipamentos de sistemas de controle de emissões é aconselhável na fabricação dos CFCs, na produção de espumas, na colocação de CFCs nos equipamentos e aparelhos e dispositivos, principalmente quando realizado em série, como por exemplo a colocação do gás nos refrigeradores domésticos novos, que é realizada na fábrica do refrigeradores e na sua utilização como solvente, desde

que outras formas de controle não possam ser utilizadas, ou até que outras formas de controle sejam colocadas em prática. A aplicação de sistemas de ventilação local exaustora com o emprêgo da adsorção para a retenção dos CFCs é a prática mais indicada para estes compostos.⁷¹

2.7. TENDÊNCIAS MUNDIAIS E AÇÕES INTERNACIONAIS

Foi a partir de 1974, com a divulgação da teoria de Molina & Rowland que os EUA começaram a se preocupar com o lançamento de CFCs na atmosfera, em função da conscientização da população que a divulgação pelos meios de comunicação causara, de que os sprays poderiam levar a humanidade a um desastre ecológico.

Em 1978 o uso não essencial de CFCs em aerossóis foi proibido nos EUA, através da Agência de Proteção Ambiental (EPA) e da "Food and Drug Administration" (FDA). O exemplo dos EUA foi em seguida adotado pelo Canadá e países escandinavos.²⁷

Essa proibição modificou fortemente a participação do uso de CFCs em aerossóis nos EUA, conforme mostrado na figura 15.²¹

Uma declaração da Organização Meteorológica Mundial de novembro de 1975 motivou a realização, pela UNEP, de um encontro de especialistas em Washington, D.C., em março de 1977, que deu origem ao Comitê Internacional de Coordenação sobre a Camada de Ozônio (CCOL), em maio de 1977.⁷³

Em maio de 1981 a UNEP formou um grupo de peritos em questões legais e técnicas, com a incumbência de preparar um esboço de Convenção para a Proteção da Camada de Ozônio. O projeto elaborado por este grupo serviu de base à Conferência realizada em Viena em março de 1985.⁷³

Nota: Os dados de 1985 não incluem o uso pela ex-União Soviética, pelo Leste Europeu e pela República Popular da China.

Todos os usos são a nível mundial, exceto quando indicado em contrário.

FIGURA 15. Influência da proibição do uso de CFCs em aerossóis nas vendas destes produtos, a nível mundial. Fonte: CRAWFORD, M.¹³

Em 22 de março de 1985 a conferência de plenipotenciários patrocinada pela UNEP e pela Áustria, adotou a Convenção de Viena para a Proteção da Camada de Ozônio. Dos 43 países representados na Conferência, 20 assinaram a Convenção no mesmo dia, incluindo-se a Comunidade Econômica Européia.⁷³

Em Março de 1988, o grupo denominado "Ozone Trends Panel" (OTP), formado em outubro de 1986 para estudar o problema da redução da camada de ozônio em termos globais, divulgou um relatório no qual se confirmava que os CFCs, apesar de que com alguma dúvida, eram os reponsáveis primários para o decréscimo de ozônio dentro do vórtice polar na Antártica. O OTP confirmou que "tem ocorrido uma redução grande, repentina e não esperada na abundância do ozônio na primavera na Antártica nas últimas décadas. Foram observadas diminuições de mais de 50% na coluna total e de 95% localmente, entre 15 e 20 km de altitude. A coluna total de ozônio na primavera austral, em todas as latitudes sul, maiores que 60°, foram as menores desde que as medidas começaram há 30 anos."..." A meteorologia especial durante o inverno e a primavera sobre a Antártica, impõem condições especiais para a redução do ozônio".²⁷

Em 16 de setembro de 1987 representantes de diversos países se reuniram em Montreal, Canadá, para discussão da problemática da redução da camada de ozônio. Neste encontro ficou decidida uma redução de 50% no nível calculado de consumo anual dos CFCs controlados, referente a 1986, a partir de 1 de julho de 1998. O Protocolo previa também o congelamento do nível calculado do consumo anual de CFCs controlados, ao nível de 1986, até 1992 e uma redução de 20%, a partir do período compreendido entre 1 de julho de 1993 e 30 de junho de 1994. O nível calculado de consumo significa, para os fins do Protocolo, a soma dos níveis calculados de produção e importações menos o nível

calculado de substâncias controladas exportadas, sendo que, a partir de 1 de janeiro de 1993, as exportações de substâncias controladas para países não signatários do Protocolo deixariam de ser subtraídas do cálculo do nível de consumo do país exportador. O nível calculado leva em consideração o ODP (potencial de redução da camada de ozônio) de cada substância controlada.¹⁵

O Protocolo dá tratamento especial aos Países em Desenvolvimento e cujo nível calculado anual de consumo seja inferior a 0,3 kg per capita, na data de entrada em vigor do acordo para o país, ou a qualquer tempo dentro de dez anos da entrada em vigor do Protocolo (1/1/89), pois possibilita, para atender suas necessidades internas básicas, o adiamento por dez anos do cumprimento das medidas de controle estabelecidas.¹⁵

No que se refere à pesquisa, desenvolvimento e intercâmbio de informações, o Protocolo considera de modo particular as necessidades dos países em desenvolvimento, quando estabelece que os países signatários devem cooperar na promoção, diretamente, ou por meio de órgãos internacionais competentes, de pesquisa, desenvolvimento e intercâmbio de informações sobre:¹⁵

(a) Tecnologias adequadas para aprimorar a contenção, recuperação, reciclagem ou destruição de substâncias controladas, ou para reduzir, por outros meios, suas emissões.

(b) Possíveis alternativas às substâncias controladas, a produtos que contenham tais substâncias, bem como a produtos manufaturados com as mesmas.

(c) Custos e benefícios de estratégias relevantes de controle.

Os acontecimentos em relação à Camada de Ozônio e à eliminação dos CFCs tem se desenrolado com uma rapidez muito grande. Assim é que, a redução de 50% nos CFCs, prevista no Protocolo de Montreal, foi alterada, na II Reunião das Partes do Protocolo, realizada em junho de 1990 em Londres, estabelecendo-se o ano 2000 como data limite para a paralização da produção das substâncias controladas pelo Protocolo (CFCs 11, 12, 113, 114 e 115 e Halons 1211, 1301 e 2402), e o ano 2010 para os países de baixo consumo (consumo menor que 0,3kg/hab.ano) como é o caso do Brasil. A redução deveria ser gradual, sendo 50% antes de 1995, 85% antes de 1997 e chegando aos 100% no final de século.²⁸

O cronograma de redução da produção de clorofluorcarbonos nos países desenvolvidos, segundo o Protocolo de Montreal, após a reunião de Londres de junho de 1990 está mostrado na figura 16.

Esta alteração teve como base projeções do nível de cloro na atmosfera com a aplicação da redução prevista no Protocolo de Montreal que, no ano 2100 ainda atingiria 9,8ppb, comparada com a concentração de 2,7 ppb de 1986. 45% deste aumento foi atribuído aos CFCs, 15% pelas emissões de países não signatários à época, sendo que o restante seria devido ao cloro proveniente dos compostos clorados não cobertos pelo Protocolo (32% devido ao metil-clorofórmio e 8% devidos ao HCFC 22 e ao tetracloreto de carbono).²⁵

Além desta modificação drástica, incluiu-se no grupo de substâncias de transição os demais "halons", o metil-clorofórmio e o tetracloreto de carbono, estabelecendo-se o ano de 2040 como data limite para a paralização da produção desses compostos e para os halons com usos essenciais.²⁸

FIGURA 16. Cronograma de redução da produção de clorofluorcarbonos nos países desenvolvidos, segundo o Protocolo de Montreal, após a reunião de Londres de junho de 1990. Fonte: GERMAN BUNDESTAG²⁸

A Europa como um todo demorou para se conscientizar da importância da redução das emissões de CFCs. Um exemplo é a proibição do uso dessas substâncias em aerossóis. Apesar de já estarem proibidos nos EUA desde 1978, na Alemanha por exemplo, o seu uso neste tipo de embalagem só foi proibido em 1991. A figura 15 mostra a espetacular redução, cerca de 90%, das vendas de CFCs 11 e 12 para uso em aerossóis nos EUA em 1980, comparados com as vendas de 1976. Por outro lado, a nível mundial a redução foi bem menor, cerca de 44%.²¹

Após a Convenção de Viena (1985) a Europa começou a liderar o movimento para uma eliminação mais rápida dos CFCs.⁷⁵

No Encontro de Londres, para os países em desenvolvimento ficou estabelecido o seguinte cronograma:²⁶

Até 1998: o consumo per capita não deverá exceder 0,3kg por ano.

Em 1999: congelar consumo no nível médio do período 1995-1997.

Em 2003: reduzir o consumo para 80% do nível médio do período 1995-1997.

Em 2005: reduzir o consumo para 50% do nível médio de 1995-1997.

A partir do ano 2010: consumo zero.

O México se propôs a eliminar os CFCs sem o período de tolerância concedido no Protocolo de Montreal, para os países em desenvolvimento. Este país também está desenvolvendo, a partir de 1992, um programa de reciclagem e recuperação de CFCs de sistemas de ar condicionado, em

conjunto com os fabricantes de equipamentos e de gases, e com o apoio da EPA e da UNEP.⁶⁴

No Encontro das Partes do Protocolo de Montreal realizado em Copenhague, em novembro de 1992, 93 países concordaram em antecipar a eliminação da produção de CFCs para 1 de janeiro de 1996, nos países desenvolvidos e a partir de 1 de janeiro de 2006 para os países em desenvolvimento.¹¹

Neste encontro, também ficou acertado que os HCFCs terão sua produção paralizada até o ano 2030. Além disso, será congelada, em 1995, aos níveis de 1991, a produção do brometo de metila, substância empregada na conservação de frutas e grãos.¹¹

Deve-se ressaltar que o Protocolo de Montreal não proíbe o uso de CFCs reciclados ou recuperados, após as datas fixadas para a paralização da sua produção. Isso está expresso no Protocolo pelo conceito de "nível calculado de consumo", que é o resultado da soma dos níveis calculados de produção e de importação, subtraindo-se o nível calculado de exportação, tudo relativo ao período anual. O nível calculado representa a multiplicação da quantidade anual (de produção, importação ou exportação) relativa a um determinado CFC, pelo respectivo potencial de redução da camada de ozônio (ODP).¹⁵

Os países desenvolvidos se comprometeram também, neste encontro de Copenhague, a injetar mais 500 milhões de dólares no Fundo Multilateral de ajuda aos países em desenvolvimento, previsto no Protocolo de Montreal, para a eliminação dos CFCs.¹⁵

Todos os signatários são obrigados, a partir de 1990, a

eliminar a importação de substâncias controladas, de países não signatários do Protocolo de Montreal, bem como estão proibidos de exportar para esses países. Todos os países signatários são obrigados a prover a UNEP, em Nairobi, com informações sobre a produção, importação e exportação de CFCs dentro de três meses da ratificação do Protocolo.²⁶

3. SITUAÇÃO NO BRASIL

3.1. PRODUÇÃO, USO E CONSUMO

No Brasil duas empresas multinacionais, uma de origem norte-americana e outra de origem alemã, fabricam os seguintes clorofluorcarbonos:³¹

CFC 11 - Triclorofluormetano
CFC 12 - Diclorodifluormetano
HCFC 22 - Clorodifluormetano

A partir de 1989 a empresa de origem alemã passou a operar uma unidade industrial para produção de:

CFC 113 - 1,1,2 - Triclorotrifluoretano
CFC 114 - 1,2 - Diclorotetrafluoretano
CFC 115 - Cloropentafluoretano

A capacidade instalada no país para produção dos CFCs 11, 12 e 22 é de 26.500 T/ano. Em 1986 a produção nacional desses três compostos foi de 13.200 toneladas.³¹

O mercado nacional de gases "Halons" é muito pequeno, sendo todo suprido por importações estimadas em 50 T/ano. O gás Halon (Halon 1211, Halon 1301 e Halon 2402) é um composto halogenado com bromo na molécula. São utilizados em sistemas de prevenção de incêndios, principalmente em centros de processamento de dados.³¹

O mercado brasileiro consumia, em 1988, cerca de 10.000 T/ano de CFCs o que representava um consumo anual por habitante da ordem de 70g (tabela 8)⁷. O Brasil é um pequeno consumidor comparado aos países desenvolvidos (tabela 9)⁷. Segundo VIEIRA(*) o consumo do HCFC 22 é da ordem de 4.000 T/ano.

