
Resultados e Discussões sobre Medidas da Radiação Ionizante em Voo Sob o Espaço Aéreo Brasileiro

Marco Aurélio Barros Fortes¹, Adriane Cristina Mendes Prado², Hanna Flavia Santana dos Santos³, Matteus Bueno Caprecci⁴, Marlon Antonio Pereira⁵, Heloisa Helena de Castilho Pereira⁶, Claudio Mariano Silva⁷, Glaucio Cavalcante Viegas⁸, Claudio Antonio Federico⁹

1 Graduado em Engenharia Aeronáutica pela Universidade do Vale do Paraíba – UniVap (2012). Realizou trabalhos científicos na área de meteorologia atmosférica na Divisão de Ciências Atmosféricas – ACA/IAE/DCTA. Colaborador do projeto “Efeitos das Radiações Ionizantes em Sistemas Aeronáuticos – ERISA”. Mestrando pelo Programa de Pós Graduação em Ciências e Tecnologias Espaciais no ITA (PG-CTE).

2 Doutoranda pelo ITA em Ciências e Tecnologias Espaciais. Mestre pelo ITA em Ciências e Tecnologias Espaciais. Engenheira Aeronáutica pela UniVap. Colaboradora dos projetos “Efeitos das Radiações Ionizantes em Sistemas Aeronáuticos – ERISA” e “Dosimetria das Radiações Ionizantes no Espaço Aéreo Brasileiro – DRIEAB”. Realizou atividades de pesquisa pelo IEAv nas áreas de simulação da radiação incidente sob aeronaves, simulação da interação da radiação com sistemas aviônicos e dosimetria aeroespacial.

3 Graduanda em Biomedicina pela Universidade Paulista (UNIP), com bolsa integral do ProUni. Atualmente bolsista PIBIC/CNPq no Instituto de Estudos Avançados (IEAv-DCTA) em São José dos Campos - SP, no Laboratório de Dosimetria Aeroespacial, atuando em dosimetria de radiação ionizante através de dosimetria termoluminescente (TLD) para a avaliação dos efeitos da radiação cósmica em tripulações e em aviônicos. Com participação em congresso internacional e nacional, além de ter participado de estudos no Belgian Nuclear Research Centre (SCK-CEN) como trainee na área de dosimetria. Atualmente pós graduanda *latu sensu* na Universidade Paulista em análises Clínicas.

4 Graduando em Engenharia Aeronáutica pelo ITA (2017). Foi aluno de Iniciação Científica PIBIC no ITA. Realizou trabalhos de pesquisa e desenvolvimento em simulação computacional de escoamento. Estagiário na Divisão de Energia Nuclear (ENU) no Instituto de Estudos Avançados (IEAv) onde desenvolve atividades na área de simulação de escoamentos bifásicos.

5 Doutorando em Ciências e Tecnologia Aeroespacial pelo ITA. Mestre em Ciências e Tecnologia Aeroespacial pelo ITA. Engenheiro Químico pela Faculdade de Engenharia Química de Lorena. Tecnologista Pleno no Instituto de Estudos Avançados (IEAv). Adjunto do Serviço de Radioproteção e Dosimetria do DCTA. Realiza trabalhos de pesquisa e desenvolvimento de materiais para blindagem de radiação, estudo da interação da radiação com novos materiais e técnicas de dosimetria aplicadas ao setor aeroespacial. Atuou na indústria no setor de engenharia da qualidade por 10 anos.

6 Mestre em Ciências e Tecnologia Espaciais – ITA. Graduada em Engenharia Química pela Faculdade de Engenharia Química de Lorena. Desenvolve trabalhos na área de pesquisa aplicados a dosimetria e blindagem de radiação aplicados ao setor aeroespacial. Atuou na indústria como Engenheira de Desenvolvimento e Aplicação por 6 anos.

7 Graduando em Matemática pela UNISUL. Sargento Técnico em eletrônica pela Escola de Especialistas de Aeronáutica. Técnico do Serviço de Proteção Radiológica do DCTA. Atuou em manutenção em diversas aeronaves da FAB, Instrumentador de ensaio em voo, Instrutor no curso de Ensaio em Voo modalidade Instrumentador de Ensaio.

8 Capitão no Instituto de Pesquisa e Ensaio de Voo – IPEV. Engenheiro Mecânico Pela Universidade de Brasília. Adjunto da Subdivisão de Calibração no IPEV. Colaborou com atividades de pesquisa voltados a testes de medição da radiação e dosimetria em a bordo de aeronaves.

9 Doutor em Tecnologia Nuclear – USP. Pesquisador no IEAv. Gerente do projeto ERISA. Graduado em Física pela Faculdade de Ciências Aplicadas de São José dos Campos. Tecnologista Sênior e Supervisor de Radioproteção no Instituto de Estudos Avançados. Credenciado pelo CNEN. Professor de graduação na UNIP e Pós-graduação no Programa de Pós-Graduação em Ciências e Tecnologias Espaciais do ITA. Desenvolve pesquisa na área de medição e monitoramento da radiação atmosférica, técnicas de dosimetria aeroespaciais, dosimetria e termoluminescência aplicadas, simulação da radiação aeroespacial e testes de componentes eletrônicos no campo de radiação.

