

A EXPOSIÇÃO A RADIAÇÃO CÓSMICA POR TRIPULANTES

O objetivo deste informativo é divulgar os efeitos nocivos à saúde humana pela exposição a Radiação Cósmica pelos aeronavegantes. Pela complexidade do assunto, a intenção é iniciar a abordagem do tema, fiel ao compromisso do SNA de levar aos aeronautas informações fidedignas e úteis para o exercício da profissão, sem a intenção de ser alarmista sobre os efeitos da radiação sobre o organismo humano.

Embora existam mais 65 estudos epidemiológicos publicados na literatura científica no exterior, investigando o risco de câncer nas tripulações, o assunto ainda é bastante desconhecido da grande maioria dos tripulantes no Brasil e muitas vezes a radiação cósmica é confundida com a radiação ultravioleta. Quando falamos em ambiente hostil ao exercício da profissão de aeronauta a bordo das aeronaves comerciais a reação, pensamos nos efeitos da pressurização, da exposição aos raios ultravioleta UVA/B, na radiação eletromagnética, no *stress* das longas jornadas, micro vibração, acelerações e desacelerações constantes, qualidade do ar de cabine, etc.

Porém um dos efeitos mais nocivos do voo em altitude é a RADIAÇÃO CÓSMICA, que pode ter um efeito devastador no organismo humano, podendo inclusive promover um aumento da incidência de tumores. Assim, diante da relevância do tema, o SNA inicia com este boletim um importante marco no sentido de pesquisar em profundidade o assunto e divulgar suas implicações na saúde dos aeronautas. O primeiro ponto é diferenciar Radiação Cósmica da Radiação Ultravioleta UVA/B. A proteção em voo para a radiação cósmica é impraticável, no entanto para a radiação ultravioleta basta proteger-se dos raios solares.

IFALPA (*The International Federation of Air Line Pilot' Associations*)

A IFALPA definiu na conferência de 2012 em Paris um novo posicionamento em relação à radiação cósmica, publicando o **Medical Briefing Leaflet – COSMIC RADIATION** que é uma importante referência para este trabalho. Adicionalmente, dados da **ICAO (*International Civil Aviation Organization*)** e **ICRP (*International Commission on Radiological Protection*)** e de outras importantes fontes são referenciados para esclarecer sobre o risco da exposição a RCR.

O que é Radiação Cósmica?

A radiação cósmica (CR) origina-se nas profundezas do espaço e é composta pela *Background Cosmic Radiation* ou *Galactic Cosmic Radiation (GCR)*, de intensidade constante e pela *Radiação Solar*, cuja intensidade varia com a atividade solar. CR consiste de um espectro de partículas e radiação eletromagnética. Raios cósmicos podem ter muito mais energia do que as fontes geradas pelo homem. Uma vez a blindagem da radiação¹ consiste na interação da radiação com a matéria, a proteção nos altos níveis da atmosfera é menor do que na superfície.

1. Depende do tipo de radiação, da energia da radiação e das propriedades do material de blindagem (densidade, número atômico, etc.)
2. Dose rate - The dose of ionizing radiation delivered per unit time. For example, rems or sieverts (Sv) per hour.

O campo magnético da terra e o campo magnético solar (magnetosfera) protegem parcialmente a Terra das partículas da CR. Como alguns dos componentes da CR são muito penetrantes, uma

blindagem de proteção na aeronave é impraticável. A *dose rate*² resultante da radiação cósmica depende da latitude, altitude e do ciclo solar.

Latitude

Em linhas gerais, o campo magnético da terra é mais fraco nos polos magnéticos e por consequência os níveis de radiação cósmica são mais elevados nas regiões polares e vão decrescendo na direção do equador.

Altitude

Quanto mais camadas de atmosfera acima de nós, melhor será a proteção do tripulante contra a radiação. As altitudes de voo das aeronaves comerciais são tipicamente entre o FL200 e o FL390, onde a dose recebida de radiação dobra para cada 6.000ft de aumento na altitude da aeronave. Ou seja, quanto mais alto o voo for efetuado, maior será o índice de radiação absorvido pelo tripulante.

Ciclo solar

O ciclo solar dura aproximadamente 11 anos. Isto é devido a variação do campo magnético do sol, determinado pela variação da atividade no interior do sol. O ciclo solar pode ser detectado através do número e frequência das manchas solares. Na Solar Mínima, há apenas poucas manchas solares e na Solar Máxima, bastante manchas. Na Solar Mínima, a quantidade de radiação chega a 100%, e isto é porque os efeitos da CR tem menos modulação devido a atividade solar reduzida. Na Máxima Solar, ocorrem os eventos de partículas solares de alta energia. O aumento geral da atividade solar atua como blindagem, reduzindo a componente da *background* Cósmica. Porém, na Solar Máxima, existe a possibilidade das tempestades solares, que podem causar um rápido aumento dos níveis de radiação.

