

ASSUNTO/MOTIVO

PÁGINA

1 / 11

**CÁLCULO DA PROBABILIDADE DE IMPACTO DE AERONAVES NA UNIDADE
 ARMAZENAMENTO SUPLEMENTAR DE COMBUSTÍVEIS IRRADIADOS - UFC**

LOCAL/DATE

Rio, 01/10/2014

REDATOR

Lilian Costa/ Bruno Pinho

U.O./TEL.

GSN.T / 7750/7938

REFERENCIA

UFC

CÓDIGO ARQUIVO

NÃO SE APLICA

SUMÁRIO

Nº DE PÁGINAS

11

ANEXOS

0

 (NOS RELATÓRIOS DE REUNIÃO INDICAR, INICIALMENTE, NO SUMÁRIO:
 LOCAL, DATA, COORDENADOR, PARTICIPANTES E DURAÇÃO)

Para ser providenciado

Para conhecimento

Prazos

Uma Instalação Nuclear é considerada adequadamente protegida contra impactos de aeronaves se a probabilidade de um determinado evento, que resulte em conseqüências radiológicas superiores às admitidas pelo 10CRF Part 100, for menor que 10^{-07} acidentes por ano.

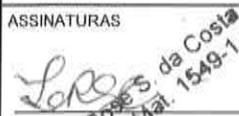
Neste relatório apresentamos o cálculo da probabilidade de impacto de aeronaves na Unidade de Armazenamento Suplementar de Combustíveis Irrradiados (UFC) baseado nos dados obtidos e método de cálculo elaborado para Angra 3, relatório GSN.T009.08 rev1 de 28/04/2009, considerando adicionalmente a proximidade do Heliporto da CNAAA.

Também foi feita uma projeção desta probabilidade em um período de 40 anos, considerando um crescimento de 36% do tráfego aéreo de acordo com os anuários da Empresa Brasileira de Infra-estrutura Aeroportuária - INFRAERO e da Agência Nacional de Aviação Civil - ANAC.

Com os resultados obtidos através destes cálculos e o valor estabelecido no Standard Review Plan, Section 3.5.1-6 Aircraft Hardards (ref. /1/), podemos considerar a Unidade UFC adequadamente protegida.

Nota: O destinatário do presente documento está obrigado a tratá-lo de forma estritamente confidencial. A reprodução e/ou transmissão do mesmo a terceiros, assim como a utilização ou revelação de seu conteúdo parcial ou integralmente são proibidas, a não ser que seja dada uma autorização expressa por escrito para tal. Todos os direitos estão reservados.

ASSINATURAS



Lilian Rosa da Costa
 Engenheira - Mat. 1549-1

AUTOR

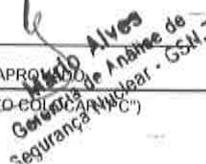


Bruno Estanqueira Pinho
 Engenheiro Mat. 0600-1702-2
 Dir. de Análise de Segurança Nuclear
 GSN.T

VERIFICADO/APROVADO



Celso Neto
 Engenheiro - Mat. 2-102-5



Marcelo Alves
 Gerente de Análise de
 Segurança Nuclear - GSN.T

REV.

DATA

PÁG.

 VERIFICADO/
 APROVADO

DISTRIBUIÇÃO (QUANDO FOR ENCAMINHADO SOMENTE O SUMÁRIO PARA CONHECIMENTO COLETIVO)

SN.T (PC), SC.O, SG.T, SE.T, GLI.G, GEC.T

ÍNDICE

RELATÓRIO	1
1. INTRODUÇÃO.....	3
2. EFEITO DA PROXIMIDADE DE AEROPORTOS E HELIPORTOS.....	3
2.1 MODELOS DE CÁLCULO	3
2.2 ANÁLISES DOS AEROPORTOS E HELIPORTO PRÓXIMOS DA CNAAA	3
3. CÁLCULO DA PROBABILIDADE DE QUEDAS DE HELICÓPTEROS NO UFC.....	5
3.1 MODELO DE CÁLCULO	5
3.2 SIMPLIFICAÇÕES E CONSIDERAÇÕES GERAIS	5
3.2.1 <i>Considerações sobre C_j</i>	5
3.2.2 <i>Considerações sobre A_j</i>	6
4 CÁLCULO DA PROBABILIDADE DE IMPACTO DE AERONAVES PARA O LOCAL DA UFC	6
4.1 CÁLCULO DA ÁREA EFETIVA DA UFC (A_j)	6
4.2 CONTRIBUIÇÃO DAS AEROVIAS	9
4.3 DETERMINAÇÃO DA PROBABILIDADE DE IMPACTO	9
5 ANÁLISE DA TENDÊNCIA DE CRESCIMENTO DO TRÁFEGO AÉREO.....	10
6. CONCLUSÕES.....	11
7. REFERÊNCIAS	11

