

CENTRO UNIVERSITÁRIO FEI
ABNER YZUMI MACIEL DE ALMEIDA
DANIELE GARCEZ RISSARDI
FELIPE SANTOS DE CARVALHO
PATRÍCIA TIEKO LOPES OKUMA

**IMPLANTAÇÃO DE EMAS EM AEROPORTOS SUJEITOS À EXCURSÃO DE
PISTA POR MEIO DE ANÁLISE DE RISCO**

São Bernardo do Campo

2022

ABNER YZUMI MACIEL DE ALMEIDA

DANIELE GARCEZ RISSARDI

FELIPE SANTOS DE CARVALHO

PATRÍCIA TIEKO LOPES OKUMA

**IMPLANTAÇÃO DE EMAS EM AEROPORTOS SUJEITOS À EXCURSÃO DE
PISTA POR MEIO DE ANÁLISE DE RISCO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Centro Universitário FEI, como parte dos
requisitos necessários para obtenção do título
de Bacharel em Engenharia Civil. Orientado
pelo Prof. Me. Felipe Hernandes Cava.

São Bernardo do Campo

2022

IMPLANTAÇÃO DE EMAS EM AEROPORTOS SUJEITOS À
EXCURSÃO DE PISTA POR MEIO DE ANÁLISE DE RISCO / Abner
Yzumi Almeida...[et al.]. São Bernardo do Campo, 2022.
175 p. : il.

Trabalho de Conclusão de Curso - Centro Universitário FEI.
Orientador: Prof. Me. Felipe Cava.

1. EMAS. 2. Excursão de pista. 3. Overrun. I. Almeida, Abner Yzumi .
II. Rissardi, Daniele. III. Carvalho, Felipe. IV. Okuma, Patrícia Tieko. V.
Cava, Felipe, orient. VI. Título.

Elaborada pelo sistema de geração automática de ficha catalográfica da FEI com os
dados fornecidos pelo(a) autor(a).

ABNER YZUMI MACIEL DE ALMEIDA

DANIELE GARCEZ RISSARDI

FELIPE SANTOS DE CARVALHO

PATRÍCIA TIEKO LOPES OKUMA

**IMPLANTAÇÃO DE EMAS EM AEROPORTOS SUJEITOS À EXCURSÃO DE
PISTA POR MEIO DE ANÁLISE DE RISCO**

Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado
ao Centro Universitário FEI, como parte dos
requisitos necessários para obtenção do título
de Bacharel em Engenharia Civil.

Comissão julgadora

APROVADO

Professor Me. Felipe Hernandez Cava

APROVADO

Professor Me. Fernando Cesar Dias Ribeiro

APROVADO

Professor Dr. Carlos Yukio Suzuki

São Bernardo do Campo

2022

Este trabalho é dedicado ao Centro
Universitário FEI, aos professores, familiares e
amigos que contribuíram com a nossa jornada
pelo Bacharel em Engenharia Civil.

AGRADECIMENTOS

Para este trabalho, a presença e colaboração de algumas pessoas foi fundamental e, por isso, temos muito a agradecê-las.

Em especial, agradecemos aos nossos pais, que sempre nos ajudaram, nos apoiaram e nos ensinaram a ser o que somos.

Agradecemos ao professor Me. Felipe Hernandez Cava, quem nos sugeriu o tema e nos orientou, acompanhando e dando suporte em todas as etapas desse trabalho, sempre da melhor forma, com muita paciência e profissionalismo.

Agradecemos aos membros da banca, professor Me. Fernando Cesar Dias Ribeiro e professor Dr. Carlos Yukio Suzuki, por terem aceitado nosso convite em participar desse momento que é tão importante para nós.

Agradecemos aos membros da KIBAG Brasil, Pablo Miranda e Joel Castanheira, os quais nos receberam em visitas técnicas, que nos auxiliaram na elaboração desse trabalho.

Agradecemos ao membro da Runway Safe Group, Joakim Frisk, diretor de vendas regional Ásia-Pacífico, quem nos ajudou com informações relevantes sobre o sistema estudado.

Agradecemos ao professor Me. Raul Fernando Ramos, quem nos auxiliou na elaboração dos estudos de viabilidade, principalmente ao que se refere à parte financeira/econômica.

E agradecemos a comunidade FEI como um todo, pois cada um dos professores, que passou pela nossa trajetória dentro da faculdade, tem sua importância na nossa formação como engenheiros e engenheiras civis.