Tempestades solares

As tempestades solares se formam quando há a liberação explosiva de energia magnética do sol no espaço, na forma de explosões solares e de ejeção de massa Coronal (*Coronal Mass Ejections - CME*). Explosões solares são erupções da superfície do sol e *CME* é uma erupção de um grande volume da atmosfera solar. Normalmente, não há energia suficiente para aumentar significativamente o nível de radiação nas altitudes de voo das aeronaves comerciais. Todavia, as vezes esta energia atinge a Terra e é observado um súbito aumento do nível de radiação, denominado *Ground Level Event (GLE)*. A duração de um *GLE* pode ir de poucas horas até alguns dias.

Os efeitos das tempestades solares

Tempestades solares podem causar a perda ou degradação das comunicações em Radio Frequência (RF) e nos sinais dos satélites de navegação. Isto pode ocorrer mesmo sem um nível excessivo de ionização nas altitudes de voo das aeronaves comerciais. A aurora boreal e austral, que resultam da interação de partículas carregadas com o ar na atmosfera superior, pode ser uma indicação de aumento dos níveis de radiação ionizante nas altitudes de voo. Ocasionalmente, tempestades solares causam uma *GLE*. Todavia, ao mesmo tempo poderá haver um significativo decréscimo no nível da *background cosmic radiation*. A dose extra de radiação causada pelas *GLEs* são usualmente menores de 100uSv. Durante os últimos 60 anos aconteceram cinco tempestades solares onde a dose de radiação excedeu 1mSv durante um voo de travessia do Atlântico. Isto é aproximadamente igual a dose recebida em três meses de voo em uma aeronave comercial.

Doses de radiação cósmica

Radiação ionizante pode ser objetivamente medida pela dose absorvida: a energia depositada por unidade de massa. As doses absorvidas de diferentes tipos de radiação causam diferentes efeitos biológicos e a sensibilidade de diferentes tipos de tecidos humanos varia para diferentes tipos de

radiação. Portanto, as doses absorvidas pelos tecidos são calculadas para nos dar a dose equivalente e a dose efetiva.

Sievert (Sv)

A unidade de medida da dose equivalente e da dose efetiva é o **Sievert (Sv)** e ela permite a comparação dos efeitos na saúde de entre diferentes tipos de radiação. Um milésimo de *Sievert* é o **mSv** (miliSievert) e um milionésimo é o **µSv** (microSievert). A medida da que corresponde a energia absorvida por exposição a radiação é o Gray – Gy.

Alguns exemplos de doses de radiação e dose rate

Como nós não lidamos no nosso dia a dia com medição de doses de radiação, pode ser difícil compreender a magnitude das diferentes doses de radiação.

Na figura 1 voce pode encontrar alguns exemplos de doses, que podem ajudar a entender a magnitude da exposição.

A dose adicional de radiação cósmica que o tripulante geralmente recebe é 2-5 mSv.

Fig. Símbolo para fontes de radiação ionizante



Figure 1: Radiation dose vs. source

Radiation Dose	Source
0.01 millisievert (mSv)	Tooth X-ray
0.06 mSv (60 µSv)	Flight HEL-NRT (approx. 9 hrs flight time)
0.1 mSv (100 µSv)	Chest X-ray
1 mSv	Annual dose limit for the public
2-5 mSv	Annual cosmic radiation dose for flying personnel
3.7 mSv	Average annual Finnish radiation dose (background radiation, indoor radon, medical radiation, etc.)
20 mSv	CT scan
20 mSv	Limit on effective dose for occupationally exposed workers averaged over defined periods of 5 years, with no single year exceeding 50 mSv
500-1000 mSv	Dose required for acute radiation illness
4000 mSv	Lethal dose when received at once
Some examples of doses rates (doses/hour)	
0.04-0.30 µSv/h	Natural background radiation in Finland
5-8 µSv/h	FL 260-390 in temperate latitudes [UNSCEAR 2000]
10 µSv/h	Some protective measures are needed, e.g. avoiding being outdoors ²
30 µSv/h	The dose rate measured at a distance of one metre of a patient that has undergone isotope treatment. When the dose rate is less than 30 µSv/h, the patient can be discharged. ³
100 µSv/h	It is necessary to take protective measures, e.g. to take shelter indoors ⁴

2.3.4 cf. http://www.stuk.fi/sateilyaara/em_GB/esim_annos/

Estimativas das doses e os dosímetros de bordo

Existem vários programas de computador desenvolvidos para aplicar os conceitos discutidos neste artigo. Basicamente, eles aplicam a latitude, altitude e informações da magnetosfera para estimar a dose de radiação. O programa usado na Europa é o EPCARD³, no Canadá⁴ o PCAIRE e o código desenvolvido pelo FAA é o CARI-6⁵.