(*) VIEIRA, P. Comunicação pessoal, 1990.

TABELA 8. - Evolução do consumo de clorofluorcarbonos no Brasil (toneladas).

Ano	CFC 11	CFC 12	CFCs 113, 114, 115 e Halons	TOTAL
1978	2.050	6.025	305	8.380
1979	2.125	6.565	360	9.050
1980	2.270	7.080	425	9.775
1981	2.270	6.220	435	8.620
1982	2.051	5.611	357	8.019
1983	1.750	5.540	410	7.610
1984	2.065	5.750	400	8.215
1985	2.229	5.997	455	8.681
1986	2.340	6.375	717	9.432
1987	2.830	7.269	884	10.983
1988	2.619	6.567	1045	10.231

Fonte : ABRAVA⁷

TABELA 9. - Consumo de CFC 11 e CFC 12, por país.

País	CONSUMO (EM 1.000 TONELADAS)	POPULAÇÃO (EM 1.000 HAB.)	CONSUMO POR HAB. (kg)	ANO DE REFE- RÊNCIA
CEE	228,5	269.017	0,850	85
EUA	197,4	234.400	0,850	85
JAPÃO	57,5	119.250	0,480	85
CHINA	18,0	1.019.102	0,020	-
AUSTRÁLIA	12,0	15.369	0,780	84
BRASIL	8,9	113.600	0,070	85
INDONÉSIA	5,4	158.900	0,030	84
ÁUSTRIA	5,2	7.549	0,690	85
MÉXICO	5,2	75.011	0,070	83
SUÉCIA	3,6	8.331	0,430	84
CORÉIA	3,1	40.100	0,080	85
EGITO	2,9	45.169	0,060	85
TAILÂNDIA	2,0	49.169	0,060	84
HONG KONG	1,7	5.400	0,320	85
MALÁSIA	1,4	14.863	0,090	-
KUWAIT	1,0	1.720	0,600	-
NORUEGA	0,7	4.133	0,180	84
ÍNDIA	0,4	749.200	0,001	82
HONDURAS	0,2	4.093	0,040	84

Fonte: ABRAVA⁷

O mercado de CFCs movimenta uma soma de dinheiro muito expressiva, razão do alto interesse econômico que as empresas produtoras de CFCs tem neste mercado.

Considerando-se a produção brasileira anual de 14.000 toneladas, incluindo-se os HCFCs, e o preço FOB estimado de US\$ 4.310,00 por tonelada, obtido de dados da importação brasileira de 1990⁵, tem-se uma soma de praticamente 60 milhões de dólares movimentados anualmente, a preços para grandes consumidores. O preço no mercado interno e para o usuário final é ainda maior.

A nível mundial, esta soma chegaria a cerca de 5 bilhões de dólares, considerando-se o mesmo preço acima e a produção de 1988 de 1.137.000 toneladas de CFCs⁵².

Considerando-se que os gases substitutos custariam cerca de 4 a 5 vezes mais que os atuais clorofluorcarbonos²⁰, temos que este mercado, em pouco tempo ultrapassaria 20 bilhões de dólares anuais, acentuando ainda mais o seu interesse econômico.

A distribuição do consumo dos CFCs 11, 12 no Brasil em 1991 indicava que 47% se destinavam à refrigeração, 40% para expansão de espumas 1% em aerossóis 7% como solvente e 5% em outros usos.¹⁶

Os usos principais dos clorofluorcarbonos são os seguintes:³¹

CFC 11 - tem maior aplicação em espumação de poliuretanos. É também utilizado em instalações de condicionamento de ar centrais, em aerossóis e agente térmico para bombas de calor, que no Brasil é raro.

CFC 12 - geladeira doméstica e freezer, balcões

frigoríficos comerciais pequenos, aparelhos de ar condicionado automotivo, agente de expansão de plásticos e aerossóis.

HCFC 22 - refrigeração e ar condicionado.

CFC 113 - limpeza de componentes eletrônicos, peças de aeronaves, peças mecânicas de precisão, peças cirúrgicas e indústria ótica, sendo o maior consumo na eletrônica.

CFC 114 - usado como refrigerante para cabines de pontes rolantes de usinas siderúrgicas e inclusive como aerossol farmacêutico.

CFC 115 - misturado com HCFC 22 para a produção do CFC 502. O CFC 502 é o tipo especial usado para baixas temperaturas em frigoríficos e balcões frigoríficos.

3.2. AÇÕES A NÍVEL NACIONAL

No Brasil a preocupação com o problema da redução da camada de ozônio começou efetivamente a partir do Protocolo de Montreal de 1987. No entanto, já em 1979 os CFCs foram tirados da lista de propelentes que poderiam ser utilizados em inseticidas domissanitários, conforme Resolução Normativa 2/78, do Ministério da Saúde, publicada no Diário Oficial de 9 de janeiro de 1979.

A divulgação maciça nos meios de comunicação sobre os clorofluorcarbonos e a camada de ozônio fez com que políticos de várias partes do país comessem a apresentar projetos de lei proibindo o uso desses compostos. O principal alvo nesta época eram as embalagens tipo aerossól.

Essa movimentação legislativa ocorreu a nível municipal e estadual. Como exemplo, citamos a lei no. 8.642, de 1 de

junho de 1988, do Estado do Rio Grande do Sul, que proibiu a comercialização e a utilização, no território daquele Estado, de "sprays" que contenham clorofluorcarbono (CFC). Mais recentemente, também no Rio Grande do Sul, a lei no. 9.404, de 25 de outubro de 1991, ainda não regulamentada, estabeleceu a proibição de embalagens descartáveis espumadas, tendo como agente expensor o clofluorcarbono, no território do estado do Rio Grande do Sul. (*)

Esta proibição no Rio Grande do Sul fez com que duas empresas multinacionais passassem a produzir embalagens sem a utilização de CFC como agente expensor, devido à importância do mercado de espumas naquele Estado. (*)

Em 1988 o Congresso Nacional começou a se movimentar para que houvesse uma legislação disciplinadora a nível nacional, uma vez que tratava-se de assunto que necessitava de uma ação coordenada, pela suas repercussões econômicas e sociais.

O assunto envolvia acordos internacionais, bem como o Brasil, pelo seu baixo consumo per capita, estava numa posição em que podia agir com calma, uma vez que estávamos mais numa posição de agredidos do que de agressores, já que os países desenvolvidos eram os grandes emissores de CFC para a atmosfera.

A primeira reunião de discussão do assunto a nível nacional ocorreu em 6 de julho de 1988, no Auditório Nereu Ramos do Congresso Nacional, promovida pela Frente Nacional de Ação Ecológica na Constituinte, com a coordenação de uma entidade ecológica.

Em 19 de setembro de 1.988 o Ministério da Saúde,

(*) DILDA, C. Comunicação pessoal, 1992.

através da Portaria Ministerial no. 534⁵⁴, proibiu, a partir de 21/9/1989, a fabricação e comercialização de produtos cosméticos, de higiene, perfumes e saneantes domissanitários, sob a forma de aerossóis, contendo clorofluorcarbonos.

Foram cobertos por esta portaria as seguintes substâncias halogenadas: CFCs 11, 12, 113, 114, 115 e "Halons" 1211, 1301, e 2402, constantes do Anexo A do Protocolo de Montreal sobre Substâncias que Destroem a Camada de Ozônio, de 1987.⁵⁵

Em relação ao uso em aerossóis, a situação está praticamente solucionada desde 1989. Segundo a Associação Brasileira de Aerossóis (ABA)¹, cerca de 90% dos aerossóis já não usam os CFCs como propelentes, tendo sido substituídos por butano e propano principalmente.

Projeto de lei dos deputados federais Fábio Feldmann e Nan Souza, apresentado à Câmara em 1988, propunha regras para a produção, consumo e uso de CFCs em todo o território nacional, baseado no Protocolo de Montreal. Contudo, decidiu-se naquela época, em reunião de grupo de trabalho no Congresso Nacional, pela concentração de esforços para a aprovação da mensagem do Poder Executivo encaminhada ao Congresso Nacional, propondo a adesão do Brasil à Convenção de Viena e ao Protocolo de Montreal.^{4, 19}

Em 15 de dezembro de 1989 o Congresso Nacional aprovou, pelo Decreto Legislativo no. 91, os textos da Convenção de Viena e do Protocolo de Montreal. O Instrumento de Adesão do Brasil a esses acordos internacionais foi depositado em Nova York em 19 de março de 1990.¹⁵

Em 6 de junho de 1990 o Presidente da República, através do Decreto no. 99.280, estabeleceu que "A Convenção de Viena

para a Proteção da Camada de Ozônio e o Protocolo de Montreal sobre Substâncias que Destroem a Camada de Ozônio, apensos por cópia ao presente Decreto, serão executados e cumpridos tão inteiramente como neles se contêm".¹⁵

Em 1990 dois encontros técnicos discutiram a problemática dos CFCs no Brasil. O primeiro foi organizado pelo IBAMA - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis, dentro da temática de mudanças climáticas, e se desenvolveu nos dias 2 e 3 de agosto daquele ano, em Brasília. O outro, foi realizado em São Paulo nos dias 9 e 10 de agosto do mesmo ano, com a participação de especialistas nacionais e estrangeiros, onde o tema era a redução da camada de ozônio e a participação dos CFCs neste fenômeno, tendo sido organizado pela Escola Politécnica da USP, em conjunto com a ABINEE - Associação Brasileira da Indústria Eletro-eletrônica e a ABRAVA - Associação Brasileira de Refrigeração, Ar Condicionado, Ventilação e Aquecimento e o Instituto Internacional do Frio, e com a participação dos diversos setores usuários de CFCs (refrigeração; ar-condicionado; espumas; ar condicionado de veículos; geladeiras, etc.).

Em 1990 também foi criado o Grupo Técnico-CFC, dentro da ABINEE - Associação Brasileira da Indústria Eletro-Eletrônica, que vem discutindo o assunto, fomentando a sua solução, com a participação de representantes da indústria, governo, universidade e prestadores de serviços na área de refrigeração e ar condicionado.⁴

No segundo semestre de 1992 começou a ser desenvolvido um estudo piloto denominado de "Programa de Reciclagem Industrial de Gases CFC Refrigerantes", para verificar a viabilidade do processo para uma possível implantação de um plano de reciclagem no Estado de São Paulo. A duração deste programa será de 8 meses e contará com a participação da

3.3. INFORMAÇÕES SOBRE EFEITOS

Em relação a possíveis efeitos, pouca informação existe no Brasil. Estatísticas relativas a câncer de pele mostram que este tipo de câncer está entre os de maior incidência no país. No entanto, a mortalidade por este tipo de câncer tem sido baixa, quando comparada com a mortalidade dos demais tipos de câncer, não estando entre os primeiros cinco tipos de câncer em relação à mortalidade.⁵⁶

A análise dos dados de mortalidade por câncer em São Paulo, feita pelo Registro de Câncer de São Paulo e pelo Instituto Ludwig de Pesquisa de Câncer, mostra que o achado mais surpreendente foi a alta taxa de mortalidade por câncer de pele, tanto no município como no Estado de São Paulo, no ano de 1978, em relação a outras partes do mundo. "A taxa de incidência de câncer de pele não-melanômico no município de São Paulo está entre as mais altas do mundo, enquanto que o município apresenta risco intermediário quanto à incidência de melanoma maligno. As possíveis explicações para esta alta mortalidade são somente tentativas".⁵⁷

A incidência de melanoma maligno no município de São Paulo aumentou significativamente no ano de 1978, comparado ao ano de 1973, conforme mostrado na tabela 2. Para o sexo feminino o aumento foi de 67%, enquanto para o sexo masculino o crescimento foi ainda maior, atingindo 90,5%. Considerando os dados de quatro capitais brasileiras (São Paulo, Porto Alegre, Recife e Fortaleza), as únicas que participam do levantamento mundial realizado para a Organização Mundial da Saúde, verifica-se que a incidência de melanoma maligno, para os dois sexos em conjunto, foi maior no município de São Paulo, seguido de Porto Alegre, Recife e Fortaleza, nesta ordem, nos períodos

mencionados.88, 89

Comparativamente a outras partes do mundo, conforme tabela 2, a incidência nestas capitais é relativamente baixa. Deve-se no entanto atentar para o fato de que as estatísticas de saúde no Brasil não apresentam a mesma confiabilidade dos países desenvolvidos, podendo tais valores estarem sub-estimados.

