

Estimativa de Doses Radiológicas em Aeronaves Expostas a Plumões Radioativos

Felipe L. Frigi, Ranulfo S. Dias, Jonathan A. Lapa, Gustavo G. Souza, Thiago A. Carmo, Guilherme G. Santana, Edson R. Andrade, Claudio A. Federico, Maurício T. Pazianotto.

frigi@ita.br, jonathanjal@ita.br, gustavodagamasouza@gmail.com, ranulfo143@gmail.com, thiagocarmo@ita.br, guilhermeggs@ita.br - Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA), São José dos CamposSP, Brasil
 fisicadna@gmail.com, claudiofedericocaf@fab.mil.br - Instituto de Estudos Avançados (IEAv), São José dos Campos-SP, Brasil

Resumo — Acidentes nucleares ou a detonação de dispositivos radiativos podem liberar material radioativo na atmosfera, expondo aeronaves em voo à pluma radioativa durante a decolagem ou pouso. Tais eventos estão dentro do espectro de DQBRN (Defesa Química, Biológica, Radiológica e Nuclear), onde informações sobre doses de radiação nesse ambiente são essenciais para apoiar decisões e seguir os critérios ALARA (As Low As Reasonably Achievable). Este estudo avalia as doses externas resultantes da contaminação superficial de uma aeronave que atravessou uma pluma radioativa, utilizando simulações computacionais. A metodologia envolve a modelagem da aeronave e o uso de fontes de geometria planar e pontual para representar as superfícies contaminadas. Os resultados indicam níveis de exposição em diferentes posições ao redor da aeronave, considerando procedimentos de manutenção, reabastecimento ou evacuação. Por fim, os achados deste trabalho fornecem suporte para a tomada de decisões e a oportunidade de revisar a doutrina QBRN, incorporando novos procedimentos.

I. INTRODUÇÃO

Acidentes em usinas nucleares ou detonações de armas nucleares podem liberar material radioativo na atmosfera, expondo aeronaves em voo ou durante decolagem/pouso à pluma radioativa, se enquadrando no espectro de DQBRN [1,2].

Informações sobre as doses de radiação são essenciais para seguir os critérios ALARA (As Low as Reasonably Achievable) e apoiar a tomada de decisões no tráfego aéreo. Medir experimentalmente essas doses é inviável, mas simulações computacionais oferecem uma alternativa. As doses podem ser devidas à exposição externa à pluma, superfícies contaminadas da aeronave e inalação de aerossóis radioativos [2].

Este estudo foca na avaliação das doses externas provenientes da contaminação superficial das aeronaves. Analisamos as taxas de fluência de partículas e radiação das superfícies contaminadas e o impacto na equipe de suporte técnico, além da taxa equivalente de dose ambiente [3]. Os resultados ajudam a desenvolver medidas de proteção, identificando áreas críticas para as atividades da equipe de suporte técnico.

II. METODOLOGIA

Geometria e Distribuição:

- Utilização de geometria planar e pontual para representar superfícies contaminadas de aeronaves.
- Adotada a contribuição de acumulação de superfície de radiação de Kulp e Dick [4].
- Aproximação de primeira ordem com a distribuição isotrópica.

Dados e Radionuclídeos

- Dados de partículas e energias obtidos do programa ARGOS [5].
- Incorporados 13 radionuclídeos com suas respectivas energias de decaimento: Kr-88, Rb-88, Sr-89, Te-132, I-131, I-132, I-133, I-135, Xe-133, Xe-135, Cs-134, Cs-137, Ba-140 [1].

Modelagem Computacional:

- Modelagem da aeronave KC-390 no código PHITS [6], utilizando características, dimensões e massa baseadas em informações públicas [7].
- Abordagem alinhada com metodologias comuns da área [8, 9].
- Pavimento asfáltico considerado para aeronaves em solo, baseado em dados do Compendium of Material Composition Data for Radiation Transport Modeling [10].