1. INTRODUÇÃO

Para o modelo de cálculo da probabilidade de impacto de aeronaves na Unidade UFC serão consideradas a proximidade dos aeroportos, heliportos, e as rotas aéreas sobre o UFC, um ângulo de impacto de 20° conforme proposto no WASH-1400/Reactor Safety Study (ref. /3/).

Nosso objetivo é mostrar que o modelo de cálculo apresentado contempla as expectativas consideradas seguras, conforme o Standard Review Plan (ref. /1/).

O cálculo desta probabilidade é feito segundo os modelos descritos abaixo, conforme o relatório GSN.T009.08 rev1(ref. /6/) de 28/04/2009 elaborado anteriormente para Angra 3.

2. EFEITO DA PROXIMIDADE DE AEROPORTOS E HELIPORTOS

2.1 Modelos de Cálculo

Conforme a ref./1/, a probabilidade de queda de aeronaves deverá ser determinada para aeroportos situados próximos da instalação nuclear se:

- a) O aeroporto estiver localizado dentro de um raio de 5 milhas (8km) da instalação nuclear;
 - b) O aeroporto estiver localizado dentro de um raio de 10 milhas (16km) da instalação nuclear, com um número de operações anuais (ou previsto) maior do que $500 d^2$;
 - c) O aeroporto estiver situado num raio maior que 10 milhas da instalação nuclear, com um número de operações anuais (ou previsto) maior do que $1000 d^2$.
- onde d é a distância do aeroporto a instalação nuclear.

2.2 Análises dos Aeroportos e Heliporto próximos da CNAAA

As informações apresentadas na tabela 1 foram obtidas do Comando da aeronáutica, terceiro comando aéreo regional e ANAC (ref. /2/).

De acordo com esta tabela, os aeroportos de Angra dos Reis, Resende e Volta Redonda são os mais próximos da Unidade UFC, estão situados a cerca de 9,32 milhas (15km) e 37,28 milhas (60km) e 43,49 milhas (70km) respectivamente. O movimento mínimo diário de operações conforme o item 2.1 deve ser:

- Angra: $500 \times (9,32055)^2 / 365 = 119$ movimentos/dia
- Resende: $1000 \times (37,2822)^2 / 365 = 3808$ movimentos/dia
- Volta Redonda: $1000 \times (43,49)^2 / 365 \approx 5181$ movimentos/dia

Os órgãos competentes não contabilizam o movimento para estes aeroportos por se tratar de baixíssimos movimentos. Desta forma, como estes aeroportos não atingem o número mínimo de operações por dia, 119 para o de Angra dos Reis, 3808 para o de Resende e 5181 para o de Volta Redonda, eles serão desconsiderados em nossos cálculos.

Para os demais aeroportos listados pode-se notar que nenhum excede o valor máximo definido no item 2.1, ou seja, os valores indicados na coluna "Movimento do ano 2006" da tabela 1 são sempre menores do que os calculados e indicados na coluna "Movimento máximo"; de onde podemos concluir que nenhum dos aeroportos precisa ser considerado em nossos cálculos.

Para o caso do Heliporto da CNAAA, nota-se que o mesmo está com distância abaixo do limite do item 2.1a) o que sinaliza a obrigação de se realizar o cálculo de probabilidade de acidentes com helicóptero.