“Difícilmente existirá alguma coisa nesse mundo que alguém não possa fazer um pouco pior e vender um pouco mais barato, e as pessoas que considerem somente preço são as merecidas vítimas”.

John Ruskin

RESUMO

Com o avanço da aviação, foram criados modelos de aeronaves cada vez maiores e mais pesados, levando ao aumento necessário da área de RESA (*Runway End Safety Area*), que é uma área no final da pista destinada à redução de danos em caso de *overrun* e/ou *undershoot*. Entretanto, o aumento dessa área não era possível em alguns aeroportos, devido à falta de espaço da estrutura do local, seja por conta de construções civis ao redor ou da topografia. Contudo, em 1990, foi lançado um sistema de segurança extra para as pistas, o chamado *Engineered Material Arresting System* (EMAS), feito, principalmente, para esses aeroportos, cujos espaços são limitados. O EMAS deve ser instalado no final da pista, mantendo uma distância segura da mesma para que não sofra nenhum dano devido ao *jet blast*. Para a construção do EMAS, atualmente, tem-se apenas um fabricante e dois tipos de materiais, o bloco de concreto celular e a espuma de sílica de vidro, apesar de existirem vários estudos para outros tipos de materiais. O dimensionamento do leito supressor é muito importante, pois deve-se levar em consideração parâmetros como o mix de aeronaves do aeroporto, o tamanho e peso das aeronaves e a pressão de enchimento dos pneus dos trens de pouso, já que a profundidade das ranhuras do sistema variará de acordo com esses fatores descritos. Ao entrar no leito supressor, a aeronave esmagará sua superfície, gerando a força de arrasto que fará com que a aeronave seja parada em segurança, sem danos aos passageiros e à própria aeronave. No presente trabalho, foi realizada pesquisa bibliográfica sobre o sistema em análise quanto à eficácia, apresentando exemplos de paradas bem sucedidas realizadas pelo EMAS; foram mencionados alguns acidentes aeroportuários, bem como as possíveis causas e consequências; foram estudadas metodologias para análise de risco, incluindo o *ACRP Report 50* que, posteriormente, foi aplicado em estudos, com o auxílio do software RSARA2, para aeroportos brasileiros definidos no decorrer deste trabalho, os quais apresentaram resultados satisfatórios, por exemplo, com a implantação do EMAS, a probabilidade de ocorrência dos Aeroportos Santos Dumont e Jorge Amado – Ilhéus, teve uma queda de 38,44% e 68,17%, respectivamente, mostrando-se uma opção, tecnicamente, viável e eficaz e; para finalizar, foi realizada a análise econômica para o Aeroporto Santos Dumont, o qual se mostrou mais viável a implantação do EMAS para velocidade de saída de pista igual a 50 nós que, quando comparados os gastos atuais com os gastos caso fosse implantado o EMAS, obteve-se 13,99% de redução nos custos anuais.

Palavras-chave: EMAS. Excursão de pista. *Overrun*.

ABSTRACT

With the advancement of aviation, increasingly larger and heavier aircraft models were created, leading to the necessary increase in the RSA (Runway End Safety Area), which is an area at the end of the runway intended to reduce damage in the event of overrun and/or undershoot. However, the increase in this area was not possible at some airports, due to the lack of space in the structure of the location, either because of the around civil constructions or the topography. However, in 1990, an extra security system was launched for the runways, the so-called Engineered Material Arresting System (EMAS), made mainly for these airports, whose spaces are limited. The EMAS must be installed at the end of the runway, keeping a safe distance from the end of the runway so that it does not suffer any damage due to the Jet Blast. For the construction of EMAS, there is currently only one manufacturer and two types of materials, the cellular concrete block and glass silica foam, although there are several studies for other types of materials. The sizing of the suppressor bed is very important, as one must take into account parameters such as the mix of aircraft at the airport, the size and weight of the aircraft and the inflation pressure of the landing gear tires, whereas the depth of the system grooves will vary according to these factors described. Upon entering the suppressor bed, the aircraft will crush its surface, generating the drag force that will cause the aircraft to be stopped safely, without damage to passengers and to the aircraft itself. In the present final course assignment, a bibliographical research was carried out on the system under analysis in terms of effectiveness, presenting examples of successful shutdowns carried out by EMAS; some airport accidents were mentioned, as well as possible causes and consequences; methodologies for risk analysis, include the ACRP Report 50, which was later applied in studies, with the software RSARA2, for Brazilian airports defined in the final course assignment, which showed satisfactory results, for example, with the implementation of the EMAS, the probability of occurrence of Santos Dumont and Jorge Amado – Ilhéus Airports, had a drop of 33,44% and 68,17%, respectively, proving to be a technically viable and effective option and; finally, an economic analysis was carried out for Santos Dumont Airport, which proved to be more viable to implement EMAS for a runway departure speed equal to 50 knots, which, when comparing the current expenses with the expenses if EMAS was implemented, a 13,99% reduction in annual costs was obtained.

