

UNIVERSIDADE ANHEMBI MORUMBI

**BRUNO GASPARIN DA SILVA
KASSIA GOMES ARCENIO
LUCAS ANDRADE DE LIMA
SERGIO SILVA S. JUNIOR**

RADIAÇÃO IONIZANTE E O PILOTO DE AERONAVES

São Paulo
2019

**BRUNO GASPARIN DA SILVA
KASSIA GOMES ARCENIO
LUCAS ANDRADE DE LIMA
SERGIO SILVA S. JUNIOR**

RADIAÇÃO IONIZANTE E O PILOTO DE AERONAVES

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como exigência parcial para a obtenção do título de Bacharel em Aviação Civil da Universidade Anhembi Morumbi, sob a orientação do Prof. Mestre Alfredo Menquini.

São Paulo
2019

**BRUNO GASPARIN DA SILVA
KASSIA GOMES ARCENIO
LUCAS ANDRADE DE LIMA
SERGIO SILVA S. JUNIOR**

RADIAÇÃO IONIZANTE E O PILOTO DE AERONAVES

Trabalho de Conclusão Curso apresentado como exigência parcial para a obtenção do título de Bacharel em Aviação Civil da Universidade Anhembi Morumbi, sob a orientação do Prof. Mestre Alfredo Menquini.

Aprovado em

Prof. Msc. Alfredo F. Menquini

Nome do convidado/ titulação

RESUMO

Considerando-se os riscos e perigos aos quais os pilotos de aeronaves comerciais são expostos, como a vibração, baixa umidade relativa, diferença barométrica no interior da cabine, alterações no ciclo circadiano, dentre outros, existe um outro fator que soma-se a este grupo, aumentando a carga de estresse e prejudicando a saúde do tripulante. Trata-se da radiação ionizante, que afeta os voos e tem sua origem no espaço. Denominada Radiação Cósmica (*Cosmic Radiation*), ela afeta principalmente os voos em grandes altitudes, onde as aeronaves modernas operam. Com o avanço tecnológico as aeronaves alçam voos cada vez mais altos, onde desenvolvem menor consumo de combustível e podem transportar cada vez mais passageiros e cargas. Desta forma, a exposição do piloto à radiação cósmica é cada vez maior e mais frequente, o que provoca um aumento na probabilidade do indivíduo irradiado desenvolver doenças devido à absorção radiológica.

Objetiva-se através deste artigo a conscientização acerca da radiação ionizante, seus efeitos e consequências que possam afetar a saúde. Para tanto, procede-se ao uso do livro “A Radiação Ionizante e o Tripulante de Aeronaves”, escrito pelo Cmte. Amilton Camillo Ruas em 2017, a utilização de documentos oficiais de órgãos regulamentadores, com as recomendações para a gestão de dose recebida, como a *International Commission on Radiological Protection (ICRP)* , *International Federation of Air Line Pilots' Associations (IFALPA)*, etc., pesquisas de campo realizadas com o objetivo de entender o nível de conhecimento acerca da radiação ionizante, sua origem e efeitos prejudiciais à saúde por parte dos pilotos atuando na área, e também, com o objetivo de amplificar a disseminação deste conhecimento, a realização de palestras e a criação de panfletos informativos, os quais foram distribuídos a algumas entidades educacionais voltadas ao treinamento de pilotos, além de instituições envolvidas com a aviação civil.

Palavras-chave: Radiação. Piloto. Brasil. Saúde. Mitigação.

ABSTRACT

Considering all the risks and dangers to which commercial aircraft pilots are exposed, like vibration, low relative humidity, cabin interior barometric difference, circadian cycle changes, among others. Ionizing radiation is another factor that could be added to this group, which increases the stress load and damages the Crew's health. Ionizing radiation that affects flights originates in space.

Known as Cosmic Radiation, it mainly affects commercial aviation due to the high altitudes at which modern aircraft operate. With technological growth, aircraft are reaching higher altitudes, where they are performing less fuel-intensive flights and carrying even more passengers and baggage. So, the pilot's exposure to cosmic radiation is increasing and it is more frequent, which increases the likelihood of the irradiated individual developing diseases due to radiological absorption. The objective of this Article is mainly to raise the reader's level of awareness about ionizing radiation, its effects and consequences that may affect his life, both professional and personal. To this end, we use the book *Ionizing Radiation and The Aircraft Crew*, written by Commander Amilton Camillo Ruas in 2017, the usage of official documents from regulatory agencies, with recommendations for each dose management received, such as International Commission on Radiological Protection (ICRP) , International Federation of Air Line Pilots' Associations (IFALPA), among others, and also field research conducted to understand the level of knowledge about ionizing radiation, its origin and harmful health effects on pilots operating in the area. To amplify the dissemination of this knowledge, there were lectures and the creation of information leaflets, which were distributed to some educational entities focused on pilot training, as well as other institutions involved with civil aviation.

Key-words: Ionizing. Radiation. Health. Aviation. Crew. Mitigate.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	8
1 RADIAÇÃO	10
1.1 HISTÓRICO	10
1.2 DEFINIÇÕES.....	11
1.3 RADIAÇÃO CÓSMICA E A INFLUÊNCIA DA LATITUDE E ALTITUDE	12
1.4 TGF – <i>TERRESTRIAL GAMMA-RAY FLASHES</i>	13
2 FEITOS NA SAÚDE DO AERONÁUTA	15
2.1 O IMPACTO NA SAÚDE	15
2.2 RISCOS DE CÂNCER	17
2.3 A EXPOSIÇÃO DO TRIPULANTE	20
2.4 RISCOS NA GRAVIDEZ.....	21
3 MITIGAÇÃO	22
3.1 INVIABILIDADE DA PROTEÇÃO100%	22
3.2 APLICATIVOS	23
3.3 ESCALA FLEXÍVEL	25
3.4 QUANTIDADE DE mSv EM CADA ROTA	26
3.5 REDUÇÃO DE ALTITUDE E SUA INVIABILIDADE	27
3.6 ANTECIPAÇÃO DA APOSENTADORIA.....	29
3.7 HÁBITOS SAUDÁVEIS.....	30
3.8 EVITAR RAIO-X.....	30
3.9 ESCOLHA DA AERONAVE E DAS ROTAS	30
3.10 CONTROLE DOS mSv NO CERTIFICADO MÉDICO AERONÁUTICO (CMA).....	31
4 ANÁLISE DE PESQUISA DE CAMPO	31
4.1 QUESTIONÁRIO	31
5 CONSCIENTIZAÇÃO	38
5.1 INFORMATIVO SOBRE RADIAÇÃO IONIZANTE	39
5.2 PALESTRA.....	40
5.3 OFÍCIO PARA COMISSÃO NACIONAL DE TREINAMENTO	41
CONSIDERAÇÕES FINAIS	43

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	44
FIGURAS:	47
APÊNDICES	48

INTRODUÇÃO

Com o avanço tecnológico as aeronaves evoluíram e desenvolveram a capacidade de voar cada vez mais alto e atravessar maiores distâncias. Contudo, os efeitos negativos da radiação sobre os profissionais que operam esses equipamentos também aumentaram. A absorção de radiação ionizante afeta diretamente a estrutura molecular do DNA, isto é, aumenta a probabilidade de desenvolver doenças relacionadas à exposição, como cataratas, câncer e mutações genéticas.

A radiação ionizante que afeta os voos tem sua origem no espaço sideral. A Radiação Cósmica, como é estudada, possui dois componentes: a Radiação Cósmica Solar, e a Radiação Cósmica Galáctica. Estas radiações bombardeiam a Terra constantemente, interagindo com as primeiras camadas da atmosfera e também com a magnetosfera, principal escudo contra a radiação ionizante espacial. Contudo, esse filtro natural terrestre não é capaz de barrar totalmente a radiação.

Nas grandes altitudes e latitudes, esse escudo perde eficiência, permitindo que a radiação penetre com maior facilidade. Isto significa que as aeronaves e seus pilotos estão sujeitos a maior exposição, e este fato gera grande preocupação aos tripulantes técnicos, que frequentemente absorvem níveis de radiação cada vez maiores.

Dada a atual elevação das rotas, a exposição do ser humano com altas doses de radiação é inevitável. A dose absorvida pelo corpo humano é cumulativa, ou seja, não dispersa com o tempo. Desta forma, maiores períodos de exposição aumentam a probabilidade de desenvolver ao longo da vida doenças fatais. Apesar de despertar grande preocupação, não existe no Brasil estudos aprofundados sobre o tema, tampouco divulgação adequada com o intuito de informar a existência dessa problemática ao aeronauta.

Devido à escassez de informações, vê-se necessário o investimento em estudos acerca da radiação ionizante, pois a aviação continua a evoluir obstinadamente, possibilitando voos cada vez mais distantes e mais altos. Com isso, o aumento da exposição do ser humano à radiação espacial é inevitável.

Com o objetivo de aumentar o nível de consciência sobre o assunto dos profissionais da área, este artigo tem por finalidade a divulgação do conhecimento acerca da radiação ionizante, seus efeitos, origem e processos de mitigação, uma vez que no Brasil este tema não possui estudos específicos, tampouco a devida divulgação para o público que busca atuar na área, ou já atuante nela.

Com o objetivo de elevar a consciência do público aeronauta sobre a radiação ionizante a qual estão expostos nos voos, a gestão da absorção de radiação poderá reduzir a probabilidade de desenvolver doenças fatais durante suas vidas, assim como possibilitará para as empresas, através da melhoria de processos de mitigação, a redução das doses absorvidas pelos pilotos durante suas carreiras.

Para atingir o objetivo deste artigo, pesquisou-se a bibliografia de documentos oficiais de órgãos regulamentadores (ICRP, IFALPA, Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN), Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), *National Aeronautics and Space Administration* (NASA), ao livro “O Tripulante de Aeronaves e a Radiação Ionizante”, escrito por Amilton Camillo Ruas, piloto comandante, em 2017, e à pesquisa de campo desenvolvida pelo grupo, com o objetivo de analisar o nível de consciência dos pilotos, nosso público alvo, acerca da radiação ionizante.

Serão tratadas as definições da radiação ionizante, tais como sua origem e os pontos relevantes que afetam os voos. Também serão abordados os efeitos à saúde do piloto, os quais serão apresentados através de dados de órgãos regulamentadores, e meios de proteger-se contra a radiação. Além disso, será apresentada a pesquisa de campo feita sobre a radiação ionizante, com o intuito de estudar o nível de conhecimento dos pilotos comerciais. Também serão apresentadas as ferramentas utilizadas com o objetivo de disseminar o conhecimento para o público que anseia trabalhar no meio aeronáutico como tripulante técnico.