Dados obtidos da ref. /2/				Calculado conforme ref. /1/
AEROPORTOS/ HELIPORTOS	Distância (km) da CNAAA	Distância (milhas) da CNAAA	Movimento ano 2006	Movimento Máximo admissível
Angra dos Reis	15	9,32055	s/dados	4,34E+04
Resende	60	37,2822	s/dados	1,39E+06
Volta Redonda	70	43,4959	s/dados	1,89E+06
Guaratinguetá	79	49,08823	3,98E+03	2,41E+06
Ubatuba	79	49,08823	7,01E+03	2,41E+06
Santa Cruz	80	49,7096	1,72E+04	2,47E+06
Galeão	111	68,97207	1,16E+05	4,76E+06
Jacarepaguá	113	70,21481	1,06E+05	4,93E+06
Campos dos Afonsos	115	71,45755	1,07E+04	5,11E+06
Santos Dumont	117	72,70029	8,40E+04	5,29E+06
S. José dos Campos	148	91,96276	3,29E+04	8,46E+06
Congonhas - SP	230	142,9151	2,37E+05	2,04E+07
Heliporto da CNAAA	0,174 < 8	0,10812	8 (*)	

Tabela 1 : Dados de aeroportos próximos a CNAAA e do Heliporto da CNAAA

(*) - movimento referente a média de 2011, 2012 e 2013

3. CÁLCULO DA PROBABILIDADE DE QUEDAS DE AERONAVES NO UFC

3.1 Modelo de Cálculo

O cálculo de probabilidade de quedas de aeronaves é feita utilizando-se a seguinte expressão (ref./1/):

$$P = \sum_{i=1}^L \sum_{j=1}^M A_j \times C_j \times N_{ij} \times W_i^{-1} \quad (1)$$

Onde:

- A_j = Área efetiva da instalação em milhas quadradas para o j-ésimo tipo de aeronave.
- C_j = Probabilidade de acidentes por aeronave/milha para o j-ésimo tipo de aeronave.
- N_{ij} = Número anual de aeronaves de j-ésimo tipo trafegando ao longo do i-ésimo corredor aéreo.
- L = Número de rotas aéreas que afetam substancialmente o local.
- M = Número dos diferentes tipos de aeronaves usando as rotas aéreas em consideração
- W_i = Largura do i-ésimo corredor aéreo (mais 2 vezes a distância da borda mais próxima à instalação quando a mesma estiver fora do corredor aéreo) em milhas. Para o cálculo com helicóptero considera-se W_i=1,0 (ref./1/).

3.2 Simplificações e Considerações Gerais

3.2.1 Considerações sobre C_j

Para calcular o impacto de aeronaves através da expressão (1) é necessário conhecer o valor de C_j para cada tipo de aeronave.

A aerovia UW63 apresentou um movimento de 43032 operações no ano de 2006, correspondendo a aproximadamente 118 voos por dia. Considerando que nesta aerovia os pousos e decolagens ficam distantes 117km e 230km respectivamente da usina, fatores estes que trariam a maior contribuição no cálculo do valor de C_j (ref./5), aplicaremos então o mesmo valor de C_j usado para a aerovia UW62.

Por simplificação, o índice M (número de diferentes tipos de aeronaves) será reduzido a 1, utilizando-se então o valor de C₁, de acordo com o Standard Review Plan (ref./1/), é de 4,0x10⁻¹⁰ acidentes/avião x milha. Esse valor foi deduzido da estatística de acidentes nos Estados Unidos. Para o cálculo com helicóptero considera-se C₁=8,4x10⁻⁷ (ref./1/).

Índices de Acidentes oriundos da Aviação Brasileira deveriam ser utilizados, entretanto os mesmos não estão disponíveis.

A utilização destes coeficientes da Aviação dos Estados Unidos como referência deve-se no caso à disponibilidade dos mesmos e ao grande volume de tráfego aéreo, o que torna os dados mais conservativos.

3.2.2 Considerações sobre A_j

Consideramos um ângulo de ataque de 20° conforme proposto no WASH-1400/Reactor Safety Study (ref. /3/). Porém, pelas condições geográficas do local, cercado por montanhas, uma queda de aeronave com este ângulo é praticamente improvável, o que torna essa consideração ainda mais conservativa em nossos cálculos.

