

# QUALIDADE DO AR INTERIOR EM CABINA DE AVIÃO

## o caso particular do ozono

ANTÓNIO DE SOUSA UVA

Departamento de Saúde Ocupacional. Escola Nacional de Saúde Pública. Universidade Nova de Lisboa. Lisboa

### RESUMO/SUMMARY

As condições atmosféricas aos níveis de altitude em que decorre a quase totalidade dos voos comerciais tornam obrigatória a existência, no interior das cabinas de avião, de um ambiente artificial, através do recurso a sistemas de condicionamento do ar. A qualidade do ar disponível na cabina dos aviões comerciais para passageiros e trabalhadores de bordo tem constituído um tema de estudo cuja actualidade é indiscutível.

O ozono é o principal componente da poluição fotoquímica do ar. Como agente irritante do aparelho respiratório, os seus efeitos sobre a saúde caracterizam-se, essencialmente, por tosse, dispneia, desconforto torácico e alterações da função pulmonar, encontrando-se também associadas à exposição ambiental a  $O_3$ , tanto uma maior frequência e gravidade de crises de asma, como a ocorrência de quadros clínicos de irritação conjuntival.

No início dos anos 60 surgiram os primeiros estudos de exposição a  $O_3$  em cabinas de avião, suscitados pela ocorrência, em tripulantes e passageiros, de queixas clínicas de irritação do tracto respiratório. Esta sintomatologia era, até então, atribuída à acção de outros factores, designadamente o sistema de ventilação e o baixo teor de humidade do ar.

O autor faz uma revisão de alguns aspectos relacionados com a qualidade de ar disponível, em cabinas de aviões comerciais, para passageiros e trabalhadores de bordo, destacando o caso particular da exposição a ozono.

Palavras-chave: *cabina de avião, exposição profissional, ozono, pessoal de cabina, queixas respiratórias.*

### AIRCRAFT CABIN AIR QUALITY: exposure to ozone

Ozone is the principal component involved in photochemical pollution of the air. As an irritant of the respiratory system, its effects on the health of those exposed to it are characterised essentially by coughing, shortness of breath, chest pain or tightness and alterations to the pulmonary mechanical function. Additionally, a higher frequency and severity of asthmatic exacerbation and the occurrence of eye irritation are linked to environmental exposure to  $O_3$ .

In the early 1960s the first studies on the exposure to  $O_3$  in aircraft cabins appeared, prompted by the occurrence of clinical complaints of irritation of the respiratory tract in crewmembers and passengers. The symptoms had hitherto been attributed to the action of other factors, such as the ventilation system and low level of humidity in the air.

An updating is done by author of some factors related to the quality of air inside aircraft cabins, namely the exposure to ozone in crewmembers and passengers.

Key Words: *aircraft cabin, crewmembers, occupational exposure, ozone, respiratory complains.*

## INTRODUÇÃO

A primeira empresa de aviação comercial foi fundada em 1916 com o recurso a aeronaves militares adaptadas, como foi o caso do Havilland 4A. Nessa altura, as aeronaves não eram pressurizadas e voavam a altitudes inferiores a 10000 pés (Preston, 1995).

As condições atmosféricas aos níveis de altitude em que actualmente decorrem quase todos os voos comerciais tornam obrigatória a existência, no interior das cabinas de avião, de um ambiente artificial cujos parâmetros são totalmente controlados por sistemas de condicionamento do ar.

A qualidade do ar na cabina dos aviões comerciais tem constituído tema de estudo de diversas organizações como a *Organização Mundial da Saúde* (OMS), a ICAO (*International Civil Aviation Organization*) através da respectiva Secção de Medicina Aeronáutica, a IAPA (*International Airline Passenger Association*), a Federação Internacional de Trabalhadores dos Transportes (ITWF - *International Transport Workers Federation*) e a AMDA (*Airline Medical Directors Association*).

Um primeiro aspecto relacionado com o ambiente em cabina de avião encontra-se associado à quantidade de ar disponível para passageiros e trabalhadores de bordo.

Até final dos anos oitenta, a quantidade de ar novo por passageiro era de cerca de 400 a 600 litros/pessoa/minuto. A aviação moderna obrigou a uma redução para 150 a 180 litros, ainda que, por recurso a um processo complementar de recirculação, a quantidade global de ar fornecido *per capita* se mantenha inalterada (Harding, Mills, 1993).

O ar exterior é admitido à cabina através das turbinas e dos compressores, sendo de imediato arrefecido por grupos de refrigeração (ou *packs*) do sistema de ar condicionado, misturado com igual quantidade de ar e recirculado após filtração (o ar interior do cockpit não é sujeito ao processo de recirculação).

O fluxo de ar é, geralmente, expresso em pés cúbicos/passageiro/minuto (*pcpm* ou *cfpm* - cubic feet/passenger/minute), sendo 1 *pcpm* equivalente, aproximadamente, a 28,13 litros de ar por passageiro e por minuto (1 m = 3,2808 pés).

Na presente data não existe consenso entre as diversas organizações internacionais quanto à quantidade de ar que deve ser fornecida a cada indivíduo no interior de uma cabina de avião. Assim, para a JAA (*Joint Aviation Administration*, EUA) o valor recomendado cifra-se em 7,3 *cfpm* ( $\pm 200$  l/min), ao passo que a FAR (*Federal Aviation Regulation*, EUA) fixou esse valor em 10 *cfpm* ( $\pm 280$  L/min) e a ASHRAE (*American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers*) — tendo em conta

que a quantidade de ar *per capita* depende da actividade física desenvolvida — recomenda os valores mínimos de 15 *cfpm* para situações de repouso e de 20 *cfpm* para situações de actividade física ligeira.

De um modo geral, na aviação comercial (classe turística), o fluxo de ar é da ordem de 7 *cfpm* (Ballouet, 1996).