1 RADIAÇÃO

1.1 Histórico

Desde a descoberta dos Raios-X por Rontgen em 1895, passando pelas experiências de Becquerel (1896), Pierre e Marie Curie (1898), Paul Villard (1900), Rutherford (1903), Chadwick (1932) e outros cientistas, os limites de dose recomendados de radiação ionizante vêm sendo cada vez mais reduzidos. (RUAS, 2017, p.21)

No passado, estudos sobre a radiação possibilitaram que fossem aplicadas medicações radioativas como tratamento a pacientes, porém muitos vieram a óbito. Após a morte de um número expressivo de indivíduos, notou-se que a radioatividade possui grande poder letal. Na França antigamente, a dose recomendada de exposição à radiação era de 40.000 mSv (unidade utilizada para quantificar a radiação ionizante, avaliar o quanto afeta os seres humanos). Com o passar dos anos, órgãos reguladores surgiram e determinaram novas recomendações para os limites de dose de radiação absorvida, diminuindo significativamente até os dias de hoje. Atualmente a dose limite recomendada é de 1mSv para civis. (RUAS, 2017)

Entre 1911 e 1912 o físico austríaco Viktor Franz Hess, passou a fazer experiências em balões, fato que amplificou o conhecimento das pessoas com relação aos efeitos da radiação ionizante em altitudes mais elevadas. Após suas análises, concluiu que quanto mais alto o balão, maiores eram os níveis de radiação, e que esta era originária do espaço. Com isto, surgiu o termo "*Cosmic Radiation*". (OKUNO, 2013)

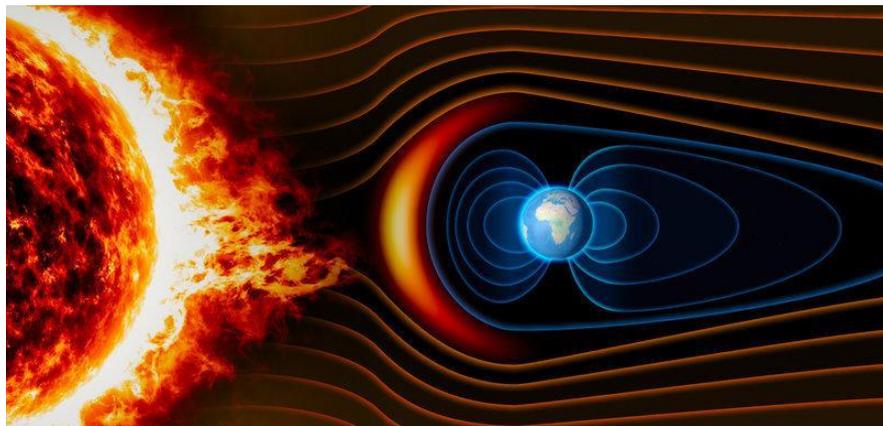


Figura 1: O campo magnético da Terra protege o planeta da radiação cósmica das explosões solares e do Big Bang.

1.2 Definições

Radiação: de uma maneira bem simples, pode ser definida como o transporte de energia de um ponto a outro. Ou energia em trânsito.

Radiação Ionizante: tipo de radiação que possui energia suficiente para arrancar elétrons de átomos e moléculas, produzindo íons.

As radiações ionizantes podem ser:

- Radiações eletromagnéticas: Raios-X e Raios Gama, etc;
- Radiações corpusculares: Raios Alfa, Beta, Nêutrons, Próton, etc.

Radiação Não Ionizante: as que não possuem energia suficiente para ionizar os átomos e as moléculas com as quais interagem, sendo as mais conhecidas:

- Luz visível, luz infravermelha, radiações ultravioleta, microondas, ondas de rádio, corrente elétrica, etc.

Radiação Cósmica: São vários tipos de radiações ionizantes que atingem o planeta Terra continuamente, com alto poder penetrante e energético. Nas altitudes de voo das atuais aeronaves, podem causar danos à saúde e interferência no funcionamento dos sistemas eletrônicos de bordo. (RUAS, 2017)

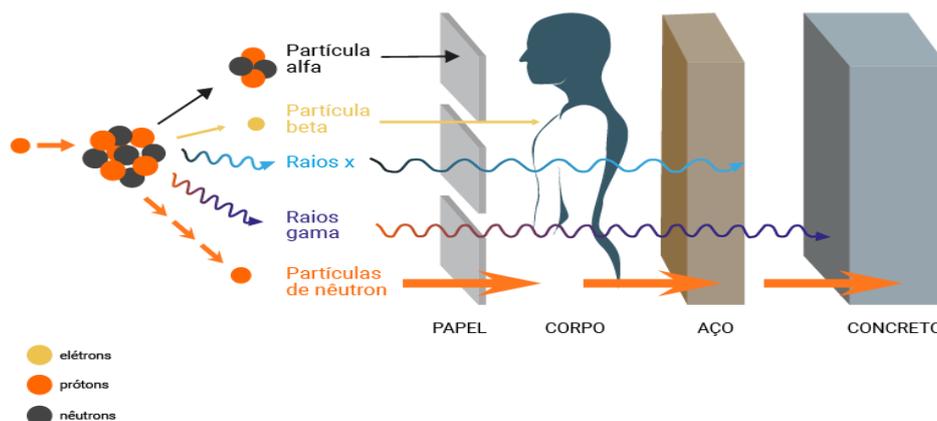


Figura 2: O Poder Penetrante da Radiação Ionizante

1.3 Radiação Cósmica e a Influência da Latitude e Altitude

A Radiação Cósmica, também conhecida como “Raios Cósmicos” é um tipo de radiação ionizante natural que vem de fora do planeta. É originária do Sol, das galáxias e de outras estrelas. Essa radiação está constantemente bombardeando a Terra, que por sua vez, está protegida pelo campo magnético e pela atmosfera.

O campo magnético cria dois cinturões que retêm boa parte das partículas dos raios cósmicos. Conhecidos como “cinturões de *Van Hallen*” eles são mais espessos na linha do Equador e vão diminuindo conforme chegam aos polos. Por este motivo, quem mora em regiões mais próximas aos polos estão mais expostos do que os moradores de regiões próximas ao Equador.

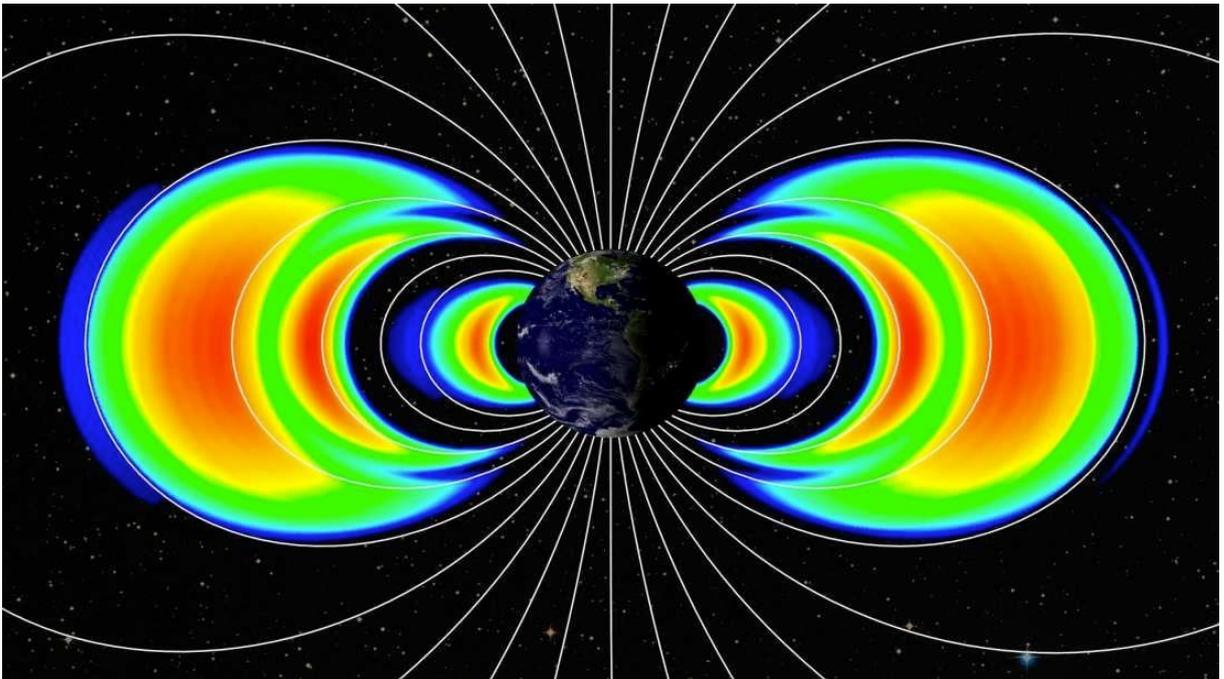


Figura 3: “Cinturão de Van Halen”

Outro filtro para estes raios como citado anteriormente, é a atmosfera, ou seja, quanto maior a altitude, menor a proteção.

1.4 TGF – *Terrestrial Gamma-Ray Flashes*



Figura 4: O comportamento e a composição das emissões de TGF.

Há alguns anos a NASA identificou através de seus observatórios espaciais, fenômenos que ocorrem no topo de nuvens de tempestade. Imagens mostram projeções de energia, com espectros captados apenas pelo sistema, partindo do topo dessas nuvens em direção ao céu. “A terra imita brevemente uma supernova, cerca de 500 vezes por dia, produzindo uma explosão de raios gama chamados de *Terrestrial Gama-ray Flashes (TGF)*.” (NASA – ISS “*Firestation*” to Explore the Tops of Thunderstorm, 2013, documento eletrônico)

A NASA iniciou estudos sobre esses fenômenos a bordo da *International Space Station (ISS)*, através do experimento *Firestation*, lançado em agosto de 2013. “Ele tem a capacidade de gravar a rádio estática dos raios, detectar raios gama e elétrons e medir seu brilho óptico.” (NASA – ISS “*Firestation*” to Explore the Tops of Thunderstorm, 2013, documento eletrônico). Seu principal objetivo é identificar o elo entre as nuvens de tempestade e os fenômenos conhecidos por TGF's.

Para Rowland, estima-se que o *Firestation* seja capaz de captar ao menos um TGF em um intervalo de poucas horas, e um grande evento a cada dois dias. Conforme citado por Rowland (2013, documento eletrônico) "Pensa-se que os raios gama provêm dos eventos mais violentos do cosmos, como estrelas colidindo ou

explodindo [...]. Que surpresa encontrá-los saindo da fria atmosfera superior de nosso próprio planeta."



Figura 5: *Sprites* vermelhos acima dos EUA e da América Central



Figura 6: *Sprites* vermelhos acima dos EUA e da América Central

2 EFEITOS NA SAÚDE DO AERONAUTA

2.1 O Impacto Na Saúde

A Terra passou por milhares de anos de evolução, e todos os seres que a habitam evoluíram junto com ela. O homem é parte desse grande conjunto de seres, porém limitado ao ambiente onde desenvolveu-se, ou seja, as áreas continentais. Contudo, com o desenvolvimento da tecnologia, o homem foi capaz de realizar grandes feitos, criando embarcações que pudessem transportá-lo através dos mares e céus. Este último, porém, possui características para as quais o ser humano ainda não adquiriu a habilidade de sobrevivência durante os milhares de anos de evolução.

