Revista Multidisciplinar do Nordeste Mineiro, 2020/02
ISSN 2178-6925

# OS EFEITOS PREJUDICIAS DA RADIAÇÃO CÓSMICA À SAÚDE DOS AERONAUTAS

# THE HARMFUL EFFECTS OF COSMIC RADIATION ON THE HEALTH OF AERONAUTS

**Anna Paula Bechepeche,**

Graduada em Física pela Universidade Federal de Goiás, mestre em Física pela Universidade de São Paulo e doutorado em Química, Brasil.

E-mail: abechepeche@yahoo.com.br

Recebido: 06/12/2020 – Aceito: 08/12/2020

**Resumo**

O presente artigo pretende discutir a temática acerca da radiação cósmica, analisando sua composição, a fim de examinar seus efeitos à saúde dos profissionais da aviação civil. A partir de algumas pesquisas, verificou-se que a radiação cósmica é composta por ondas e partículas ionizantes provenientes do espaço, cheias de energia e capazes de afetar o que entra em contato com ela. Destarte, percebe-se que esse evento cósmico é altamente prejudicial à saúde dos aeronautas, tendo em vista que nas altitudes das aeronaves a proteção atmosférica perde eficiência. Foi demonstrado que a alta exposição à esta radiação pode gerar agravos letais como o câncer, tendo em vista que os raios ionizantes afetam o material genético, induzindo assim o surgimento de mutações celulares. Desta forma, compreende-se que esse assunto é de grande relevância, portanto, necessita ser discutido com a finalidade de que os pilotos e comissários saibam os riscos. No decorrer da pesquisa, foram elencados alguns tópicos que visam esclarecer os conceitos acerca dos raios cósmicos, os quais demonstram as variáveis responsáveis pela exposição dos tripulantes. Também se comparou os índices de radioatividade de pilotos e de outras profissões. Num outro

momento, procurou se apresentar métodos para o monitoramento da exposição e discutir as possíveis blindagens para os aviões. Para a análise e obtenção dos dados, foi realizada uma pesquisa básica, a partir do método dedutivo, objetivo metodológico exploratório, além do procedimento teórico bibliográfico e uma abordagem qualitativa. Os resultados alcançados alertaram que não há medidas para blindar as aeronaves, por isso é importante monitorar os aeronautas com o uso de dosímetros a bordo das aeronaves e sistemas de controle de dosagem. Por fim, uma alternativa seria a indústria aeronáutica desenvolver materiais compostos por fibra de carbono para compor a fuselagem dos aviões e impedir que as partículas ionizantes afetem os aeronautas.

**Palavras-chave:** Radiação cósmica; Raios ionizantes; Exposição; Mutações.

**Abstract**

This article intends to discuss cosmic radiation, analyzing the composition, to examine its effects on the health of civil aviation professionals. From some research, it was found that cosmic radiation is composed of waves and ionizing particles from space with large energy and capable of affecting what meets it. Thus, it is possible to realize that this cosmic event is highly harmful to the health of the aeronauts, considering that at the altitudes of the aircraft, atmospheric protection loses efficiency. Later, it will be demonstrated that the high exposure to this radiation can happen in lethal diseases like cancer, considering that the ionizing rays affect the genetic material that ends up recomposing themselves at higher frequencies, thus inducing the appearance of cellular mutations. Thus, it is understood that this subject is of great relevance, therefore, it needs to be discussed, with the purpose that pilots and flight attendants are aware of the risks. During the research, some topics have been listed that aim to clarify the concepts about cosmic rays, which demonstrate the variables responsible for the exposure of the crew. In another moment, it was tried to emphasize how the cosmic rays affect the organism, presenting the methods for monitoring the exposure and later discussing the possible shields for the planes. For the analysis and data collection, basic research was carried out, using the deductive method, an exploratory

methodological objective, in addition to the bibliographic theoretical procedure and a qualitative approach. The results warned that today, there are no measures to shield aircraft, so it is important that the aeronauts be monitored using dosimeters onboard aircraft and control systems. Finally, a viable alternative would be for the aeronautical industry to develop materials composed of carbon fiber to be applied to the aircraft fuselage and prevent ionizing particles affecting aeronauts.
**Keywords:** Cosmic radiation; Ionizing rays; Exposure; Mutations.
.

## 1. Introdução

A radiação cósmica é um conjunto de ondas eletromagnéticas e partículas de origem natural proveniente de eventos espaciais como as atividades solares e/ou de possíveis explosões gigantescas de estrelas que estão a bilhões de anos luz da Terra. Os raios cósmicos atingem constantemente a atmosfera terrestre, proporcionando o surgimento de fragmentos atômicos ionizantes que acabam atingindo a superfície (TAYLOR, 2019).

Felizmente, o planeta conta com algumas defesas que conseguem evitar que as pessoas sejam frequentemente atingidas por esse fenômeno, como o campo magnético e a atmosfera (TAYLOR, 2019).

Com isso, nota-se que os aeronautas acabam se tornando exceções pelo fato de que passam muitas horas de suas vidas em elevadas altitudes onde a proteção atmosférica perde grande parte de sua eficiência (TAYLOR, 2019).

Como os aeronautas acabam sendo expostos constantemente a uma quantidade elevada de radiação ionizante, essa profissão se torna mais arriscada. Esse é um problema que deve ser discutido com seriedade pela comunidade científica, tendo em vista que os raios cósmicos atingem componentes celulares que compõem o tecido orgânico, podendo proporcionar o desenvolvimento de doenças relacionadas a danos ao material genético colocando a vida desses profissionais em risco. Além disso, ainda não existem defesas que barrem essas partículas para que elas não entrem em contato com as pessoas a bordo das aeronaves (RUAS, 2019).