RESUMO: Medidas e análises da radiação cósmica em voo são uma necessidade para se compreender corretamente o ambiente radioativo aeronáutico no espaço aéreo Brasileiro, missões estas que tem foram possíveis devido aos esforços e parceria entre o Instituto de Estudos Avançados (IEAv) e Instituto de Pesquisa e Ensaio de Voo (IPEV). A importância desta colaboração tem permitido a realização de alguns voos de aproveitamento para a realização de medidas da radiação ionizante presente na atmosfera em regime de voo com equipamentos sensíveis a radiação e aplicados para medições em aeronaves. As medidas possibilitam estudar o comportamento do campo da radiação no espaço aéreo brasileiro uma vez que este campo de radiação é complexo, possuindo variações no seu fluxo e espectro de energia, não sendo, portanto, trivial de se determinar. Equipamentos eletrônicos a bordo de aeronaves estão sujeitos a diferentes níveis de radiação que dependem da localização geomagnética, altitude e clima solar. Este trabalho apresenta a comparação do fluxo de partículas encontrado durante um voo, obtido experimentalmente e por meio de simulação computacional. Os dados experimentais foram obtidos pelo espectrômetro de LET Liulin-6B em voo e os resultados da simulação correspondem aos dados obtidos pelo código computacional EXPACS, que fornece o espectro atmosférico de partículas para diferentes posições geográficas e altitudes desejadas. Este trabalho também observou, durante o período de medidas em voo, os índices magnéticos k_{sa} , que indicam o grau de perturbação do campo magnético. Também foram comparados aos resultados os dados de monitoramento da radiação em solo, utilizando dados de estações experimentais da rede de monitoramento de nêutrons em solo da estação de Newark (EUA).

Palavras Chave: Ensaio em Voo. Radiação Ionizante. Espaço Aéreo Brasileiro.

Results and Discussions on Ionizing Radiation Measures in Flight Under Brazilian Airspace

ABSTRACT: Measurements and analysis of cosmic radiation in flight are a necessity to properly understand the aeronautical radioactive environment in Brazilian airspace missions these which has been possible due to the efforts and partnership between the Instituto de Estudos Avançados (IEAv) and Instituto de Pesquisa e Ensaio de Voo (IPEV). The importance of this collaboration has allowed the realization of some flights of use for the realization of measurements of the ionizing radiation present in the atmosphere in flight regime with equipment sensible to the radiation and applied for measurements in aircraft. The measurements make it possible to study the behaviour of the radiation field in Brazilian air space since this field of radiation is complex, having variations in its flow and energy spectrum, and is therefore not trivial to determine. Electronic equipment aboard aircraft is subject to different levels of radiation depending on geomagnetic location, altitude and solar climate. This work presents the comparison of the flow of particles found during a flight, obtained experimentally and by means of computational simulation. The experimental data were obtained by Liulin LET-6B spectrometer flight and simulation results correspond to the data obtained by EXPACS computer code that provides spectrum atmospheric particles to different geographical positions and desired altitudes. This work also observed, during the period of measurements in flight, the magnetic indices ksa, which indicate the degree of perturbation of the magnetic field. We also compared the soil radiation monitoring data, using data from experimental stations of the neutron monitoring network at the Newark station.

Key words: In-Flight Test. Ionizing Radiation. Brazilian Airspace.

Citação: Fortes, MAB, Prado, ACM, Santos, HFS, Caprecci, MB, Pereira, HHC, Silva, CM, Viegas, GC, Federico, CA. (2017) Resultados e Discussões sobre Medidas da Radiação Ionizante em Voo Sob o Espaço Aéreo Brasileiro. *Revista Conexão Sipaer*, Vol. 8, No. 2, pp. 132-141.

1 INTRODUÇÃO

A radiação de origem cósmica interage com as partículas constituintes da atmosfera através de processos de interações nucleares e Coulombiana. Estes processos produzem uma cascata de radiação atmosférica em que partículas secundárias compostas por nêutrons, prótons, múons, elétrons, fótons, entre outras, tem diferentes energias e intensidades. As condições desse ambiente atmosférico podem afetar tanto o ser humano quanto dispositivos eletrônicos, de forma a até comprometer a segurança de voo (DYER; TRUSCOTT, 1999; MERTENS et al., 2009; TAKADA et al., 2012).

Alguns trabalhos de mitigação levam em consideração o risco oferecido a aeronavegabilidade avaliando sistemas aviônicos como Investigation Report de 2011 (AO-2008-070) citados nas International Electrotechnical Commission (IEC) relacionados a efeitos da radiação atmosférica (IEC, 2008a).

1.1 Anomalia Magnética do Atlântico Sul (AMAS)

O campo magnético terrestre funciona como uma região de aprisionamento das partículas provenientes do vento solar, partículas carregadas de ejeção de massa coronal solar, entre outras partículas oriundas do meio galáctico. Porém o campo magnético não é uniforme e sofre variações de intensidade ocasionando períodos denominados como tempestades magnéticas.

Na região do campo próxima do Brasil o campo é defletido, denominado esta região como AMAS que é foco de estudos de muitos trabalhos científicos (BATTISTON, 2014; FEDERICO et al., 2010).

1.2 Índice Magnetômetro

O índice k quantifica o grau de variação da componente horizontal (H) do campo magnético terrestre em que pode assumir entre 0 – 9. Quando o índice se comporta entre 0 e 5- pode-se considerar que o campo magnético está calmo e índices maiores que 5 são considerados distúrbios intensos na componente H que indica tempestades geomagnéticas. Suas observações são realizadas através de magnetômetros. Os índices são gerados a cada 3 horas caracterizando um período referente ao comportamento do campo magnético. Na América do Sul existe uma rede de magnetômetros que estão sob influência da AMAS, e geram o índice ksa referente a rede que abrange diferentes regiões no Brasil e Argentina. A denominação do ksa é pertinente à classificação do índice k porem considera todos os magnetômetros sustentados pelo programa “Estudo e Monitoramento Brasileiro do Clima Espacial” (EMBRACE) (CHEN et al., 2012; DENARDINI et al., 2013).