O ar atmosférico nas altitudes elevadas é pobre em moléculas de oxigênio, a umidade e a diferença barométrica são extremamente baixas, e há influência de campos magnéticos atuando ao redor da aeronave, entre outros fatores de estresse que afetam o tripulante, tornando a sobrevivência mais difícil. A radiação ionizante proveniente do espaço é também um fator que afeta essa região do planeta onde o homem transita com suas aeronaves de alta tecnologia, representando grande perigo à saúde.



Figura 7: O impacto da radiação ionizante na saúde dos pilotos.

Os efeitos podem variar, conforme a área irradiada do corpo e a dose recebida, produzindo alterações nas moléculas do DNA, gerando radicais livres e possíveis mutações genéticas. É comum após receber uma dose de radiação, que o próprio organismo recupere as células danificadas, sem representar dano significativo para tal reconstrução. Porém em algum momento este processo de recuperação pode não suprir as necessidades do organismo, ou até reconstruir a molécula erroneamente, podendo gerar a curto ou a longo prazo doenças relacionadas a essas mutações, como cataratas, câncer, distúrbios cardiovasculares, mutações nas células reprodutoras, entre outros.

Podemos entender a radiação ionizante e sua profundidade de impacto como efeitos somáticos e genéticos.

Nos efeitos somáticos apenas o indivíduo irradiado possui os danos causados pela absorção da radiação, não afetando as gerações futuras. A gravidade varia conforme a dose absorvida e a área irradiada. Os exemplos de consequências incluem cefaleia, vômitos, queimaduras, diarreia, e, em casos mais graves, mutações nas moléculas de DNA, câncer e a destruição celular.

Os efeitos genéticos ou hereditários atingem as glândulas que trabalham na produção das células reprodutoras. Os efeitos agravam-se ainda mais quanto maior a dose recebida. A mutação genética pode ocorrer e afetar as gônadas a curto prazo logo após algumas semanas, ou até mesmo algumas horas após o voo. Este fato afeta os descendentes, os quais possuem grandes chances de nascerem já com alguma inconformidade em sua formação gênica. A longo prazo, as chances de desenvolver câncer são aumentadas.

Para tripulantes grávidas, os efeitos para a criança são ainda mais críticos, aumentando as chances de desenvolver um câncer fatal ao longo de sua vida. A possibilidade de desenvolver problemas nas células reprodutoras e gerar descendentes com deformações genéticas são aumentadas, tanto para mãe quanto para o filho. “Acredita-se que os radicais livres também tenham um papel na etiologia de doenças como a aterosclerose, artrite reumatoide e outras...” (RUAS, 2017)

2.2 Riscos De Câncer

A exposição à radiação ionizante não significa obrigatoriedade em adquirir um câncer, e sim um aumento na probabilidade de desenvolvê-lo. A mesma dose que causou um efeito biológico em uma pessoa pode não causar dano algum em outra.

Um dano biológico produzido em um indivíduo, não passa necessariamente para outro, ou seja, não se trata de uma doença contagiosa. Porém, risco zero somente com exposição zero. Qualquer dose de radiação ionizante, por menor que seja, representa um aumento na probabilidade de o indivíduo desenvolver algum tipo de câncer e outras doenças citadas anteriormente.

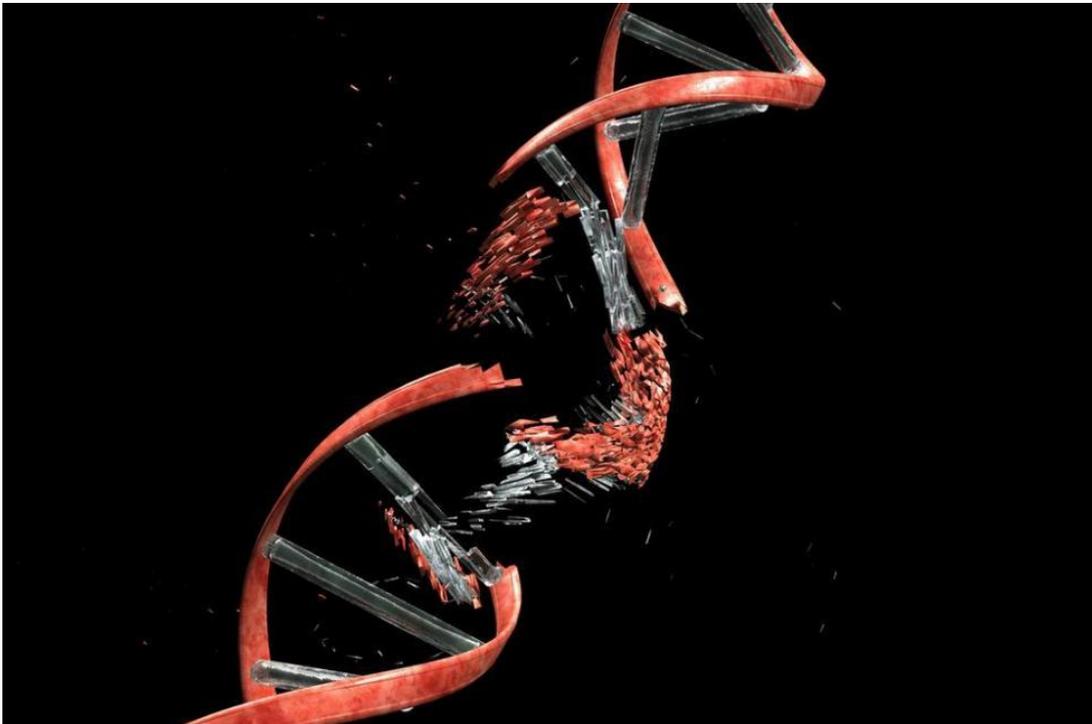


Figura 8: Alterações causadas no DNA pela exposição à radiação ionizante. Foto por Constantin-Ciprian / Shutterstock

Com base nos dados do documento da *Federal Aviation Administration* (FAA) DOT/FAA/AM-03/16 (*What Aircrews Should Know About Their Occupational Exposure to Ionizing Radiation* ou traduzindo: O Que os Tripulantes de Aeronaves Devem Saber Sobre Sua Exposição Ocupacional à Radiação Ionizante) serão apresentadas algumas tabelas de acordo com o nível de exposição: baixa, alta e intermediária com exemplos da probabilidade de tripulantes desenvolverem um câncer fatal por exposição ocupacional à radiação ionizante e o acréscimo no risco. Os valores

considerados serão os divulgados pela *International Air Transport Association* (IATA) e IFALPA, com parâmetros entre 2 e 5 mSV para os tripulantes de aeronaves a reação em companhias aéreas. O cálculo é meramente informativo.

Probabilidade de desenvolver um CÂNCER FATAL por exposição ocupacional à radiação ionizante			
Voos de BAIXA Exposição - 2 mSv/ano Voos de curta duração, baixa altitude e latitude			
Anos de voo	Dose efetiva mSv total	Risco	Acréscimo %
5	10	1 em 25.000	0,004
10	20	1 em 13.000	0,008
15	30	1 em 8.300	0,01
20	40	1 em 6.300	0,02
25	50	1 em 5.000	0,02
30	60	1 em 4.200	0,02
40	80	1 em 3.100	0,03
45	90	1 em 2.800	0,04

Tabela 1: Dados do DOT/FAA/AM-03/16 para uma população de 20-64 anos

Neste primeiro exemplo, após 30 anos de carreira, somente em voos com baixa exposição, de curta duração, baixa altitude e latitude segundo cálculos da IFALPA, IATA e *International Civil Aviation Organization* (ICAO) o tripulante recebeu uma dose efetiva estimada de radiação de 60 mSV.

O risco é de 1 em 4.200 indivíduos de desenvolver um câncer fatal, um acréscimo de 0,02 considerando esta faixa de exposição.

Probabilidade de desenvolver um CÂNCER FATAL por exposição ocupacional à radiação ionizante			
Voos de ALTA Exposição - 5 mSv/ano Voos de longa duração, alta altitude e latitude			
Anos de voo	Dose efetiva mSv / total	Risco	Acréscimo %
5	25	1 em 1.065	0,09
10	50	1 em 500	0,2
15	75	1 em 335	0,3
20	100	1 em 250	0,4
25	125	1 em 203	0,5
30	150	1 em 170	0,6
40	200	1 em 130	0,8
45	225	1 em 110	0,9

Tabela 2: Dados do DOT/FAA/AM-03/16 para uma população de 20-64 anos

Neste segundo exemplo, após 45 anos de carreira, em voos de alta exposição, longos, em altas altitudes e em regiões de maior exposição, de acordo com os cálculos da IFALPA e da IATA, a exposição estimada deste aeronauta é de 5 mSv/ano, totalizando uma dose de 225 mSv.

Considerando esta faixa de exposição, a probabilidade de desenvolver um câncer fatal é de 1 em cada 110 indivíduos e o acréscimo de 0,9% no risco.

Probabilidade de desenvolver um CÂNCER FATAL por exposição ocupacional à radiação ionizante			
Mix de voos de BAIXA (2 mSv) e ALTA (5 mSv) Exposição Voos de curta duração, baixa altitude e latitude no início da carreira e voos internacionais de longo curso na sequencia			
Anos de voo	Dose efetiva mSv / total		
15	(15 x 2) 30		
30	(30 x 5) 150		
Total			
45 anos	180 mSv	Risco: 1 em 140	%: 0,7

Tabela 3: Dados do DOT/FAA/AM-03/16 para uma população de 20-64 anos

Neste terceiro exemplo o tripulante passou 15 anos de sua carreira em voos domésticos de curta duração, de baixa altitude e latitude. Ao longo desse tempo foi atribuído uma exposição de 2mSv ao ano. Depois seguiu sua carreira em voos internacionais de alta exposição, longa duração e altas altitudes e latitudes no qual passou 30 anos, onde foi atribuído uma exposição de 5 mSv ao ano. Em 45 anos de voo, a dose efetiva acumulada foi de 180 mSv.

A probabilidade de desenvolver um câncer fatal de 1 em cada 140 indivíduos ou um acréscimo de 0,7% no risco.

Todos os três exemplos excluem a exposição *solar flares*, raios, *terrestrial gamma-ray flashes*, raios x em exames médicos, carga radioativa a bordo, equipamento de *security* nos aeroportos e exposição a fontes naturais ao nível do solo. (RUAS, 2017, p.133)

2.3 A Exposição Do Tripulante

Segundo recomendações do FAA, a dose limite recomendada para um tripulante é de 20 mSv por ano em uma média de 5 anos, não ultrapassando o limite de 50 mSv em um único ano.

Com referência nos valores de exposição divulgados pela IFALPA e IATA, 2 a 5 mSv/ano para 600 horas de voos anuais em aeronaves a reação:

- 2 mSv/ano: voos de baixa altitude e latitude e curta duração
- 5 mSv/ano: voos em altitudes e latitudes maiores e de longa duração

A tabela a seguir faz uma comparação destes valores de radiação ionizante com raios-x de tórax e dental projetados ao longo da carreira de um tripulante de aeronaves. Tempo de serviço em voo de um tripulante dos 20 aos 65 anos de idade: 45 anos.