A partir destas informações, justifica-se que estudar os efeitos da exposição dos aeronautas aos raios cósmicos é muito importante, devido ao fato de que os danos causados pelas partículas ionizantes no material genético são muito perigosos. Além disso, em outras profissões existem normas e medidas de segurança para evitar o contato com a radioatividade, mesmo que em algumas delas os indivíduos são expostos a índices menores do que o encontrado no ramo aeronáutico, ou seja, em outras áreas há uma preocupação maior em relação ao assunto. Então é fundamental discutir sobre a radiação cósmica na aviação para demonstrar que esta é uma situação séria, que coloca em risco a integridade da saúde dos pilotos e comissários. Observando esses fatores, o presente trabalho tem como objetivo geral alertar a comunidade aeronáutica a respeito dos perigos da radiação cósmica.

A partir da exposição dos objetivos específicos, será possível evidenciar o que são os raios cósmicos, demonstrando as variáveis que compõe a quantidade de exposição dos tripulantes, comparando a dosagem recebida pelos aeronautas com outras profissões, por conseguinte esclarecer como as partículas ionizantes afetam o organismo humano, apresentando as medidas de controle dos níveis de radioatividade dos pilotos e comissários com o fim de discutir as possíveis blindagens para as aeronaves.

A pesquisa conta com os seguintes tópicos metodológicos. Em ralação a natureza, ressalta-se que ela pretende agregar conhecimentos à comunidade aeronáutica, ou seja, é básica. O método científico empregado foi o dedutivo, tendo em vista que os estudos empregados partem de uma série de informações a respeito dos efeitos da radioatividade no geral para serem importados no âmbito aeronáutico.

A pesquisa possui caráter exploratório, levando em consideração que a partir da descrição do fenômeno causado pelos raios cósmicos serão analisados métodos para a proteção dos aeronautas. O procedimento teórico é bibliográfico, pois os dados coletados buscam os materiais já existentes. Por fim a abordagem é qualitativa, porque os dados coletados não necessitam de técnicas estatísticas para serem validados.

O trabalho é dividido em quatro seções, quais sejam o contexto histórico da radiação cósmica na aviação, o conceito da radiação cósmica, a radiação cósmica na aviação e soluções e as prevenções à radiação cósmica na aviação.

A primeira possui um sub tópico a respeito da química nuclear e a terceira apresenta três sub tópicos sendo eles: a variação da quantidade de radiação cósmica nas rotas, a quantidade de exposição dos aeronautas e os efeitos da radiação cósmica nos aviadores.

Espera-se, a partir da pesquisa demonstrar soluções viáveis para mitigar os efeitos causados pelos raios cósmicos nos aviadores por meio de métodos de controle à exposição e/ou possíveis tecnologias capazes de impedir que as partículas ionizantes atravessem a fuselagem das aeronaves.

## 2. O Contexto Histórico Da Radiação Cósmica

As primeiras evidências a respeito da radiação cósmica começaram a ser descritas em 1910 por Theodor Wulf, um físico holandês que se motivou devido a alguns apontamentos científicos da época sobre os mistérios de raios ionizantes presentes no ambiente. Wulf percebeu que os equipamentos que possuíam folhas de ouro, utilizados pelos outros pesquisadores, se danificavam facilmente em ambientes externos aos laboratórios, por isso começou seus estudos produzindo seu próprio detector de radioatividade que era bem mais resistente, podendo ser posicionado em qualquer lugar sem afetar sua funcionalidade. Após criar seu próprio eletroscópio, Theodor Wulf começou a fazer análises sobre os raios cósmicos para tentar perceber sua origem misteriosa. Ele realizou muitos testes em diversos locais até desconfiar que a própria superfície terrestre era responsável pela emissão dessas partículas, porém ao colocar seu equipamento mergulhado na água, esse cientista percebeu menores índices de radiação. Isso o alertou para o fato de que esse fenômeno realmente poderia ser espacial. Então ele levou seu instrumento no topo da Torre Eiffel, à aproximadamente 300 metros de altura, e concluiu que, como os indicadores registraram uma maior reatividade, tal radiação poderia realmente ser oriunda do espaço (POFFENBERGER, 2019).

De acordo com Nobel Prize (2020), os estudos do físico austríaco Victor Franz Hess, em 1912, foram extremamente importantes para estimular ainda mais os conhecimentos sobre as partículas ionizantes em decorrência de suas grandes descobertas. Hess fez testes em níveis atmosféricos diferentes, utilizando balões de ar quente, comprovando a tese da variação da radiação cósmica com a altitude. Alguns de seus voos, foram atingidos por esta radiação a cinco quilômetros de altura, concluindo que a esta distância, esses raios são muito mais fortes, determinando que eles realmente são provenientes do espaço. Além disso, foram feitos testes noturnos e durante eclipses, provando que, além de ser espacial, o fenômeno estudado não tem sua origem relacionada às atividades solares espaciais (ANJOS, 2008).

Após a descoberta de Victor Hess, houve um grande incentivo de vários outros cientistas a pesquisarem sobre o assunto. Essa iniciativa foi fundamental para que os físicos Jacob Clay e Arthur Compton, de 1927 a 1930, demonstrarem que a radiação cósmica é na verdade um conjunto de partículas ultra energéticas provenientes do espaço. Outros estudos que complementaram esses conhecimentos foram os do físico Pierre Auger que evidenciou, em 1938, que o choque dos raios cósmicos com a atmosfera terrestre é tão forte que resulta em fragmentos atômicos com bastante energia em decorrência da modificação estrutural dos átomos atmosféricos, formando o Chuveiro Aéreo Extenso, um fenômeno fundamental para o estudo das partículas ionizantes espaciais (ANJOS, 2008).

Devido a essas descobertas, no final da década de 1940, era sabido que a radiação cósmica é composta de fragmentos atômicos provenientes do espaço que atingem bruscamente a atmosfera terrestre, gerando partículas secundárias. Entretanto, mesmo conhecendo esse fenômeno, os pesquisadores da época ainda buscavam descobrir o que geravam esses raios espaciais (ANJOS, 2008).