1.3 Efeito da Radiação Ionizante em Sistemas Aviônicos

A partícula ao incidir no meio material, dependendo da sua energia e natureza, transfere parte de sua energia ao meio. Além disso a quantidade de energia depositada depende do percurso desenvolvido no meio. À quantidade de energia depositada por unidade de percurso, atribui-se o Coeficiente de Transferência Linear de Energia (do Inglês, Linear Energy Transfer – LET). A unidade usual utilizada é energia (keV) por unidade de comprimento (μm) como apresentado na Equação 1.

$$LET = \frac{keV}{\mu m} \quad (1)$$

1.4 Riscos atrelados a sistemas aviônicos

A interação da radiação pode provocar efeitos em componentes ou circuitos eletrônicos, como alterações transitórias ou permanentes dos parâmetros de funcionamento ou falha no sistema (IEC, 2008b; MAURER et al., 2008).

Os efeitos podem ser classificados como cumulativos ou estocástico, no primeiro caso tem-se efeitos devido à Total Ionization Dose (TID) e Displacement Dose (DD). Já no segundo caso tem-se Single Event Effects (SEE) (GONÇALEZ et al., 2012; IEC, 2008a).

O impacto relacionado a segurança de voo são objetos de estudo relacionados a anomalias no comportamento da eletrônica a SEE como apontado por (COOPER, 2012).

1.5 Contextualização do problema

Alguns trabalhos vêm tomando destaque na capacitação e desenvolvimento de técnicas de caracterização e monitoramento do campo de radiação sob o regime de voo, apresentando resultados obtidos sob diferentes condições e patamares de voo e relacionando o espectro de LET das partículas obtidos experimentalmente com dados de estações de monitoramento em solo da radiação cósmica, comportamento do campo magnético, simulação da cascata de radiação, entre outros (FEDERICO, 2011; FEDERICO et al., 2015; FORTES et al., 2015; GETLEY et al., 2010; PAZIANOTTO et al., 2015).

2 METODOLOGIA

Ocorreu um voo em 31/03/2015 com origem no aeroporto do Departamento de Ciência e Tecnologia Aeroespacial localizado em São José dos Campos (SJC) – SP (SBSJ/DCTA) com destino à base Aérea de Brasília – DF (SBBR/BABR) e posterior retorno. A região está sob influência da AMAS onde o campo magnético terrestre sofre deflexão. Foi utilizado o espectrômetro de LET Liulin-6B nesta missão com antena GPS ligado e intervalos de aquisição de 10 segundos. Os tempos de registro são dados em tempo Universal Coordinated Time (UTC) e são discutidos na mesma forma nos resultados.

A decolagem ocorre partindo de SJC as 12:00:00 UTC com pouso realizado em Brasília as 14:15:00 UTC. Posteriormente no retorno ocorre a decolagem partindo de Brasília as 15:25:00 UTC com pouso em SJC as 17:20:00 UTC. Na Figura 1 é ilustrada a rota durante todo o período da missão.

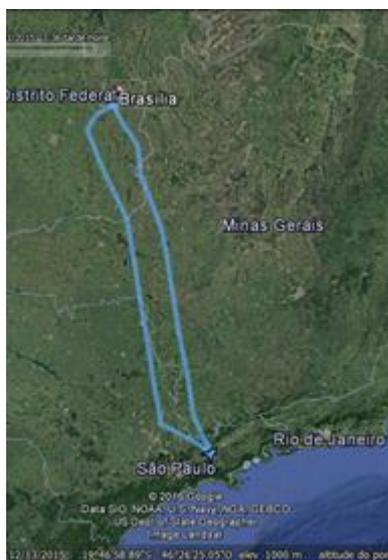


Figura 1: Rota do voo com origem do aeroporto de SJC com destino a Brasília e posterior retorno. Extraído e adaptado de GOOGLE (2015).

Foi utilizado o espectrômetro de LET (Liulin-6) para medir o fluxo de partículas e estudar o comportamento de LET das partículas durante o regime de voo. A faixa de fluxo detectável pelo Liulin-6B é de 0,01 – 1250 partículas/cm².s, já a faixa de LET é de 0,135 – 69,4 keV/μ e a faixa de dose depositada é de 0,093 nGy – 1,56 μGy. O número de canais de detecção é de 256, como a faixa de energia que uma partícula para perder para o detector é de 0,0407 – 20,83 MeV, logo no primeiro canal pode ser perdido 0,0407 MeV e como é conhecido que a detecção de energia por canal é uma função linear, logo no ultimo canal, isto é, no canal 256 a partícula terá que perder 20,83 MeV para ser contada. Assim o coeficiente linear (a_i) oferece a informação de energia perdida pela partícula por canal que foi detectado sendo no valor de 0,081208 MeV/canal, em que os canais são contados de 0 – 256, logo existem 255 intervalos de detecção (Equação 1) (DACHEV et al., 2002, 2011).

$$a_i = \frac{20,83 - 0,0407}{255} = \frac{20,7893}{255} \cong 0,081526 \text{ MeV} \quad (2)$$

Foram realizadas simulações através do software EXPACS para avaliar a contribuição de nêutrons, prótons, múons, elétrons e fótons na atmosfera sob as condições de voo a fim de realizar comparações do perfil temporal do fluxo de partículas com os dados obtidos pela simulação.

As estimativas de simulação dos fluxos de partículas foram realizadas por meio do código EXPACS para diferentes altitudes, longitudes e latitudes ao longo da rota de voo apresentada na Figura 1, com potencial solar de 683 MeV, obtido de (FAA, 2017). Foi considerado a atmosfera livre nos resultados das simulações. Um espectro típico pode ser observado pela Figura 2 que foi considerado para uma condição de voo de cruzeiro. O código é capaz de oferecer resultados para nêutrons de baixas energias (nêutrons térmicos) e para outras partículas a partir de 1 MeV (SATO, 2016).