Simulação do valor da radiação ionizante recebida ao longo da carreira *				
Tempo de voo	10 anos	20 anos	30 anos	45 anos
2 mSv/ano	20 mSv	40 mSv	60 mSv	90 mSv
Equivalencia em Raios-X dental	2.000	4.000	6.000	9.000
Equivalencia em Raios-X de tórax	200	400	600	900
5 mSv/ano	50 mSv	100 mSv	150 mSv	225 mSv
Equivalencia em Raios-X dental	5.000	10.000	15.000	22.500
Equivalencia em Raios-X de tórax	500	1.000	1.500	2.250

Tabela 4: Dose efetiva ao longo da carreira – (Raio dental = 0,01 mSv e de Toráx = 0,1 mSv) *Valores somente da exposição à radiação cósmica, não considera Raios-X, TGFs, etc.

É possível observar que um tripulante com 45 anos de voo poderá estar exposto uma dose efetiva de radiação ionizante entre 90 a 225 mSv, e comparativamente é a dose aproximada de 9.000 a 22.500 Raios X dental ou 900 a 2.250 de tórax. Os valores são elevados e o risco a danos à saúde é plausível.

A dose de radiação ionizante recebida é cumulativa, ou seja, somente soma e nos acompanha para o resto da vida.

2.4 Riscos na Gravidez

Uma vez constada a gravidez, a exposição à radiação ionizante sofrida pelo embrião/feto, não pode ultrapassar o índice de 1 mSv durante o restante da gravidez e a dose recebida pelo embrião/feto é considerada igual a recebida pela gestante.

“O *American College of Obstetricians and Gynecologists* alega que na maioria dos casos, o risco para o feto por exposição à radiação cósmica é insignificante” (RUAS, 2017, p.135), porém tripulantes e passageiras frequentes podem ficar expostas à valores acima do recomendado, caso seus voos não sejam devidamente monitorados.

“Os possíveis danos ao feto podem ser o aumento do risco de desenvolver câncer no decorrer de sua existência, malformações e anormalidade estruturais, morte pré-natal e retardamento mental.” (RUAS, 2017, p.135)

Segundo o documento DOT/FAA/AM-03/16 existe um alto risco de morte pré-natal por exposição a qualquer dose de radiação ionizante durante as primeiras 24 horas após a concepção. Um documento mais recente, DOT/FAA/AM-11/9 amplia este risco para as primeiras 3 semanas, quando o feto é submetido a altas doses de radiação.

No Brasil a tripulante gestante é colocada de licença médica assim que constatada a gravidez.



Figura 9: A radiação ionizante e os riscos na gestação.

3 MITIGAÇÃO

3.1 Inviabilidade da Proteção 100%

Até a presente data não existe tecnologia capaz de inibir de maneira eficaz a radiação ionizante, devido seu alto poder penetrante. Uma das possibilidades de mitigação seria a blindagem das aeronaves, que permitiria uma redução de até 20%

da absorção de radiação até o FL390. Em contrapartida aumentaria em 300KG/M² o peso da aeronave, obrigando as empresas a reduzirem o *payload*. Outro método para a redução da dose recebida pelo tripulante, seria a redução do *flight level* (FL) voado, pois a cada 6000ft (1.828m), a dose de radiação efetiva recebida é dobrada. Contudo, para cada voo existe uma altitude ideal, levando em conta o melhor desempenho e consumo. As aeronaves a reação possuem pior rendimento em baixas altitudes, elevando o consumo horário. Desta forma algumas rotas deixariam de existir e aumentariam os custos de operação para as empresas, acarretando em um valor mais alto nos bilhetes. Independentemente das propostas de resolução, o custo benefício dos voos será reduzido, tornando a aviação um meio de transporte inviável.

“Esta exposição só pode ser minimizada pelo tripulante, direcionando sua carreira para equipamentos que voem mais baixo, rotas com menor exposição, diminuição das horas voadas e uma aposentadoria antecipada.” (RUAS, 2017, p.145)

Para voos em rotas polares, onde as companhias buscam menores distancias e assim economizar combustível, as doses de radiação são ainda maiores, devido ao campo magnético da Terra ter menor atuação nestas regiões. Desta forma, aeronaves que operam estas rotas devem estar equipadas com alarmes.

3.2 Aplicativos

Existem pesquisas no exterior sobre o comportamento da radiação ionizante nas rotas de aeronaves. Com o intuito de informar aos tripulantes e passageiros, esses órgãos de pesquisa criaram aplicativos que possibilitam a previsão das doses efetivas que foram ou serão absorvida em cada voo. O público brasileiro também tem acesso a esses aplicativos para consulta, como o *Predictive Code for AirCrew Radiation Exposure* (PCAIRE), desenvolvido no Canadá; o “SIEVERT”, desenvolvido na França, o “CARI-7”, desenvolvido nos Estados Unidos, o

“EPCARD”, desenvolvido na Alemanha, entre outros também disponíveis para smartphones. (NASA, 2019)

The screenshot shows the SIEVERTPN website. At the top left is the IRSN logo (Institut de Radioprotection et de Sécurité Nucléaire). At the top right is the SIEVERTPN logo. Below the logos are navigation tabs: 'Accueil', 'Comprendre le rayonnement cosmique', and 'Calcul de la dose'. The main content area is divided into three columns. The left column, titled 'SIEVERTPN', contains a text block and a world map with green lines representing flight paths. The middle column, titled 'FOIRE AUX', contains a question 'Peut-on prévoir les éruptions solaires ?' and an answer. The right column, titled 'LIENS ET INFOS UTILES', contains information about the SIAE 2019 event, including the date (17-23 June 2019) and location (Hall 6 du Parc des Expositions du Bourget).

Figura 10: Aplicativo Sievert

The screenshot shows the PCAIRE Flight Entry web application. The page has a header with the PCAIRE logo and 'Flight Entry' title. Below the header is a navigation menu with links: 'Français', 'Home', 'Dose Report', 'Flight Entry', 'Profile', 'FAQ', 'Links', 'About', 'Contact', and 'Logout'. The main content area is titled 'Transport Flight Entry' and contains a form with the following fields: Flight Number (GLO1642), Departure Date (2019-11-01), Transport Type (Personal), Departing Airport Code (GRU), and Arrival Airport Code (MAO). The form also includes fields for Ascent Time (20 minutes) and Descent Time (25 minutes). A table for Flight Altitude is shown with a selected row of 40000 feet and 240 minutes. The calculated dose is 13.8 μSv. The page footer includes copyright information for PCAIRE and links to Terms of Use and Privacy Statement.

Figura 11: Aplicativo PCAIRE

The image shows the EPCARD online website interface. At the top, there is a navigation bar with 'IRM EPCARD' on the left and 'Helmholtz Zentrum münchen German Research Center for Environmental Health' on the right. Below this, there are links for 'Dose Calculation', 'EPCARD.Net', 'Cosmic Radiation', and 'About Us', along with a search bar. The main content area features a large banner with a photo of a pilot and a flight attendant, and the text 'EPCARD online aircrew dosimetry'. Below the banner, there are several sections: 'EPCARD ONLINE at a glance' with a brief description of the service; 'Contact' with the address and contact information for Thomas Gerling; 'Aircrew dosimetry' with a notice about the software version; and 'Free online dose calculation' with three options: 'Dose calculation for mobile devices (Coming soon)', 'Dose calculation on a flight', and 'Dose calculation at a certain position on the Earth'. At the bottom, there is a section for 'EPCARD users' and a logo for 'DRS Department of Radiation Sciences'.

Figura 12: Aplicativo EPCARD

3.3 Escala Flexível

Uma das possibilidades para a redução da exposição dos raios ionizantes nos voos dos tripulantes, poderia ser feita através de estudos das escalas nas companhias aéreas. Sendo possível em um mês que o tripulante fez rotas mais longas, tendo assim uma maior exposição aos raios, no próximo mês através desses estudos, ser realocado em rotas mais curtas, como ponte aérea ou ter mais dias de folgas, controlando mensalmente a exposição à radiação. (RUAS,2019)

Com este método ao final do ano os tripulantes teriam um menor risco de ultrapassar ou chegar próximo ao limite recomendado pelos órgãos reguladores, de exposição à radiação. Reduzindo assim as chances de sofrer com doenças, como câncer.

3.4 Quantidade de mSv em Cada Rota

Podemos adotar na escala dos tripulantes ou antes de cada voo, a divulgação da quantidade de exposição à radiação de cada rota, para um maior controle dos tripulantes em relação a quantidade de mSv em que ele está sendo exposto. (RUAS,2019)

Esse método já é utilizado por diversas companhias aéreas na Europa, sendo de baixo custo e aumentando a conscientização de cada tripulante sobre os níveis de radiação as quais ele está exposto. Além de também dar um respaldo para as companhias que mostram para os tripulantes que a dose de radiação que eles estão recebendo anualmente não infringe o sugerido pelos órgãos regulamentadores.

Foi compreendido que os tripulantes não receberam informações das empresas que trabalham sobre o tema e sobre o grau de radiação a que estão expostos, sendo que cabe ao mesmo ir em busca de métodos para obter a informação da dose de radiação recebida.