Ainda mesmo no século XXI, não foi comprovado de onde vem essa radioatividade, porém, acredita-se que ela se resulta das explosões de estrelas durante a formação de uma supernova em galáxias vizinhas, tendo em vista que não são conhecidos eventos com tamanha liberação de energia na Via Láctea (ANJOS, 2008).

## 3. O Conceito De Radiação Cósmica

A radiação cósmica é composta por raios que possuem várias partículas atômicas da matéria, como basicamente os prótons, elétrons, nêutrons e ondas eletromagnéticas altamente energéticas capazes de alterar a estrutura de um átomo quando há alguma interação entre eles. Ela entra em contato à atmosfera da Terra sendo filtrada e resultando no desenvolvimento de fragmentos secundários que são constantemente lançados para todas as direções atingindo até a superfície terrestre, mesmo com todas as moléculas de ar presentes durante o caminho ao solo (FAA, 2014).

Os raios cósmicos fazem parte da radioatividade ionizante. Para a compreensão do que isso significa é necessário fazer uma análise sobre o espectro eletromagnético que demonstra várias ondas com características diferentes dentro de uma escala. Estas variam de acordo com suas frequências e quantidade energética. As que possuem hertz[1] mais elevados são as que carregam mais energia. Devido a isso, em um momento elas ficam tão energéticas, com valores acima de $10^2$ elétron-volt[2] (eV), se tornando capazes de afetar as estruturas atômicas dos componentes nos quais elas entram em contato. Quando isso ocorre significa que a radiação é ionizante (UNEP, 2016).

A radiação ionizante que atinge a atmosfera possui duas classificações relacionadas com seus pontos de origem. As que são provenientes do espaço profundo, possivelmente liberadas em explosões de estrelas, entram no grupo da *Galactic Cosmic Radiation* (GCR). A outra parcela tem como fonte as atividades que ocorrem no Sol, mais precisamente nas tempestades solares, sendo denominados, *Solar Cosmic Radiation* (SCR) que também apresentam perigos para as pessoas, tendo em vista que conseguem causar o mesmo efeito da radioatividade proveniente de outros fenômenos (IFALPA, 2019).

### 3.1 A química nuclear

[1] Unidade de medida das frequências de ondas.

Para compreender a radiação cósmica é necessário considerar alguns conceitos da química nuclear. Esta é uma ciência que tem como objetivo analisar as reações atômicas e verificar os efeitos da interação entre as partículas fundamentais que são, de maneira simples, os elétrons, nêutrons e prótons (ROSENBERG; EPSTEIN; KRIEGER, 2013).

Quando elas se interagem, é possível observar a formação de novos átomos que geralmente apresentam uma perda de massa. Isto é proveniente de um fator descrito por Albert Einstein, no qual uma pequena parte das massas envolvidas no processo de composição de um átomo é perdida, sendo esse valor, o equivalente a quantidade energética liberada, geralmente envolvendo muita energia e dando origem a alguns fenômenos (ROSENBERG; EPSTEIN; KRIEGER, 2013).

A compreensão desse fenômeno é muito importante para perceber a origem da quantidade energética envolvida. Isso é fundamental para demonstrar os eventos que ocorrem quando os raios cósmicos atingem os átomos atmosféricos, geralmente o oxigênio ou nitrogênio, formando os Chuveiros Aéreos Extensos. Estes, são compostos por uma série de interações entre as diversas partículas secundárias geradas. Uma das principais partículas resultantes é o píon que pode aparecer neutro, sendo dividido em fótons que interagem com o eletromagnetismo de outros núcleos, gerando mais fótons, ou carregado, interagindo com os núcleos ao seu redor, podendo se transformar em múons e serem acelerados a velocidades próximas à da luz (FAUTH; GOVER; CONSTELAR, 2011).

De acordo com Anjos (2008), o contato de raios ionizantes com os componentes atmosféricos também pode produzir várias partículas como o pósitron, méson pi, nêutrons, dentre outras. Esses pequenos componentes provenientes dos Chuveiros Aéreos Extensos, se espalham rapidamente em várias direções com os valores energéticos, que geralmente atingem a faixa dos $10^9$ eV, entretanto, alguns deles podem chegar até mesmo a $10^{20}$ eV, sendo estes mais raros. Essa quantidade de energia é bastante significativa, tendo em vista que esses fragmentos são infinitamente menores do que um único milímetro.

Outro aspecto estudado no ramo da química nuclear é a penetrabilidade de um elemento ionizante. De acordo com a *United Nations Environment Programme*

[2] Unidade de medida de energia utilizado em estudos microscópicos.

(UNEP) (2016), a capacidade de penetração da radiação varia de acordo com suas características. Com isso, é observável comportamentos distintos entre os tipos de radioatividade, por exemplo, uma partícula alfa não consegue atravessar uma folha de papel, sendo barrada facilmente, isso ocorre pois elas interagem com os átomos em grande escala por possuírem massas e cargas maiores. Os nêutrons e as ondas eletromagnéticas por outro lado possuem um amplo poder penetrante podendo ultrapassar até mesmo paredes espessas de aço.

## 4. A Radiação Cósmica Na Aviação

A radiação cósmica passou a se tornar uma preocupação para a aviação após os estudos proporcionados pela corrida espacial que aconteceu em meados de 1960. Como o objetivo era chegar e permanecer no espaço surgiram muitas pesquisas a respeito da manutenção da vida em altitudes elevadas para possibilitar que o ser humano deixasse a atmosfera terrestre em segurança. Em decorrência da obtenção de novos conhecimentos sobre esse fenômeno, ficou claro que os tripulantes aeronáuticos necessitam de um cuidado especial em relação a seus níveis de radioatividade corporal (DESMARIS, 2016).