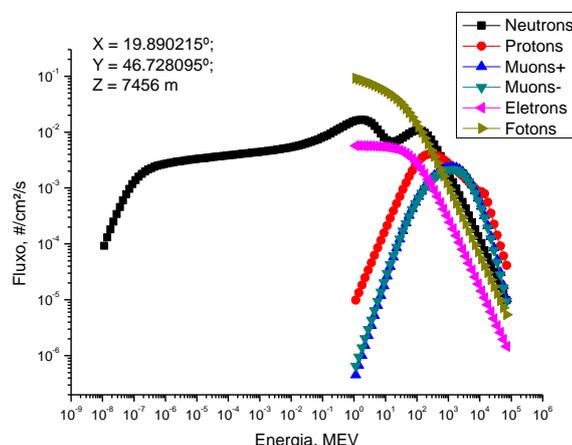


Figura 2: Espectro de fluxo de partículas e suas energias para uma condição de voo. Resultado de simulação no EXPACS.

Foram comparadas medidas de monitoramento em solo da estação de Newark (EUA) durante o período da missão a fim de observar alguma variação do fluxo de raios cósmicos atmosféricos em uma estação em solo e comparar com as medidas durante o período de voo.

Também foram utilizados os índices ksa, que podem oferecer informações do comportamento do campo magnético em solo, segundo os dados das estações espalhadas pela América do Sul. Os índices são mantidos e foram fornecidos através do portal EMBRACE (EMBRACE, 2017).

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Durante a primeira etapa da missão (Figura 3) a aeronave permaneceu durante dois patamares de voo sendo o primeiro mantido próximo a 7800 m logo depois sobe para 8440 m e no voo de retorno de Brasília para SJG o patamar de voo de cruzeiro permaneceu em torno de 7460 m. Na Figura é apresentado o perfil de fluxo de partículas detectadas pelo Liulin-6B onde pode ser observado que a dependência do aumento do fluxo de partículas com a altitude. Na Figura 3 foi realizado um smoothing aos dados experimentais, de forma a facilitar a observação de comportamentos.

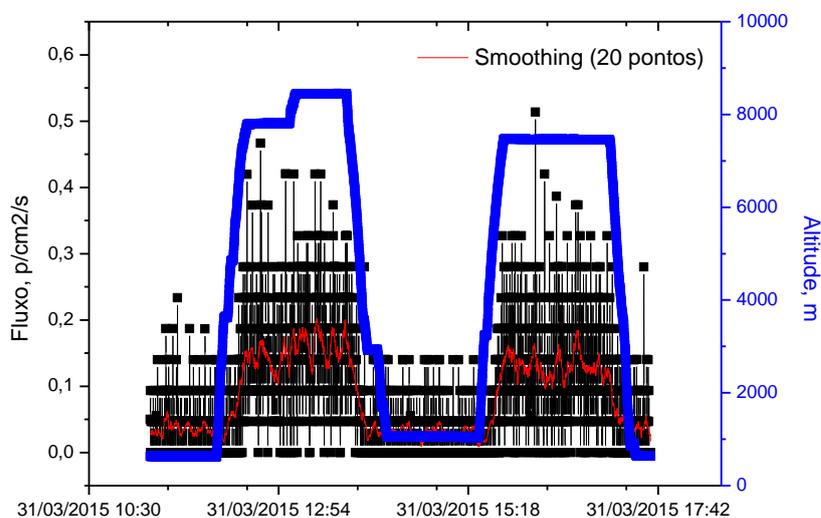


Figura 3: Perfil de voo e fluxo de partículas dependentes do tempo.

Pode ser observado na Figura 3 o comportamento do fluxo de partículas considerando a altitude nas duas etapas da missão. Observa que em houve um aumento do fluxo de partículas detectadas em ambas as etapas de voos. Porém no voo de volta o fluxo de partícula mostrou-se elevado para a altitude próxima de 3500 m para SJC com destino a Brasília ao passo que no voo de Brasília com destino a SJC ganha destaque para a altitude de 7448 m onde o fluxo aumenta ultrapassando o fluxo encontrado para maiores altitudes.

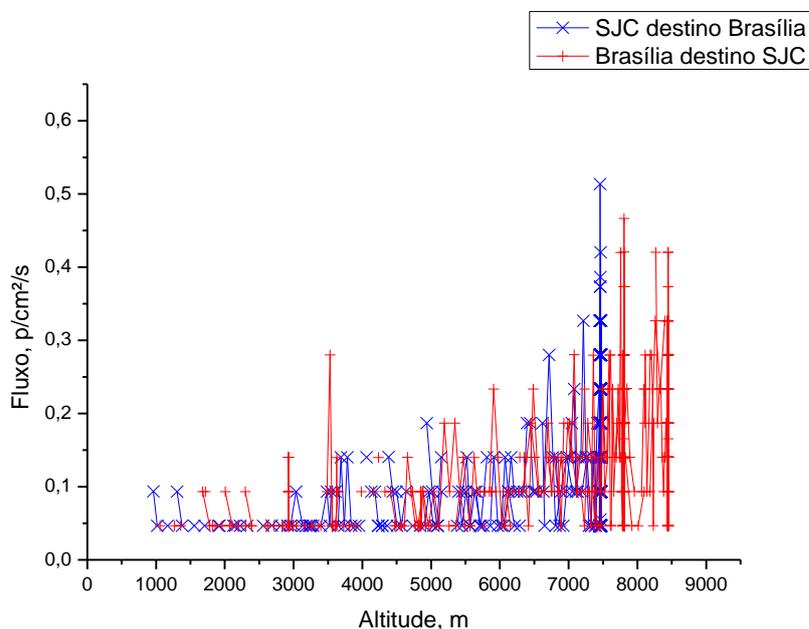


Figura 4: Fluxo de partículas vs altitude.