4. OBJETIVOS DA INVESTIGAÇÃO

Medidas vem sendo tomadas a nível mundial para a substituição destes compostos por outros menos agressivos à camada de ozônio.

Esta substituição depende principalmente de pesquisas que estão sendo levadas a efeito nos países detentores da tecnologia de produção destes compostos;

Outras medidas de controle podem ser tomadas em paralelo à substituição dos CFCs, e que serão de valia mesmo para os novos compostos;

O Brasil, por estar inserido no grupo dos pequenos consumidores, tem um prazo maior para eliminar a produção de CFCs;

O consumo e a emissão poderão ser contidos se forem adotadas as chamadas medidas de controle indireto ou seja, melhor manutenção para evitar vazamentos, armazenamento de gases já utilizados, cuidados na substituição do gás contaminado, controle de descarte de equipamentos, máquinas e dispositivos que utilizam clorofluorcarbonos;

A utilização de substitutos para os CFCs ambientalmente agressivos é importante, no entanto muitas questões ainda terão que ser resolvidas, como a modificação de máquinas e equipamentos para as características dos novos compostos, a perda energética, a produção dos mesmos no país ou o custo da sua importação e a toxicidade e possíveis efeitos ambientais negativos dos substitutos;

Desta forma, a presente investigação foi desenvolvida visando alcançar os seguintes objetivos:

A. OBJETIVO GERAL:

Estudar a situação dos clorofluorcarbonos no Brasil; os possíveis efeitos sobre o Brasil, resultante da redução da camada de ozônio; bem como os efeitos de medidas de controle de clorofluorcarbonos tomadas com base em acordos internacionais, nos aspectos econômico e de dependência tecnológica;

B. OBJETIVO ESPECÍFICO:

Investigar a viabilidade e o significado da adoção de métodos indiretos de controle de CFCs, denominadas de "Medidas de Conservação" representados por:

a) redução de perdas, através de programa de manutenção de equipamentos usuários de CFCs e de cuidados na troca do gás;

b) melhoria da qualidade de materiais peças e dispositivos utilizados nos sistemas;

c) coleta e reciclagem de gases;

d) disposição adequada de materiais e equipamentos contendo CFC.

Estão inseridos nos propósitos do projeto recomendações para o estabelecimento de práticas operacionais e de serviço, para o treinamento de usuários, para legislação específica e de outras medidas julgadas necessárias, de forma a efetivar na prática os resultados deste trabalho se os mesmos vierem a ser considerados viáveis e importantes à solução do problema dos clorofluorcarbonos.

5. METODOLOGIA

5.1. LEVANTAMENTO PRELIMINAR

Foi realizado inicialmente um levantamento de informações disponíveis, junto aos fabricantes de CFCs, na literatura, e junto a vários revendedores destes produtos. Este levantamento visou o conhecimento mais detalhado dos usuários no conjunto de consumo e emissão.

Estas informações foram então analisadas, de forma a caracterizar a provável participação de cada usuário no conjunto de consumo e emissão.

A seguir, com base no tipo de usuário, foi preparado o levantamento de campo, de acordo com uma amostra definida, que constou de visitas e entrevistas, verificação "in loco" das condições de uso e manipulação que serviram de base para o estabelecimento de procedimentos adequados, quando aplicável.

Considerou-se não necessária a medição de emissões para a caracterização qualitativa e quantitativa de diversas situações de uso e manipulação, como forma de uma caracterização de emissões baseada em medições, tendo em vista que o gás utilizado no sistema é específico, podendo o seu tipo ser perfeitamente caracterizado na entrevista e na verificação do sistemas visitados, bem como as emissões podem ser quantificadas pelo consumo registrado. Medição de emissões é de difícil execução prática, uma vez que as mesmas não são contínuas e são difusas, vindo principalmente de vazamentos e quando da abertura do sistema e na manutenção dos mesmos.

5.2. ABRANGÊNCIA

A análise dos usos principais dos CFCs (refrigeração; ar-condicionado; embalagens tipo aerossol; espumação;

solvente de limpeza) mostrou que somente a refrigeração e o condicionamento de ar se prestam à aplicação de métodos de recolhimento, reciclagem e medidas de redução de vazamentos para a redução do consumo e da emissão do gás.

O uso de CFC em embalagens tipo aerossol representam atualmente somente 1% do total consumido no Brasil. Em 1988 a participação desse setor era de 8%.⁴

Os substitutos dos CFCs nos aerossóis foram principalmente o propano e o butano. Além da não agressão à camada de ozônio, o butano e o propano são muito mais baratos, sendo o custo do GLP, constituído principalmente de butano e propano, de US\$ 0,41/kg, enquanto o CFC 11 custava US\$ 4,65/kg e o CFC 12 US\$ 5,44/kg (base 1988).¹

Uma desvantagem dessa substituição é a característica de inflamabilidade desses compostos substitutos, pois ambos são combustíveis. A substituição do propelente é a melhor solução no caso de aerossóis, exceto se for considerada a própria eliminação deste tipo de embalagem por outros meios mais naturais.

A produção de espumas no Brasil utiliza CFC na seguinte proporção:⁴

-24% para produção de espumas para isolamento de geladeiras;

-6% na produção de espumas para embalagem ("isopor");

-10% na produção de espumas flexíveis;

totalizando os 40% consumidos pelo setor de espumas.

As informações atuais indicam que a redução do consumo

de CFCs para espumação seria feita pela substituição total ou parcial por substâncias não halogenadas (água, gás carbônico, hidrocarbonetos, etc.), por substâncias halogenadas do tipo HCFC e HFC, ou por outros materiais isolantes (lã de vidro, fibra de vidro, etc.). Alguma redução poderia ser conseguida pela implantação de sistemas de exaustão e filtragem de ar, com carvão ativado por exemplo, e eventual recuperação e reciclagem do CFC coletado no filtro. No entanto, a tendência é mais pela substituição por outras substâncias.^{32, 71, 79}

Duas multinacionais, com fábricas no Estado de São Paulo, mudaram o processo para espumação com CO₂. Esta mudança foi acelerada pela proibição do uso do CFC em embalagens, no Rio Grande do Sul, fazendo com que fosse desenvolvido este novo processo para continuarem a participar do mercado daquele Estado, sendo que atualmente estão em posição privilegiada. (*)

Na utilização do CFC 113 como solvente, a emissão e o consumo podem ser reduzidos através da substituição por outros compostos, pela mudança de processos e pela utilização de métodos de controle. O CFC 113 é um produto que se encontra no estado líquido, na temperatura ambiente, mas que possui alta pressão de vapor ou seja, volatiliza-se com facilidade.

Uma das formas de substituição por outros compostos é a utilização da água, o solvente universal, na limpeza de metais e de peças de eletrônica, seguida de uma secagem especial. A longo prazo, a opção para circuitos eletrônicos é a utilização de fluxos que não necessitam de limpeza após a aplicação no circuito.³²

(*) DILDA, C. Comunicação pessoal, 1992.

A utilização de dispositivos, tais como a cobertura do recipiente que contém o produto; maior altura livre acima do nível do líquido junto com sistema de condensação de vapores no próprio recipiente; implantação de sistemas de reciclagem e recuperação de solventes reduzem a emissão na operação de limpeza.³²

Para subsidiar conclusões relativas à utilização de CFC 113 como solvente de limpeza, visitou-se quatro empresas na área elétrica e eletrônica.

A primeira delas é uma empresa multinacional que produz radios para veículos. Esta empresa já estava eliminando o CFC 113 de sua linha de produção, pela utilização de fluxo que não mais necessita de limpeza. Constatou-se na visita que parte da linha de produção já estava utilizando o novo fluxo ("no-clean flux"), sendo que parte dos constituintes do fluxo vem do Japão e a outra parte é adquirida no mercado interno. Segundo a empresa, esta alteração resultou em várias vantagens, sendo que a qualidade foi mantida ou melhorada; houve economia de espaço interno e redução de custo.

A segunda empresa visitada, da área de componentes para computadores, também multinacional, utiliza no próprio sistema um processo de recuperação e reciclagem do CFC por destilação seguida de condensação e, quando não mais é possível a sua recuperação na empresa, o mesmo é encaminhado para recuperação em firma especializada, que promove a reciclagem por processo de destilação. A matriz está estudando a utilização de processo de limpeza com água e posterior secagem especial.

A terceira empresa visitada é uma multinacional da área de componentes para telefonia, que utiliza o CFC 113 para limpeza de peças, mas em quantidades pequenas, sendo que os

tanques possuíam sistema de condensação de vapores. Seguindo orientação da matriz japonesa, este solvente seria substituído em curto prazo, sendo a princípio pelo "clorothene". É interessante notar que, segundo o representante da empresa, anteriormente eles usavam o "clorothene", tendo substituído-o por CFC 113.

A quarta empresa visitada é de origem nacional e se dedica à produção de equipamentos, peças e componentes de computadores. Esta empresa usa o CFC 113 para a limpeza de algumas peças de computadores e está realizando estudos para substituir o processo atual por lavagem com água deionizada, ultra-som e uma pequena parte de solvente.

No Brasil, somente 7% dos CFCs são utilizados como solvente.⁷⁶

Considerando que a substituição dos CFCs e a alteração de processos prevalecem para os setores de espumas, aerossóis e solventes, a pesquisa se concentrou nos setores de refrigeração e condicionamento de ar.

5.3. O CICLO DE REFRIGERAÇÃO

Nos equipamentos de refrigeração e de condicionamento do ar geralmente são empregados os seguintes processos de refrigeração:⁸⁶

a) Processo de refrigeração por compressão mecânica de vapor refrigerante;

b) Processo de refrigeração por absorção.

O ciclo de refrigeração por compressão de vapor é o mais comumente utilizado na prática. O ciclo de refrigeração por absorção tem a vantagem de não utilizar clorofluorcarbonos e

é uma das alternativas para a eliminação dos CFCs e já vem sendo utilizado na prática.¹⁷

Em 1824 o engenheiro francês Sadi Carnot chegou à conclusão que "o calor só pode produzir trabalho quando passa de um nível de temperatura mais alto para um nível de temperatura mais baixo".²²

Uma máquina térmica que retira calor de uma fonte quente e produz trabalho segue o "ciclo de Carnot". O processo inverso é denominado de "ciclo reverso de Carnot" e é o ciclo utilizado na refrigeração. Neste caso, para fornecer calor à fonte quente há necessidade de fornecimento de trabalho.²²

O refrigerante utilizado em sistemas de refrigeração e condicionamento de ar circula no sistema, passando por fases de condensação e evaporação, ocasião em que ocorre a transferência de calor. No condensador o gás refrigerante é condensado, após ter sido comprimido no compressor, cedendo calor ao meio circundante. Em seguida este refrigerante, na fase líquida, sofre uma expansão, passando para a fase vapor, retirando calor do ambiente que está sendo refrigerado (interior da geladeira, sala, barca de alimentos em supermercados etc.), voltando então para o compressor, reiniciando o ciclo.^{22, 17} Este processo está esquematizado na figura 17.