Com o surgimento do Concorde, na década de 60, que possuía um teto operacional de aproximadamente 18.200 metros ou 60 mil pés, houve uma iniciativa por parte da comunidade científica de monitorar a radioatividade nesses voos para registrar os raios cósmicos que atingiam as pessoas a bordo desta aeronave. Essa preocupação surgiu pelo fato de que a partir de 7.600 metros ou 25 mil pés de altitude, os níveis de radiação dobram para cada 1.829 metros ou 6 mil pés subidos. Para isso, foram utilizados vários sensores que verificam constantemente os índices de exposição radioativa dos tripulantes (RUAS, 2019).

Todas as análises feitas a respeito dos níveis de radiação cósmica na aviação civil, somente geraram uma regulamentação com a finalidade de alertar a comunidade aeronáutica em 1990, quando a *International Commission on Radiological Protection* (ICRP) definiu os tripulantes como Indivíduos

Ocupacionalmente Expostos[3] (IOE). Tal classificação resultou em pesquisas para exigir das empresas aéreas, medidas adequadas com o objetivo de mitigar os efeitos das partículas ionizantes nos aeronautas. A ideia inicial era que as companhias aéreas informassem seus profissionais quais os riscos que eles eram subordinados para que eles pudessem assumi-los cientes das consequências (DESMARIS, 2016).

Em 1994, a *International Civil Aviation Organization* (ICAO), juntamente com várias organizações como a *Federal Aviation Administration* (FAA), *International Federation of Air Line Pilots' Associations* (IFALPA) e outras, reconheceu que os profissionais que compõe as tripulações das aeronaves vivenciam riscos relacionados com a constante exposição à radiação cósmica. Em decorrência, foram criados métodos e normas para monitorar constantemente os possíveis efeitos que esse fenômeno pode causar aos tripulantes e garantir que eles não sejam prejudicados por estarem nesse tipo de ambiente (RUAS, 2019).

A atual regulamentação apresentada pela ICAO, por meio do Anexo 6 da Convenção de Aviação Civil Internacional (CACI), exige que todas as aeronaves que possuam a capacidade de se manterem em voo de cruzeiro acima de 49 mil pés ou 15 mil metros, devem possuir sensores, instalados a bordo, que sejam capazes de medir, monitorar e registrar os níveis de radiação cósmica que atingem os tripulantes. Isso possibilita o surgimento de um controle da radioatividade acumulada nesses profissionais em um período de doze meses, garantindo o objetivo dessa norma que é acompanhar a exposição média na qual os aeronautas que trabalham nesse tipo de avião são subordinados (IFALPA, 2019).

Na atualidade, os países que fazem parte da União Europeia determinam que suas empresas aéreas utilizem métodos com modelos matemáticos estimativos para verificar qual é a quantidade de radiação cósmica que os tripulantes acabam recebendo durante os voos. Para isso são utilizados aplicativos que calculam uma média geral do tempo de exposição desses profissionais em relação aos seus horários, escalas e altitudes voadas, permitindo uma análise aproximada que demonstra a permanência e intensidade em que os aeronautas ficam em contato com esses raios enquanto trabalham (CAVALCANTE et al, 2019).

[3] Indivíduos que praticam atividades humanas com exposição à radiação.

No Brasil, a Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC) participa do projeto Efeitos das Radiações Ionizantes em Sistemas Aeronáuticos (ERISA) que é responsável pela confecção de várias pesquisas sobre a radiação promovidas pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INEP), o Instituto de Estudos Avançados (IEAv), a Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN) e o Instituto de Radioproteção e Dosimetria (IRD). Contudo, mesmo com esses estudos e com a instrução presente na ICAO, não há na regulamentação brasileira, normas para alertar e proteger os aeronautas das consequências do contato constante com os raios cósmicos (CAVALCANTE et al., 2019).

### 4.1 A variação da quantidade de radiação cósmica nas rotas

Mensurar a quantidade de radiação cósmica que os aeronautas recebem durante a vida não é uma tarefa fácil, pois existem muitas variáveis que devem ser consideradas para a realização desses cálculos. Para medir os valores de radioatividade de uma determinada tripulação é necessário levar em conta os tipos de voo que são realizados. Isto ocorre pelo fato de que a quantidade de exposição varia de acordo com a altitude, latitude, com as atividades solares e o tempo. Então para a obtenção de dados precisos é necessário que seja feita uma média levando em consideração todas essas condições (TAYLOR, 2019).

A exposição à radiação cósmica se torna mais extensa para os aeronautas em voos com altitudes maiores. Isto ocorre pelo fato de que quanto mais alto, maior é a incidência das partículas secundárias formadas pelo impacto desses raios espaciais com a atmosfera. Esse fenômeno é resultante do fato de que as moléculas atmosféricas funcionam como um escudo natural que impedem muitos desses fragmentos atômicos de atingirem a superfície terrestre. Como de conhecimento, o ar se torna rarefeito com a elevação e, consequentemente, essa proteção diminui, podendo perder sua eficiência por volta de 100 vezes nas altitudes das aeronaves comerciais (SKYBRARY, 2020).

Outro fator que afeta a quantidade de absorção da radiação cósmica por uma tripulação é a latitude em que os voos são feitos. Para compreender o motivo dessa variável é necessário observar o campo magnético terrestre que também funciona como um escudo. Devido ao seu formato ele se torna mais espesso

próximo a linha do Equador, pois nesse local as linhas magnéticas se encontram paralelas à superfície, fazendo com que os raios provenientes do espaço cheguem perpendicularmente, sendo facilmente redirecionados pelo magnetismo. Já próximo as latitudes polares, os formatos das linhas, com ângulos mais próximos de 90°, faz com que a dosagem radioativa se torne até duas vezes maior pela facilidade de ingresso das ondas e partículas ionizantes espaciais na Terra (TAYLOR, 2019).