É sabido que atualmente que na aviação comercial brasileira, um (1) tripulante falece a cada 3 meses por câncer, podendo ter sido ocasionado ou agravado pela exposição à radiação ionizante. Tendo em vista que as aeronaves comerciais brasileiras voam acima de 25.000 ft, onde já começam a sofrer os efeitos da radiação, sendo que a cada 6.000ft que subimos a partir do FL250, a exposição à radiação dobra. (RUAS,2019)

TRECHO	TEMPO	FL	DOSE μ Sv
MAO-GIG	03:40	390	9,26
MAO-GRU	03:32	410	10
BEL-GRU	03:19	390	8,49
GRU-BEL	03:16	400	8,64
FOR-CGH	03:12	410	9,29
FOR-GRU	03:05	380	7,68
POA-CWB	00:51	370	1,25
GRU-CWB	00:45	320	0,75
CNF-GIG	00:43	380	0,96
POA-FLN	00:40	330	0,64
GRU-GIG	00:38	290	0,60
CGH-CWB	00:37	320	0,52

Tabela 5: Quantidade de mSv em cada rota

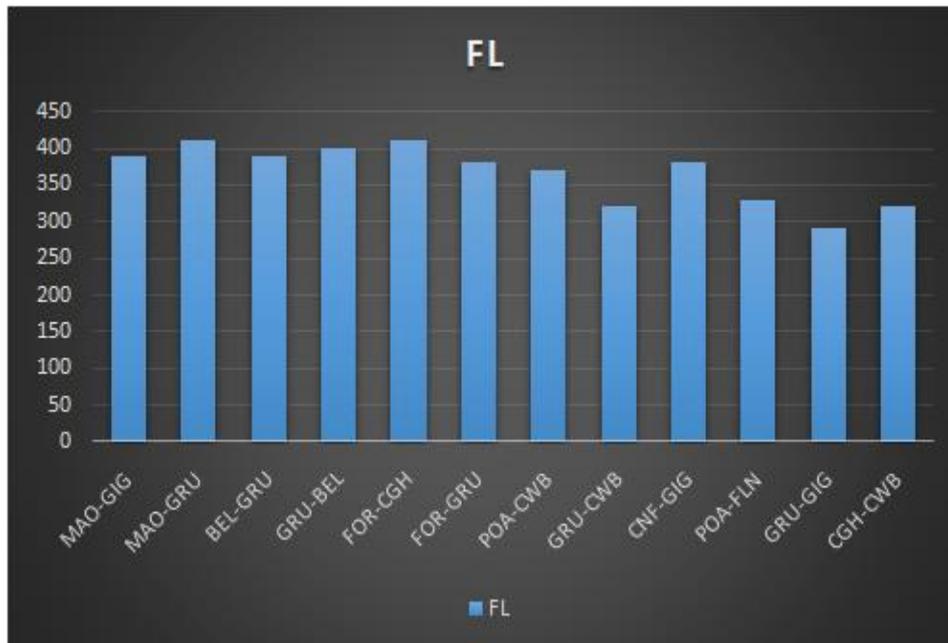


Gráfico 1: Nível de voo de acordo com as rotas

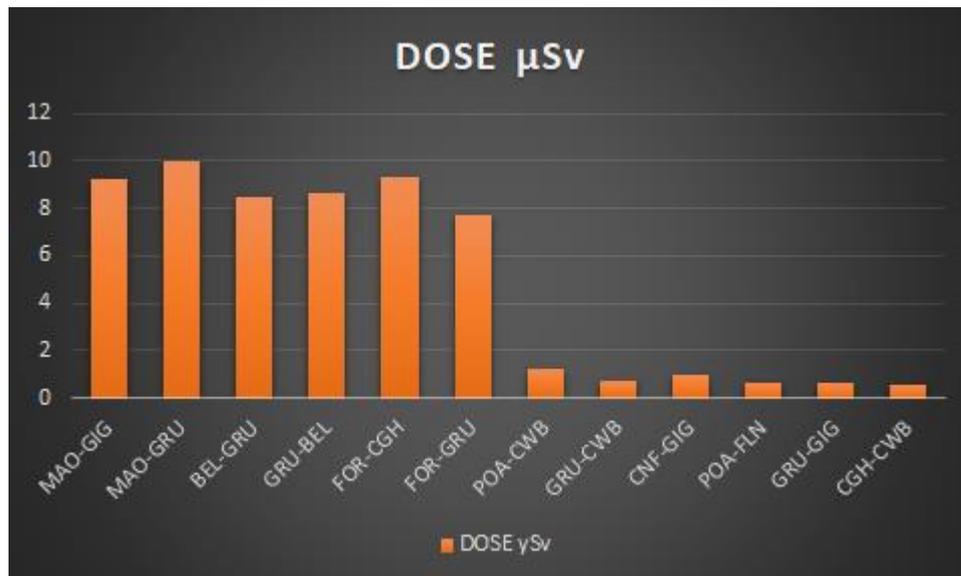


Gráfico 2: Dose de *microsievets* de acordo com as rotas

3.5 Redução de Altitude e Sua Inviabilidade

Para uma redução na absorção de radiação do tripulante, uma possível solução é a redução do nível de voo, porém trata-se de uma alternativa inviável.

Um avião Airbus A320 para levantar mais de 40 toneladas de carga, com combustível e o peso de aproximadamente 150 passageiros, isso faz com que os seus

motores sofram um determinado esforço. Quanto maior sua altitude, melhor é o seu desempenho, por isso as aeronaves comerciais hoje em dia voam na faixa de 10 a 12 km de altura. (1001Crash, 2001)

Nessa zona o ar rarefeito ajuda na queima de combustível e no auxilia para que haja menor esforço produzido pelo motor. Cada aeronave possui um teto operacional, que fica na média de 12 km de altura para aeronaves comerciais, acima desta altitude, contudo, o ar fica muito rarefeito, o que prejudica no desempenho do motor.

A partir dos dados citados acima, é possível observar o acarretamento de um maior consumo de combustível, trazendo maiores gastos para as companhias aéreas e diminuindo o seu lucro. Esse gasto excedente seria repassado nos valores das passagens, que ocasionaria o cancelamento de algumas rotas pela inviabilidade dos custos.

Outro fator que leva as aeronaves a voarem mais alto, está relacionado ao conforto durante o voo e a segurança, pois voar em altas altitudes é mais tranquilo aos passageiros, uma vez que se diminuem as turbulências. A cada 1000ft a temperatura cai 2°C, essa variação de temperatura causa as turbulências. Com correntes ascendentes e descendentes, quando uma aeronave já está em nível de cruzeiro -aproximadamente a 12km de altura- o ar é estável, nessa faixa, a média de temperatura é -55°C.

Acima de 10km pode ocorrer a corrente de jato, que pode passar de 100km/h e que não são visíveis aos radares meteorológicos, atingindo assim, a aeronave de surpresa, causando alguns transtornos durante o voo. Mesmo podendo ocorrer esse fenômeno, trata-se de uma opção mais viável do que voar em baixas altitudes e passar por dentro de um CB (cumulonimbus) com granizos, raios e turbulência severa.

Outro fator relacionado a altitudes elevadas são as situações de emergência. Quanto maior a altitude da aeronave, maior será o tempo disponível do piloto para uma tomada de decisão mais assertiva, dada a situação de emergência. Nesse tempo ele poderá fazer o *check list*, seguindo os procedimentos de emergência e fazer um pouso tranquilo, pois ele irá descer com o ângulo de planeio que irá ajudar alcançar uma distância maior.

Um exemplo de caso similar aqui apresentado aconteceu em 2001, quando um Airbus A330 da cia aérea *Air Transat* realizou o maior voo planado já registrado na aviação comercial a jato. Essa aeronave levava 306 pessoas e acabou ficando sem combustível enquanto sobrevoava o oceano Atlântico. Felizmente foi possível planar durante meia hora e percorrer 120 km até conseguir pousar em segurança em um aeroporto da Ilha Terceira, no arquipélago dos Açores, em Portugal.(1001Crash,2001)



Figura 13: Airbus A330 Empresa *Air Transat* após pouso de emergência.

3.6 Antecipação da Aposentadoria

Uma possível mitigação à exposição de radiação por parte dos tripulantes, é a antecipação da aposentadoria tendo em vista que a idade mínima para a concessão de aposentadoria é de 25 anos de atividade relacionada a aviação, podendo ser contada a partir do tempo de trabalho como instrutor prático nos aeroclubes e escolas de aviação. (RUAS,2019)

O segundo fator da aposentadoria antecipada é o recebimento de 100% da média dos salários de contribuição desde julho de 1994, respeitando o teto máximo do INSS.

O terceiro fator é que atualmente não há a necessidade de se afastar da função no caso de concessão de aposentadoria especial. Portanto, com a

concessão da aposentadoria especial o piloto poderá continuar voando. Uma terceira característica desta modalidade é a necessidade legal de ter que se afastar da função.

3.7 Hábitos Saudáveis

Para os tripulantes reduzirem os malefícios causados pela radiação ionizante, é essencial que eles possuam hábitos saudáveis, como a prática de atividades físicas e uma alimentação saudável, consumindo o mínimo possível de produtos industrializados.

Mantendo hábitos saudáveis o tripulante tem a chance minimizada de ficar ter problemas de saúde como câncer e catarata. (RUAS,2019)

3.8 Evitar Raio-x

Muitos tripulantes não sabem que o aparelho de Raio-X presente em diversos aeroportos ao redor do mundo, emitem radiação, contribuindo para uma absorção maior a cada voo. Seria de suma importância se esses tripulantes pudessem ter um meio alternativo de passar na revista aeroportuária.

Esse método alternativo poderia ser realizado através dos detectores de metais, os quais não emitem nenhuma radiação, logo, não contribuindo a com a carga de radiação recebida pelo tripulante. Saliendo que essa exposição e absorção a radiação é acumulativa, se o tripulante é exposto a 4 mSv no ano passado e 2 mSv no vigente, terá 6mSv de radiação ao total. (RUAS,2019)

3.9 Escolha da Aeronave e das Rotas

Se houver a possibilidade do tripulante escolher o equipamento e a rota que possa operar, é recomendável que escolha rotas nas quais a altitude de voo seja menor e o tempo das operações seja o mais breve possível. Essas alternativas devem ser observadas, visto que a partir de 25.000ft já sofre-se com os efeitos da exposição à radiação e a partir deste nível a cada 6.000ft que o voo subir fará com que a radiação recebida dobre seus números. Sabendo disso seria mais interessante o maior número possível de rotas curtas na escala, como voos de ponte aérea. (RUAS,2019)

3.10 Controle dos mSv no Certificado Médico Aeronáutico (CMA)

As companhias aéreas, juntamente com as clínicas que são homologadas para realizar o CMA, poderiam possuir um sistema em conjunto, onde as empresas colocariam os dados de exposição à radiação que o tripulante sofreu naquele determinado ano, e no momento em que este tripulante fosse revalidar seu CMA, a clínica conseguiria ter acesso a esses dados de exposição à radiação, oferecendo um controle da quantidade de mSv absorvido pelos pilotos, isso ajudaria em muito a prevenção do número de exposição excessiva, que pode fazer com que esse tripulante tenha maiores chances de ter doenças graves. (RUAS,2019)

4 ANÁLISE DE PESQUISA DE CAMPO

Buscando compreender o grau de conhecimento dos pilotos sobre o tema da radiação ionizante, foi realizado através de pesquisa, um questionário com duração máxima de 5 minutos, onde os tripulantes encontraram uma série de questões relacionadas sobre o tema tratado, afim de proporcionar ao grupo dados, onde serão tratados a seguir com a análise da pesquisa de campo.

Este questionário foi realizado de forma anônima, sem citação da empresa onde o tripulante trabalha para maior veracidade nas respostas obtidas.

4.1 Questionário

Foi realizada uma pesquisa com cento e dezessete (117) pessoas, observou-se que cento e três (103) dos entrevistados eram do sexo masculino e catorze (14) do sexo feminino. Os entrevistados têm idade entre dezoito (18) anos e trinta e seis (36) anos, sendo que 48% deles possuem mais de trinta e seis (36) anos. Outro dado obtido foi a faixa de peso dos tripulantes do sexo feminino, que variou entre 54 a 101 Kg e do sexo masculino que variou entre 52 Kg até 124 Kg.

A pesquisa foi destinada a comandantes e copilotos, 55,2% das respostas foram dadas por comandantes.