A retirada de calor do ambiente pode ser feita diretamente pelo refrigerante ou indiretamente como ocorre nos resfriadores de líquidos ("chillers"), onde o gás refrigerante resfria o líquido, em geral a água, e este então retirará calor do ambiente a ser refrigerado.

FIGURA 17. Esquema típico de ciclo de refrigeração por compressão mecânica de vapor utilizado em sistemas de refrigeração e condicionamento do ar.
Fonte: CARVALHO, J. G.¹⁷

5.4. SELEÇÃO DA AMOSTRA

Nos setores cobertos pela pesquisa optou-se trabalhar com grupos de usuários que pudessem representá-los. Assim, foram selecionados os seguintes usuários:

a) O setor de venda de alimentos perecíveis ao público ("supermercados"), que representaria o setor da refrigeração comercial;

b) Os edifícios providos de sistemas de condicionamento de ar;

c) O setor de reparação e manutenção de equipamentos de refrigeração e de condicionamento de ar, inclusive o relativo a ar condicionado de veículos e refrigeração doméstica.

Dentre as várias alternativas para a seleção de uma amostra desses setores, optou-se pela escolha de uma área no município de São Paulo e, dentro desta área, foram levantados os usuários selecionados. No caso de usuários de ar-condicionado, optou-se pela escolha de uma avenida com boa representatividade dentro da área selecionada.

Para a escolha da área básica levou-se em consideração os seguintes critérios:

a) Deveria conter supermercados de todos os portes, em número significativo, bem como de várias redes;

b) Deveria ter uma boa densidade de edifícios e de vários usos, portes e idades;

c) Deveria ter um número significativo de oficinas de conserto e de manutenção de equipamentos de refrigeração

doméstica e de condicionadores de ar de janela e automotivos.

Elegeram-se inicialmente a região delimitada pelas seguintes artérias:

Avenida Paulista, desde a avenida Brigadeiro Luiz Antônio até a rua da Consolação;

Avenida Dr. Arnaldo, desde o seu início até o cruzamento com a rua Cardeal Arcoverde;

Rua Cardeal Arcoverde, desde o seu início até o cruzamento com a rua Paes Leme;

Rua Paes Leme, em toda a sua extensão;

Avenida das Nações Unidas, a partir da rua Paes Leme, até a avenida Juscelino Kubitschek;

Avenida Brigadeiro Luis Antonio, do seu final até a avenida Paulista.

Esta região atendeu aos critérios fixados, com pequenos ajustes, discutidos abaixo.

A região amostral básica possui superfície de 12,504 km², representando uma fração de 0,83% da área total do município e 1,39% da zona urbana do município e um perímetro de 14,1 km. Trata-se de uma região de poder aquisitivo alto a médio. A figura 18 mostra a delimitação dessa região.

Dentro da região escolhida, foram determinados os usuários a serem pesquisados, exceto os usuários de condicionadores de ar, através da listagem de supermercados e oficinas de reparação e manutenção de equipamentos de refrigeração e de condicionamento de ar constante da publicação "Páginas Amarelas", ano 1990. Foram listadas todas as empresas com prefixo de telefone pertencentes à região básica definida.

FIGURA 18. Delimitação da área básica da pesquisa.

Foram pesquisados também usuários e oficinas com prefixos de telefone da área pesquisada, mas localizadas fora da mesma, pela sua importância na eliminação, no caso de supermercados, da influência de uma só rede nos supermercados de maior porte, envolvendo na prática, a inclusão de mais três supermercados, localizados próximos ao limite da área estabelecida, bem como para se ter um número significativo de oficinas. Em relação a serviços de reparação e de manutenção de equipamentos de refrigeração e de condicionamento de ar, foram incluídos quatro usuários fora da área básica definida.

A listagem inicial, nas condições acima, continha 56 "supermercados"; 11 oficinas de conserto de equipamentos de refrigeração; 4 oficinas de conserto de aparelhos de ar condicionado e 2 oficinas de manutenção de condicionadores de ar de veículos.

Foi também visitada, mas não incluída na análise estatística final de emissão, uma oficina de reparação e manutenção de condicionadores de ar automotivos, cujos serviços são utilizados por concessionária de veículos dentro da área básica pesquisada, para confirmação dos dados obtidos nas outras duas oficinas.

A avenida Paulista foi selecionada para servir de amostra de usuários de sistemas de ar condicionado em edifícios, estando portanto inserida na região demarcada para a pesquisa. As razões para a sua escolha foram a sua alta densidade de edificações, com alta probabilidade de conter representantes de todos os tipos de sistemas de ar condicionado, desde o aparelho individual de janela, até os sistemas centrais de grande porte; a existência de edificações de várias idades, possibilitando encontrar sistemas antigos, de média idade e sistemas novos; a diversidade de usuários, pois nela encontram-se edificações

residenciais, comerciais, de serviços e escritórios em geral. Neste caso, optou-se pela visita a todos os edifícios desta avenida, no trecho inserido na região delimitada.

A escolha de uma área e dentro dela levantar todos os usuários teve a vantagem de poder verificar praticamente todos os usuários da área, dispensando-se a definição de uma amostra estatisticamente representativa.

5.5. COLETA DE DADOS

O levantamento de campo foi realizado através de visita aos locais onde estavam os sistemas e nas oficinas selecionadas, verificação dos sistemas e entrevista com o responsável pela sua operação e/ou manutenção. Os dados foram registrados em formulários próprios, sendo um modelo para sistemas de ar condicionado de edifícios e outro para sistemas de refrigeração de supermercados e oficinas. Os formulários utilizados estão mostrados no anexo.

Em muitos casos os dados foram posteriormente complementados através de contato com a empresa ou profissional contratado para os serviços de manutenção do sistema, apondo os dados complementares ao mesmo formulário anteriormente preenchido.

A coleta dos dados iniciou-se em 16 de janeiro de 1991, estendendo-se até novembro de 1992. O primeiro setor pesquisado foi o de supermercados e oficinas de conserto de equipamentos de refrigeração e ar condicionado. O levantamento foi feito seguindo o critério de proximidade, a partir de uma micro-região escolhida aleatoriamente. Nem sempre a verificação do sistema e/ou a coleta dos dados foi possível na primeira visita. Neste caso, retornava-se ao usuário em outro dia, descartando-se os casos em que, após um período de tentativas de obtenção dos dados, não se

conseguiu informações suficientes.

No caso de sistemas de ar condicionado em edifícios, iniciou-se o levantamento a partir do cruzamento da avenida Paulista com a avenida Brigadeiro Luis Antonio, seguindo-se preferencialmente na sequência crescente da numeração dos edifícios. Também neste caso houve necessidade de retornos a vários usuários, pela impossibilidade de verificação do sistema e/ou coleta dos dados na primeira visita.

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1. SUPERMERCADOS

A lista inicial de "supermercados" indicava a existência de 56 estabelecimentos deste tipo. A verificação em campo mostrou que:

- 22 não eram "supermercados" (residências, escritórios, etc);
- 4 apresentavam duplicidade de endereço;
- 4 não forneceram os dados;
- 1 endereço continha 2 estabelecimentos.

Portanto, dos 31 "supermercados" existentes na área, conseguiu-se 27 levantamentos válidos , ou seja, 87,1% do total.

A tabela 10 mostra um resumo dos dados de carga e de consumo de gás e do tipo de manutenção efetuada nos sistemas de refrigeração desses estabelecimentos, bem como o porte dos mesmos.

Dos supermercados pesquisados, 40,7% podem ser considerados de pequeno porte (área construída de até 500m²); 48,1% são de médio porte (área construída entre 500 e 2.500 m²) e 11,1% são de grande porte (área construída a partir de 2.500 m²)

Da carga total de clorofluorcarbonos nos sistemas de refrigeração pesquisados, ou seja 22.294 kg, 89,8% é constituída de HCFC 22.

Considerando que o HCFC 22 tem potencial de agressão à camada de ozônio (ODP) de 0,05, enquanto o CFC 12 tem ODP igual a 1, verifica-se que a utilização atual já é de CFC pouco agressivo à camada de ozônio, o que é uma situação

TABELA 10. Carga e consumo de gás refrigerante e tipo de manutenção efetuada nos sistemas de refrigeração de supermercados

código do esta- belec.	porte			carga de gás (kg)			consumo (kg/ano)			manutenção		
	P	M	G	R12	R22	R502	R12	R22	R502	Pr	Co	Mi
001SUP		X		136			120			X		
002SUP	X				60			12			X	
003SUP		X		64	8		20	2			X	
004SUP		X		75			10			X		
005SUP		X			185			70			X	
006SUP		X			330	20		364	0			X
007SUP		X		250	A-C	90	180		48	X		
008SUP	X			30	A-C	15	36		24	X		
009SUP	X				51			0			X	
010SUP	X			4			1				X	
011SUP	X			10			2				X	
012SUP	X			2			1				X	
013SUP	X			2			0				X	
014SUP		X		110		20	102		19	X		
015SUP		X		82		10	96		12	X		
016SUP	X			62	A-C	10	72		12	X		
017SUP*			X		600			120		X		
018SUP		X		98	18	10	72	24	12	X		
019SUP	X			24			<120			X		
020SUP			X		6000			3000		X		
021SUP	X			63	7		20	3			X	
022SUP		X		153		20	96		3	X		
023SUP		X			150			100		X		
024SUP		X		325		158	336		180	X		
025SUP	X			60	6		3			X		
026SUP		X		250		90	180		48	X		
027SUP			X	A-C	12600	36		3600	10	X		
TOTAL	11	13	3	1800	20015	479	1467	7295	368	17	9	1

OBS.: R = refrigerante

P = porte pequeno; M = médio; G = grande

Pr = manutenção própria; Co = contratada; Mi = mista

A-C: usa o gás para o sistema de ar condicionado

* - usa o gás R-11 para o sistema de ar condicionado

favorável para o Brasil, além de demonstrar que o HCFC 22 já está sendo utilizado na refrigeração comercial com grande intensidade, concentrando-se principalmente em sistemas de médio e grande porte.

Um fato expressivo é que a relação consumo/carga é maior para os sistemas que utilizam CFC 12, em relação àqueles que utilizam o HCFC 22 (0,815 e 0,364 kg/ano/kg de carga, respectivamente). Assim, uma maior utilização de HCFC 22 seria também favorável ao meio ambiente, neste aspecto. A razão para esta diferença pode estar no fato de que o HCFC 22 trabalha sob pressões maiores, o que levaria a ter-se cuidados maiores em relação a materiais utilizados no circuito de gás e principalmente nas conexões. Esta observação foi feita por vários profissionais da refrigeração nos usuários pesquisados.

A limpeza dos circuitos de refrigeração é feita com a utilização de CFC 11, que em geral é descartado na atmosfera, após uso. Dos supermercados com informações completas, somente um deles citou a utilização de equipamento especial para a limpeza dos circuitos, com recuperação do CFC 11 utilizado. Cinco supermercados utilizavam dispositivos para retirar e armazenar o gás de refrigeração e para repô-lo após o serviço de reparação/manutenção. Em alguns casos o gás é recolhido no reservatório do próprio sistema de refrigeração, enquanto é feita a reparação/manutenção.