A exposição dos aeronautas também possui uma variável relacionada com a oscilação das atividades solares. Esse fator se destaca pelo fato de que o Sol libera uma grande quantidade de gases que se juntam e formam um grande escudo que pode atingir a Terra, funcionando da mesma maneira que o campo magnético terrestre, repelindo uma quantidade significativa de raios cósmicos para longe da Terra. Essa massa gasosa de partículas é denominada *Coronal Mass Ejections* (CMEs), sendo proveniente das erupções que ocorrem em um ciclo de 11 anos. Quando esse tipo de defesa está atuando sobre o planeta, a exposição da radiação cósmica à tripulação, consequentemente, acaba se tornando menor (TAYLOR, 2019).

Ao observar as atividades solares é importante considerar o fato de que as CMEs, mesmo repelindo os raios cósmicos provenientes do espaço profundo, ainda são capazes de proporcionar efeitos negativos nos índices de exposição dos aeronautas, pois esse evento também carrega valores energéticos capazes de atuar na atmosfera terrestre e causar os chuveiros aéreos extensos. Portanto, observa-se que o Sol também emite ondas e partículas ionizantes que causam o mesmo problema da radiação cósmica. Essa análise é muito importante para compreender que os dois fenômenos felizmente não se misturam e isso deve ser considerado para uma mensuração precisa da quantidade de radioatividade que os tripulantes acabam recebendo (RUAS, 2019).

### 4.2 O nível de exposição dos aeronautas

Para dimensionar os níveis de exposição à radiação cósmica, é possível comparar a dose recebida pelos aeronautas com a de trabalhadores que possuem um contato frequente com fontes radioativas. Isso demonstrará que os índices de

dosagem anuais dos pilotos e comissários podem ser maiores do que o de outras áreas que também são consideradas de risco, alertando para o fato de que embora pouco discutida em alguns locais, a radiação cósmica apresenta sérias possibilidades de danos à saúde das pessoas que estão em contato direto com ela, tendo em vista que todas as outras atividades relacionadas ao problema de exposição são severamente monitoradas (FRASCH et al, 2011).

Para iniciar essa comparação com outras áreas, observa-se uma análise feita pelo *Bericht des Strahlenschutzregisters* que é um instituto alemão responsável pela proteção contra a radiação. Nesse estudo, foram observados os índices de radioatividade anual de 2004 a 2009 de várias ocupações. Os resultados demonstraram que os tripulantes apresentaram uma média de exposição de 2,4 milisievert[4] (mSv), sendo um valor superior ao encontrado em diversas atividades médicas, mesmo em áreas em contato constante com a radioatividade, como no caso dos radiologistas que obtiveram 2,2 mSv. A atividade exercida pelos pilotos e comissários somente apresentaram menores dosagens do que os profissionais que trabalham com a mineração, absorvendo uma média de 3,9 mSv (FRASCH et al, 2011).

Analisando essa comparação feita na Alemanha, observa-se que em alguns casos os pilotos e comissários conseguem superar a quantidade de dosagem de 3,9 mSv dos mineradores. Para isso é necessário analisar de maneira mais precisa os dados obtidos a respeito da quantidade de radiação cósmica na qual os aeronautas acabam sendo expostos durante suas atividades. Esses índices variam bastante em decorrência aos fatores que já foram citados, como a latitude, tempo de voo e outros. Por isso é possível observar que tripulantes recebem em média de 2 mSv a 5 mSv para cada ano de trabalho. Essa radioatividade é acumulativa, o que representa um grande perigo, pois esses valores acabam se tornando cada vez maiores, elevando a possibilidade de danos à saúde (RUAS, 2019).

A dose de radioatividade que os tripulantes aeronáuticos acabam recebendo por ano, de 2 mSv a 5 mSv, pode ser convertida à mesma quantidade presente em 200 a 500 emissões de um Raio X dental, ou seja, considerando

[4] Unidade de medida da dosagem equivalente da radiação ionizante ao organismo.

alguns cenários, é como se um aeronauta tirasse uma radiografia facial todos os dias durante um ano. Além desse número alarmante de dosagem, é fundamental ressaltar que a radiação cósmica não é a única fonte ionizante na qual os pilotos e comissários são expostos, pois eles ainda são subordinados aos *scanners* dos aeroportos, a fenômenos como o *Terrestrial Gamma-Ray Flashes* [5] e aos exames médicos exigidos para a obtenção do Certificado Médico Aeronáutico (RUAS, 2019).

### 4.3 Os efeitos da radiação cósmica nos aviadores

Antes de descrever como os índices de exposição dos aeronautas causam danos aos seus organismos é importante compreender alguns conceitos básicos da biologia para demonstrar como o corpo é afetado pelos raios ionizantes. Assim, observa-se um componente orgânico denominado ácido desoxirribonucleico (DNA) que é uma macromolécula presente nas células, responsável principalmente pela manutenção do código genético. Este é basicamente um conjunto de características presentes em uma determinada espécie. Para realizar essa função, o DNA possui a habilidade de se reparar e replicar, o que gera uma série de eventos que garantem a preservação dos seres vivos (GIRARDI; SUBTIL; RANGEL, 2018).

A respeito do DNA, este é composto por um conjunto de nucleotídeos[6] que se dispõem em duas fitas no formato de dupla-hélice, sendo unidas por pequenas ligações denominadas de pontes de hidrogênio. Estas são feitas pelas bases nitrogenadas que são compostas por pequenas moléculas que se juntam, sendo elas, as adeninas que se ligam às timinas e guaninas com as citosinas, cada uma de um filamento diferente. Essa composição possui características distintas que serão recompostas em um processo celular para que seja feito o reparo ou replicação do material genético (GIRARDI; SUBTIL; RANGEL, 2018).