Noutros casos (Hunt; Space, 1994), o fluxo do ar pode atingir os 20 *cfpm* por passageiro, sendo 10 *cfpm* constituídos por ar “novo” e os restantes 10 *cfpm* por ar recirculado. A recirculação do ar numa cabina de avião faz-se em cada 2 a 3 minutos, o que representa uma substituição total do ar da cabina 20 a 30 vezes por hora.

Nas aeronaves com um sistema de condicionamento do ar que possua dispositivos de recirculação, os filtros do sistema são semelhantes aos utilizados em unidades de transplante de órgãos (ou em unidades de queimados) de uma qualquer unidade hospitalar, sendo capazes de filtrar as partículas com um diâmetro da ordem de 0,003 micra (as bactérias têm uma dimensão superior a um micron e os vírus têm uma dimensão compreendida entre 0,03 e 0,5 micra).

Outros aspectos com importância relativamente às condições de trabalho em altitude são os que dizem respeito, não à quantidade mas à qualidade do ar interior de uma cabina de avião. A grande altitude, o ar exterior possui características que o tornam incompatível com a vida. Refira-se, a título de exemplo, que a temperatura atmosférica diminui cerca de 2° CELSIUS por cada 300 metros ( $\pm 1000$  pés) de altitude, o que significa (Chapman, 1991) que, a cerca de 10000 metros ( $\pm 35000$  pés), quando é atingida a tropopausa, o valor da temperatura é da ordem dos 55° negativos.

As baixas temperaturas do ar verificadas em aeronaves de aviação comercial em altitudes de cruzeiro, têm como consequência um teor de vapor de água no sistema de admissão do ar à cabina praticamente nulo.

Neste domínio, é bem conhecida a circunstância de, em voos de longo curso, tanto os passageiros como os trabalhadores navegantes apresentarem sintomas relacionados com a secura do ar, frequentemente irritação conjuntival, nasal e orofaríngea, ou, mais raramente, epífora e rinorreia serosa (Bischof, 1973; Reed et al., 1980; Adams; Schelegle, 1983; Lippman et al., 1983; Tashkin et al, 1983). Tais sintomas, decorrentes de um processo de desidratação das membranas mucosas, podem, contudo, ser igualmente provocados por outros factores ambientais, entre os quais se inclui o ozono.

Os valores de humidade relativa (HR) em cabinas de aviões sub-sónicos são da ordem de 10 a 20%. Vieillefond

et al. referem, no caso particular do Boeing 747SP, valores de 14% (Vieillefond et al, 1977).

A American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers (ASHRAE) recomenda, para ambientes interiores, valores de HR compreendidos entre 30 e 60%. Em classe turística (Ballouet, 1996), o valor médio de HR é de cerca de 13%, podendo, quando a ocupação da cabina aumenta e dado que as pessoas constituem a principal fonte de vapor de água, atingir valores da ordem dos 20%.

O valor médio de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) na cabina de um avião em voo é da ordem de 1600 ppm, com valores-tecto que chegam a atingir 4000 ppm (Ballouet, 1996). As principais fontes de CO<sub>2</sub> são, para além da ocupação humana, o “gelo carbónico” (*carbonic ice*) usado nas “galleys” para refrigeração dos alimentos. Concentrações elevadas de CO<sub>2</sub> podem provocar sintomatologia variada, no âmbito da qual se destacam cefaleias, náuseas e vômitos e, ainda, congestão facial.

Segundo a OSHA (*Occupational Safety and Health Administration*, EUA) e a ACGIH (*American Conference of Governmental Industrial Hygienists*, EUA), o nível máximo admissível para o CO<sub>2</sub> situa-se em 5000 ppm. A OMS e a ASHRAE recomendam valores inferiores a 1000 ppm em ambientes interiores (Niosh, 1990; INRS, 1996).

Algumas organizações relacionadas com a aviação comercial, concretamente a JAA (*Joint Aviation Administration*, EUA) e a FAR (*Federal Aviation Regulation*, EUA) referem valores de 30000 ppm. A FAA (*Federal Aviation Administration*) pondera na presente data a eventualidade (Hunt; Space, 1994; Hunt, 1995) de adoptar, como limite máximo admissível, o valor de 5000 ppm.

Segundo Hunt, nas cabinas com recirculação de ar, a concentração de CO<sub>2</sub> é significativamente inferior a 5000 ppm (Hunt, 1995).

Em relação ao monóxido de carbono (CO), Ballouet registou, em cabina de avião, concentrações médias entre 0,5 e 0,8 ppm com valores pico da ordem de 1,5 ppm (Ballouet, 1996). O NIOSH (*National Institute for Occupational Safety and Health*) e a OSHA fixam o nível máximo admissível em 35 ppm (com um valor-tecto de 200 ppm), enquanto a ACGIH recomenda, como valor máximo admissível, 50 ppm (NIOSH, 1990; Kindvall, 1994, INRS, 1996).

Nas aeronaves da aviação civil são utilizadas substâncias químicas, algumas das quais potencialmente tóxicas para o ser humano. Acresce ainda a circunstância de, quer a decomposição induzida pelo calor, quer a ocorrência de incêndios, poderem contribuir para a formação de outros produtos tóxicos.

Sharp sistematiza do seguinte modo os principais gases e vapores tóxicos que podem existir no ambiente interior de uma cabina de avião (Sharp, 1995):

- produtos de combustão: gases de escape e substâncias resultantes de sobreaquecimento ou incêndio;
- combustíveis de aviação, líquidos lubrificantes e líquidos hidráulicos;
- anti-congelantes e anti-detonantes;
- agentes de extinção de fogos;
- agentes refrigerantes;
- ozono;
- biocidas.

Os gases e vapores mais frequentes são os do primeiro grupo, estando relacionados, por um lado com a queima do combustível nos equipamentos de propulsão e, por outro, com o sobreaquecimento de algumas estruturas da aeronave.

Algumas destas substâncias químicas provocam efeitos negativos para a saúde – designadamente irritação das membranas mucosas – em tudo semelhantes aos que se observam na exposição a ozono.