4 CÁLCULO DA PROBABILIDADE DE IMPACTO DE AERONAVES PARA O LOCAL DA UFC

A UFC está localizada nas seguintes coordenadas, apresentadas na tabela 2 abaixo:

ETAPA DE IMPLANTAÇÃO DA UNIDADE UFC	VÉRTICES	COORDENADAS UTM Referenciadas à CNAAA		COORDENADAS UTM Referenciadas ao SIRGAS 2000 Origem Estação SAT GPS IBGE 91984	
		N (m)	E (m)	N (m)	E (m)
PRIMEIRA	A	7.455.680,4508	554.726,6682	7.455.669,6977	554.704,9892
	F	7.455.616,2457	554.702,5089	7.455.605,4927	554.680,8299

Tabela 2: coordenadas UTM referenciadas à CNAAA

Segundo a informação da aeronáutica o espaço aéreo sobre as instalações nucleares é classificado como Espaço Aéreo Proibido (SBP), com raio de 2 milhas do solo até 2000 ft de altitude.

4.1 Cálculo da Área Efetiva da UFC (A_j)

O valor efetivo de A_j , ou seja, a área vulnerável inclui a área da sombra projetada pela estrutura da instalação, com ângulos de ataque para diferentes tipos de aeronaves e modos de falha, além de uma área de deslizamento ao redor da Unidade UFC que depende das características da aeronave em questão.

A área efetiva representa a área de superfície no entorno da UFC onde a aeronave poderia colidir, tanto para o impacto direto quanto através do seu deslizamento (considerado apenas para aviões, visto que o deslizamento de um helicóptero, segundo ref./5/ deve ser considerado como zero). A área efetiva depende da largura, comprimento e altura da UFC, envergadura da aeronave, ângulo de ataque e da área de deslizamento. Para a determinação da área efetiva são consideradas duas partes, a área de voo e a área de deslizamento da aeronave.

A área de voo representa a área correspondente ao impacto de voo direto que consiste em duas partes, área de cobertura e área da sombra. A área de cobertura é a área da UFC a qual a aeronave poderia atingir na queda, mesmo se a altura da usina fosse zero. A área de sombra é a área da UFC que a aeronave poderia atingir na sua queda, mas que poderia não acontecer se a altura da UFC fosse zero.

Para este modelo a UFC é representada por um prisma de seção retangular como mostrado na figura 1. Essas considerações tornam uma aproximação conservativa para a área efetiva verdadeira.

As fórmulas para calcular o deslizamento e a queda em voo são mostradas abaixo. A envergadura da aeronave considerada são as de voos comerciais.

$$A_{\text{efetiva}} = A_{\text{voo}} + A_{\text{deslizamento}}$$

E = Envergadura do avião = 35 metros; do helicóptero=15m (ref. /5/);

D = distância do deslizamento para avião = 450 metros; para helicóptero="0"zero" (ref. 5);

$$A_1 = S_1 + S_1'$$

$$A_2 = S_2 + S_2'$$

$$\text{sen}(\theta) = \frac{L}{R}$$

$$\text{sen}(\phi) = \frac{W}{R}$$

$$A_1 = W \cdot E \cdot \text{sen}(\theta) = W \cdot E \cdot \frac{L}{R}$$

$$A_2 = L \cdot E \cdot \text{sen}(\theta) = L \cdot E \cdot \frac{W}{R}$$

$$A_1 + A_2 = 2 \cdot \left(E \cdot \frac{L}{R} \cdot W \right)$$

$$A_3 = S_3 + S_3' = 2 \cdot \frac{E}{2} \cdot H \cdot \cot g(\phi) = E \cdot H \cdot \cot g(\phi)$$

$$A_4 = L \cdot (H \cdot \cot g(\phi)) \cdot \text{sen}(\theta) = L \cdot H \cdot \cot g(\theta) \cdot \frac{L}{R}$$

$$A_4 = \frac{L^2}{R} \cdot H \cdot \cot g(\theta)$$

$$A_5 = W \cdot (H \cdot \cot g(\theta)) \cdot \text{sen}(\phi) = W \cdot H \cdot \cot g(\theta) \cdot \frac{W}{R}$$

$$A_5 = \frac{W^2}{R} \cdot H \cdot \cot g(\theta)$$

$$A_4 + A_5 = \frac{L^2}{R} \cdot H \cdot \cot g(\theta) + \frac{W^2}{R} \cdot H \cdot \cot g(\theta) = H \cdot \cot g(\theta) \cdot \left(\frac{L^2 + W^2}{R} \right)$$

$$\text{Diagonal } R = \sqrt{W^2 + L^2}$$

$$\text{Área do Prédio} = W \cdot L$$

$$\text{Área de deslizamento} = A_D = (R + E) \cdot D$$

$$\text{Área de Voo} = \text{Área prédio} + (A_1 + A_2) + A_3 + (A_4 + A_5)$$

$$A_{\text{voo}} = W \cdot L + 2 \cdot \left(\frac{E \cdot L \cdot W}{R} \right) + E \cdot H \cdot \cot g(\phi) + H \cdot \cot g(\theta) \cdot \left(\frac{L^2 + W^2}{R} \right)$$

$$A_{\text{voo}} = W \cdot L + 2 \cdot \left(\frac{E \cdot L \cdot W}{R} \right) + H \cdot \cot g(\phi) \cdot (E + R)$$