Buscando entender o nível de conhecimento dos tripulantes técnicos sobre a radiação proveniente do espaço, o gráfico 3 nos mostra que 76,9% dos entrevistados sabem ou imaginam de onde vem a radiação, porém no gráfico 4, é possível observar 58,1% desconhecem os efeitos que a radiação causa.

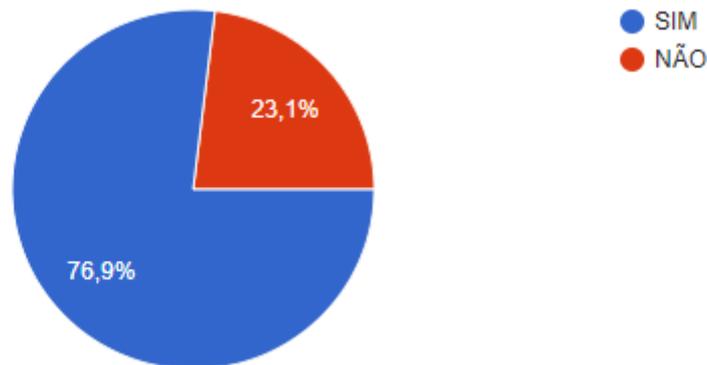


Gráfico 3: Sabe ou imagina de onde vem a radiação ionizante

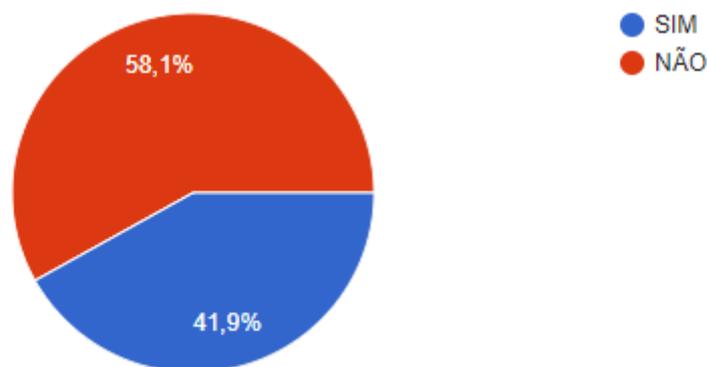


Gráfico 4: Sabe os efeitos que a radiação ionizante causa

De acordo com a pesquisa é sabido que a radiação ionizante é extremamente nociva à saúde, possibilitando o desenvolvimento de doenças que afetam a vida pessoal e profissional do tripulante. Desta forma é possível saber o nível de consciência desses tripulantes sobre o assunto com as respostas para seguinte pergunta: Você acredita que a exposição a radiação ionizante pode afetar sua vida pessoal?; Com esse questionamento vimos no gráfico 5 que 91,5% acreditam que a radiação pode afetar a vida pessoal, porém no gráfico 6 demonstrado abaixo, 94% não sabem se possui algum tratamento.

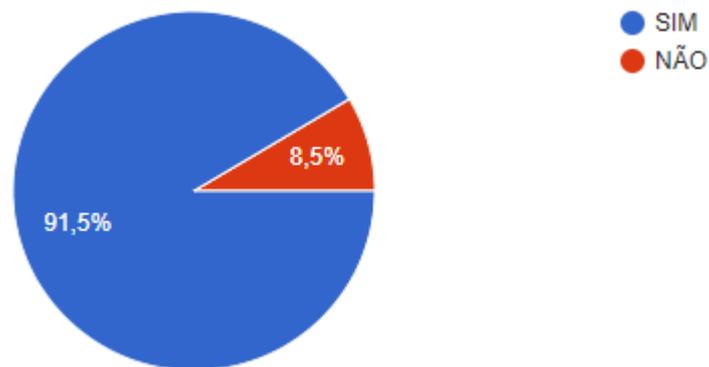


Gráfico 5: Acredita que a exposição à radiação ionizante pode afetar sua vida pessoal

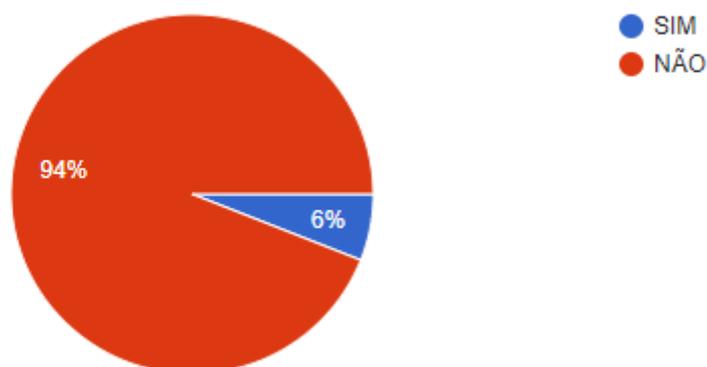


Gráfico 6: Sabe se possui algum tratamento

O gráfico 7 apresenta que 8,5% dos entrevistados já conheceram alguém que sofreu com algum tipo de radiação ionizante. Contudo 85,5% desses entrevistados acham que de alguma forma a radiação pode afetar a gravidez, conforme pode-se observar no gráfico 8.

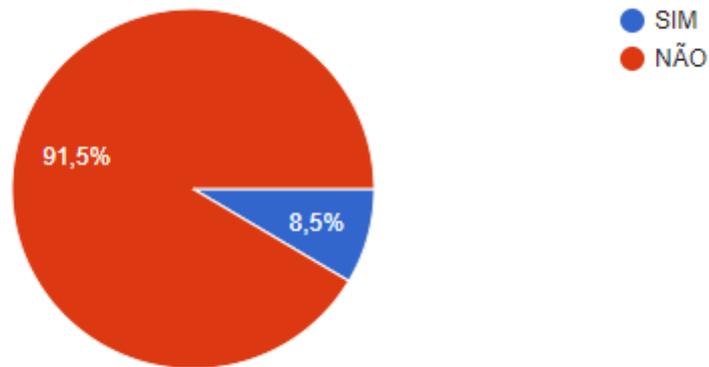


Gráfico 7: Conhece alguém que sofreu com a radiação ionizante

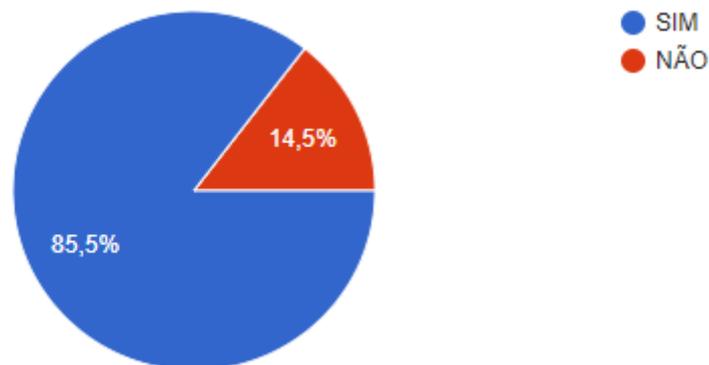


Gráfico 8: Acha que a radiação ionizante pode afetar a gravidez

Segundo a pesquisa, 97,4% dos tripulantes entrevistados (gráfico 9), reconhecem que, quanto maior a altitude dos voos maior é a radiação absorvida pela aeronave e pelo tripulante, contudo apenas 7,7% (gráfico 10) sabem a dose de exposição à radiação máxima recomendada pelos órgãos reguladores.

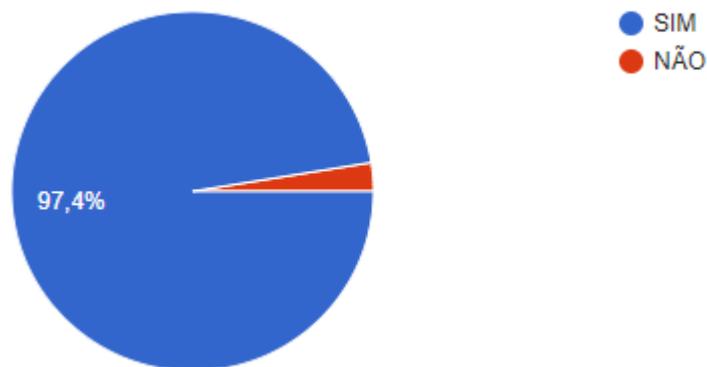


Gráfico 9: A Altitude interfere na radiação que é absorvida pela aeronave e pelo tripulante

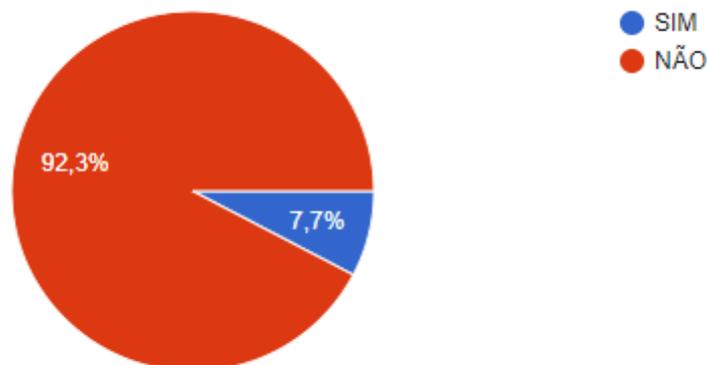


Gráfico 10: Sabe qual a dose máxima recomendada anualmente de exposição à radiação

Os níveis de voo obtidos na pesquisa, variaram entre FL010 até acima de FL410, sendo que 65% dos participantes da pesquisa (gráfico 11), realizam voos entre FL310 ao FL400 e 47% dos entrevistados voam com operações na faixa de até 4 horas (gráfico 12)

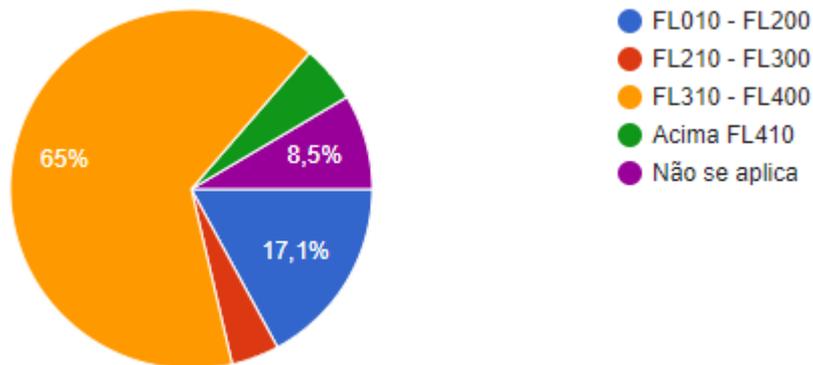


Gráfico 11: Altitude média de voo que mantida durante as rotas

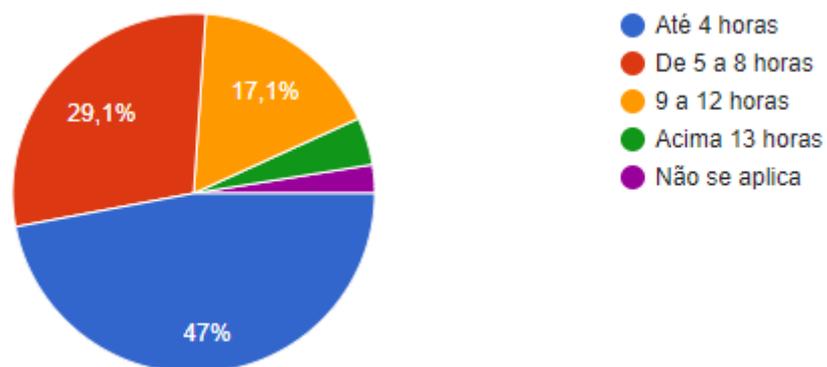


Gráfico 12: Tempo médio das operações de voo

Os participantes demonstraram baixo conhecimento sobre os órgãos regulamentadores, com cerca de 11,1% apenas afirmando conhecê-los como apontado no gráfico 13. Contudo, 95,7% (gráfico 14) acreditam que a radiação ionizante deve ser investigada pelas empresas aéreas, visando melhorar a qualidade no trabalho do aeronauta.