Contadores de Fluência:

- Posicionamento estratégica de contadores esféricos para medir a taxa de fluência de fótons primários e secundários.
- Cada contador com raio de 15 cm e volume preenchido com ar da mesma densidade do interior da aeronave [11, 12].
- Contadores de fluência usando o "T-Track reg-mesh" que utiliza definição de fluência proposta por Chilton [13].

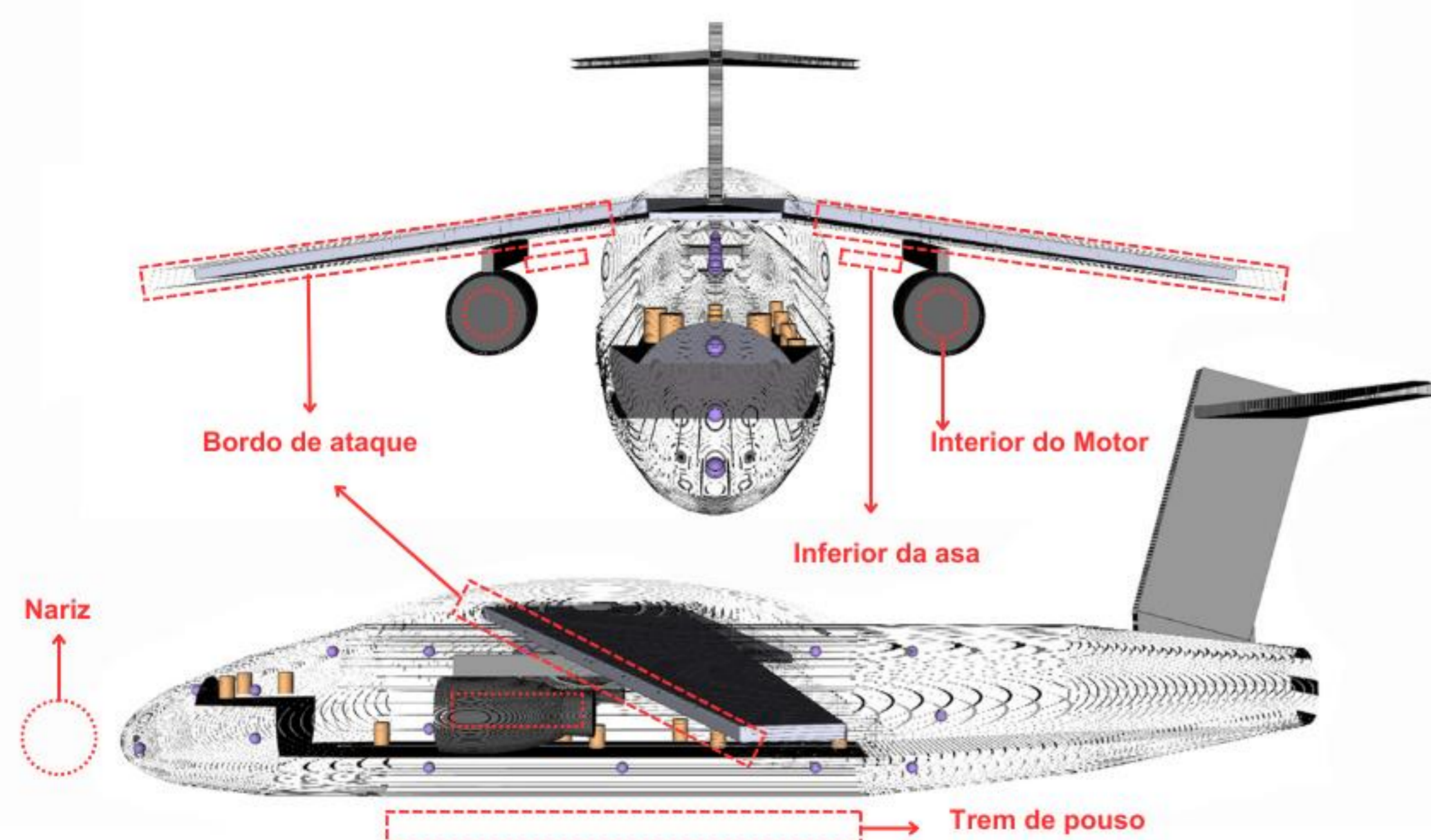


Figura 1 – Geometria da modelagem do KC-390 e posição das fontes de radiação superficiais.