A manutenção própria predomina nas unidades pesquisadas, correspondendo a 63% do total. A manutenção preventiva tem mostrado ser mais efetiva para evitar quebras no sistema e também para reduzir o consumo de gás refrigerante, conforme informações obtidas nas unidades pesquisadas. Uma grande rede de supermercados informou que, após a adoção de "contratos de manutenção preventiva", as quebras no sistemas

de refrigeração se reduziram consideravelmente. A tabela 11 mostra a estatística dessa rede, na área de manutenção de equipamentos de refrigeração.

Com a adoção do "contrato de manutenção preventiva" a frequência de ocorrência de problemas nos equipamentos de refrigeração reduziu em 61,1%; a troca de compressores foi reduzida de 85,2%; o consumo de gás foi reduzido em 73,2% e houve também redução no consumo de energia, no consumo de materiais para a manutenção. O gasto em mão de obra permaneceu inalterado. Além disso, a temperatura final no equipamento de refrigeração diminuiu, passando a atender melhor as condições exigidas à boa conservação de alimentos. (*)

Na pesquisa era também perguntado quanto ao conhecimento, do problema dos CFCs em relação à camada de ozônio. Verificou-se que 58,6% dos entrevistados, que eram os responsáveis pela manutenção dos sistemas, tinham conhecimento do problema, mas nem todos relacionavam o gás refrigerante com o problema.

As medidas já adotadas na prática para redução do consumo de gás, como por exemplo a manutenção preventiva, tinham como base o aspecto econômico, principalmente o preço do gás.

Vazamentos de gás ocorrem principalmente na válvula de expansão, nos pressostatos, rompimento de tubulações e selos de vedação. Muitos entrevistados mencionaram o problema da má qualidade dos componentes, das peças e dos materiais como fontes de vazamentos.

(*) RODRIGUES, B. Comunicação pessoal, 1992.

TABELA 11. Resultados obtidos com a implantação de "contrato de manutenção preventiva" em uma rede de supermercados.

ÍTEM	SITUAÇÃO		REDUÇÃO
	AGOSTO/1990	JULHO/1992	
frequência de problemas na área de refrigeração. (chamadas/dia/loja)	0,157	0,061	61,1%
Troca de compressores (trocas/mês/loja)	0,27	0,04	85,2%
Consumo médio de materiais	990.459 (*)	292.223	70,5%
Gasto médio de mão de obra de manutenção (Cr\$/mês/loja)	1.032.094 (*)	1.031.297	não houve variação

(*) Corrigido monetariamente para julho de 1992.

6.2. CONDICIONADORES DE AR DE EDIFÍCIOS

Foram visitados, na avenida escolhida, 64 prédios, gerando 98 entrevistas, obtendo-se 64 formulários com respostas completas, o que representa 65,3% do total entrevistado.

Em relação à capacidade dos sistemas de ar condicionado dos prédios visitados, o total de formulários completos obtidos representam cerca de 82% da capacidade de refrigeração dos sistemas visitados, medida em termos de toneladas de refrigeração (TR). Cada tonelada de refrigeração corresponde a 12.000 BTU/hora (3024 kcal/hora).⁸⁶

Os dados sobre tipos e capacidades dos equipamentos de refrigeração utilizados e tipo, carga e consumo dos clorofluorcarbonos utilizados como refrigerante estão apresentados nas tabela 12.

Com base na capacidade de refrigeração, expressa em TR, verifica-se que os sistemas com compressor tipo centrífuga representam 42,8% da capacidade de refrigeração total dos levantamentos com informações completas, vindo em segundo lugar os sistemas tipo "self", com 35,5% e em terceiro lugar os "chillers" com compressor não-centrífugo, com 12,6%. A capacidade total de refrigeração nos levantamentos com informações completas atinge 20.028 TR.

No que diz respeito à quantidade de gás presente nos equipamentos, verificou-se que 4.780 kg eram de CFC-11 (16,0%); 3.479 kg eram de CFC-12 (11,7%) e 21.520 kg eram de HCFC-22 (72,3%). O total de gás refrigerante armazenado nos sistemas era de 29.779 kg.

A carga de CFCs mais agressivos à camada de ozônio (CFC-

11 e CFC-12) atinge portanto 27.7%, correspondente a 8.259kg.

Verificou-se também que a tendência mais recente é de utilização de sistemas com HCFC-22, estando estes sistemas presentes com maior frequência nos prédios mais novos e naqueles em que há mais de uma empresa no mesmo prédio.

Em relação ao consumo de gás refrigerante, da quantidade total consumida, 6.053kg/ano, 23,7% são de CFC-11; 6,4% referem-se a CFC-12 e 69,9% correspondem ao HCFC-22.

Não estão incluídos nos dados de consumo acima a quantidade de CFC-11 utilizada para limpeza do sistema.

Em relação à limpeza de circuitos de circulação de gás refrigerante nos sistemas de refrigeração, foi observado que as empresas utilizam o CFC-11 para esta finalidade, mesmo nos sistemas que trabalham com o HCFC-22.

É importante ressaltar o aspecto de utilização de um CFC bastante agressivo à camada de ozônio, para limpeza dos circuitos, quando ocorre a queima de compressores herméticos e semi-herméticos, em sistemas que trabalham com o HCFC-22 como gás refrigerante, um gás pouco agressivo à camada de ozônio.

A frequência maior, segundo os dados da pesquisa, é de realizar a limpeza com o CFC-11 e sem sistema de reciclagem do gás. 11% das empresas não utilizam a prática de uso de CFC-11 para limpeza dos circuitos. Neste caso são utilizados filtros especiais que retiram a umidade e a sujeira que contaminou o gás refrigerante. 13% das empresas utilizam máquina especial para recolher e reciclar o gás utilizado na limpeza. 9% das empresas recolhem o gás utilizado na limpeza e o encaminham para reprocessamento (recuperação).

No final da pesquisa verificou-se da disponibilidade no mercado de um produto (Metasil R110) para substituir o CFC 11 na limpeza de circuitos de condicionadores de ar e de refrigeração, do tipo halogenado, mas não-CFC. Pelos dados do fabricante verifica-se que este produto tem toxicidade ao ser humano mais alta que os CFCs.

O método mais comum para localizar vazamentos é a utilização de espuma de sabão, sendo que algumas empresas utilizam a lamparina. 11% das empresas possuem detetor eletrônico para localização de vazamentos de gás.

17,2% das empresas pesquisadas possuem equipe de manutenção própria, sendo que o restante contrata empresa especializada na manutenção de equipamentos de condicionamento de ar.

Verificou-se a existência de 44 empresas diferentes de manutenção de sistemas de condicionamento de ar prestando serviço no trecho pesquisado. Uma empresa de manutenção atendia oito empresas diferentes; oito empresas de manutenção atendiam duas empresas diferentes cada; as demais atendiam somente a uma empresa cada.

Na tabela 13 estão resumidas as principais informações obtidas no levantamento destes usuários.

TABELA 12. Uso de CFCs em Sistemas de Condicionamento de Ar na Avenida Paulista.

código da unidade	tipo de equipamento	capacidade do sistema (TR)	uso de CFC			
			carga (kg)		consumo (kg/ano)	
			R11	R22	R11	R22
01ACE	self	23		17		3
02ACE	chiller	200		120		8
03ACE	self	46		95		18
04ACE	centrif.	640	700		120	
05ACE	self	40		48		NH
06ACE	self	510		578		105
07ACE	self chiller todos	20 110		77		50
08ACE	self	38		35		9
09ACE	self	73		60		20
10ACE	outros	180	203 R12		120 R12	
11ACE	janela	9		10		10
	self	45		41		NH
12ACE	self	15		27		13
13ACE	janela	3		2		NH
	self	15		12		1
14ACE	self	15		9		8
15ACE	self	15		15		12
16ACE	centrif.	480	380		100	
17ACE	outros	240		260		12
18ACE	self	15		14		NH
19ACE	outros	180		234		NH
20ACE	outros	900		12.000		1.000
21ACE	self	140		112		NH
22ACE	self	369		369		40
23ACE	self	40		28		NH
24ACE	centrif.	950	750		200	
25ACE	self	405		405		72

TABELA 12. Uso de CFCs em Sistemas de Condicionamento de Ar na Avenida Paulista. (continuação 1)

código da unidade	tipo de equipamento	capacidade do sistema (TR)	uso de CFC			
			carga (kg)		consumo (kg/ano)	
			R11	R22	R11	R22
26ACE	self	480		455		20
	centrif.	2.400	1.056		132	
	chiller	360		210		2
27ACE	self	90		78		56
28ACE	self	18		17		NH
	janela	1		1		1
29ACE	self	355		284		48
30ACE	centrif.	480	500		500	
31ACE	chiller	720		680		45
32ACE	centrif.	430	500		130	
33ACE	self	125		145		29
34ACE	centrif.	1.300	1.816	R12	200	R12
35ACE	centrif.	345	350		250	
	self	90		90		12
36ACE	self	745		620		700
37ACE	chiller	150		150		20
38ACE	centrif.	750	1.400	R12	70	R12
	chiller	240		200		NH
39ACE	janela	148				
	self	147				
	chiller	17				
	todos			312 (e)		200
40ACE	self	265		212		15
41ACE	self	245		196		5
42ACE	centrif.	800		544		NH
	chiller	220		162		NH
43ACE	self	95		76		NH
44ACE	self	468		421		20
45ACE	self	420		392		
	outros	1		3		
	janela	7		4		
	todos					240

TABELA 12. Uso de CFCs em Sistemas de Condicionamento de Ar na Avenida Paulista. (continuação 2)

código da unidade	tipo de equipamento	capacidade do sistema (TR)	uso de CFC			
			carga (kg)		consumo (kg/ano)	
			R11	R22	R11	R22
46ACE	chiller	420		300		950
47ACE	self	200		200		180
48ACE	self	40		55		6
49ACE	self	318		320		24
50ACE	self	20		12		NH
	janela	3		1		NH
51ACE	self	78		105		NH
52ACE	self	350				
	chiller	40				
	outros	3				
	todos			419		20
53ACE	self	10		8		2
54ACE	outros	60	60 R12		NH	
55ACE	self	200		200		60
56ACE	self	54		54		10
57ACE	self	58		58		9
	chiller	50		120		50
	outros	87		100		25
58ACE	self	30		32		23
59ACE	self	25		18		
	outros	3		3		
	todos					14
60ACE	self	40		40		10
61ACE	self	93		93		25
62ACE	self	23		14		5
63ACE	self	45		42		19
64ACE	self	150		50		5

Self = sistema "self contained"

Chiller = sistema "chiller" com compressor não-centrífugo.

Centrif. = sistema tipo centrífuga.

Janela = aparelho compacto de janela (ou de parede).

NH = não houve consumo de gás refrigerante.

NS = não soube informar. (e) = estimado

TABELA 13. Resumo das Informações dos Sistemas de Condicionamento de Ar da Avenida Paulista.

PARÂMETRO	SUB-PARÂMETRO	QUANTIFICAÇÃO	
Prédios visitados	-	64	
Entrevistas realizadas	-	98	
Formulários com informações completas	-	64 (65,3%)	
Capacidade dos sistemas com informações completas (TR)	self	7.101	(35,5%)
	chiller	2.527	(12,6%)
	centrífuga	8.575	(42,8%)
	janela	171	(0,8%)
	outros	1.654	(8,3%)
	TOTAL	20.028	
Carga de gás nos sistemas com informações completas (kg)	CFC 11	4.780	(16,0%)
	CFC 12	3.479	(11,7%)
	HCFC 22	21.520	(72,3%)
	TOTAL	29.779	
Consumo de gás refrigerante nesses sistemas (kg/ano)	CFC-11	1.432	(23,7%)
	CFC 12	390	(6,4%)
	HCFC-22	4.231	(69,9%)
	TOTAL	6.053	

6.3. SERVIÇOS DE REPARAÇÃO E DE MANUTENÇÃO DE EQUIPAMENTOS DE REFRIGERAÇÃO DOMÉSTICA E DE CONDICIONADORES DE AR DE JANELA E AUTOMOTIVO

Da lista inicial de 17 oficinas de conserto de condicionadores de ar de janela, automotivo e de equipamentos de refrigeração doméstica foram realizados 10 levantamentos sendo:

- 4 oficinas de reparação de geladeiras e "freezers";
- 3 oficinas de conserto de condicionadores de ar de janela;
- 1 oficina de conserto de condicionadores de ar de janela, geladeiras e "freezers".
- 2 oficinas de conserto de condicionadores de ar automotivos;

Quatro empresas listadas inicialmente como oficinas eram na realidade postos de recebimento de equipamentos para conserto. Três dessas quatro empresas pertenciam a uma mesma rede de fabricante de geladeiras e "freezers", sendo então visitada a oficina que realiza o conserto dos mesmos, resultando em 1 levantamento. A oficina do posto de recebimento do outro fabricante também foi visitada, resultando em um levantamento válido. Uma empresa não forneceu as informações; duas já haviam se mudado do local; duas empresas listadas como oficinas eram na realidade residências.