Para a replicação do DNA, os filamentos possuem as partes das bases nitrogenadas desconectadas, surgindo então duas fitas únicas que servirão como

[5] Fenômeno proveniente de trovoadas que emitem altos índices de raios ionizantes.
[6] São as partes estruturais de DNA formados por três moléculas: Grupo fosfato, pentose e bases nitrogenadas.

molde. Após isso, é feita a construção de uma nova fita para cada parte que foi separada, de acordo com as ligações de hidrogênio corretas, ou seja, se em uma parte do nucleotídeo existir uma adenina, a parte que está sendo gerada terá uma timina, seguindo a sequência e garantindo que o material genético seja replicado com precisão. Esse é um processo resultante da divisão celular em que as células humanas têm capacidade limitada de realizar devido ao fato de que as cópias acabam não acontecendo de maneira perfeita, sendo que em um momento elas entram na apoptose que é uma morte programada para evitar má formação que podem resultar em doenças como o câncer (GIRARDI; SUBTIL; RANGEL, 2018).

À vista disto, o material genético humano passa por um processo de replicação e reparo para que suas informações sejam mantidas da maneira correta, entretanto, esse fenômeno está sujeito a mutações. Esse problema pode ser gerado por vários agentes, tais como químicos, biológicos ou, no caso dos raios ionizantes, físicos. Desse modo, nota-se que a radioatividade consegue afetar o organismo, pois ela possui a capacidade de gerar um processo de mutação induzida, na qual a radiação entra em contato com os átomos que constituem o tecido, liberando uma grande quantidade de elétrons e gerando íons que acabam interagindo com as ligações de hidrogênio, afetando o DNA (ZAHA; FERREIRA; PASSAGLIA, 2003).

Esse tipo de dano causado pela radiação cósmica é denominado de efeito direto, pois os elétrons arrancados dos átomos que constituem o tecido acabam reagindo diretamente com as estruturas celulares. Além desse processo, os raios ionizantes afetam os organismos de outro modo que é o efeito indireto. Neste, a radioatividade acaba interagindo com as moléculas de água presentes nas células, resultando na produção de radicais livres[7] que buscam por estabilidade elétrica interagindo também com a estrutura do DNA. Esse tipo de dano é o mais presente, tendo em vista que as células humanas possuem muita água em sua composição (MARTA, 2013).

Como mencionado, a radiação ionizante afeta os tecidos humanos por meio da destruição das pontes de hidrogênio presentes no DNA, proporcionando mutações. Felizmente as células humanas possuem a capacidade de se replicar e

[7] Moléculas que possuem instabilidade elétrica com ampla capacidade oxidante.

reparar, evitando várias complicações, porém essa contramedida pode falhar em algum momento devido ao número excessivo de erros causados pelas partículas ionizantes. Por esse motivo, os raios cósmicos se tornam perigosos à saúde dos aeronautas, pois eles fazem com que o material genético desses profissionais seja corrigido com uma frequência bem maior, ou seja, o número de reparos se torna muito mais elevado do que o normal devido aos danos constantes, favorecendo o surgimento de anomalias (RUAS, 2019).

Os efeitos a longo prazo aumentam a probabilidade do surgimento de câncer letal nos aeronautas. Para verificar os possíveis danos da radiação cósmica em pilotos e comissários, o Sindicato Nacional dos Aeronautas (SNA) solicitou uma pesquisa junto às empresas aéreas brasileiras visando dados relacionados ao surgimento de neoplasias nos seus tripulantes. A única companhia aérea que atendeu a esse pedido foi a Latam Airlines que forneceu o registro de janeiro de 2013 até setembro de 2014. Nos índices foram observados 24 casos de tumores malignos nos tripulantes, sendo que os mais comuns foram na tireoide, cabeça, pescoço, rosto, pele, mama e ovário, ou seja, em regiões onde a exposição seria ligeiramente maior (SNA, 2015).

De acordo com Ruas (2019), ao analisar os dados da FAA, é possível perceber que um para cada 140 pilotos desenvolverá algum tipo de tumor maligno no final de sua carreira. Para a obtenção deste número, foram considerados 45 anos de profissão e um valor de 3,5 mSv que é resultante da média feita entre os valores mínimos e máximos de dosagem equivalente à radiação ionizante em que os aeronautas estão subordinados. Ao analisar casos mais extremos de exposição, pode se dizer que esta probabilidade se torna de uma para cada 110 pessoas desempenhando o papel de tripulante, ou seja, acrescentando aproximadamente 1% de chance desses profissionais desenvolverem canceres fatais em relação ao restante da população.

Outra preocupação existente a respeito da exposição dos raios cósmicos em aeronautas é quando as profissionais femininas se tornam gestantes. De acordo com a IFALPA (2018) com a publicação *Pregnancy and Flying,* isto ocorre em decorrência do fato de que a radiação ionizante causa danos sérios às células, não sendo diferente com o que ocorre no feto, podendo gerar várias más

formações e até mesmo o aborto espontâneo. Em decorrência deste fato a ICRP alega que a dosagem efetiva em tripulantes grávidas não deve exceder a 1 mSv durante a gravidez, sendo que a mulher deve ser preservada do cargo de maneira rápida para evitar os riscos à saúde de seu descendente.

## 5. Soluções e Prevenções à Radiação Cósmica Na Aviação

Pensar em métodos para reduzir os efeitos que a radiação cósmica causa aos aeronautas é algo muito importante devido ao fato de que existem vários projetos para proteger os IOE, entretanto, no ramo aeronáutico ainda não há muitas medidas com o objetivo de preservar os tripulantes. Isto é algo preocupante, levando em consideração que esses profissionais acabam recebendo doses mais elevadas do que vários outros trabalhadores que também estão em contato direto com raios ionizantes. Sem contar que com as novas tecnologias sendo empregadas nas aeronaves modernas, surgem voos cada vez mais altos e com índices radioativos bem maiores (IFALPA, 2018).