Keywords: EMAS. Runway excursion. Overrun.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1. Vista aérea do Aeroporto de Congonhas (PPD – Pista de Pouso e Decolagem)	20
Figura 2. Vista aérea do Aeroporto de Congonhas (Comprimento de pista)	21
Figura 3. Vista aérea do Aeroporto de Congonhas (Largura de pista)	22
Figura 4. Vista aérea do Aeroporto de Congonhas (Stopway)	23
Figura 5. Vista aérea do Aeroporto de Congonhas (Clearway).....	23
Figura 6. Vista aérea do Aeroporto de Congonhas (RESA).....	24
Figura 7. Matriz de risco do FAA.....	27
Figura 8. Origem do eixo para as ultrapassagens	42
Figura 9. RESA convencional com comprimento equivalente à RESA com EMAS.....	45
Figura 10. Tela inicial do Software	45
Figura 11. Exemplo de Excel com os dados históricos de operações (Aeroporto SBRJ)	46
Figura 12. Exemplo Excel com os dados históricos meteorológicos (Aeroporto SBRJ).....	47
Figura 13. Exemplo de Excel com as características da RESA (Aeroporto SBRJ)	47
Figura 14. Panorama dos acidentes aeronáuticos	48
Figura 15. Ocorrências por tipo: acidentes, incidente grave e incidente.....	49
Figura 16. Percentual de acidentes por fase de operação, nos últimos 10 anos.	50
Figura 17. Percentual de incidentes graves por fase de operação, nos últimos 10 anos.....	50
Figura 18. Incidência dos fatores contribuintes em acidentes, nos últimos 10 anos	51
Figura 19. Acidentes de saída de pista entre os anos de 2010 e 2019	52
Figura 20. Incidentes graves de saída de pista entre os anos de 2010 e 2019	53
Figura 21. Sistema de apreensão passivo de aeronaves	54
Figura 22. Sistema de apreensão ativo de aeronaves.....	55
Figura 23. Composição das camadas do EMASMAX	56
Figura 24. Composição das camadas do greenEMAS.....	57
Figura 25. Instalação do EMASMAX	59
Figura 26. Instalação do greenEMAS.....	59
Figura 27. Primeira visita técnica no Aeroporto de Congonhas.....	66
Figura 28. Amostra da espuma de sílica de vidro utilizada no sistema.....	67
Figura 29. Modelo do EMAS sendo construído no Aeroporto de Congonhas.....	67
Figura 30. Modelo do EMAS construído no Aeroporto de Congonhas	68
Figura 31. Segunda visita técnica no Aeroporto de Congonhas.....	70
Figura 32. Implantação da camada de sílica de vidro do EMAS	71