Também a poluição tabágica do ambiente interior das cabinas é tida como responsável pela ocorrência de sintomatologia em tripulantes e passageiros, designadamente cefaleias, irritação da orofaringe, irritação ocular e nasal e, ainda, queixas do foro respiratório. Segundo alguns autores (Crawford; Holcomb, 1991), esta sintomatologia pode também estar relacionada com a baixa humidade relativa existente nas cabinas dos aviões comerciais, com a exposição a teores elevados de ozono ou, até, com a hipóxia provocada pela altitude.

A atmosfera é essencial à vida, por um lado porque constitui a fonte de oxigénio indispensável à energia biológica e, por outro, porque funciona como uma “barreira” que não só permite a manutenção de valores de temperatura compatíveis com a vida, como ainda serve de protecção contra as radiações cósmicas (Harding, 1995).

Tendo cerca de 3000 km de espessura, a atmosfera é classicamente dividida em cinco principais camadas concêntricas (Figura 1), definidas em função das respectivas características térmicas (Taskin et al, 1983; Almeida, 1985, 1986; Chapman, 1991; Harding, 1995; Devlin et al, 1997). A superfície exterior de cada camada denomina-se *pausa*.

É importante referir que – dependendo a espessura das camadas não só da temperatura, mas também de outros factores como a latitude, a estação do ano ou as próprias condições meteorológicas – a divisão anterior está longe de corresponder a uma realidade estável.

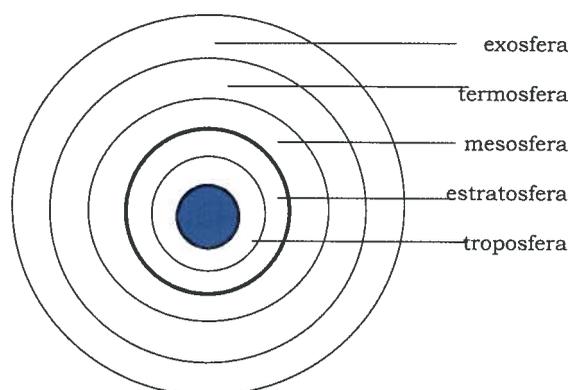


Fig. 1 - Principais camadas da atmosfera

Seguidamente são resumidas as características essenciais de cada uma das camadas atmosféricas:

- **TROPOSFERA:** Situa-se entre o nível do mar e os 11000 metros de altitude (valor médio). Este limite superior varia entre 6000 metros, acima dos Pólos, e 17000 a 18000 metros, no Equador.

Nesta camada, os componentes principais do ar são o *oxigénio* e o *azoto*. Existe também vapor de água, embora o seu teor decresça progressivamente com a altitude, sendo praticamente nulo a partir dos 10000 metros. Observa-se igualmente uma diminuição da temperatura com a altitude (decrécimo de cerca de 0,65° CELSIUS por cada 100 metros, designado como *gradiente vertical de altitude*).

O ozono produzido na estratosfera é transportado para a troposfera (Devlin et al, 1997), sendo um precursor do radical *hidroxilo* que contribui para a degradação de compostos orgânicos voláteis, libertados pelas plantas, que vão reagir com os óxidos de azoto ( $\text{NO}_x$ ) formando mais ozono.

Por outro lado, os compostos orgânicos voláteis e os óxidos de azoto produzidos pelo Homem reagem também, na presença da luz solar, com o oxigénio do ar, produzindo níveis de ozono que, em termos de saúde pública, podem ser preocupantes.

Designa-se por **TROPOPAUSA** a zona de transição entre a *troposfera* e a *estratosfera*. Esta zona tem uma espessura de 1000 a 3000 metros, variando com a latitude (maior no Equador e menor nas regiões polares) e com a estação do ano (menor na primavera).

A tropopausa, cuja altitude varia entre sete e doze quilómetros (23000 a 40000 pés) e onde a concentração de ozono é da ordem de 1 ppm, constitui a zona de voo da grande maioria dos modernos aviões comerciais (Tashkin et al, 1983),

- **ESTRATOSFERA:** Estende-se da tropopausa até, aproximadamente 50000 metros de altitude. Caracteriza-se por rarefação do ar, ausência quase total de vapor de água e abundância de radiações ultra-violeta. É nesta camada que a formação de ozono é predominante, atingindo, a um nível de altitude de 60000 pés, concentrações da ordem de 4 ppm (Figura 2). Em aviões supersónicos, como é o caso do Concorde, o ar destinado ao interior da cabina é aquecido nos compressores a cerca de 600° CELSIUS, sendo o ozono dissociado em oxigénio. Lagerwerff refere terem sido medidos valores de 16 ppm de ozono a 75000 pés de altitude (Lagerwerff, 1963), enquanto Bennett menciona valores máximos de 12 ppm a 90000 pés (Bennett, 1962).

A maior parte do ozono forma-se entre 18000 e 50000 metros de altitude, verificando-se a maior concentração no limite superior daquele intervalo (*ozonosfera*).

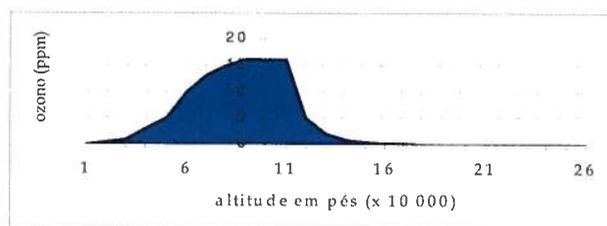


Fig.2 - Concentração de ozono na atmosfera

É nessa zona que se situam os denominados *buracos de ozono*, que permitem a passagem até à Terra de um excesso de radiação ultra-violeta. A formação dos referidos *buracos* é provocada pelo desaparecimento do ozono, consumido em reacções químicas com outros gases, designadamente os hidrocarbonetos fluorados (Vallinmaki, 1997).

Aparentemente, o ozono resulta de colisões entre três átomos de oxigénio ou entre um átomo e uma molécula de oxigénio (Jaffe; Estes, 1963).