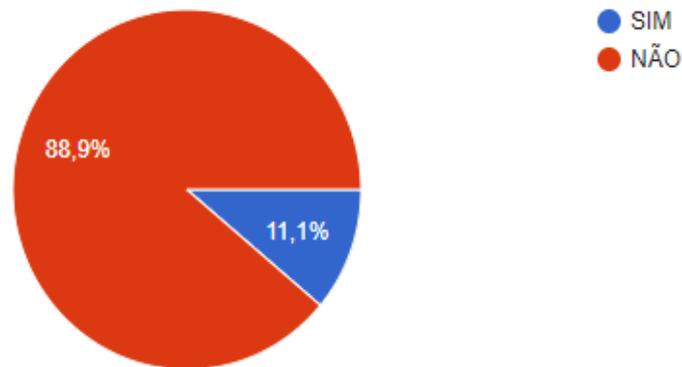


Gráfico 13: Conhece os órgãos que regulam as normas sobre radiação ionizante

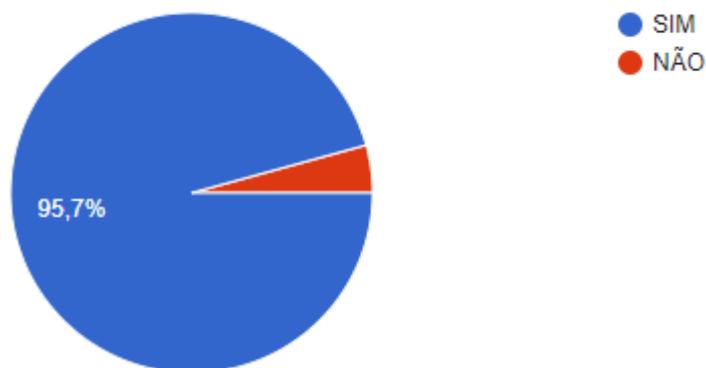


Gráfico 14: Acredita ser relevante as empresas e agências investirem em pesquisas sobre a radiação ionizante

Visando entender o nível de consciência dos tripulantes a partir de informações disponibilizadas por suas respectivas empresas, obtivemos os seguintes dados: 83,8% alegaram não ter recebido nenhuma informação acerca da radiação ionizante (gráfico 15). Com isso, é possível avaliar o nível de consciência dos entrevistados a respeito dos impactos da radiação ionizante sobre suas vidas. 63,2% disseram ter baixo conhecimento, enquanto que 31,6% disseram ter conhecimento intermediário. Apenas 5,1% dos entrevistados alegaram ter conhecimento alto sobre o assunto (gráfico 16).

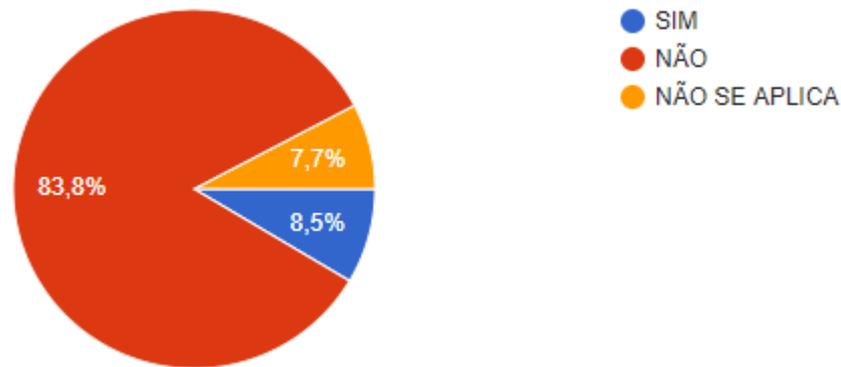


Gráfico 15: Na sua empresa você recebeu alguma informação sobre a radiação ionizante?

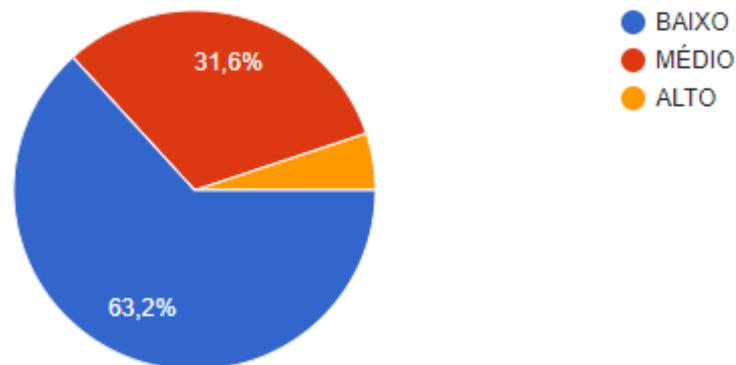


Gráfico 16: Qual seu nível de consciência sobre os impactos causados pela radiação ionizante?

5 CONSCIENTIZAÇÃO

Através de recursos como folders e palestras, foi possível passar o conhecimento obtido nas pesquisas para tripulantes e estudantes, na tentativa de conscientizá-los sobre o tema da radiação ionizante. Juntamente com a Comissão Nacional de Treinamento, procurou-se solicitar a adição do tema da radiação ionizante nos cursos de piloto privado e piloto comercial.

5.1 Informativo Sobre Radiação Ionizante

Com o objetivo de introduzir o assunto a uma parcela maior do público ligado à aviação, foram desenvolvidos folhetos com informações básicas sobre o tema, para que haja informação de maneira fácil e acessível aos estudantes nos treinamentos iniciais e também aos que atuam na área. Algumas cópias foram disponibilizadas para a Associação Brasileira de Pilotos da Aviação Civil (ABRAPAC), Associação dos Aeronautas da Gol (AsaGol), EJ Escola de Aviação Civil, Wings Escola de Aviação Civil e também no simulador de voo localizado na Universidade Anhembi Morumbi Campus Vila Olímpia.

RADIÇÃO IONIZANTE

O que é?
É a radiação com energia suficiente para arrancar elétrons de átomos e moléculas, produzindo íons.

Radiação Cósmica
É a radiação ionizante de origem espacial, que atinge a Terra constantemente. Seus componentes são formados pela radiação proveniente do sol e também do espaço sideral.

Efeitos à saúde
A radiação ionizante pode causar problemas sérios de saúde, tanto a curto, quanto a longo prazo. A absorção dessas doses, quanto maior for, pode causar doenças somáticas (apenas o indivíduo irradiado sofre com a doença) ou genéticas (deficiências relacionadas à reprodução). Alguns efeitos imediatos que um tripulante poderá sentir são náuseas, vômitos, cefaleia e queimaduras. A longo prazo poderá desenvolver algum tipo de câncer.

Por que devemos nos preocupar?
A aviação tem evoluído para equipamentos mais refinados, capazes de atingir elevadas altitudes e economizar mais combustível. As empresas, visando melhores rendimentos financeiros, buscam viabilizar os voos em elevadas altitudes e também as rotas polares, para encurtar distâncias. Porém, os efeitos da radiação ionizante provenientes dos componentes da Radiação Cósmica atingem com mais severidade estas regiões. Quanto maior a altitude e também a latitude, maiores serão as doses de radiação que atingirão a aeronave.

Como se proteger?
Até os dias atuais, não há tecnologia capaz de barrar completamente a radiação ionizante. Porém é possível reduzir os impactos através de processos de mitigação, com o uso de ferramentas capazes de analisar doses recebidas em voo.

Figura 14: Informativo sobre radiação ionizante

O folheto aborda alguns aspectos da radiação ionizante, como sua origem e a razão da mesma afetar os voos assim como suas consequências. Também é informado os efeitos que podem existir nos casos de absorção, a justificativa da pesquisa e meios de proteção.

5.2 Palestra

Com o objetivo de conscientizar desde o início dos treinamentos sobre o tema da radiação, foi realizado juntamente com a *Wings* escola de aviação, uma palestra para estudantes dos cursos de pilotos, privado e comissário de voo, na qual foi feita uma explicação sobre o tema da radiação ionizante e sobre os malefícios que acarretam na vida pessoal desses futuros tripulantes.



Figura 15: Palestra wings escola de aviação

No dia da apresentação desta palestra foram entregues os folhetos, para uma maior fixação do tema e disseminação deste conhecimento, uma vez que esse

assunto é pouco abordado no Brasil. Os alunos que participaram da palestra, interagiram de maneira positiva com o grupo, elaborando muitas perguntas, cujas respostas ajudaram a sanar muitas das dúvidas existentes.

5.3 Ofício Para Comissão Nacional de Treinamento

A Comissão Nacional de Treinamento (CNT) faz parte do Comitê Nacional de Prevenção de Acidentes Aeronáuticos (CNPAA), e está subordinada ao Centro de Investigação e Prevenção de Acidentes Aeronáuticos (CENIPA), esta comissão é responsável pela criação, desenvolvimento e atualização dos manuais de treinamento para pilotos privados e pilotos comerciais.

Com o propósito de conscientizar os futuros pilotos brasileiros desde a formação inicial, foi encaminhado para o *safety* da Abrapac e representante da CNT, um ofício, no qual tratou-se sobre a inclusão do tema “Radiação Ionizante” nos cursos teóricos de Piloto Privado e Piloto Comercial. A resposta obtida alegou que foi incluída a matéria no conteúdo programático dos cursos de Piloto Privado e Piloto Comercial, e que tal fato será apresentado para a agência reguladora.

Será de suma importância que este tema seja aceito pela agência, pois irá conscientizar sobre os malefícios que a radiação pode trazer para os tripulantes desde a formação básica até o ingresso na empresa aérea, com um alto grau de conhecimento sobre o tema, diferentemente da realidade dos tripulantes de hoje, que possuem um grau muito baixo de conhecimento, como comprovado na pesquisa de campo.