Figura 33. Dispositivo de proteção do leito supressor contra o <i>Jet Blast</i>	72
Figura 34. Acidente com o voo JJ 3054 da TAM.....	73
Figura 35. Percentual de acidentes por região brasileira, nos últimos 10 anos	79
Figura 36. Aeroporto Santos Dumont	85
Figura 37. Aeroporto Jorge Amado	86
Figura 38. Porcentagem de uso das cabeceiras da pista principal	89
Figura 39. Número de operações por tipo de aeronave	90
Figura 40. Peso Máximo de Decolagem – A319.....	91
Figura 41. Dimensões (vista lateral e vista frontal) – A319.....	92
Figura 42. Dimensões (planta) – A319.....	93
Figura 43. Peso Máximo de Decolagem – B738	94
Figura 44. Dimensões (planta, vista lateral e vista frontal) – B738	95
Figura 45. Peso Máximo de Decolagem – E195	96
Figura 46. Dimensões (vista lateral, planta e vista frontal) – E195	97
Figura 47. Porcentagem de uso das cabeceiras da pista principal	98
Figura 48. Número de operações por tipo de aeronave	99
Figura 49. Dimensões (planta, vista frontal e lateral) – C210.....	100
Figura 50. Número de operações por velocidade do vento	102
Figura 51. Número de operações por direção do vento	102
Figura 52. Número de operações por direção do vento	103
Figura 53. Número de operações por velocidade do vento	104
Figura 54. Número de operações por direção do vento	104
Figura 55. Número de operações por direção do vento	105
Figura 56. Aeroporto SBRJ atualmente.....	106
Figura 57. Probabilidade de ocorrência dos eventos e nível aceitável de operação	107
Figura 58. Geometria da cabeceira 02R, no RSARA2, para o cenário 2.	108
Figura 59. Geometria da cabeceira 02R, no RSARA2, para o cenário 3.	109
Figura 60. Probabilidade de ocorrência dos eventos LDOR, TOOR, LDUS, LDVO E TOVO, para cada cenário de RESA padrão	110
Figura 61. Ábaco AC 150/5220-22B para aeronave B737.....	111
Figura 62. Geometria das cabeceiras 02R e 02L, no RSARA2, para o cenário 4	112
Figura 63. Ábaco AC 150/5220-22B para aeronave B737.....	113
Figura 64. Geometria das cabeceiras 02R e 02L, no RSARA2, para o cenário 5	114
Figura 65. Ábaco AC 150/5220-22B para aeronave B737.....	115

Figura 66. Geometria das cabeceiras 02R e 02L, no RSARA2, para o cenário 6	116
Figura 67. Comparação percentual do aumento da segurança para cada cenário com EMAS	117
Figura 68. Aeroporto SBIL atualmente	119
Figura 69. Probabilidade de ocorrência dos eventos e nível aceitável de operação	120
Figura 70. Geometria das cabeceiras 11 e 29, no RSARA2, para o cenário 2.	121
Figura 71. Geometria das cabeceiras 11 e 29, no RSARA2, para o cenário 3.	122
Figura 72. Probabilidade de ocorrência dos eventos LDOR, TOOR, LDUS, LDVO E TOVO, para cada cenário de RESA padrão	123
Figura 73. Ábaco AC 150/5220-22B para aeronave B737.....	124
Figura 74. Geometria das cabeceiras 11 e 29, no RSARA2, para o cenário 4	125
Figura 75. Ábaco AC 150/5220-22B para aeronave B737.....	126
Figura 76. Geometria das cabeceiras 02R e 02L, no RSARA2, para o cenário 5	127
Figura 77. Ábaco AC 150/5220-22B para aeronave B737.....	128
Figura 78. Geometria da cabeceira 02R e 02L no RSARA2 para o cenário 6	129
Figura 79. Comparação da probabilidade de ocorrências entre todos os cenários apresentados	130
Figura 80. Número de operações realizadas por cada aeronave - SBRJ	131
Figura 81. Curva assíntota para da variação de SELIC (últimos 2646 dias).....	132
Figura 82. Histórico das ocorrências do Aeroporto Santos Dumont.....	137
Figura 83. Fluxograma com as três opções de mudança de cenário, partindo-se da condição atual	138
Figura 84. Comparação da análise econômica entre o cenário atual e os cenários com EMAS	141

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Definições do FAA referentes à severidade	25
Tabela 2. Níveis de probabilidade apresentados pelo FAA.....	26
Tabela 3. Resumo dos eventos utilizados no modelo ACRP Report 3 (2008).....	31
Tabela 4. Estrutura do banco de dados	32
Tabela 5. Variáveis independentes utilizadas para modelos de frequência.....	40
Tabela 6. Aeroportos com EMASMAX, nos Estados Unidos	61
Tabela 7. Aeroporto com greenEMAS, nos Estados Unidos	64
Tabela 8. Incidentes evitados com o uso do EMAS, nos Estados Unidos	64
Tabela 9. Resultados da pesquisa em três aeroportos.....	75
Tabela 10. Número de ocorrências por aeroporto	79
Tabela 11. Intervalo entre as ocorrências e comprimento mínimo para cada intervenção.....	118
Tabela 12. Resumo econômico de cada cenário com EMAS.....	133
Tabela 13. Comparação entre os cenários	140