III. RESULTADOS

De acordo com os níveis de contaminação estabelecidos pela AEA (2002) e Brasil (2011), estimamos o $H^*(10)$. Quatro contadores esféricos foram posicionados nas áreas que mais contribuem para as doses recebidas pela equipe técnica da aeronave. A Tabela 1 apresenta as variações das doses conforme a posição: próximo ao nariz da aeronave (1), bordo de ataque da asa (2), motor (3) e cauda da aeronave (4).

Tabela 1 – Taxa equivalente de dose ambiente por nível de contaminação

Nível de Contaminação (Bq/cm ²)	Pos. 1 (Nariz) (μSv/h)	Pos. 2 (Asa) (μSv/h)	Pos.3 (Motor) (μSv/h)	Pos. 4 (Cauda) (μSv/h)
0,3	5,42E-04	2,29E-04	1,77E-03	2,38E-05
3	5,42E-03	2,29E-03	1,77E-02	2,38E-04
4	7,23E-03	3,05E-03	2,36E-02	3,18E-04
10	1,81E-02	7,63E-03	5,89E-02	7,95E-04
30	5,42E-02	2,29E-02	1,77E-01	2,38E-03
40	7,23E-02	3,05E-02	2,36E-01	3,18E-03
300	5,42E-01	2,29E-01	1,77E-00	2,38E-02

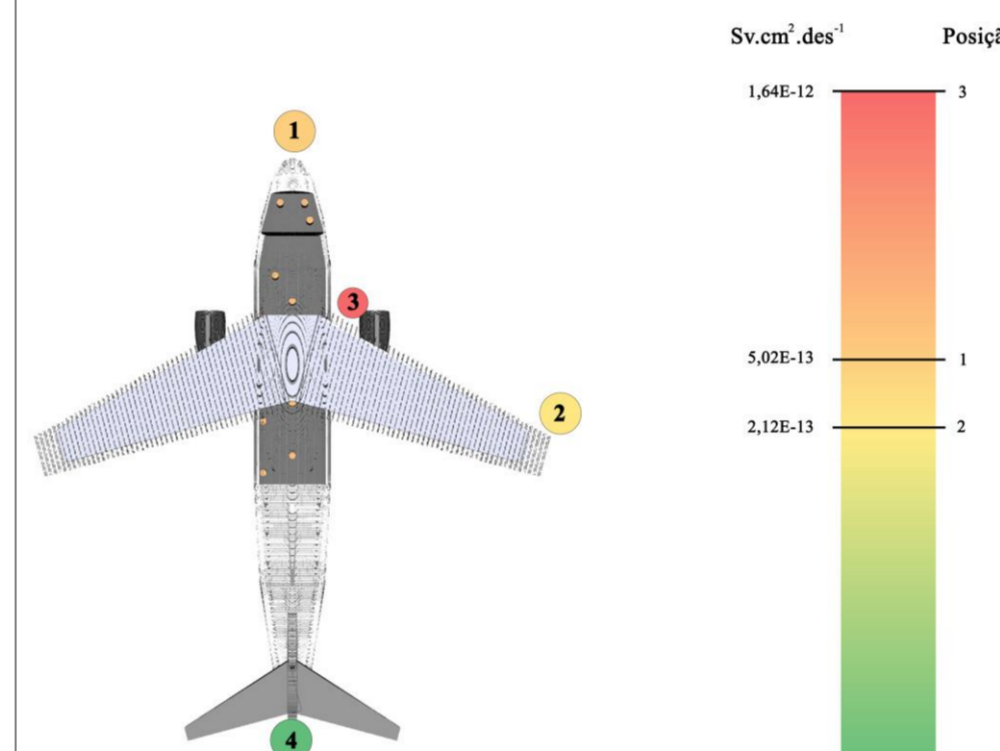


Figura 2 – Posições dos contadores.

erro relativo ≤ 0,8%

IV. CONCLUSÃO

As principais conclusões tiradas destas simulações são descritas abaixo:

- Posições próximas aos motores apresentam as maiores taxas de equivalente de dose ambiente;
- A região traseira da aeronave apresenta as menores taxas de dose após o pouso em comparação com outras áreas;
- As taxas equivalentes de dose ambiente são extremamente baixas (variando de 2,38E-05 a 1,77E-00 μSv/h).