Nos dados de nêutrons da estação de Newark – EUA (Figura 5) pode ser observado que para o período correspondente ao voo com origem de SJC para Brasília há pequeno aumento do fluxo de nêutrons ao passo que para o período de retorno (Brasília - SJC) ocorre uma queda no fluxo. Comparando o comportamento do fluxo de partículas (Figura 1) observa-se que o segundo período da missão (Brasília - SJC) são atingidos os mais altos valores durante toda missão. Ao passo que na primeira fase, o fluxo de nêutrons é maior e o fluxo de partículas indica ser menor em comparação a segunda fase da missão. Uma média dos pontos vizinhos (Smoothing) foi realizada para evidenciar a variação do fluxo de nêutrons da estação considerando 100 pontos vizinhos.

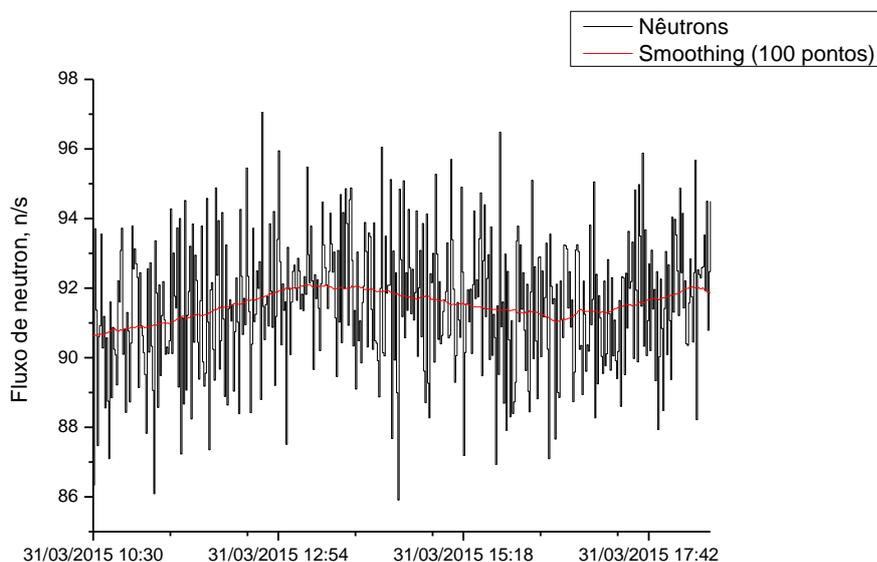


Figura 5: Fluxo de nêutrons da estação de Newark – EUA.

Durante o todo o período da missão o campo magnético manteve caracterizado como calmo (3+) como pode ser observado pela Figura 6, de maneira que não é esperado que seja um parâmetro significativo em relação a variação do fluxo de partículas incidentes na atmosfera bem como a composição e intensidade da cascata de radiação.

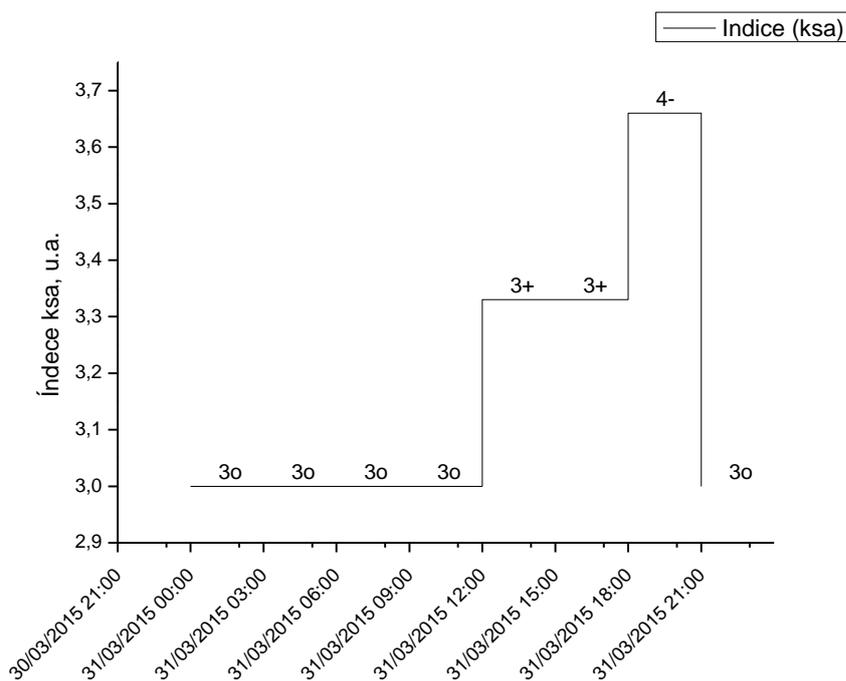


Figura 6: Índice ksa durante o período completo da missão.

Na Figura 7 é apresentado o perfil do voo onde podem ser observadas diferentes latitudes de cruzeiro, sempre da região inseridas sob o campo da AMAS.

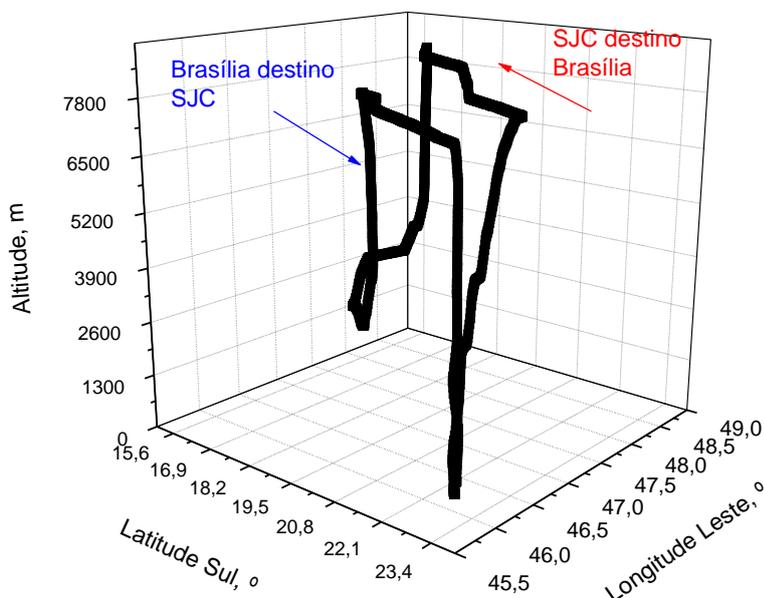


Figura 7: Perfil do voo com origem de SJC e destino a Brasília com posterior retorno.