Estes programas fornecem um método de determinação estimada da radiação baseado nas rotas de voo programadas. Além disso, durante o período de aumento da atividade solar como na Solar Máxima, os valores são corrigidos com os aumentos requeridos, pois os mesmos não são iguais globalmente para altitudes e latitudes similares.

Com o advento de diversos monitores de radiação nos últimos anos, que gravam com precisão a dose de radiação ambiente equivalente, possibilitou que as tripulações ajam proativamente no caso de alertas emitidos pelo NOAA (*National Oceanic and Atmospheric Administration*).

A IFALPA cobra da ICAO um posicionamento para determinar procedimento de descida no evento de uma tempestade solar. Durante o planeamento de um voo, no caso de uma tempestade solar, a escolha de um FL mais baixo deve ser considerada.

Atualmente, já encontramos no mercado monitores de bordo compactos e que medem a dose de radiação com mais precisão que os modelos matemáticos. E, sempre que possível, deve-se preferir o modelo de medir a radiação ao invés de estima-la.

Proteção para a Low Dose Radiation

Segundo a ICRP, existem três princípios fundamentais quando objetivamos a proteção a radiação: justificativa, otimização e a observação da dose limite.

Evidentemente devemos nos preocupar em proteger nossas tripulações ao máximo de exposições a radiação ionizante. Devemos otimizar a exposição de maneira que as pessoas expostas recebam a mínima dose possível, levando em conta os fatores econômicos e sociais (*ALARA-Principle*). O resultado da aplicação deste princípio na aviação é que o planeamento e a performance do voo seja otimizada com respeito a exposição a radiação mas também sob o aspecto socioeconômico. A aplicação das doses limite significa que cada individuo não exceda os limites apropriados especificados pela ICRP.

Existem duas maneiras de proteção contra a radiação: ou uma blindagem protetora ou a utilização de doses restritivas a exposição. Exceto pelo fato da própria atmosfera oferecer uma certa proteção ou blindagem, é impraticável blindar efetivamente uma aeronave para os efeitos da radiação cósmica. A medida de proteção mais viável é impor doses limites de exposição para as tripulações.

Normas da ICAO e outras agências

ICRP

A *International Commission on Radiological Protection (ICRP)* é o principal organismo de proteção contra a radiação ionizante. A ICRP é uma organização não governamental independente constituída com a finalidade de tornar públicas medidas de proteção radiológicas. A ICRP emite recomendações e normas no sentido de proteger contra os riscos da radiação ionizante, porém não tem o poder de tornar as normas de cumprimento obrigatório. Entretanto, a maioria dos organismos reguladores seguem as suas recomendações.

3. EPCARD (European Program Package for the Calculation of Aviation Route Doses) <http://www.helmholtz-muenchen.de/en/epcard-portal/>
4. Disponível em www.pcaire.com
5. Disponível em http://www.faa.gov/data_research/research/med_humanfacs/aeromedical/radiobiology/cari6/

Por definição, Radiação ionizante é a radiação que possui energia suficiente para ionizar átomos e moléculas. É capaz de arrancar elétrons de átomos ou moléculas, produzindo íons. Exemplo: raio-x, alfa, beta, gama e nêutrons.

A ICRP reconhece que a exposição a radiação é inerente a função de tripulante. O limite anual recomendado de exposição é uma dose efetiva 20 mSv, num período observado de 5 anos (100 mSv em 5 anos), sendo que a dose efetiva não pode superar 50 mSv em um único ano. A recomendação para tripulantes grávidas é de 1 mSv desde o conhecimento da gravidez até o parto. Para o público em geral (e.g. passageiros) o limite anual é 1 mSv.

ICAO Annex 6

O Anexo 6 6.12 ICAO requer que todas as aeronaves que pretendam voar acima de 49.000ft tenham a bordo o equipamento para medir e indicar continuamente a dose total de radiação cósmica que está sendo recebida e a dose acumulada em cada voo. O Anexo 6 4.2.11.5 requer que o operador mantenha os registros dos voos acima de 49.000ft para que a dose total de radiação cósmica recebida por cada tripulante num período de 12 meses consecutivos possa ser determinada.