Além do desenvolvimento de aeronaves capazes de voar cada vez mais alto, resultando em uma maior exposição dos aeronautas à radiação cósmica, outro grande problema é o fato de que esses raios são compostos por muitos nêutrons que, como comentado, possuem uma elevada capacidade de penetração. Em outras palavras, as tecnologias das aeronaves estão avançando para voos onde as partículas ionizantes são mais presentes, por outro lado, ainda não são apresentadas blindagens prováveis devido à natureza desses fragmentos que conseguem atravessar facilmente os materiais utilizados na fuselagem dos aviões (RUAS, 2019).

Construir uma blindagem para barrar a radiação cósmica nas aeronaves não é uma tarefa fácil, pois na atualidade não existem materiais utilizados na indústria aeronáutica que sejam capazes de realizar essa tarefa, tendo em vista que os possíveis componentes utilizados para essa finalidade acabam penalizando bastante o peso das aeronaves, sendo completamente inviáveis. Enquanto não forem apresentadas novas tecnologias capazes de evitar o problema é importante trabalhar com a quantidade de dosagem radioativa que os tripulantes acabam

recebendo, para que seja possível reduzir os efeitos da exposição à radiação cósmica (RUAS, 2019).

Outro fator preocupante é que ainda existem dúvidas por parte da comunidade científica a respeito dos possíveis danos provenientes do contato entre as partículas ionizantes e o organismo, ou seja, não se sabe ao certo todos os efeitos que a radiação cósmica pode gerar para o corpo. Isto faz com que se torne necessário reduzir ao máximo a dosagem dos aeronautas, pois ainda não existem blindagens viáveis para eliminar ou mitigar os riscos. Neste sentido, existem alguns sistemas capazes de fornecer dados que demonstram a quantidade de raios cósmicos que atinge a Terra, possibilitando um controle mais apurado dos níveis de exposição desses profissionais (RUAS, 2019).

Um dos sistemas criados para a análise dos índices de radiação cósmica que atinge a Terra é o *Nowcast of Atmospheric Ionizing Radiation System* (NAIRAS). Este é um modelo criado pela *National Aeronautics and Space Administration* (NASA) voltado à aviação comercial, com o objetivo de fornecer dados, em tempo real, da quantidade de partículas ionizantes que estão bombardeando o planeta em um determinado local. Esse projeto é fundamental para que as pessoas tenham a capacidade de calcular a quantidade de raios cósmicos em que elas serão subordinadas durante uma determinada viagem (NASA, 2012).

Sistemas como o modelo da NASA, permitem que as empresas aéreas presentes no mundo possam monitorar a quantidade de radiação cósmica de seus tripulantes. Para isso é importante que elas adotem o conceito, *As Low As Reasonably Achievable* (ALARA) que é um método utilizado para verificar todas as variáveis presentes em uma determinada exposição, como altitude, tempo de voo e outros, com o objetivo de reduzir a dosagem dos aeronautas. Assim é possível verificar os níveis radioativos desses profissionais com dados estimados e criar escalas que controlem a exposição utilizando o revezamento entre as tripulações em rotas críticas em relação a quantidade de radioatividade (FAA, 2014).

Para que seja feito o acompanhamento por meio do método ALARA é necessário expandir o uso das tecnologias a bordo das aeronaves com o objetivo de mensurar constantemente a radioatividade. De acordo com o que foi

apresentado nos regulamentos da ICAO, essa medida já é utilizada em aviões com capacidades operacionais acima de 49 mil pés ou 15 mil metros, entretanto, devido aos possíveis danos causados à saúde dos aeronautas e a falta de conhecimentos a respeito de quais são todos os riscos apresentados, é fundamental que esses equipamentos também sejam instalados nas aeronaves comerciais, principalmente as que realizam rotas longas e em latitudes maiores (IFALPA, 2018).

Para buscar soluções nas quais as dosagens de radiação cósmica sejam reduzidas em quantidades inofensivas, a indústria aeronáutica faz pesquisas com materiais que possuem em sua composição a fibra de carbono, pois esse tipo de composto é mais eficiente na proteção contra os raios ionizantes do que os metais utilizados na fuselagem. Além de possuírem uma proteção maior contra as partículas cósmicas, os componentes estudados são muito mais leves e bem resistentes, resolvendo os impasses de construir uma blindagem adequada para as aeronaves, sendo então uma provável solução eficiente para o futuro com o objetivo de evitar todos os problemas causados pela radiação cósmica (MOSKVITCH, 2013).

## 6. Considerações Finais

Mediante ao conhecimento apresentado no decorrer da pesquisa é possível observar que a radiação cósmica vem sendo estudada desde o início do século passado, porém, sempre como algo misterioso devido a sua origem desconhecida. Esse fenômeno é explicado pelo fato de que os raios cósmicos são compostos por partículas ionizantes que entram em contato com a atmosfera terrestre e causam um evento conhecido como Chuveiros Aéreos Extensos, sendo estes compostos por fragmentos atômicos que acabam sendo lançados em altíssima velocidade e energia, sendo barrados à medida que se espalham pela atmosfera.

No entanto, a partir da pesquisa foi possível concluir que é evidente que as partículas ionizantes e as ondas eletromagnéticas espaciais são capazes de prejudicar as pessoas que entram em contato com elas. No âmbito da saúde profissional, esse fenômeno atinge principalmente os aeronautas, pois como

demonstrado, uma das defesas existentes para barrar os raios cósmicos é toda a massa atmosférica que se encontra sobre o planeta Terra.

Com isso, é evidente que os tripulantes acabam ficando suscetíveis a índices elevados de radiação ionizante, tendo em vista que essa proteção pode reduzir 100 vezes nas altitudes onde esses profissionais trabalham. Também foi evidenciado que os raios cósmicos conseguem afetar a estrutura celular dos seres humanos por meio de danos proporcionados às bases nitrogenadas existentes no DNA. Contudo, observa-se que as células humanas conseguem se reparar e replicar, evitando as constantes mutações, porém com o tempo elas perdem a eficiência para realizar esse processo devido ao fato de que as “cópias” celulares acabam reduzindo sua qualidade, após a realização desse processo de forma excessiva, apresentando má formações e consequentemente agravos à saúde, como o câncer.