Os níveis de ozono nesta camada têm um amplo intervalo de variação, resultante do balanço entre os correspondentes processos químicos de produção e de destruição, que envolvem radicais livres. Recentemente (início dos anos 80) constatou-se que aquele balanço é influenciado por diversas actividades humanas, entre as quais se destaca a utilização de cloro-fluorcarbonetos (CFC), substâncias químicas estas que, uma vez na atmosfera, se decompõem, libertando átomos de cloro capazes de destruir o ozono (Devlin et al, 1997).

A radiação ultra-violeta é absorvida pelo oxigénio molecular ( $\text{O}_2$ ) dissociando-o em átomos que, ao reagirem com o  $\text{O}_2$ , formam o ozono ( $\text{O}_3$ ). É o ozono assim formado que atenua a quantidade de raios UV que atinge a crosta

terrestre.

A estratosfera possui cerca de 90% do ozono da atmosfera; o ozono restante encontra-se na troposfera.

- **MESOSFERA:** Situa-se entre 50000 e 100000 metros de altitude.
- **TERMOSEFERA:** Situa-se entre 100000 e 500000 metros de altitude. A partir de aproximadamente 110000 metros, a radiação ultra-violeta é de tal modo intensa, que dissocia em átomos todas as moléculas de oxigénio.
- **EXOSFERA:** Situa-se entre 500 e 3000 km de altitude.

### EXPOSIÇÃO AO OZONO EM CABINA DE AVIÃO

As concentrações máximas de ozono são atingidas a cerca de 100000 pés de altitude, com flutuações relacionadas com diversos factores, entre os quais se destacam a latitude, a estação do ano, a hora do dia e as condições térmicas e meteorológicas.

Em 1958, Miller e Ehrlich, a propósito da exposição ao ozono em cabina de avião, referiam (Miller; Ehrlich, 1958):

*The present aviation trend toward high altitude flying necessitates serious consideration of the effect on aircraft personnel of ozone present in relatively high concentrations in the upper atmosphere. While it is not anticipated that aircraft personnel will be exposed to toxic concentrations of ozone, it is almost certain that they will be continuously exposed to subtoxic concentrations during flight.*

Tiefenau et al fizeram ao longo de 14 meses, em aeronaves de aviação comercial e no decurso de voos realizados entre a Europa e a África do Sul, determinações da concentração de ozono na troposfera, tendo encontrado, no sistema de admissão de ar para o avião, os maiores picos de concentração de ozono nas latitudes situadas entre 40° e 45° Norte (Tiefenau et al, 1973).

Por sua vez, Jaffe, ainda a propósito da exposição a ozono em cabinas de avião, refere (Jaffe, 1967):

*Natural ozone may present a potential health hazard to air crews in modern jet aircraft flying at altitudes approaching 40,000 feet, particularly over polar regions. It has been heretofore assumed that all the ozone present in ambient air at these altitudes when used in cabin pressurization was destroyed in passing through the heat zone of the turbocompressor. However, significant levels of ozone have been measured in jet aircraft cabins.*

De facto, nos anos sessenta foi também demonstrada, pela Força Aérea Americana, a existência de níveis mensuráveis de ozono em cabinas de avião a altitudes superiores a 30000 pés, circunstância que desencadeou um conjunto de estudos em tripulações e passageiros com queixas de "irritação" do tracto respiratório,

designadamente tosse e desconforto torácico, atribuíveis, até então, a outros factores relacionados com o voo (fundamentalmente, o sistema de ventilação e o baixo teor de humidade do ar na cabina).

Folinsbee referia, a propósito, em 1981 (Folinsbee, 1981):

*An area of recent concern, which has mainly been described by symptomatology, is the issue of ozone levels in commercial jet aircraft.*

As concentrações no interior da cabina dependem das concentrações de ozono atmosféricas, estando estas, por sua vez, relacionadas essencialmente com a altitude e a latitude.

A medição de ozono no interior e no exterior das cabinas de avião revela que os valores do ar interior se cifram em cerca de metade dos encontrados no ar exterior (Melton, 1989).

O ozono transforma-se em oxigénio (Tashkin et al, 1983; Almeida, 1985; Almeida, 1986) se for submetido a temperaturas superiores a 100° CELSIUS. A 300°, cinquenta por cento do ozono é dissociado em oxigénio, e a 400° existe uma destruição de cerca de noventa por cento do ozono.

Sendo dissociável pelo calor, o ozono, ao passar nos compressores dos motores de reacção das aeronaves (onde a temperatura é muito elevada) é parcialmente destruído.

Os mencionados compressores chegam a atingir uma capacidade de destruição da ordem de 90% de ozono a temperaturas entre 400 e 600° (Almeida, 1985). Contudo, no início da descida, quando os motores se encontram num regime de baixa rotação, é possível observar, no interior da cabina, valores entre 0,20 ppm e 0,50 ppm.

Em finais dos anos 70, constatou-se que, em voos de longo curso realizados a elevadas altitudes e latitudes, o pessoal navegante de cabina apresentava com alguma frequência queixas de tosse seca, irritação ocular e nasal, bem como dor torácica à inspiração profunda (FAA, 1980). Investigações subsequentes conduziram à hipótese de tal sintomatologia estar relacionada com a exposição a ozono, visto terem simultaneamente sido encontradas, em alguns daqueles voos, elevadas concentrações no interior das cabinas.

Tais estudos serviram de fundamento teórico para a instalação de filtros de carvão (ou de conversores catalíticos) nos sistemas de admissão de ar à cabina em alguns modelos de aeronaves, tendo em vista a redução dos níveis de exposição a ozono por parte dos respectivos ocupantes (Perkins et al, 1978, cit. por Tashkin et al, 1983).

Outros estudos, realizados ao longo das últimas quatro

décadas (Bennett, 1962, Brabets, 1963, Jaffe et al, 1963; Bischof, 1973, Holdman et al, 1978 cit. por Taskin et al, 1983; Briehl; Perkins, 1978; Van-Heusden; Mans, 1978; Reed et al, 1980; Schadel et al, 1987; Ballouet, 1996), haviam já demonstrado que, em voos subsónicos, a concentração de ozono nas cabinas de avião poderia ser elevada, em virtude de uma insuficiente destruição nos sistemas de entrada de ar na cabina.