Foi feito também o levantamento de mais uma oficina, na área de ar condicionado automotivo, para ter-se pelo menos três oficinas deste setor. Esta oficina está localizada fora da área delimitada, e não está na região com prefixo de telefone da região pesquisada, não tendo sido incluída nas tabelas apresentadas, mas serviu de fonte de informação para confirmar a ordem de grandeza da emissão (consumo) das

oficinas que estavam dentro da região delimitada. Esta oficina apresenta um consumo de 5040 kg/ano de CFC 12. Este consumo é maior que o consumo das oficinas enquadradas na pesquisa (média de 2040 kg/ano), no entanto trata-se de oficina que possui movimento bem maior que estas e que da mesma forma não possui sistema para recolher e reciclar ou recuperar o gás.

As informações obtidas nos levantamentos estão resumidas na tabela 14.

As informações relativas ao tipo de gás utilizado confirmam o uso do CFC 12 em geladeiras e "freezers" e em sistemas de condicionamento de ar automotivo e o do CFC 22 em equipamentos de condicionamento de ar compactos (condicionadores de janela)

Geladeiras e "Freezers"

Em relação a geladeiras e "freezers" as fontes de vazamento e consumo de gás preponderantes são a limpeza desses equipamentos com objetos cortantes e/ou pontiagudos (objetos perfuro-cortantes) e a queima de compressores. Outras fontes de vazamento são os pontos de solda de tubulação e a própria tubulação do circuito de refrigeração, que é de alumínio atualmente, sendo que antigamente era de cobre e, segundo uma das empresas informantes, era mais durável.

A queima de compressores tem como um dos motivos a oscilação de voltagem que ocorre na energia elétrica recebida.

Somente uma empresa possuía equipamento para recolhimento e reciclagem do gás. O equipamento de reciclagem era de construção própria e de custo

relativamente baixo e estava em fase experimental. Não era feito o recolhimento do gás de equipamentos com compressores queimados. Neste caso o gás era lançado na atmosfera.

Para retirada do gás do circuito de refrigeração era utilizado um dispositivo contendo uma agulha que perfura a tubulação do gás do equipamento e uma derivação acoplada para que o gás se dirija ao equipamento de recolhimento e filtragem após a perfuração pela agulha. Segundo esta empresa, este dispositivo consegue extrair 90% do gás contido no circuito de refrigeração.

Condicionadores de Ar de Janela

Em relação a condicionadores de ar de janela, verificou-se que é muito raro ocorrer vazamento de gás junto ao usuário. A liberação ocorre na própria reparação do mesmo, quando da substituição ou conserto do compressor. A oscilação de voltagem da rede elétrica e a má qualidade dos compressores atuais foram dois importantes motivos citados pelas empresas para a queima ou avaria de compressores.

A ocorrência de queima de compressores de equipamentos de condicionamento de ar compactos ocorre em média em 37% dos equipamentos recebidos para conserto, variando de 20% a 60% dos casos segundo os dados das empresas pesquisadas.

A limpeza do circuito de refrigeração é realizada, quando da queima dos compressores, com a utilização do CFC 11. Duas das empresas possuía equipamento para reciclagem de gás sendo uma a já citada acima. A outra empresa só utilizava o aparelho de coleta e reciclagem nos aparelhos de maior capacidade, os quais contém maior quantidade de CFC.

TABELA 14. Resumo de informações obtidas no levantamento de serviços de reparação e manutenção

CÓDIGO DA UNIDADE	CONSERTO/ MANUTENÇÃO DE:	TIPO DE CFC	CONSUMO DE GÁS (KG/ANO)	USA DISPOSITIVO DE RECICLAGEM?	FONTES DE VAZAMENTO E DE CONSUMO DE GÁS REFRIGERANTE
01-SRM	geladeiras e "freezers"	R-12	30	NÃO	-99% dos vazamentos ocorrem por limpeza com objetos cortantes
02-SRM	geladeiras e "freezers"	R-12	528 (*)	NÃO	-limpeza com objetos cortantes -defeito na tubulação que atualmente é de alumínio (antes era de cobre)
03-SRM	condic. de janela, gel. e "freezers"	R-12 R-22	300 210	SIM (construção própria)	-soldas da tubulação -furo no evaporador
04-SRM	geladeiras "freezers"	R-12	48	NÃO	-limpeza por objetos cortantes -queima de compressores
05-SRM	geladeiras "freezers"	R-12	600	NÃO	-objetos pontiagudos -queima de compressores, principalmente por variação de voltagem.
06-SRM	condicionador de ar de janela	R-22	200	NÃO	-é muito raro vazar gás (3%) -20% dos casos tem que trocar compr.
07-SRM	condicionador de ar de janela	R-22	240(**)	NÃO	-60% dos casos por queima de compr. -muito raro vazar o gás -compressores queimam principalmente por oscilação de voltagem.
08-SRM	condicionador de ar de janela	R-22	1.500	SIM (nos aparelhos maiores)	-vazamento de gás é muito raro -30% dos casos com compr. queimado -compressor importado é melhor
09-SRM	condicionador automotivo	R-12	1.740	NÃO	-ressecamento de mangueiras -vazamentos em colisões.
10-SRM	condicionador automotivo	R-12	2.340	NÃO	-vazamentos em colisões -mangueiras atuais são de má qual. -chega sem gás na maioria das vezes

(*) Correspondente a três postos de recebimento na área da pesquisa.

(**) Consumo na recessão. Na situação normal o consumo triplica.

Condicionadores de Ar Automotivos

As oficinas de conserto e manutenção de condicionadores automotivos não possuíam equipamento para recolhimento e reciclagem do gás utilizado (CFC 12). Neste caso, muito gás é perdido para a atmosfera antes que o veículo chegue à oficina.

As colisões no trânsito e o ressecamento ou a má qualidade das mangueiras atualmente utilizadas, bem como a existência de folgas nas conexões (abraçadeiras) de má qualidade ou mal colocadas, são fontes significativas de vazamento, segundo as pessoas entrevistadas.

Realizar revisões periódicas, por exemplo de três em três meses, é importante para evitar possíveis vazamentos de gás, segundo as oficinas de manutenção de condicionadores de veículos. É também aconselhável, segundo as oficinas pesquisadas, ligar o equipamento pelo menos uma vez por semana, mesmo no inverno, para evitar ressecamento do selo do compressor, evitando-se vazamentos neste ponto.

6.4. ANÁLISE GLOBAL DA EMISSÃO DE CFCs NA REGIÃO PESQUISADA

Os dados de emissão de clorofluorcarbonos nas empresas e usuários pesquisados estão consolidados na tabela 15.

Verifica-se que, considerando-se somente a quantidade consumida em termos de massa (kg/ano), a refrigeração de supermercados é a que mais emite, participando com 39,8% do total consumido, vindo em seguida os sistemas de condicionamento de ar da avenida Paulista com 26,4%, em terceiro lugar as oficinas de conserto/manutenção de condicionadores de ar de veículos com 17,8%, em quarto lugar

o consêrto/manutenção de condicionadores de janela com 9,4%, e em último lugar o consêrto de geladeiras e "freezers" com 6,6%.

No entanto, ao se considerar também o potencial de redução da camada de ozônio de cada clorofluorcarbono utilizado, ou seja, o produto entre a emissão e o ODP respectivo, o primeiro colocado passa a ser as oficinas de consêrto/manutenção de condicionadores automotivos, representando 41,9% da emissão ponderada, conforme tabela 16, vindo a seguir os sistemas de condicionamento de ar em edifícios da avenida pesquisada (21,1%), em terceiro lugar, com diferença mínima, a refrigeração de supermercados (20,3%), em quarto lugar os serviços de conserto de geladeiras e "freezers" (15,5%) e em último lugar o conserto de condicionadores de ar de janela (1,2%).

A utilização do HCFC 22 e do R 502 diminuiu o potencial de agressão à camada de ozônio em 57,5%, nos usuários pesquisados, já que a emissão foi reduzida de 22.919 kg/ano (total da tabela 15) para 9.730 kg.ODP/ano (total da tabela 16). O HCFC 22 foi o principal agente dessa diminuição e sua contribuição foi de 56,4% (98,7% da redução total observada), conforme demonstrado abaixo:

$$DP_{HCFC-22} = [(13.676 - 752)/22.919] \times 100 = 56,4\%,$$

sendo:

$DP_{HCFC-22}$ = diminuição do potencial de agressão à camada de ozônio pelo uso do HCFC 22 (%);

13.676 = emissão de HCFC 22 (kg/ano), sem considerar o seu ODP;

752 = valor da emissão ponderada de HCFC 22 (kg.ODP/ano) nos usuários pesquisados;

22.919 = emissão total (kg/ano) de fluidos refrigerantes nos usuários pesquisados, sem considerar os ODPs respectivos.

Deve-se ressaltar que a emissão apresentada nas tabelas 15 e 16 não representam toda a emissão (consumo) de clorofluorcarbonos na região, mas sim uma estimativa para as empresas e usuários pesquisados.

TABELA 15. Emissão de clorofluorcarbonos nas empresas ou usuários pesquisados, por tipo de uso e por tipo de produto.

FONTE	CFC 11 (*)		CFC 12		HCFC 22		R-502		TOTAL	
	kg/ANO	%	kg/ANO	%	kg/ANO	%	kg/ANO	%	kg/ANO	%
Supermercados (refrig.)	-	-	1.467	19,7	7.295	53,3	368	100	9.130	39,8
Ar condic. de edifícios	1.432	100,0	390	5,2	4.231	30,9	-	-	6.053	26,4
Conserto/manutenção de										
Ar condic. automotivo	-	-	4.080	54,8	-	-	-	-	4.080	17,8
Conserto/manutenção de										
Ar condic. de janela	-	-	-	-	2.150	15,7	-	-	2.150	9,4
Conserto/manutenção de										
Geladeiras e Freezers	-	-	1.506	20,2	-	-	-	-	1.506	6,6
Total	1.432	100,0	7.443	100,0	13.676	100,0	368	100	22.919	100,0

(*) Sem considerar o CFC 11 utilizado para limpeza dos sistemas.

TABELA 16. Emissão ponderada (kg.ODP/ano) de clorofluorcarbonos nas empresas ou usuários pesquisados, por tipo de uso e por tipo de produto utilizado.

FONTE	CFC11 (*)		CFC 12		HCFC 22		R-502		TOTAL	
	kg.ODP/ANO	%	kg.ODP/ANO	%	kg.ODP/ANO	%	kg.ODP/ANO	%	kg.ODP/ANO	%
Supermercados (refrig.)	-	-	1.467	15,1	401	4,1	103	1,1	1.971	20,3
Ar condic. de edifícios	1.432	14,7	390	4,0	233	2,4	-	-	2.055	21,1
Conserto/manutenção de										
Ar condic. automotivo	-	-	4.080	41,9	-	-	-	-	4.080	41,9
Conserto/manutenção de										
Ar condic. de janela	-	-	-	-	118	1,2	-	-	118	1,2
Conserto/manutenção de										
Geladeiras e Freezers	-	-	1.506	15,5	-	-	-	-	1.506	15,5
Total	1.432	14,7	7.443	76,5	752	7,7	103	1,1	9.730	100,0

(*) Sem considerar o CFC 11 utilizado para limpeza dos sistemas.