Normas Europeias

Algumas normas sobre radiação estão descritas no documento EU-OPS 1.390, porém não constam da nova EASA parte OPS. As normas relativas a estão em uma diretiva da *EU (Council Directive 96/29/Euratom)*, para prevenir sobreposição de normatizações. Entretanto, as normas da EU serão revisadas e já existe um rascunho para as novas normas (*Euratom Basic Safety Standards Directive*). Haverá algumas alterações nas normas em vigor, porém não sabemos quando serão publicadas. Adicionalmente, cada país da Europa poderá ter, e poucos terão, uma legislação mais restrita a respeito da radiação. Normalmente, esta legislação nacional restringe a dose total de exposição a radiação cósmica para 6 mSv.

Council Directive 96/29/Euratom (article 42)

O limite na dose efetiva para trabalhadores deve ser de 100 mSv para um período consecutivo de 5 anos, com a limitação de uma dose efetiva de 50 mSv em um único ano. Para mulheres grávidas a dose máxima é de 1 mSv durante o restante da gravidez. Adicionalmente, existem alguns requisitos para tripulantes sujeitos a exposição a mais de 1 mSv por ano:

- ✓ Avaliar a exposição do tripulante em questão,
- ✓ Avaliar a exposição quando confeccionar a escala visando reduzir as doses de tripulantes altamente expostos a radiação,
- ✓ Informar os trabalhadores a respeito dos riscos a saúde de seu trabalho,
- ✓ Aplicar o artigo 10 para a mulher tripulante.

FAA regulations

Não existem normas relativas a radiação nos regulamentos do FAA. Entretanto o FAA considera os tripulantes como sendo uma função exposta a radiação ionizante e tem as mesmos limites recomendados pela ICRP, como uma média efetiva de 20 mSv por ano, não excedendo 50 mSv em um único ano e 1mSv para grávidas.

A IFALPA reconhece 20 mSv como o limite anual de exposição para tripulantes, conforme estabelecido pela ICRP na recomendação 103 (2007). Adicionalmente, na maioria dos países europeus há uma restrição adicional anual de 6 mSv para trabalhadores expostos a radiação cósmica.

Radiação cósmica e o risco de câncer em pilotos

Diante de tais dados, resta um questionamento: poderá a exposição dos tripulantes a radiação ionizante resultar a longo prazo em danos a saúde?

Como mencionamos no início deste trabalho, o assunto é bastante complexo e importante, visto que nos últimos 20 anos foram feitos mais de 65 estudos e divulgados em publicações científicas, investigando a relação entre tripulações e o risco de câncer. A *International Commission on Radiological Protection* (ICRP) reconheceu em 1990 que o exercício da função de tripulante expõe à radiação ionizante, o que renovou o interesse sobre o assunto.

O risco global de câncer não mostrou-se elevado em muitos estudos e grupos analisados, sob a ótica de um melanoma maligno. Porém câncer de pele e de peito em tripulantes do sexo feminino mostrou incidência elevada, com menor chance de mortalidade. Em alguns estudos, incluindo um com um grande grupo de alemães, o risco de câncer de cérebro mostrou-se elevado. O risco de mortalidade por problemas cardiovasculares foi geralmente muito baixo.

Não se determinou claramente um padrão ou ponto limite que indique um risco maior para aqueles que tenham sido expostos a uma dose cumulativamente maior. No geral, tripulantes são um grupo altamente diferenciado com muitas características e exposições específicas que também podem contribuir para o surgimento de câncer ou outros problemas de saúde.

Os efeitos a saúde associados a radiação não foram claramente estabelecidos nos estudos disponíveis até a presente data.

Embora em outras áreas a exposição a radiação possa estar decrescendo, como por exemplo para trabalhadores na área médica, industrial, etc, a dose de radiação a que estão submetidos os tripulantes continua a aumentar, como consequência dos avanços na tecnologia aeroespacial, que permitem voos de maior duração, maior altitude e latitude. Muitos estudos epidemiológicos estão

sendo feitos e muitas novas informações são esperadas e a intenção do SNA é efetuar um acompanhamento de perto de todos esses estudos.