As primeiras determinações da concentração de ozono no interior de cabinas foram realizadas em aviões Boeing 707, com vista à identificação de uma eventual responsabilidade daquele gás na deterioração das máscaras de látex utilizáveis pelos ocupantes em situações de emergência. Foram então medidos valores de 0,12 ppm (a 39000 pés de altitude) no final do voo, quando os motores se encontravam em regime de baixa rotação.

Brabets mediu teores de ozono semelhantes no *cock-pit* e na cabina, com valores situados entre 0,01 e 0,40 ppm, referindo que o odor característico daquele gás fora identificado pelos ocupantes em níveis de altitude compreendidos entre 30000 e 40000 pés (Brabets, 1963).

Briehl e Perkins constataram que o ozono, em cabinas de avião, varia em função do número de passageiros (Briehl; Perkins, 1978). Idêntica observação foi feita por Bennett e Jaffe et al. que, além disso, verificaram a existência, nas referidas cabinas, de níveis significativos de ozono (Bennett, 1962; Jaffe et al, 1963).

Vieillefond et al avaliaram diversos parâmetros relacionados com a qualidade do ar na cabina de aeronaves DC-8 e DC-10 (Vieillefond et al, 1977), tendo utilizado uma metodologia de avaliação que apenas identificava valores de ozono superiores a 50 ppb. Com o equipamento utilizado, não lhes foi possível detectar ozono na cabina das aeronaves em seis voos realizados entre Paris e a África Central.

No entanto, para muitos autores (Bischof, 1973; Reed et al, 1980; Tashkin et al, 1983), as concentrações de ozono em cabinas de avião excedem, frequentemente, o limite recomendado de 0,10 ppm. Reed et al encontraram valores de 0,30 ppm em sessenta por cento do tempo de voo e de 0,50 ppm em vinte e três por cento dos voos realizados (Reed et al, 1980).

Ballouet refere que, em voos transpolares, o valor de 0,10 ppm é ultrapassado durante 50% do tempo de voo (Ballouet, 1996).

Holdeman et al registaram, na primavera de 1977, as seguintes concentrações de ozono durante um voo Los Angeles - Tóquio realizado em Boeing 747SP (Holdeman et al, 1978 cit. por Taskin et al, 1983): 0,40 ppm (valor médio correspondente à totalidade do voo), 0,65 ppm (valor

médio calculado em duas horas de voo) e um valor-tecto (*ceiling value*) de 1,09 ppm. Foram valores desta ordem de grandeza que estiveram na origem da instalação nos aviões Boeing 747-SP, então com carácter experimental, de filtros de carvão intercalados no sistema de condicionamento de ar das cabinas.

Bischof mediu a concentração de ozono em cabinas de avião durante catorze voos Copenhague - Seattle com travessia da área polar (Bischof, 1973), constatando a existência, no interior da cabina, de valores menos elevados do que no ar exterior. Os valores médios então registados foram 0,40 ppm (correspondendo a quatro horas) e 0,60 ppm (uma hora).

Também Van Heusden e Mans, num voo transatlântico, mediram concentrações de ozono em cabina de avião (Van Heusden; Mans, 1978) encontrando valores que excediam 0,20 ppm em cinquenta por cento do tempo de voo e valores-tecto da ordem de 0,60 ppm.

Rogers refere, em dezasseis de noventa e oito voos comerciais realizados em latitudes acima de 37,5° N (e a uma altitude de voo da ordem dos 35000 pés), concentrações de ozono na cabina superiores a 0,30 ppm (valor instantâneo), com valores médios (correspondentes a 3 horas de voo) superiores a 0,10 ppm (Rogers, 1980).

Mais recentemente (Schadel et al, 1987), em vinte e dois voos da rota transatlântica norte realizados entre Fevereiro e Abril, foi estudada a exposição a ozono de cerca de quatrocentos trabalhadores de cabina, tendo sido registados valores máximos de concentração ambiental, por voo, que se situaram na ordem de 0,59 mg/m<sup>3</sup> ( $\pm 0,30$  ppm). Em três dos voos, os níveis máximos de ozono ultrapassaram, por períodos que oscilaram entre 6 a 34 minutos, 1,00 mg/m<sup>3</sup> ( $\pm 0,50$  ppm).

Em síntese, a altitudes da ordem dos 40000 pés, e especialmente em rotas transpolares, o ozono pode constituir factor profissional de risco para a saúde das tripulações expostas (Jaffe, 1967; Bischof, 1973).

## FACTORES QUE INFLUENCIAM A CONCENTRAÇÃO DE OZONO NA CABINA

A concentração de ozono na cabina depende de numerosos factores (Figura 3), alguns relacionados com o tipo de aeronave, de modo particular os sistemas de ventilação e de condicionamento do ar (Jaffe; Estes, 1963; Delucia et al, 1975; Fabian; Pruchniewicz, 1977; Naström et al, 1980; Redd et al, 1980; Melton, 1989) e outros de natureza geográfica, cronológica ou meteorológica, entre os quais devem ser destacados os seguintes:

- **Latitude:** Observa-se um valor mínimo da concentração de ozono no equador e um valor máximo nos

pólos (Stokinger, 1954; Young et al, 1962; Bennett, 1962; Rogers cit. por Brabets, 1963; Jaffe; Estes, 1963; Jaffe, 1967; Bischof, 1973, Tiefenau et al, 1973; Hackney et al, 1976; Wilcox et al, 1977; Fabian et al, 1977; Naström et al, 1980; Reed et al, 1980; Logan, 1985; Melton, 1989; Ballouet, 1996).

Nas latitudes Norte, durante a primavera (Março a Maio), o ozono existe em maior concentração, facto que pode estar relacionado com a circunstância de aquele gás (carregado electricamente) ser atraído pelo Norte magnético.