ODP = Potencial de redução da camada de ozônio (ODP=1 para CFCs 11 e 12, ODP=0,055 para HCFC 22 e

ODP=0,28 para o R 502).

7. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

7.1. CONCLUSÕES

1. Nos usuários pesquisados predomina o consumo de HCFC 22, o que reduz o potencial de ataque à camada de ozônio em 56,4%;

2. A reciclagem e a recuperação ocorrem em pequena escala na região estudada;

3. Os equipamentos de condicionamento de ar automotivos são a fonte mais significativa de substâncias agressivas à camada de ozônio nos usuários pesquisados;

4. Emissões vem ocorrendo por práticas de serviço não adequadas, como a não localização de vazamentos antes da recarga de sistemas, não verificação frequente de pontos de vazamentos, o não controle da quantidade de gás injetado em relação à quantidade exigida pelo sistema, e a limpeza de geladeiras e "freezers" com objetos perfuro-cortantes;

5. A utilização do CFC 11 na limpeza de circuitos de refrigeração reduz o ganho obtido com a alta taxa de utilização do HCFC 22;

6. Os cuidados que vem ocorrendo na prática, nesta região, para redução do consumo de gás refrigerante, apesar de que em nível pouco satisfatório, tem motivação no custo relativamente alto do gás refrigerante;

7. Há desconhecimento em nível significativo, por parte dos usuários pesquisados, dos efeitos ambientais do lançamento do gás de refrigeração na atmosfera;

8. A manutenção preventiva mostrou ser eficaz, tanto para reduzir o consumo de gás refrigerante, como para reduzir a substituição de peças e componentes;

9. A reciclagem e a recuperação do gás refrigerante tem efeito positivo não só na redução do seu lançamento à atmosfera, reduzindo o ataque à camada de ozônio, mas também pela redução da sua fabricação, o que economiza recursos naturais, energia e reduz o lançamento de resíduos no meio ambiente, o risco ao meio ambiente e o risco à saúde de trabalhadores e comunidade em geral;

10. É viável a introdução de um programa de reciclagem e recuperação, sendo que a sua eficácia dependerá mais da logística adotada, do treinamento de operadores, da conscientização e motivação dos usuários e operadores, do que de condições técnicas;

11. O aspecto qualidade, seja de serviços seja de materiais, mostrou ser um fator importante para reduzir impactos negativos ao meio ambiente, não só pelo aumento da vida útil de equipamentos e componentes, mas também por ser um fator de grande importância para reduzir vazamentos de gás refrigerante para a atmosfera.

7.2. RECOMENDAÇÕES

1. Que sejam estabelecidos uma política e programas de incentivo e apoio, inclusive financeiro, à utilização de processos de reciclagem e recuperação de gases refrigerantes;

2. Que seja mandatória a utilização de processos de recolhimento, reciclagem e de recuperação de clorofluorcarbonos de sistemas de refrigeração e condicionamento de ar, tanto na realização de serviços de reparação e de manutenção, como ao fim da vida útil dos mesmos;

3. Que seja proibido o lançamento deliberado de clorofluorcarbonos na atmosfera, prevendo-se no dispositivo legal as formas de fiscalização, bem como as penalidades aplicáveis;

4. Que a utilização de clorofluorcarbonos para a limpeza de sistemas só seja permitida se efetuada com sistema adequado de recolhimento e reciclagem;

5. Que os CFCs usados e não passíveis de ré-utilização sejam eliminados através de meios adequados, como a incineração a altas temperaturas, devidamente provida de sistemas adequados de controle da poluição do ar, ou transformados em substâncias não tóxicas e não agressivas ao meio ambiente, à medida que processos sejam desenvolvidos para esta finalidade;

6. Que a ação de controle seja exercida prioritariamente em relação aos CFCs 11 e 12;

7. Que seja estabelecido também, a médio prazo, um programa de recolhimento, reciclagem e recuperação de outros gases refrigerantes, inclusive os HFCs, tendo em vista os benefícios ambientais de tal medida;

8. Que sejam desenvolvidos programas de treinamento e certificação de técnicos para serviços de manutenção e reparação de sistemas que utilizam clorofluorcarbonos. Os programas de treinamento e certificação deverão conter pelo menos quatro horas-aula para abordar os efeitos dos clorofluorcarbonos ao meio ambiente, bem como deverão ter prática de recolhimento e reciclagem de gases;

9. Que seja desenvolvido um programa de educação ambiental de longo alcance para usuários de equipamentos e sistemas que empregam clorofluorcarbonos, incluindo-se os

refrigeradores e "freezers" domésticos, visando conscientizar quanto à importância de evitar lançamentos desses compostos para a atmosfera e esclarecer quanto aos riscos de uso de práticas não adequadas para a manutenção de equipamentos de refrigeração e de condicionamento de ar;

11. Que todos os novos equipamentos, dispositivos e sistemas que utilizem clorofluorcarbonos sejam providos de etiqueta fixa, em local visível, alertando para o fato e ressaltando o efeito dessas substâncias na camada de ozônio.

12. Que seja mantido um cadastro de CFCs recuperados ("banco de CFCs"), para uso nos sistemas existentes, prolongando a sua vida útil;

13. Que a legislação sobre reciclagem e recuperação seja estabelecida preferencialmente a nível federal, mas, na sua ausência, que os Estados e municípios legislem sobre o assunto, de forma a agilizar a sua prática;

14. Que, a exemplo de outros países, seja feita a certificação da qualidade do gás reciclado, sempre que este não for utilizado na empresa usuária onde o mesmo foi recolhido;

15. Que seja desenvolvida a certificação dos equipamentos e dispositivos a serem utilizados no recolhimento e reciclagem, de forma a obter-se a mínima perda de CFCs para o meio ambiente, privilegiando-se no entanto sistemas de baixo custo.

8. BIBLIOGRAFIA

1. AEROSSÓIS: Ameaça no ar - sprays contendo CFC começam a ser banidos do mercado. Rev bras tec, set 1988.
2. AMERICAN CONFERENCE OF GOVERNMENTAL INDUSTRIAL HYGIENISTS (ACGIH). Threshold limit values for chemical substances and physical agents and biological exposure indices 1990-1991. Cincinnati, ACGIH, 1991.
3. AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS (ASHRAE). Fundamentals handbook. Atlanta, 1985. p. 16.1-8.
4. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA ELÉTRICA E ELETRÔNICA (ABINEE) Grupo Técnico Clorofluorcarbonos. Atas de reunião. São Paulo, 1990 -1992.
5. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA ELÉTRICA E ELETRÔNICA (ABINEE) Grupo Técnico Clorofluorcarbonos. Ata de reunião. São Paulo, 1991. (apêndice à Ata de Reunião no. 160/91).
6. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA QUÍMICA (ABIQUIM). Guia da indústria química brasileira 1989/1990. São Paulo, ABIQUIM, 1990.
7. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE REFRIGERAÇÃO, AR CONDICIONADO, VENTILAÇÃO E AQUECIMENTO (ABRAVA). CFC a busca de solução definitiva. Rev. Abrava, 13(112): 22-9, 1989.
8. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE REFRIGERAÇÃO, AR CONDICIONADO, VENTILAÇÃO E AQUECIMENTO (ABRAVA). Entidade aprova parecer sobre CFCs e anuncia pesquisas. Rev. Abrava, 14 (118): 20-2, 1990.

9. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE REFRIGERAÇÃO, AR CONDICIONADO, VENTILAÇÃO E AQUECIMENTO (ABRAVA). Publicado manual para controle de emissões. Rev. Abrava, 14 (118): 24, 1990.
10. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE REFRIGERAÇÃO, AR CONDICIONADO, VENTILAÇÃO E AQUECIMENTO (ABRAVA). Reciclagem de CFC. Rev. Abrava, 16 (129): 6, 1992.
11. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE REFRIGERAÇÃO, AR CONDICIONADO, VENTILAÇÃO E AQUECIMENTO (ABRAVA). Fundo recebe novos recursos para financiamento. Rev. Abrava, 16 (130): 6, 1992.
12. ASSUNÇÃO, J.V. Efeito da redução da camada de ozônio sobre o meio ambiente. Gerência de Risco, 5 (20): 30-6, 1990.
13. BLUMTHALER, M. & AMBACH, W. Indication of increasing solar ultraviolet-B radiation flux in alpine region. Science, 248: 206-8, 1990.
14. BORNMAN, J.F. & VOGELMANN, T.C. Effect of UV-B radiation on leaf optical properties measured with fibre optics. J. exp. Bot., 42: 547-54, 1991.
15. BRASIL. Leis, etc. Decreto no. 99.280 de 6 de junho de 1990. Diário Oficial da União, 7 jun 1990, p. 10894-901.
16. BRAZILIAN INSTITUTE OF ENVIRONMENT AND RENEWABLE NATURAL RESOURCES (IBAMA). The costs to Brazil of complying with the Montreal protocol. Brasilia, DF, Brazilian Industry/US Environmental Protection Agency/World Bank, 1992.

17. CARVALHO, J.G. Alternativas para o uso do gás natural em sistemas de refrigeração. Rev. Abrava, 15 (120): 30-3, 1991.
18. CHEMICAL MANUFACTURERS ASSOCIATION (CMA). Apud WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). Fully halogenated chlorofluorcarbons. Geneva, 1990. (Environmental Health Criteria 113)
19. COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL (CETESB) Departamento de Pesquisa Tecnológica Ambiental. Análise do Projeto de Lei que dispõe sobre o controle da produção, importação, exportação e consumo de clorofluorcarbonos. São Paulo, memorando, 13 set 1989.
20. COOKSON, C. & KNIGHT, P. Os primeiros substitutos do CFC começam a ser lançados no mercado. Jornal Gazeta Mercantil, 17 dez 1990.
21. CRAWFORD, M. United States float proposals to help prevent global ozone depletion. Science, 234: 927-9, 1986.
22. CREDER, H. Instalações de ar condicionado. Rio de Janeiro, LTC - Livros Técnicos e Científicos, 1988.
23. DANA, J.D. Manual de mineralogia. Rio de Janeiro, LTC - Livros Técnicos e Científicos, 1969.
24. DE GRUIJL, F.R. Ozone change and melanoma. In: Schneider, T.; Lee, S.D.; Wolters, G.J.R.; Grant, L.D. Atmospheric research and its policy implications. Amsterdam, Elsevier Science Publ, 1989. p 813-21
25. DULL, D.; SEIDEL, S. & WELLS, J. Moving forward: key

- implications of the Montreal protocol. In:
Schneider, T.; Lee, S.D.; Wolters, G.J.R.; Grant,
L.D. Atmospheric research and its policy
implications. Amsterdam, 1989. p.775-84 (Studies on
Environmental Science, 35)
26. ENVIRONMENT RESOURCES LIMITED (ERL). CFC utilization in
African countries and techno-economic analyses of
CFCs used in refrigeration. Londres, Environmental
Resources Limited, 1991.
27. GAY, K. Ozone. New York, Franklin Watts, 1989.
28. GERMAN BUNDESTAG. Climate change: a threat to global
development. Bonn, Economica Verlag, 1992.
29. GODISH, T. Air quality. Michigan, Lewis Publishers,
1991.
30. GOLDENBERG, J. S.O.S. planeta terra: o efeito estufa.
Editora Brasiliense, São Paulo, 1990.
31. GOULART, N. Os clorofluorcarbonos e a proteção
ambiental. Eng. sanitária, 28 (2): 110-2, 1989.
32. HARMON, D.L. & RHODES, W. Overview of controls for
chlorofluorcarbons. In: Schneider, T.; Lee, S.D.;
Wolters, G.J.R.; Grant, L.D. Atmospheric research
and its policy implications. Amsterdam, Elsevier
1989. p.765-74 (Studies on Environmental Science,
35).
33. HARMON, D. L.; RHODES, W.J.; WEITZMAN, L. Mobile air
conditioner refrigerant evaluation. In 82nd Annual
Meeting & Exhibition of the Air and Waste Management
Association, Anaheim, California, June 25-30, 1989.