Pode ser observado na Figura 8 que com o aumento da altitude há contagens nos canais mais altos, o que indica a presença de partículas de maior LET. Entre as altitudes de 4000 a 6000m não são observadas contagens expressivas pois a aeronave está sob o regime de decolagem ou pouso (Figura 3). Observa-se a presença de contagens próximas até o canal 60, para as altitudes entre 2000 e 3000m. Este resultado é devido ao patamar de altitude intermediário percorrido antes do pouso no aeroporto de Brasília.

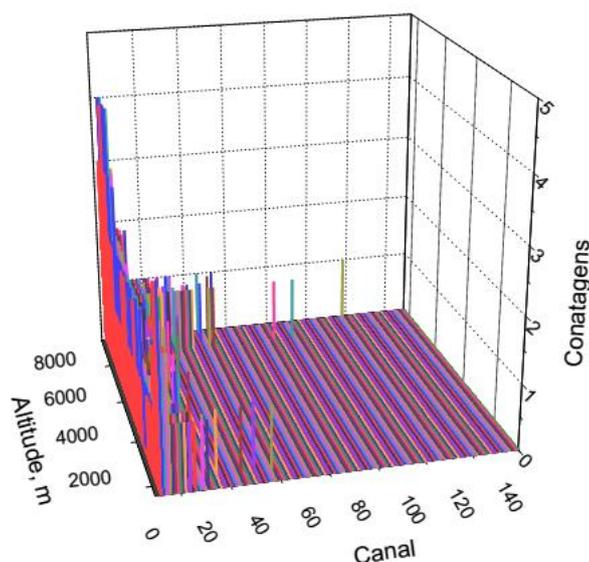


Figura 8: Espectro de contagens de canais dependente da altitude.

Na Figura 9 é observada a dependência de contagens nos canais no tempo de missão. Pode ser observado que partículas de maior LET são detectadas entre dois períodos da missão, sendo elas entre ~12:30 as 13:45 UTC e sem seguida entre ~ 15:40 as 17:00 UTC. A presença de partículas de maior LET é maior na primeira fase da missão em altitude próxima a 8000 m como observado pela Figura 3 em que é identificado ~ 13:05 as 13:45 UTC durante o voo (Figura 2).

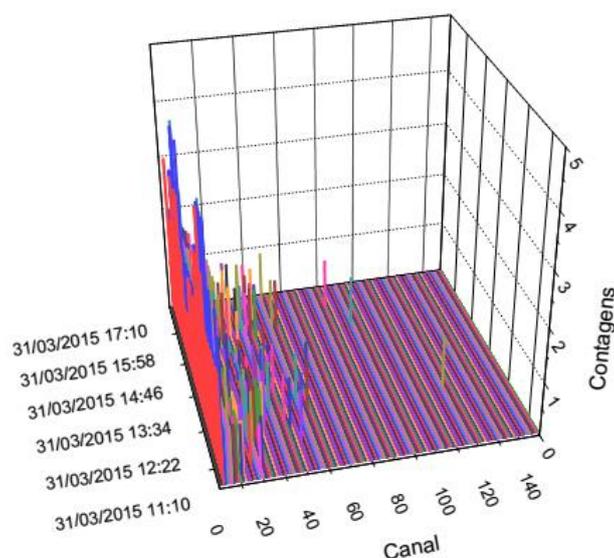


Figura 9: Espectro de contagens de canais dependente do tempo de missão.

As simulações dos fluxos de partículas foram realizadas para 18 pontos durante o voo (PV), determinados durante o regime de voo de cruzeiro (posições extraídas da Figura 7). São apresentadas na Tabela 1 as posições utilizadas na simulação com o código EXPACS.

PV	Lat (°)	Long(°)	Alt(m)
1	22.65455	46.86961	7782
2	21.75135	47.13075	7803
3	21.12169	47.23274	7811
4	20.48986	47.34612	7809
5	20.31722	47.37657	8205
6	19.93741	47.44214	8449
7	19.1969	47.56668	8444
8	18.60445	47.67319	8448
9	17.7969	48.01395	8449

10	16.78455	47.55158	7467
11	17.19969	47.44335	7473
12	17.15461	47.44816	7471
13	17.71516	47.32715	7467
14	18.99514	46.8826	7463
15	19.89022	46.7281	7456
16	20.74212	46.57781	7454
17	21.81462	46.35705	7452
18	22.30454	46.27556	7399

Tabela 1: Posição das aeronaves simuladas durante o voo em regime de cruzeiro.

Pode ser observado na Figura 10 que para nêutrons, fótons e elétrons, as energias médias apresentam comportamento de aumento com a latitude de voo, produzindo uma curva ascendente de 1 a 4 e descendente de 10 a 18. A região compreendida entre os PVs de 5 a 9 claramente destoa do comportamento geral devido a um aumento na altitude de voo ocorrido nesse trecho da rota. No caso dos múons para os PVs de 5 a 9, observa-se na mesma figura, um comportamento inverso, indicando uma diminuição da energia média com o aumento da altitude de voo.