Re: Inclusão Radiação Ionizante

De: SAFETY ABRAPAC <safety@pilotos.org.br> [Adicionar contato](#) [Bloquear contato](#)

Para:
brunogasparin@terra.com.br

Enviado em: Qui 31/10/19 18:34 Recebido em: Qui 31/10/19 18:34

Anexos: [image001.png \(34 KB\)](#);

Caro Gasparin.

Primeiramente venho agradecer o interesse em aumentar a segurança de voo.

Gostaria de compartilhar com o Sr que a matéria radiação ionizante foi incluída ao conteúdo programático dos cursos de PP e PC que serão levados como proposta à agência reguladora.

Atenciosamente.

[Alfredo Ferreira Menquini](#) - Coord. de Segurança Operacional
Tel.: [+55 \(11\) 3181.1499](tel:+551131811499)



Em ter, 8 de out de 2019 às 13:14, <brunogasparin@terra.com.br> escreveu:

Prezado Safety,

Gostáramos por meio deste ofício, sugerir a inclusão da matéria de Radiação Ionizante na formação teórica de Piloto Comercial e nos treinamentos das Companhias Aéreas, tendo em vista o baixo grau de conhecimento dos tripulantes sobre o tema.

Att
Bruno Gasparin

Figura 15: Email ABRAPAC

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Baseando-se no desenvolvimento deste artigo e nos dados coletados, observa-se que o ser humano não evoluiu biologicamente para sobreviver em grandes altitudes. Este ambiente extremo torna a sobrevivência difícil por diversas intempéries. Contudo os avanços da tecnologia permitem que o homem atinja elevações com aeronaves altamente desenvolvidas, avançando por distâncias cada vez maiores, reduzindo os fatores negativos do ambiente externo às aeronaves.

Entretanto, a radiação ionizante possui grande poder penetrante e energético. A probabilidade de adquirir doenças, bem como a severidade das mesmas, variam conforme o tempo exposto e a quantidade de dose absorvida ao longo da vida do piloto.

Não existe tecnologia capaz de proteger completamente o piloto contra esta radiação. Meios de blindagem ou redução de FL (*Flight Level*) tornariam a aviação insustentável da perspectiva de custo-benefício. O meio mais eficiente para proteger-se é através da gestão de processos de mitigação.

O nível de informação do tripulante técnico em relação à radiação ionizante no Brasil é escassa, quer pela ausência de estudos específicos, quer pela divulgação e conscientização dessa problemática, o que permite concluir que há escassez de informações acerca dela.

Nota-se a necessidade de incentivar o investimento em estudos sobre a radiação e ampliar a rede de acesso à informação, para que esta possa alcançar a todos aqueles que venham sofrer com efeitos colaterais por irradiação. O objetivo deve ser a conscientização daqueles que planejam seguir carreira como aviadores, orientando-os dos riscos e treinando-os para que possam atuar da melhor forma possível, tanto no que tange a autoproteção quanto à proteção das pessoas que os acompanharão.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANAC. **Projeto estuda radiação e seus efeitos na aviação**. 2017. Disponível em: <<https://www.anac.gov.br/noticias/2014/projeto-estuda-radiacao-e-seus-efeitos-na-aviacao>>. Acesso em: 10 out. 2019.

CNEN. **Diretrizes Básicas de Proteção Radiológica – Resolução 164/14**. Março 2014. Disponível em: <<http://appasp.cnen.gov.br/seguranca/normas/pdf/Nrm301.pdf>> Acesso em: 14 out. 2019.

CNEN. **NORMA CNEN NN 3.01 DIRETRIZES BÁSICAS DE PROTEÇÃO RADIOLÓGICA**. 2019. Disponível em: <<http://appasp.cnen.gov.br/seguranca/normas/pdf/Nrm301.pdf>>. Acesso em: 14 out. 2019.

EPCARD, IRM. **RADIATION DOSE CALCULATION**. 2019. Disponível em: <<https://www.helmholtz-muenchen.de/en/epcard-neu/index.html>>. Acesso em: 4 out. 2019.

FAA. **CARI-7 and CARI-7A**. 2017. Disponível em: <https://www.faa.gov/data_research/research/med_humanfacs/aeromedical/radiobiology/cari7/>. Acesso em: 4 out. 2019.

IATA. **Medical Manual 11th**. 2018. Disponível em: <<https://www.iata.org/publications/Documents/medical-manual.pdf>>. Acesso em: 03 set. 2019

ICAO. **Doc 8984, Manual of Civil Aviation Medicine. 3 th Edition**. 2012. Disponível em: <https://www.icao.int/publications/Documents/8984_cons_en.pdf> Acesso em: 08 set 2019.

ICRP. **Radiological Protection from Cosmic Radiation in Aviation**. In: ICRP Publication 132. V. 45, n. 1., p. 1-49. 2016.

IEAv. **Projeto Erisa: Efeitos das Radiações Ionizantes em Sistemas Aeronáuticos**. Disponível em: <<http://erisa.ieav.cta.br>> Acesso em: 10 out. 2019.

IFALPA. **Cosmic Radiation. Medical Briefing Leaflet.** Janeiro 2018. Disponível em: <<http://ifalpa.org/publications/briefing-leaflets/29-about-us/ifalpa-committees/humanperformance-huper.html>> Acesso em: 14 set 2019

IFALPA. **Pregnancy and Flying.** Dezembro 2018. Disponível em: <<https://www.ifalpa.org/media/3142/18hupbl02-pregnancy-and-flying.pdf>> Acesso em: 26 set 2019

INCA INSTITUTO NACIONAL DE CÂNCER. **Radiações ionizantes.** 2019. Disponível em: <<https://www.inca.gov.br/exposicao-no-trabalho-e-no-ambiente/radiacoes/radiacoes-ionizantes>>. Acesso em: 26 out. 2019.

NASA. **Fermi GBM.** 2019. Disponível em: <<https://gammaray.msfc.nasa.gov/gbm/>>. Acesso em: 14 out. 2019.

NASA. **GBM Terrestrial Gamma-ray Flashes (TGF) Catalog.** 2018. Disponível em: <<https://fermi.gsfc.nasa.gov/ssc/data/access/gbm/tgf/>>. Acesso em: 14 out. 2019.

NASA. **ISS "Firestation" to Explore the Tops of Thunderstorms.** 2013. Disponível em: <<https://www.nasa.gov/content/goddard/iss-firestation-explores-tops-of-thunderstorms/>>. Acesso em: 5 out. 2019.

NASA. **NASA's Fermi Catches Gamma-ray Flashes from Tropical Storms.** 2017. Disponível em: <<https://www.nasa.gov/feature/goddard/2017/nasas-fermi-catches-gamma-ray-flashes-from-tropical-storms>>. Acesso em: 5 out. 2019.

NASA. **Spotting Terrestrial Gamma-Ray Flashes.** 2016. Disponível em: <<https://fermi.gsfc.nasa.gov/science/eteu/tgfs/>>. Acesso em: 14 out. 2019.

NOUAILHETAS, Y. **Apostila educativa: Radiações Ionizantes e a vida.** CNEN. Disponível em: <<http://www.cnen.gov.br/images/cnen/documentos/educativo/radiacoesionizantes.pdf>> Acesso em: 21 set 2019.

NUCLÉAIRE, **Institut de Radioprotection Et de Sûreté. SIEVERTPN.** 2019. Disponível em :<<https://www.sievert-system.org/>>. Acesso em: 28 out. 2019.

PCAIRE Inc. - **Cosmic Radiation Monitoring**. Disponível em: <<http://new.pcaire.com/>> Acesso em: 4 out 2019.

RUAS, A. C. **O Tripulante de Aeronaves e a Radiação Ionizante**. São Paulo: Bianch, 2017

SNA. SINDICATO NACIONAL DOS AERONAUTAS. **A Exposição a Radiação Cósmica por Tripulantes**. 2014. Disponível em: <<https://www.aeronautas.org.br/not%C3%ADcias-secund%C3%A1rias/4538-a-exposio-a-radioo-csmica-por-tripulantes.html>>. Acesso em: 15 out. 2019.

WHO. International travel and health: **Cosmic radiation**. Disponível em: <http://www.who.int/ith/mode_of_travel/cosmic_radiation/en/> Acesso em: 21 set 2019.

FIGURAS:

Figura 1: O campo magnético da Terra protege o planeta da radiação cósmica das explosões solares e do Big Bang. Disponível em: <<https://theconversation.com/astronauts-brains-are-subject-to-long-lasting-damage-due-to-low-dose-space-radiation-121407>> Acesso em 27 out. 2019

Figura 2: O Poder Penetrante da Radiação Ionizante. Disponível em: <<https://radioprotecaoapratica.com.br/radiacao-entenda-de-uma-vez-por-todas/>> Acesso em 27 out. 2019

Figura 4: O comportamento e a composição das emissões de TGF. Disponível em: <<https://svs.gsfc.nasa.gov/10706>> Acesso em 27 out. 2019

Figura 5: TGF - Sprites vermelhos acima dos EUA e da América Central. Disponível em: <<https://earthobservatory.nasa.gov/images/86463/red-sprites-above-the-us-and-central-america>>_Acesso em 27 out. 2019

Figura 6: TGF - Sprites vermelhos acima dos EUA e da América Central. Disponível em: <<https://earthobservatory.nasa.gov/images/86463/red-sprites-above-the-us-and-central-america>> Acesso em 27 out. 2019

Figura 7: O impacto da radiação ionizante na saúde dos pilotos. Disponível em: <<https://medicalxpress.com/news/2019-07-fighter-greater-prostate-cancer-air.html>> Acesso em 27 out. 2019

Figura 8: Alterações causadas no DNA pela exposição à radiação ionizante. Foto por Constantin-Ciprian / Shutterstock. Disponível em: <https://www.upi.com/Health_News/2016/09/13/DNA-damage-cancer-caused-by-ionizing-radiation-identified/5151473765849/> Acesso em 27 out. 2019

Figura 9: A radiação ionizante e os riscos na gestação. Disponível em: <<http://abraham-radiologia.blogspot.com/2014/09/a-exposicao-radiacao-ionizante-na.html>> Acesso em 27 out. 2019

Figura 10: Aplicativo Sievert. Disponível em: < <https://www.sievert-system.org/?locale=en> > Acesso em 27 out. 2019

Figura 11: Aplicativo PCAIRE. Disponível em: < <http://new.pcaire.com/> > Acesso em 27 out. 2019

Figura 12: Aplicativo EPCARD. Disponível em: < <https://www.helmholtz-muenchen.de/en/epcard-neu/index.html> > Acesso em 27 out. 2019

Figura 13: Airbus A330 Empresa Air Transat após pouso de emergência. Disponível em: <https://www.1001crash.com/index-page-description-accident-Transat_A330-Ig-2-crash-135.html> Acesso em 27 out. 2019

APÊNDICES

Palestra radiação ionizante - Wings



Figura 16: Palestra wings escola de aviação



Figura 17: Palestra wings escola de aviação



Figura 18: Palestra wings escola de aviação