Papers, Pittsburgh, AWMA, 1989.

34. HENRIKSEN, et al. Ultraviolet-radiation and skin cancer, effect of an ozone layer depletion. Photochem. Photobiol. 51 (5): 579-82, 1990.
35. JABARDO, J.M.S. Seminário em bruxelas discute CFCs. Rev Abrava, 14 (115): 29-31, 1990.
36. KERR, R.A. Stratospheric ozone is decreasing. Science, 239: 1489-91, 1988.
37. KERR, R.A. Ozone destruction worsens. Science, 252: 204, 1991.
38. KIRCHOFF, W.M.J.H. A redução da camada de ozônio, efeitos sobre o Brasil. Eng. amb., 2 (7): 32-35, 1989.
39. KOEHLER, J. & HAJOST, S. A. The Montreal protocol: a dynamic agreement for protecting the ozone layer. AMBIO 19 (2) 82-86, 1990.
40. KRIPKE, K.L. Health effects of stratospheric ozone depletion: an overview. In: Schneider, T.; Lee, S.D.; Wolters, G.J.R.; Grant, L.D. Atmospheric research and its policy implications. Amsterdam, Elsevier 1989. p.795-802 (Studies on Environmental Science, 35)
41. KRUPPA, J.V. & KICKERT, R.N. The greenhouse effect: Impacts of ultraviolet-B (UV-B) radiation, carbon dioxide (CO₂), and ozone (O₃) on vegetation. Environ. Pollut., 61 : 263-393, 1989.
42. LANDE, G. Oregon limits consumer use of CFCs and halons.

NATICH Newsletter, National Air Toxics Information Clearinghouse, Research Triangle Park, p. 7, nov 1990.

43. LEAF A. Potencial health effects of global climatic and environmental changes. New Engl. J. Med., 321 (23): 1577-83, 1989.
44. LEAN, G.; HINRICHSSEN, D.; MARKHAM, A. World wildlife fund atlas of the environment. New York, Prentice Hall, 1990.
45. LEMONICK, M.D. The ozone vanishes. Time, fev 17, 1992, p. 28-34.
46. LONGSTRETH, J. Cutaneous malignant melanoma and ultraviolet radiation: a review. Cancer Metast. Rev., 7:321-33, 1988.
47. LOVELOCK, J.E. Atmospheric fluorine compounds as indicators of air movements. Nature, 230,:379, 1971.
48. MACKENZIE, D. Cheaper alternatives for CFCs. New Scient, 126 (1723): 39-40, 1990.
49. MANZ, K. The challenge of handling used refrigerants. Air Condit. Heat. Refrig. News, 11 nov 1991. p. 10
50. MANZER, L.E. The cfc-ozone issue: progress on the development of alternatives to cfcs. Science, 249: 31-5, 1990.
51. MARKS, R. Freckles, moles, melanoma and the ozone layer: a tale of the relationship between humans and their environment. Med. J. Austr., 151: 611-3, 1989.

52. MCFARLAND, M. Chlorofluorcarbons and ozone. Environ. Sci. Techn., 23 (10): 1203-7, 1989.
53. MCKENZIL, R.L.; ELWOOD, J.M.; ADAM, H. Intensity of solar ultraviolet radiation and its implications for skin cancer. New Zealand Med. J., 103 (887): 152-4 1990.
54. MINISTÉRIO DA SAÚDE. Portaria No. 534 de 19 de setembro de 1988. Diário Oficial da União, Brasília, 21 set 1988, p. 18.225.
55. MINISTÉRIO DA SAÚDE. Portaria No. 647 de 30 de junho de 1989. Diário Oficial da União, Brasília, 4 jul 1989, p. 10.864.
56. MINISTÉRIO DA SAÚDE/Instituto Nacional do Câncer (INCA). Câncer no Brasil - dados dos registros de base populacional. Rio de Janeiro, 1991.
57. MIRRA, A.P. & FRANCO, E.L. (ed). Cancer mortality in Sao Paulo, Brazil. Cancer epidemiology monograph series v. 3, Registro de Cancêr de Sao Paulo/Ludwig Institute for Cancer Research, São Paulo, 1987.
58. MOLINA, M. & ROWLAND, F.S. Stratospheric sink for chlorofluoromethanes: chlorine atom-catalysed destruction of ozone. Nature, 249: 810-12, 1974.
59. MONTAGUE, D.C. & PERRINE, R.L. Preliminary assessment of the greenhouse warming implications of halocarbon substitutes for CFC-11 and CFC-12. Atmosph. Environ. 24A (5): 1331-9, 1990.
60. MOUTON, G. Les réfrigérants fluorocarbonés et l'environnement. Rev. Int. Froid, 14: 209-16, 1991.

61. NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION (NASA).
Apud VEJA. Fora de controle. Veja, 7 out 1992.
62. NATIONAL INSTITUTE FOR OCCUPATIONAL SAFETY AND HEALTH
(NIOSH). Request for assistance in preventing death
from excessive exposure to chlorofluorcarbon 113
(CFC113). Cincinnati, Department of Health and Human
Services, 1989. (DHHS (NIOSH) Publication No. 89-
109)
63. NEWS from governments. OzonAction (UNEP), 2: p. 4, apr
1992.
64. NEWS from governments. OzonAction (UNEP), 3: p. 4, jun
1992.
65. NEWS from governments. OzonAction (UNEP), 4: p. 6, sep
1992.
66. NOGUEIRA, D.P. Efeitos da poluição do ar sobre a saúde.
Apresentado ao Seminário sobre Poluição do Ar, São
Paulo, 1966. Revisto e atualizado. (Mimeografado)
67. NORMAN, C. Greenhouse policy: a bargain? Science, 252:
204-5, 1991.
68. ORCE, L.V. Radiación ultravioleta y ozono atmosférico.
Ciência hoy, 2 (9): 40-8, 1990.
69. PRENDEZ, M. Disminucion de la capa de ozono: el
problema, ultimos hallazgos y consecuencias
regionales. In: Seminario Regional sobre la
Aplicacion del Protocolo de Montreal, Caracas,
Venezuela, 1992. Papers. Paris, UNEP, 1992.

70. RAND. Apud WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). Fully halogenated chlorofluorocarbons. Geneva, 1990. (Environmental Health Criteria 113)
71. REIJNDERS, L. Prevention of stratospheric modification. In: Schneider, T.; Lee, S.D.; Wolters, G.J.R.; Grant, L.D. Atmospheric research and its policy implications. Amsterdam, Elsevier, 1989. p.785-92 (Studies on Environmental Science, 35).
72. ROAN, S.L. Ozone crisis. New York, John Wiley & Sons 1989.
73. SAND P.H. The Vienna convention is adopted. Environment, 27 (5): 19-20/40-3, 1985.
74. SCIENTIFIC assessment of ozone depletion: 1991. WMO/UNEP/NASA/NOAA/U.K. Dept. of Environment, 1991. (Preprint)
75. SCOULLOS, J.M. The ozone layer depletion and european policies. In: Schneider, T.; Lee, S.D.; Wolters, G.J.R.; Grant, L.D. Atmospheric research and its policy implications. Amsterdam, Elsevier 1989. p. 949-52 (Studies on Environmental Science, 35).
76. SHREVE, R.N. & BRINK Jr., J.A. Indústria de processos químicos. 4a. ed. Rio de Janeiro, Editôra Guanabara Dois, 1980.
77. STOLARSKI R.S. The Antartic ozone hole. Scient. Amer., 258(1): 20-26, 1988.
78. UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME (UNEP). Apud JAPAN Ministry of Foreign Affairs. How Japan is dealing with global environmental issues. Japan, jun 1990,

79. UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME (UNEP). 1991 UNEP flexible and rigid foams technical options report. Nairobi, Kenya, 1991.
80. UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME (UNEP). Environmental effects of ozone depletion: 1991 update. Nairobi, Kenya, UNEP, 1991.
81. UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME (UNEP). Montreal protocol - 1991 assessment: report of the refrigeration, air conditioning and heat pump technical options committee. Nairobi, UNEP, 1991.
82. UNITED STATES OF AMERICA. Council of Environmental Quality. Fluorocarbons and the environment. EUA, Federal Council for Science and Technology, june, 1975. (Report of Federal Task Force on Inadvertent Modification of the Atmosphere)
83. URBACH, F. Potencial effects of altered solar ultraviolet radiation on human skin cancer. Photochem. Photobiol. 50 (4): 507-13, 1989.
84. VAN DER LEUN, J.C. Effects of increased UV-B on human health. In: Schneider, T.; Lee, S.D.; Wolters, G.J.R.; Grant, L.D. Atmospheric research and its policy implications. Amsterdam, Elsevier 1989. p. 803-12 (Studies on Environmental Science, 35)
85. VOYTEK, M.A. Addressing the biological effects of decreasead ozone on the Antartic environment. AMBIO 19 (2) 52-61, 1990.

86. YAMANE, E. & SAITO, H. Tecnologia de condicionamento de ar. São Paulo, Edgard Blucher, 1986.
87. WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). Fully halogenated chlorofluorocarbons. Geneva, 1990. (Environmental Health Criteria 113)
88. WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). Cancer incidence in five continents. Lyon, IARC, 1982. (IARC Publication no. 42)
89. WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). Cancer incidence in five continents. Lyon, IARC, 1987. (IARC Publication no. 88)
90. WORREST, R.C. What are the effects of UV-B radiation on marine organisms?. In: Schneider, T.; Lee, S.D.; Wolters, G.J.R.; Grant, L.D. Atmospheric research and its policy implications. Amsterdam, Elsevier 1989. p.269-78 (Studies on Environmental Science, 35)

ANEXO

LEVANTAMENTO DAS CONDIÇÕES DE USO E MANUSEIO DE CLOROFLUORCARBONOS

(sistemas de ar condicionado em edifícios)

1. Identificação:

Nome do edifício:

Endereço:

Fone:

Identificação da unidade pesquisada:

Atividades exercidas:

Contato:

Localização da unidade:

2. Descrição dos equipamentos de ar condicionado utilizados (tipo, marca, modelo, ano da instalação, etc)

3. Quem e como é feita a manutenção/reparação (conserto) dos equipamentos acima descritos?

4. Existem dispositivos/procedimentos para evitar vazamento e para armazenamento/reciclagem do gás?

5. Estimativa da quantidade anual de gás utilizado por equipamento/nome do fornecedor.

6. Outras informações/sugestões.

Data ____/____/____

LEVANTAMENTO DAS CONDIÇÕES DE USO E MANUSEIO DE CLOROFLUORCARBONOS

(supermercados e firmas de reparação/manutenção de
equipamentos de refrigeração e de condicionamento do ar)

1. Identificação:

Firma:

Enderêço:

Fone:

Contato:

Atividades:

2. Equipamentos que utilizam CFC.

Especificação

Tipo de CFC

3. Quem faz e como é feita a manutenção/reparação (consêrto) dos equipamentos acima descritos?

4. Existem dispositivos/procedimentos para evitar vazamento e para o armazenamento/reciclagem do gás?

5. Estimativa da quantidade anual de gás utilizado, por equipamento/nome do fornecedor.

6. Outras informações/sugestões.

Data ____/____/____