Não foram observadas variações nas energias médias no caso do comportamento dos prótons.

Comparando-se a Figura 9 com a Figura 10, pode observar que existe uma concordância entre regiões em que ocorreram detecção de mais alto LET (canais mais altos) com aquelas regiões cujas energias médias de nêutrons, elétrons e fótons são mais elevadas.

A (IEC, 2006, 2008a, 2008b) nos termos considera eventos de SEE e SEU observáveis para nêutrons de alta energia (acima de 10 MeV e nêutrons térmicos). Considerando que a taxa de ocorrência de eventos (SEE ou SEU).

Conforme a tecnologia de fabricação a eletrônica pode se tornar mais susceptível a eventos de SEE, sendo que, para tecnologias mais modernas vem se tornado maior a susceptibilidade de para anomalia do comportamento. Trabalhos vem tomando destaque em relação a observações de anomalias, no comportamento de dispositivos eletrônicos, relacionado as partículas com LET menor à tecnologia de fabricação (FACCIO et al., 1999; HEIDEL et al., 2009).

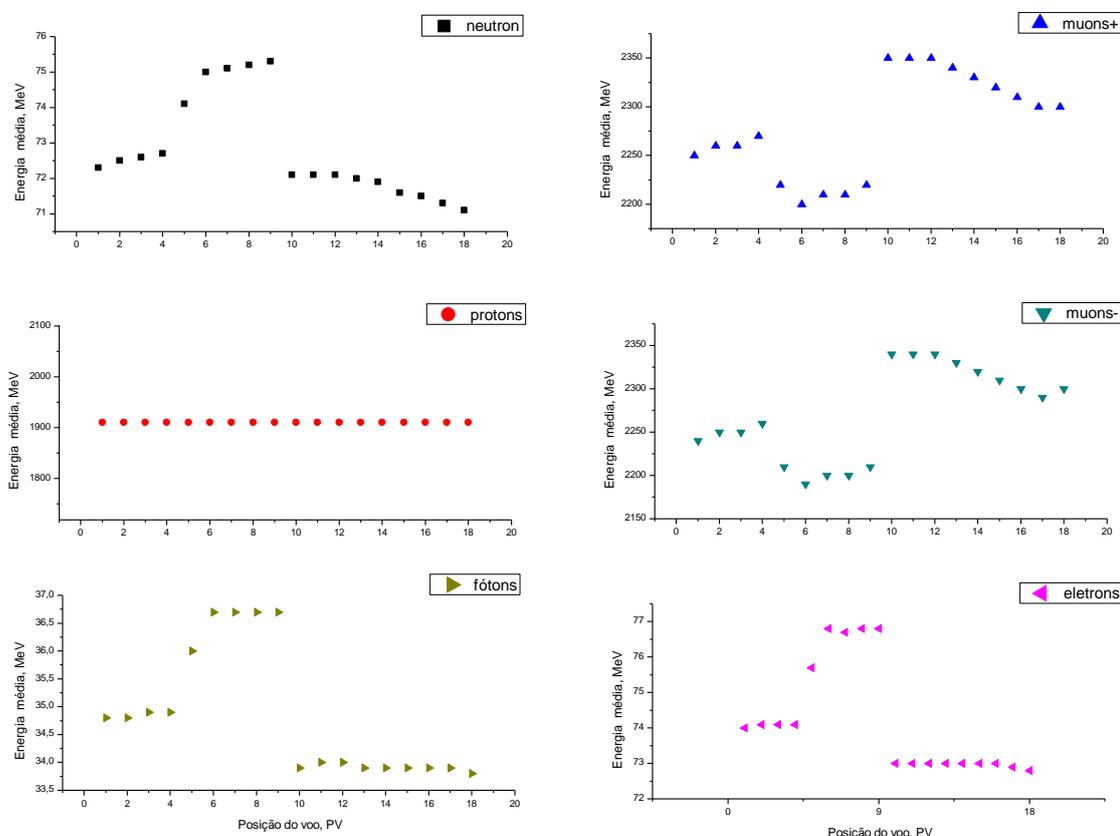


Figura 10: Energia média ponderada pelo fluxo, simuladas no EXPACS, para diferentes PVs.

4 CONCLUSÕES

Durante o voo realizado no dia 31/03/2015 com origem no aeroporto de São José dos Campos com destino a Base Aérea de Brasília foram observadas diferenças no comportamento do fluxo de partículas utilizando um espectrômetro de LET (Liulin-6B). Através dos resultados obtidos pode-se verificar o aumento na detecção de partículas de mais alto LET com o aumento da altitude, o que indica que a eletrônica passa a sofrer efeitos de partículas incidentes com maior deposição de energia em relação àqueles àquelas incidentes ao nível do solo.

Observou-se também que através dos dados de monitoramento da estação em solo de nêutron em Newark – USA pode-se indicar uma anti-correlação no comportamento entre o fluxo de nêutron em relação à detecção em patamar de voo para próximas altitudes.

O índice geomagnético ksa manteve-se constante e com valores baixos (até 3+) o que indica que não houve a presença de tempestades geomagnéticas durante a missão, o que descarta este fator como um dos possíveis fatores responsáveis pela variação da composição do espectro com a posição da aeronave durante o período da missão.

Por meio das simulações foi possível observar que a aeronave atravessa diferentes campos de radiação tanto em intensidade quanto energia.

Através da comparação entre simulação realizada no EXPACS e do espectro de partículas por canais (Figura 9), observou-se uma concordância entre o comportamento das contagens experimentais obtidas pelo espectrômetro de LET (Liulin-6B) e o comportamento esperado obtido com base nas simulações.

Conforme o fluxo de partículas medido e de acordo com o campo de radiação que a aeronave está inserida, toma-se a tenção para o aumento do risco a aeronavegabilidade em relação a susceptibilidade de novas eletrônicas poderem apresentaram anomalias no seu comportamento em regime de voo devido ao fluxo incidente de partículas frente a tecnologia de fabricação.