Os resultados indicam a oportunidade de revisão da atual doutrina QBRN, enfatizando a importância de incorporar procedimentos e equipamentos de monitoramento de contaminação à doutrina de monitoramento. Isto é especialmente importante devido à presença de doses baixas que são indetectáveis pelos equipamentos convencionais. Portanto, para garantir o cumprimento dos limites de referência de contaminação e reduzir o risco de contaminação interna, é altamente recomendável a utilização de equipamentos específicos capazes de quantificar essas contaminações.

V. AGRADECIMENTOS

Este estudo foi financiado em parte por:

- Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior Brasil (CAPES) 88887. 628445/2021-00;
- Projeto ERISA-D - Efeitos da Radiação Ionizante em Tripulações, Sistemas Aeroespaciais e Defesa,
- FAPESP (processo nº 2019/13577-0), e também o LAB-CCAM pelo suporte computacional às simulações.

REFERÊNCIAS

- ALVES, D. F. et al. Radiological risk evaluation applied to aerial evacuation procedures in a nuclear scenario.8. Journal of Radiological Protection, v. 42, n. 3, p. 031519, Sept. 2022.
- VARGAS, A. et al. Dose calculations in aircrafts after Fukushima nuclear power plant Accident - Preliminary9. study for aviation operations. Journal Of Environmental Radioactivity, v. 205-206, p. 24-33, set. 2019.
- INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION. Nuclear decay data for dosimetric10. calculations. Annals of the ICRP, v. 38, n. 3, p. 7-96, 2008.
- KULP, J. L.; DICK, J. L The radiation hazard from11. contaminated aircraft. Health Physics Pergamon Press, v. 4, n. 2, p. 133-156, 1960.
- HOE, S. et al. ARGOS decision support system for emergency management. In: INTERNATIONAL CONGRESS OF THE INTERNATIONAL RADIATION12. PROTECTION ASSOCIATION, 12th., 2009, Buenos Aires. Proceedings [...]. Buenos Aires: DTU Orbit, Argentine Radiation Protection Society, 2009.
- SATO, T. et al. Features of Particle and Heavy Ion13. Transport code System (PHITS) version 3.02. Journal of Nuclear Science and Technology, v. 55, n. 6, p. 684-690, 5 Jan. 2018.
- Embraer: Defense & Security, available at <https://defense.embraer.com>
- FERRARI, A.; PELLICIONI, M.; PILLON, M. Fluence to effective dose conversion coefficients for neutrons up to 10 TeV. Radiation Protection Dosimetry, v. 71, n. 3, p. 165-173, 1 Jun.1997.
- PRADO, A. C. M. et al. Investigation of the influence of the position inside a small aircraft on the cosmic-radiation-induced dose. Radiation Protection Dosimetry, v. 176, n. 3, p. 217-225, 23 Jan. 2017.
- DETWILER, R. S. et al. Compendium of material composition data for radiation transport modeling. Oak Ridge: NTIS, 2021.
- Pazianotto, M.T. et al. Extensive air shower Monte Carlo modeling at the ground and aircraft flight altitude in the South Atlantic Magnetic Anomaly and comparison with neutron measurements. Astroparticle Physics 88, 17–29, 2017.
- PRADO, A. C. M. et al. Simulation of Cosmic Radiation Transport Inside Aircraft for Safety Applications. Ieee Transactions On Aerospace And Electronic Systems, v. 56, n. 5, p. 3462-3475, out. 2020.
- CHILTON, A. B. A note on the fluence concept. Health Physics, v. 34, p. 715-716, Jun.1978.