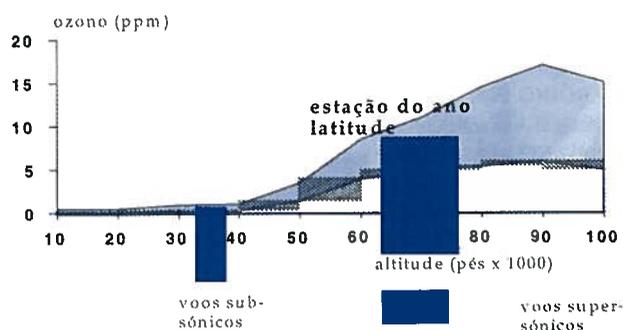


Fig. 3 - Distribuição do ozono (hemisfério Norte)

Por outro lado, a altitude da tropopausa é, como anteriormente já foi referido, variável com a latitude, passando de valores da ordem de 58000 pés no Equador para cerca de 26000 pés nas regiões polares (Harding, 1995).

Todavia, Gregory et al, em voos efectuados nos meses de Outubro e Novembro de 1982 em latitudes compreendidas entre 44° N e 46° S, chegaram a resultados discordantes, tendo observado os valores mais elevados (110 ppb) a 41° S, em contraste com valores de 35 ppb nas latitudes Norte (Gregory et al, 1984).

- **Altitude:** O ozono atmosférico encontra-se nas camadas situadas entre 18000 e 70000 metros de altitude, com o teor máximo a cerca de 100000 pés ( $\pm$  30000 metros) e flutuações consideráveis em função da latitude, da estação do ano e das condições meteorológicas (Easton; Murphy, 1967; Tiefenau et al, 1973; Hackney et al, 1976; Fabian et al, 1977, Naström et al, 1980; Reed et al, 1980; Logan, 1985; Melton, 1989).

- **Estação do ano:** Os teores máximos de ozono ocorrem na primavera (Abril a Maio) e no verão, ao passo que os valores mínimos se verificam durante o outono (Stokinger, 1954; Young et al, 1962; Tiefenau et al, 1973; Wilcox et

al, 1977; Lioy; Sanson, 1979; Reed et al, 1980; Hilsenrath; Schlesinger, 1981; Logan, 1985; Schadelé et al, 1987; Melton, 1989; Ballouet, 1996).

- **Condições meteorológicas:** A espessura da camada de ozono depende, fundamentalmente, dos sistemas de altas e baixas pressões e da turbulência do ar (Jaffe et al, 1963; Jaffe, 1967; Schwartz et al, 1976; Lioy; Samson, 1979; Naström et al, 1980). Por sua vez, a concentração de ozono varia na razão directa dos valores da temperatura do ar (Lippman et al, 1983; Devlin et al, 1997).

Convirá, neste âmbito, ainda referir a influência dos factores meteorológicos, quer na concentração atmosférica de certos reagentes (sobretudo hidrocarbonetos e óxidos de azoto), quer no grau de activação da luz solar (radiação ultra-violeta), na medida em que estes dois elementos se encontram implicados no processo de formação do ozono.

- **Hora do dia:** A maior concentração de ozono observa-se no período compreendido entre o meio da manhã e o início da tarde (altura em que ocorrem os valores mais elevados) registando-se as mais baixas concentrações no período nocturno (Schöettlin; Landau, 1961; Young et al, 1962; Schwartz et al, 1976; Lioy et al, 1985; Rombout et al, 1986; Tyler et al, 1988; Hazucha et al, 1992; Hazucha et al, 1994; Devlin, 1997).

Alguns níveis de exposição a ozono no interior de cabinas de avião anteriormente mencionados excedem valores susceptíveis de provocar, tanto em experimentação animal como em experimentação humana, efeitos negativos para a saúde, com particular incidência sobre o aparelho respiratório. Esses efeitos atingem sobretudo os indivíduos expostos que realizam, em simultâneo, esforços físicos (Silverman et al, 1973; Mustafa; Tierney, 1978; Adams et al, 1982; Adams, 1983; McDonnell et al, 1983; Folinbee et al, 1984).

Tal situação pode corresponder, no contexto da aviação civil comercial, ao caso concreto dos tripulantes de cabina durante o desempenho das respectivas tarefas profissionais.

#### BIBLIOGRAFIA SELECIONADA

- ADAMS WC et al: Detection of ozone toxicity during continuous exercise via the effective dose concept. *Journal of Applied Physiology: Respiratory Environmental Exercise Physiology*. 1982; 53: 415-422
- ADAMS WC, SCHELEGLE ES: Ozone and high ventilation effects on pulmonary function and endurance performance. *Journal of Applied Physiology: Respiratory Environmental Exercise Physiology*. 1983; 55: 805-812
- ALMEIDA VC: Condições especiais de trabalho a que se encontram sujeitas as tripulações de aeronaves (I Parte). *Revista Portuguesa de Clínica e Terapêutica*. 1985; 9(5): 173-182