Logo a área efetiva será:

$$A_{ef} = W \cdot L + 2 \cdot E \cdot L \cdot \frac{W}{R} + (E + R) \cdot H \cdot \cot g(\phi) + (R + E) \cdot D$$

Substituindo-se o valor de cada parâmetro na equação acima, o valor aproximado da área efetiva é:

$$A_j \text{ (avião)} \approx 65906,59 \text{ m}^2 \approx 0,02545 \text{ milhas}^2$$

$$A_j \text{ (helicóptero)} \approx 12391,76 \text{ m}^2 \approx 0,00478 \text{ milhas}^2$$

4.2 Contribuição das Aerovias

Segundo as informações obtidas da Aeronáutica ref. /2/, duas aerovias sobrepõem-se ao local da Usina de Angra 3, logo sobre a UFC, devido a proximidade das diversas instalações da CNAAA. As aerovias UW62 e UW63 pertencem ao espaço aéreo superior no sentido São Paulo/Rio. Elas estão distantes 3,8 km e 10,8 km respectivamente do eixo de cada aerovia até a CNAAA.

A tabela 2 apresenta o movimento destas aerovias e a largura do corredor aéreo das mesmas, esta largura é o valor de W_i na equação (1). A contribuição das aerovias é considerada apenas para o cálculo com aviões. Para o cálculo com helicópteros é considerado como sendo igual a "0" (zero).

Aerovia	Operações no ano de 2006	Altitude	W_i
UW62	17.836	12.000-25.000 ft	40 km (~ 25 milhas)
UW63	43.032	9.000-25.000 ft	40 km (~25 milhas)

Tabela 2 – Quadro das aerovias

4.3 Determinação da Probabilidade de Impacto

A Probabilidade de Impacto de aeronaves na UFC, segundo a equação (1), será a soma das contribuições das probabilidades de cada uma das aerovias.

Substituindo-se os dados apresentados abaixo na equação (1), tem-se:

$$A_j = 0,02545 \text{ milhas}^2 \text{ para avião e } 0,00478 \text{ milhas}^2 \text{ para helicópteros}$$

$$C_j = 4 \times 10^{-10} \text{ acidentes/avião x milha e } 8,4 \times 10^{-7} \text{ acidentes/helicóptero x milha}$$

$$N_{ij} = N_{UW62} = 17 \text{ 836 operações por ano}$$

$$N_{ij} = N_{UW63} = 43.032 \text{ operações por ano}$$

$$N_{ij} \text{ (helicóptero)} = 8 \text{ operações por ano}$$

$$W_i = W_{UW62} = W_{UW63} = 25 \text{ milhas para aviões e } =1 \text{ para helicópteros}$$

$$P = \sum_{i=1}^L \sum_{j=1}^M A_j \times C_j \times N_{ij} \times W_i^{-1} \quad (1)$$

Cálculo da probabilidade para avião:

$$P = [(0,02545 \times 4 \times 10^{-10} \times 17.836) / 25] + [(0,02545 \times 4 \times 10^{-10} \times 43.032) / 25]$$

$$P = 1,95 \times 10^{-08} + 5,28 \times 10^{-09}$$

$$P_{\text{avião}} = 2,47 \times 10^{-08} \text{ acidentes/ano}$$

Cálculo da probabilidade para helicóptero:

$$P = [(0,00478 \times 8,4 \times 10^{-7} \times 8) / 1]$$

$$P_{\text{helicóptero}} = 3,22 \times 10^{-08} \text{ acidentes/ano}$$

Somando-se as probabilidades de acidentes de avião e helicóptero, temos:

$$P_{\text{total}} = 5,69 \times 10^{-08} \text{ acidentes/ano}$$

5 ANÁLISE DA TENDÊNCIA DE CRESCIMENTO DO TRÁFEGO AÉREO

Para definir uma tendência de crescimento do tráfego aéreo no Brasil foram avaliados os anuários estatísticos da INFRAERO e ANAC (Agência Nacional de Aviação Civil) e concluído um crescimento de tráfego aéreo, conservativo, de 36% num período de 40 anos, que corresponde a aproximadamente a vida útil da instalação. Este fator não foi aplicado para helicóptero devido a não haver uma tendência de aumento considerando os últimos 3 anos de movimento, que foram iguais a 5 (cinco) em 2011, 4 (quatro) em 2012 e 1 (um) em 2013.

Com base neste percentual foi calculada a probabilidade de impacto de aeronaves resultando em:

$P = 6,58 \times 10^{-08}$ acidentes/ano (valor este que não ultrapassa o valor estipulado na ref./1/).

Aplicando-se este mesmo percentual de 36% como previsão do crescimento do movimento dos aeroportos mencionados na tabela 2 ao longo de 40 anos, podemos constatar que estes valores não ultrapassarão os valores de movimento máximo, para os quais estes aeroportos tenham que ser considerados no cálculo da probabilidade, como pode ser visto na tabela 3.

AEROPORTOS	Movimento de 2006 acrescido de 36%	Movimento máximo 1000xd2
Angra dos Reis	s/dados	4,34E+04
Resende	s/dados	1,39E+06
Volta Redonda	s/dados	1,89E+06
Guaratinguetá	5,42E+03	2,41E+06
Ubatuba	9,54E+03	2,41E+06
Santa Cruz	1,80E+04	2,47E+06
Galeão	1,58E+05	4,76E+06
Jacarepaguá	1,44E+05	4,93E+06
Campos dos Afonsos	1,46E+04	5,11E+06
Santos Dumont	1,14E+05	5,29E+06
S. José dos Campos	4,48E+04	8,46E+06
Congonhas - SP	3,22E+05	2,04E+07

Tabela 3 – Comparação dos dados de movimento nos aeroportos com acréscimo de 36%

6. CONCLUSÕES

Com base no prédio da Instalação da UFC, nos dados disponíveis de aeroportos, do heliporto da CNAAA e das aerovias, nas considerações e simplificações apresentadas acima, a probabilidade do impacto de aeronaves para a UFC obtida é de aproximadamente:

$$P = 5,69 \times 10^{-08} \text{ acidentes/ano}$$

Assumindo as mesmas hipóteses acima e fazendo uma projeção para 40 anos, ou seja, de 36% no crescimento do tráfego aéreo de aviões, a probabilidade alcançada é de:

$$P_{40\text{anos}} = 6,58 \times 10^{-08} \text{ acidentes/ano}$$

Tanto o valor atual quanto o valor da projeção para 40 anos são menores que o indicado na ref./1/, que estabelece uma probabilidade menor que 10^{-07} acidentes/ano, portanto podemos considerar a Unidade da UFC adequadamente protegida.

Vale ressaltar que o Heliporto da CNAAA é utilizado apenas para emergências médicas e recepção de autoridades. O movimento médio dos últimos anos não tem grande variação em relação ao valor utilizado no cálculo, e que a superfície de aproximação e saída dos helicópteros não se sobrepõe a unidade da UFC ou nenhuma outra instalação da CNAAA.

7. REFERÊNCIAS

1. USNRC Standard Review Plan / Section 3.5.1.6 – Aircraft Hazards (Revision 3- March 2007)
2. Carta nº 3/CCO1/32 – Ministério da Defesa – Comando da aeronáutica, DEPARTAMENTO DE CONTROLE DO ESPAÇO AÉREO 07/03/2008
3. USNRC Reactor Safety Study / Appendices III and IV WASH – 1400 (NUREG 75/014)
4. Relatório GAS.T/2/BP/020001 rev. 1 de 09/07/02 - CÁLCULO DA PROBABILIDADE DE IMPACTO DE AERONAVES NA USINA NUCLEAR DE ANGRA 2
5. DOE Standard, Accident analysis for Aircraft Crash into Hazardous Facilities, May 2006
6. Relatório GSN.T 009.08 rev 1 de 28/04/2009 – Cálculo da probabilidade de impacto de aeronaves na Usina Nuclear de Angra 3.