AGRADECIMENTOS

Os autores a colaboração com o Instituto de Ensaio de Voo (IPEV) pelo voo de aproveitamento que tornou este trabalho possível, ao INPE/EMBRACE pelo fornecimento dos índices magnetômetros ksa e também a Universidade de Delaware (USA) pelos dados da estação de monitoramento de nêutrons em solo em Newark. Agradecimento especial ao CNPq que sustenta o projeto ERISA ao qual este trabalho tornou-se possível

REFERÊNCIAS

- BATTISTON, R. Cosmic ray physics in space: from fundamental physics to applications. **Rend. Fis. Acc. Lincei**, v. 25, n. 1, p. 97–105, 2014.
- CHEN, S. S. et al. Relação entre a variação na componente H do campo geomagnético e o índice K local para as estações da Rede EMBRACE de Magnetômetros. In: XXIV Salão de Iniciação Científica da UFRGS. **Repositório digital (LUME)**... 2012.
- COOPER, N. G. **The Invisible Nêutron Threat**. Disponível em: <http://www.lanl.gov/science/NSS/issue1_2012/story4full.shtml>. Acesso em: 23 jun. 2017.
- DACHEV, T. et al. Calibration results obtained with Liulin-4 type dosimeters. **Advances in Space Research**, v. 30, n. 4, p. 917–925, 2002.
- DACHEV, T. et al. Liulin-type spectrometry-dosimetry instruments. **Radiation Protection Dosimetry**, v. 144, n. 1, p. 675–679, 2011.
- DENARDINI, C. M. et al. The South American K Index : Initial Steps from the Embrace Magnetometer Network. In: 13^o International Congress of the Brazilian GEophysical Society. **Anais...**Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Geofísica, 2013.
- DYER, C. S. U.; TRUSCOTT, P. R. Cosmic radiation effects on avionics. **Microprocessors and Microsystems**, v. 22, n. September 1998, p. 477–483, 1999.
- EMBRACE. Estudo e Monitoramento Brasileiro de Clima Espacial (EMBRACE). Disponível em: <<http://www2.inpe.br/climaespacial/portal/pt/>>. Acesso em: 27 abr. 2017.
- ESTADOS UNIDOS. Department of Transportation. Federal Aviation Administration. **Heliocentric Potential**. Disponível em: <https://www.faa.gov/data_research/research/med_humanfacs/aeromedical/radiobiology/heliocentric/>. Acesso em: 27 abr. 2017.
- FACCIO, F. et al. Single event effects in static and dynamic registers in a 0.25 μm CMOS technology. **IEEE Transactions on Nuclear Science**, v. 46, n. 6, p. 1434–1439, 1999.
- FEDERICO, C. A. et al. Neutron spectra measurements in the south Atlantic anomaly region. **Radiation Measurements**, v. 45, n. 10, p. 1526–1528, 2010.
- FEDERICO, C. A. **Dosimetria da radiação cósmica no interior de aeronaves no espaço aéreo brasileiro**. São Paulo, Brasil: Instituto Nacional de Energia Nuclear, 2011.

- FEDERICO, C. A. et al. Radiation measurements onboard aircraft in the south Atlantic region. **Radiation Measurements**, v. 82, p. 14–20, 2015.
- FORTES, M. A. B. et al. Ensaio de medição da Radiação Ionizante em Voo. In: 8º Simpósio de Segurança de Voo (SSV 2015), **Anais...** n. 8, p. 826–868, 2015.
- GETLEY, I. L. et al. Evaluation of new cosmic radiation monitors designed for aircrew exposure assessment. **Space Weather**, v. 8, n. 1, p. S01001, 2010.
- GONÇALEZ, O. L. et al. Qualification of electronic components with respect to the cosmic radiation tolerance for space application. In: 4th Workshop sobre os efeitos da radiação ionizante em componentes eletrônicos e fônicos de uso aeroespacial. **Anais...**São José dos Campos: 2012
- HEIDEL, D. F. et al. Single-event upsets and multiple-bit upsets on a 45 nm SOI SRAM. **IEEE Transactions on Nuclear Science**, v. 56, n. 6, p. 3499–3504, 2009.
- INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION (IEC). **IEC/TS 62396-1**, v. 1, p. 1–64, 2006.
- INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION (IEC). **IEC/TS 62396-2**, v. 1, p. 1–32, 2008a.
- INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION (IEC). **IEC/TS 62396-3**, v. 1, p. 1–30, 2008b.
- MAURER, R. H. et al. Harsh Environments: Space Radiation Environment, Effects, and Mitigation. **Johns Hopkins APL Technical Digest**, v. 28, n. 1, p. 17–29, 2008.
- MERTENS, C. J. et al. Aircraft radiation exposure during a high-energy solar energetic particle event in October 2003. **Space Weather**, v. 8, n. October, p. 1–9, 2009.
- PAZIANOTTO, M. T. et al. Determination of the cosmic-ray-induced neutron flux and ambient dose equivalent at flight altitude. **Journal of Physics: Conference Series**, v. 630, n. 12022, p. 2–9, 2015.
- SATO, T. Analytical model for estimating the zenith angle dependence of terrestrial cosmic ray fluxes. **PLoS ONE**, v. 11, n. 8, p. 1–22, 2016.
- TAKADA, M. et al. Measuring cosmic-ray exposure in aircraft using real-time personal dosimeters. **Radiation Protection Dosimetry**, v. 149, n. 2, p. 169–176, 2012.
- Google Maps. Localização entre São José dos Campos e Brasília. Disponível em <http://www.google.com.br/maps> Acessado em 27 de abril de 2015.