- ALMEIDA VC: Condições especiais de trabalho a que se encontram sujeitas as tripulações de aeronaves (II Parte). ). Revista Portuguesa de Clínica e Terapêutica. 1986; 10(3): 93-104
- AYRES S, BUEHLER M: The effects of urban air pollution on health. *Clinical Pharmacology and Therapeutics*. 1970; 11: 337-342
- BALLOUET JC: What is known about cabin air?: a global survey. In 67th ANNUAL MEETING, ICAO SESSION, OF AEROSPACE MEDICAL ASSOCIATION (AsMA), Atlanta, May 1996. Atlanta: Aerospace Medical Association, 1996
- BENNETT G: Ozone contamination in high altitude aircraft cabins. *Aerospace Medicine*. 1962; 33: 969-973
- BISCHOF W: Ozone measurements in jet airliner cabin air. *Air, Soil and Water Pollution*. 1973; 2: 3-14
- BOUSHEY HA: Bronchial hypereactivity to sulphur dioxide: physiologic and political implications. *Journal of Allergy and Clinical Immunology*. (1982; 69(4): 335-338
- BRABETS I: Ozone measurement survey in commercial jet aircraft. Technical Report ADS-5. Washington, D.C.: FAA - Federal Aviation Agency, 1963
- BRIEHL D, PERKINS P: Ozone concentration in the cabin on a gates Learjet measured simultaneously with atmospheric ozone concentration. NASA technical paper 1340. Washington, D.C.: NASA - National Aeronautics and Space Administration, 1978.
- CHAPMAN P: Airline Medical Manual. London: Chapman and Hall Medical, First Edition 1991
- CICOLELLA A: Les gaz d'échappement. In B CASSOU, D HUEZ, ML MOUSEL, A TOURANCHET: Les risques du travail. Pour ne pas perdre sa vie a la gagner. Paris: Éditions La Découverte, 1985, 373-374
- COSTA DL, AMDUR MO: Air pollution in perspective. In CURTIS D KLAASEN - Casaret&Doull's Toxicology. The basic science of poisons. New York: McGraw-Hill, 5<sup>th</sup> edition, 1996, 857-882.
- CRAWFORD WA, HOLCOMB LC: Environmental tobacco smoke (ETS) in Airlines - a health hazard evaluation. *Aviation, Space and Environmental Medicine*. 1991; 62.6: 580-586
- DELUCIA A.J. et al.: Biochemical and morphological alterations in the lung following ozone exposure. *American Inst. Chem. Eng. Symposium Series*. 1975; 71: 93-100
- DEVLIN RB, RAUB JA, FOLINSBEE LJ: Health effects of ozone. *Science&Medicine*. 1997; 4(3): 8-17
- EASTON RE, MURPHY SD: Experimental Ozone Preexposure and Histamine. Effect on the Acute Toxicity and Respiratory Function Effects of Histamine in Guinea Pigs. *Archives of Environmental Health*. 1967; 15: 160-166
- FAA - FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION: Transport category airplane cabin ozone concentration. Advisory Circular NR. 120- 38, October 10 1980. Washington, D.C.: FAA, 1980
- FABIAN P, PRUCHNIEWICZ PG: Meridian distribution of ozone in the troposphere and its seasonal variations. *Journal of Geophysics Research*. (1977; 82(15): 2063-2073
- FERRIS BG: Health effects of exposure to low levels of regulated air pollutants: a critical review. *Journal of the Air Pollution Control Association*. 1978; 28(5): 482-497
- FOLINSBEE LJ: Effects of ozone exposure on lung function in man: a review. *Revue of Environmental Health*. 1981; 3: 211-240
- FOLINSBEE LJ, BEDI JF, HORVATH SM: Pulmonary function changes after 1 h continuous heavy exercise in 0.21 ppm ozone. *Journal of Applied Physiology*. 1984; 57: 984-987
- FOLINSBEE LJ, BEDI JF, HORVATH SM: Pulmonary response to threshold levels of sulfur dioxide (1,0 ppm) and ozone (0,30 ppm). *Journal of Applied Physiology*. 1985; 58: 1783-1787
- GREGORY GL, BECK SM, WILLIAMS JA: Measurements of free tropospheric ozone: an aircraft survey from 44° N to 46° S latitude. *Journal of Geophysics Research*. 1984; 89(D6): 9642-9648.
- HACKNEY JD et al.: Experimental studies on human health effects of air pollutants: I. Design considerations. *Archives of Environmental Health*. 1975; 30: 373-378
- HACKNEY JD et al.: Studies in adaptation to ambient oxidant air pollution: effects of ozone exposure in Los Angeles residents vs. new arrivals. *Archives of Environmental Health*. 1976; 18: 141-146
- HACKNEY JD, LINN WS, AVOL EL: Assessing health effects of air pollution: the role of controlled studies of human volunteers is examined. *Environmental Sciences Technology*. 1984; 18(4): 115A-122A
- HARDING RM, MILLS FJ: *Aviation Medicine*. London: British Medical Journal Publishing Group, third edition, 1993
- HARDING RM: The Earth's atmosphere. In ERNSTING J, KING P: *Aviation Medicine*. Cambridge: Butterworth-Heinemann Ltd., second Edition reprinted, 1995. 3-12
- HAZUCHA MJ, FOLINSBEE LJ, SEAL E: Effects of steady state and variable ozone concentration profiles on pulmonary function. *American Revue of Respiratory Diseases*. 1992; 146: 1487-1493
- HAZUCHA MJ et al.: Lung function response of healthy women after sequential exposures to NO<sub>2</sub> and O<sub>3</sub>. *Journal of Respiratory Critical Care Medicine*. 1994; 150: 642-647
- HILSENATH E, SCHLESINGER BM: Total Ozone seasonal and interannual variations derived from the 7-year Nimbus-4 BUV data set. *Journal of Geophysical Research*. 1981; 86(12): 12087-12096
- HUNT EH et al.: Commercial airliner environmental control system: engineering aspects of cabin air quality. In AEROSPACE MEDICAL ASSOCIATION ANNUAL MEETING, Anaheim, California, May 1995. Montreal: Aerospace Medical Association, 1995
- HUNT EH, SPACE DR: The airplane cabin environment: issues pertaining to flight attendant comfort. In INTERNATIONAL IN-FLIGHT SERVICE MANAGEMENT ORGANIZATION CONFERENCE, Montreal, Canada, November 1994. Montreal: In-Flight Service Management Organization, 1994
- INRS - Valeurs limites d'exposition professionnelle aux substances dangereuses de l'ACGIH aus États-Unis et de la Commission MAK en Allemagne. *Cahiers de Notes Documentaires*. 1996; 163: 197-227
- JAFFE LS: The biologic effects of ozone on man and animals. *American Industrial Hygiene Association Journal*. 1967; 28: 267-277
- JAFFE LS, ESTES HD: Ozone toxicity hazard in cabins of high altitude aircraft - a review and current program. *Aerospace Medicine*. 1963; 34: 633-643
- KINDWALL EP: Carbon monoxide. In CARL ZENZ; OB, DICKERSON EP, HORVATH: *Occupational Medicine*. St. Louis: Mosby Year Book, Inc., 3<sup>rd</sup> edition, 1994, 447-752
- LAGERWERFF JM: Prolonged ozone inhalation and its effects on visual parameters. *Aerospace Medicine*. 1963; 34(6): 479-486
- LAUWEREYS R: *Toxicologie Industrielle et Intoxications professionnelles*. Paris: Masson, troisième édition, 1992
- LLOYD PJ, SAMSON PJ: Ozone concentration patterns observed