As recomendações da IFALPA sobre radiação cósmica

A nova posição da IFALPA em relação a radiação cósmica foi aprovada na conferência anual da IFALPA de 2012. Membros da IFALPA podem acessar o conteúdo total na área restrita para membros no website da IFALPA (IFALPA Technical Manual, Annex 06, Section 6.12). Os principais fundamentos são os seguintes:

- ✓ Tripulantes que recebem uma dose de mais de 1 mSv/y devem ser enquadrados na categoria de exposição ao risco a radiação ionizante. Aqueles que estão passíveis de receber uma dose maior de 6 mSv por ano, devem ser classificados como trabalhadores da Categoria A.
- ✓ Todas as aeronaves com um teto operacional superior a 26.000ft operando em regiões polares e subpolares, especialmente aeronaves de longo alcance, devem estar equipadas com um dispositivo de alerta para detectar súbitos aumentos nos níveis de radiação. A tripulação deve ter no cockpit o indicador de alarme plenamente visível para permitir uma pronta reação ao aumento súbito dos níveis de radiação.
- ✓ A IFALPA recomenda que a ICAO patrocine um grupo de trabalho multidisciplinar para analisar todos os aspectos relacionados um evento de radiação ionizante e a possível descida de emergência de uma grande quantidade de aeronaves.

A Radiação Cósmica tem afetado e continuará sempre afetando os pilotos. É um dos fatores de risco da profissão, entre outros. Porém, pelo que se conhece até o momento, o risco para a saúde é baixo. Apesar disto, a IFALPA continuará acompanhando todos os estudos relativos a radiação. Conhecimentos mais acurados sobre a magnitude dos riscos para a saúde dos tripulantes oriundo da radiação, estão sendo adquiridos continuamente.

CONCLUSÃO

O assunto é bastante complexo e pouco pesquisado no Brasil. O uso da internet “democratizou” o acesso a informação para todos. Uma simples consulta no *Google* revela cerca de 190.000 documentos para “radiação ionizante” e 124.000 para “radiação cósmica”. Após efetuar uma seleção das fontes fidedignas, teremos um farto material de pesquisa para dar continuidade ao trabalho do SNA sobre a influência da Radiação Cósmica na saúde do aeronauta.

Como falamos no início, este trabalho é apenas o ponto de partida para a pesquisa do assunto. Com certeza teremos nos próximos meses um amplo debate sobre a matéria, eventualmente a formação de um grupo de trabalho e a realização de um simpósio sobre o tema. Após análise da documentação da IFALPA, ICAO, ICRP, FAA e das normas europeias, não resta nenhuma dúvida que os aeronautas, principalmente os que voam em aeronaves a reação, estão expostos a uma alta dose de radiação ionizante, cujo risco de problemas de saúde a longo prazo certamente existem, porém não estão ainda claramente quantificados, embora existam algumas indicações de aumento de câncer cérebro e de pele e peito em mulheres, conforme está descrito no boletim da IFALPA, que serviu de referência para esta publicação.

A exposição média, levando em consideração a altitude, latitude e duração do voo podem ser razoavelmente estimadas pelos aplicativos informatizados existentes, porém é mister o acompanhamento das explosões solares (referência ao site da NOAA), cujo grande aumento súbito da exposição é um fator de extrema importância. O emprego de dosímetros de radiação cósmica a bordo, pelo sistema de amostragem é fundamental para quantificarmos o fator de exposição em nosso ambiente operacional. Convidamos todos os aeronautas a engajarem-se na pesquisa do tema para que possamos ter um conhecimento amplo e claro do assunto.

Texto: ACR Consultoria Aeronáutica Ltda

Referências

IFALPA, Medical Briefing Leaflet – COSMIC RADIATION, disponível em

<http://www.ifalpa.org/downloads/Level1/Briefing%20Leaflets/Medical/13MEDBL01%20-%20Cosmic%20radiation.pdf>

Hajo Zeeb, Gael P Hammer, Maria Blettner, Epidemiological investigations of aircrews: na occupational group with low-level cosmic radiation exposure, J. Radiol. Prot. 32 (2012) N15-N19

CNEN – Radiações Ionizantes e a vida – disponível em www.cnen.gov.br

UFRJ – A Radiação Ionizante – Prof. Stenio Dore – disponível em <http://www.if.ufrj.br/~dore/FisRad/FisRad1.pdf>

DOT/FAA/AM-03/16 – What Aircrews Should Know About Their Occupational Exposure to Ionizing Radiation (Oct. 2003) disponível em 09/ABR/14:

http://www.faa.gov/data_research/research/med_humanfacs/oamtechreports/2000s/media/0316.pdf

DOT/FAA/AM-09/6 – Solar Radiation Alert System (Mar. 2009) acesso em 10/ABR/14

http://www.faa.gov/data_research/research/med_humanfacs/oamtechreports/2000s/media/200906.pdf