Por fim, pode-se observar que os objetivos específicos foram alcançados, ao ponto que foi comprovando o fato de que os raios cósmicos apresentam perigos aos aeronautas e que toda a comunidade aeronáutica necessitar estar atenta em relação ao problema.

Os resultados demonstram que nos dias atuais, o ideal para a proteção dos tripulantes é o controle da exposição no conceito ALARA, tendo em vista que ainda não existem materiais viáveis para a proteção das aeronaves. Contudo, essas medidas devem ser tratadas como provisórias para incentivar a indústria aeronáutica a desenvolver materiais capazes de eliminar ou reduzir a exposição.

## Referências

ANJOS, J.C.C. **Um olhar para o futuro:** desafios da física para o século 21. 1 ed. Rio de Janeiro: Ed. Vieira & Lent, 2008.

CAVALCANTE, J.E. et al. **Riscos ocupacionais dos tripulantes e profissionais da aviação expostos à radiação ionizante - Uma revisão bibliográfica**. Disponível em: https://www.sbpr.org.br/portal/files/radio2019/anais/926-4009-1-RV.pdf. Acesso em: 05 set. 2020.

DESMARIS, G. Cosmic radiation in aviation: radiological protection of Air France aircraft crew. **Sage Journals**, v.45, n.1, p.64-74, abril 2016. Disponível em: https://journals.sagepub.com/doi/pdf/10.1177/0146645316636009. Acesso em: 3 set. 2020.

FAUTH, A. C.; GOVER, A. C.; CONSTELAR, D. M. Medida da vida média do múon. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, Campinas, v.32, n.4, 4502, fevereiro 2011. Disponível em: https://www.scielo.br/pdf/rbef/v32n4/12.pdf. Acesso em: 21 set. 2020.

FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION. **In-flight radiation exposure.** Disponível em: https://www.skybrary.aero/bookshelf/books/3187.pdf. Acesso em: 11 set. 2020.

FRASCH, G. et al. **Die berufliche strahlenexposition des fliegenden personals in deutschland 2004 – 2009.** Disponível em: https://doris.bfs.de/jspui/bitstream/urn:nbn:de:0221-201108016029/3/Bf_2011_BfS-SG-15-11-ExpositionFlugPersonal.pdf. Acesso em: 20 set. 2020.

GIRARDI, C. S.; SUBTIL, F. T.; RANGEL, J. O. **Biologia molecular (RA).** 1 ed. Porto Alegre: Ed. SAGAH, 2018.

INTERNATIONAL FEDERATION OF AIR LINE PILOTS' ASSOCIATIONS. **Aircrews and ionizing radiation**. Disponível em: https://ifalpa.org/media/3467/19hupbl01-aircrews-and-ionizing-radiation.pdf. Acesso em: 05 set. 2020.

_____. **Protection from ionizing radiation**. Disponível em: https://ifalpa.org/media/2145/18pos02-protection-from-ionizing-radiation.pdf. Acesso em: 27 set. 2020.

_____. **Pregnancy and flying**. Disponível em: https://ifalpa.org/media/3142/18hupbl02-pregnancy-and-flying.pdf. Acesso em: 27 set. 2020.

MARTA, G. N. **Radiobiologia: princípios básicos aplicados à prática clínica**. Disponível em: http://files.bvs.br/upload/S/1413-9979/2014/v19n1/a3970.pdf. Acesso em: 26 set. 2020.

MOSKVITCH, K. **Space radiation**: should frequent flyers worry? Disponível em: https://www.bbc.com/future/article/20131113-the-supernova-inside-your-plane. Acesso em: 02 out. 2020.

NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION. **Cosmic concern**. Disponível em: https://svs.gsfc.nasa.gov/11126. Acesso em 02 out. 2020.

NOBEL PRIZE. **Victor F. Hess biographical.** Disponível em: https://www.nobelprize.org/prizes/physics/1936/hess/biographical/. Acesso em: 2 set. 2020.

POFFENBERGER, L. September 15, 1910: Theodor Wulf Publishes First Evidence of Cosmic Radiation. **APS NEWS**, v.28, n.8, p.2, agosto/setembro 2019. Disponível em: https://www.aps.org/publications/apsnews/201908/history.cfm. Acesso em: 1 set. 2020.

ROSENBERG, J.L.; EPSTEIN, L.M.; KRIEGER, P.J. **Química geral.** 9 ed. Porto Alegre: Ed. Bookman, 2013.

RUAS, A.C. **O Tripulante de aeronaves e a radiação ionizante**. 2 ed. São Paulo: Ed. Edição do Autor, 2019.

SKYBRARY. **Radiação cósmica**. Disponível em: https://skybrary.aero/index.php/Cosmic_Radiation. Acesso em: 19 set. 2020.

SINDICATO NACIONAL DOS AERONAUTAS. **Mapeamento biopsicossocial do aeronauta brasileiro**. Disponível em: https://www.aeronautas.org.br/images/_sna/noticias/Mapeamento_saude_aeronauta_br.pdf. Acesso em: 27 set. 2020.

TAYLOR, K. **Cosmic radiation and aviation**. Disponível em: https://letstalkscience.ca/educational-resources/backgrounders/cosmic-radiation-and-aviation. Acesso em: 19 set. 2020.

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME. **Radiação efeitos e fontes:** o que é radiação? o que a radiação faz a nós? de onde vem a radiação? Disponível em: http://www.aben.com.br/Arquivos/544/544.pdf. Acesso em: 09 set. 2020.

ZAHA, A. F.; FERREIRA, H. B.; PASSAGLIA, L. M. P. **Biologia molecular básica.** 3 ed. Porto Alegre: Ed. Mercado Aberto, 2003.