- during the 1976-1977 long-range Transport study. *Environment International*. 1979; 2: 77-83
- LIPPMAN M et al.: Effects of ozone on the pulmonary function of children. *Advanced Medicine and Environmental Toxicology*. 1983; 5: 423-446
- LOGAN JA: Tropospheric ozone: Seasonal behavior, trends and anthropogenic influence. *Journal of Geophysical Research*. 1985; 90(6): 10463-10482
- McDONNELL WF et al.: Pulmonary effects of ozone exposure during exercise: dose-response characteristics. *Journal of Applied Physiology*. 1983; 54: 1345-1352
- MELTON CE: Effects of long-term exposure to low levels of ozone: a review. *Aviation, Space and Environmental Medicine*. 1989; 53(2): 105-111
- MILLER S, EHRLICH R: Susceptibility to respiratory infections of animals exposed to ozone: I. Susceptibility to *Klebsiella Pneumoniae*. *Journal of Infectious Diseases*. 1958; 103: 145-149
- MUSTAFA MG, TIERNEY DF: Biochemical and metabolic changes in the lung with oxygen, ozone and nitrogen dioxide toxicity. *American Review of Respiratory Diseases*. 1978; 118: 1061-1090
- MUSTAFA MG et al.: A Comparison of biochemical effects of nitrogen dioxide, ozone and their combination in mouse lung: I. Intermittent exposures. *Toxicology and Applied Pharmacology*. 1984; 72: 82-90
- NASTROM GD, HOLDEMAN JD, PERKINS J: Measurements of cabin and ambient ozone on B747 airplanes. *Journal of Aircraft*. 1980; 17(4): 246-249
- NIOSH - NATIONAL INSTITUTE FOR OCCUPATIONAL SAFETY AND HEALTH: Pocket guide to chemical hazards. Washington D.C.: U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service (Centers for Disease Control) 1990
- PRESTON FS: Commercial aviation and health: general aspects. In ERNSTING J, KING P: *Aviation Medicine*. Cambridge: Butterworth-Heinemann LTD., Second Edition reprinted, 1995. 493-496
- REED D, GLASER S, KALDOR J: Ozone toxicity symptoms among flight attendants. *American Journal of Industrial Medicine*. 1980; 1: 43-54
- ROGERS JW: Results of FAA cabin ozone monitoring program in commercial aircraft in 1978 and 1979. FAA-EE-80-10. Washington, D.C.: FAA, 1980
- ROMBOUT PJA, LIOY PJ, GOLDSTEIN BD: Rationale for an eight-hour ozone standard. *Journal of Air Pollution Control Association*. 1986;36(8): 913-917
- SCHADELI DM: Effect of inhalation of ozone on healthy people. *International Journal of Vitamins and Nutrition Research*. 1987; 57(4): 454
- SCHOETTLIN CE, LANDAU E: Air pollution and asthmatic attacks in the Los Angeles area. *Public Health Reports*. 1961; 76(6): 545-548
- SCHWARTZ LW et al.: Pulmonary responses of rats to ambient levels of ozone: effects of 7-day intermittent or continuous exposure. *Laboratory Investigation*. 1976; 34(6): 565-578
- SHARP GR: Toxic gases and vapors in flight. In ERNSTING J, KING P: *Aviation Medicine*. Cambridge: Butterworth-Heinemann LTD., Second Edition reprinted, 1995. 127-135
- SILVERMAN F, FOLINSBEE LJ, SHEPHARD RJ: Time course of effects of ozone on the human lung. *Clinical Research*. 1973; 21: 1072
- STEWART RD et al.: Experimental human exposure to carbon monoxide. *Archives of Environmental Health*. 1970; 21: 154-159
- STOKINGER HE: Ozone toxicity: a review of the literature through 1953. *AMA Archives of Industrial Health*. 1954; 9 366-383
- TASHKIN DP et al.: Respiratory symptoms of flight attendants during high-altitude flight: possible relation to cabin ozone exposure. *International Archives of Occupational and Environmental Health*. 1983; 52(2): 117-37
- TIEFENAU HK, PRUCHNIEWICZ PG, FABIAN P: Meridional distribution of tropospheric ozone from measurements aboard commercial airliners. *Pure Applied Geophysics*. 1973; 106: 1036-1040
- TYLER WS et al.: Comparison of daily and seasonal exposures of young monkeys to ozone. *Toxicology*. 1988; 50: 131-144
- VALLINMAKI J: Ozone stalks where you least expect it. *Work Health Safety*. 1997; 30-31
- VAN-HEUSDEN S, MANS LG: Alternating measurement of ambient and cabin ozone concentrations in commercial jet aircraft. *Aviation, Space and Environmental Medicine*. 1978; 49(9): 1056-1061
- VIEILLEFOND H, FOURN P, AUFFRET R: Characteristics in the atmosphere of long-range transport aircraft cabins. *Aviation, Space and Environmental Medicine*. 1977; 48(6): 503-507
- WILCOX RW, NASTROM GD, BELMONT AD: Periodic variations of total ozone and its vertical distribution. *Journal of Applied Meteorology*. 1977; 16: 290-298
- YOUNG WA, SHAW DB, BATES DV: Presence of ozone in aircraft flying at 35.000 feet. *Aerospace Medicine*. 1962; 32: 311-318