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AC – *Advisory Circular*

CENIPA – Centro de Investigação e Prevenção de Acidentes Aeronáuticos

CFR – Código de Regulamentos Federais

EMAS – *Engineered Materials Arresting System*

ESCO – *Engineered Arresting Systems Corporation*

FAA – *Federal Aviation Administration*

ICAO – *International Civil Aviation Organization*

IFR – *Instrument Flight Rules*

LDOR – *Overrun* em operação de pouso

LDUS – *Undershoot* em operação de pouso

LDVO – *Veer-off* em operação de pouso

METAR – *Meteorological Aerodrome Report*

MLW – *Maximum Landing Weight*

MMEL – *Master Minimum Equipmet List*

MTW – *Maximum Taxi Weight*

RESA – *Runway End Safety Area*

RETA – Responsabilidade das Empresas de Transporte Aéreo

SBGR – Aeroporto de Guarulhos

SBIL – Aeroporto Jorge Amado – Ilhéus

SBJD – Aeroporto Estadual Comandante Rolim Adolfo Amaro

SBJV – Aeroporto de Joinville

SBLO – Aeroporto de Londrina (Governador José Richa)

SBMT – Aeroporto Campo de Marte

SBNF – Aeroporto Internacional de Navegantes

SBPA – Aeroporto Internacional de Porto Alegre (Salgado filho)

SBPS – Aeroporto Internacional de Porto Seguro

SBRJ – Aeroporto Santos Dumont

SBTE – Aeroporto de Teresina

SIPAER – Sistema de Investigação e Prevenção de Acidentes Aeronáuticos

TOOR – *Overrun* em operação de decolagem

TOVO – *Veer-off* em operação de decolagem

UF – Unidade Federativa

VFR – *Visual Flight Rules*

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	17
1.1 OBJETIVOS	18
1.2 JUSTIFICATIVA	18
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	20
2.1 CARACTERÍSTICAS DOS AERÓDROMOS	20
2.1.1 Pista de pouso e decolagem	20
2.1.2 Comprimento de pista	21
2.1.3 Largura de pista	22
2.1.4 Stopway	23
2.1.5 Clearway	23
2.1.6 RESA	24
2.2 NÍVEIS ACEITÁVEIS DE SEGURANÇA	24
2.3 ANÁLISE DE RISCO	27
2.3.1 Modelo de Eddowes et al. (2001)	29
2.3.2 Modelo de ACRP Report 3 (2008)	30
2.3.3 Modelo de ACRP Report 50 (2011)	38
2.4 ACIDENTES AERONÁUTICOS	48
2.5 TECNOLOGIA EMAS (ENGINEERED MATERIALS ARRESTING SYSTEM)	53
2.5.1 Materiais utilizados para construção do EMAS	55
2.5.2 Fabricantes do EMAS	57
2.5.3 Especificações para projeto e instalação do EMAS	58
2.5.4 Manutenção do EMAS	60
2.6 AEROPORTOS COM O EMAS INSTALADO	61
2.6.1 EMAS no Brasil	65
2.7 CUSTO-BENEFÍCIO DO EMAS	72
2.7.1 Prejuízos devido a um acidente/incidente de excursão de pista	73
2.7.2 Custos para instalação e manutenção do EMAS	75
2.7.3 Comparação entre os custos	77

3 ESTUDO DE CASO	78
3.1 ESTATÍSTICAS DE ACIDENTES EM AEROPORTOS BRASILEIROS	78
3.1.1 Aeroportos escolhidos para estudo de caso	84
3.2 MÉTODOS.....	87
3.2.1 Características da pista	87
3.2.2 Dados históricos de operações	89
3.2.2 Dados históricos meteorológicos (METARs)	101
3.3 RESULTADOS RSARA2.....	105
3.3.1 Aeroporto Santos Dumont (SBRJ).....	106
3.3.2 Aeroporto Jorge Amado – Ilhéus (SBIL)	118
3.4 ANÁLISE ECONÔMICA.....	130
3.4.1 Preço da aeronave para o estudo da viabilidade	131
3.4.2 Taxa mínima de atratividade	132
3.4.3 Custo de implantação do EMAS	133
3.4.4 Custo de um acidente fatal.....	134
3.4.5 Custo do acidente com a implantação do EMAS.....	134
3.4.6 Custo do acidente sem a implantação do EMAS (Aeroporto Santos Dumont)	136
3.4.7 Resultados da análise econômica (Aeroporto Santos Dumont).....	138
4 CONCLUSÃO.....	142

1 INTRODUÇÃO

Em 1944, a cidade de Chicago se tornou o foco das atenções mundiais, devido à evolução tecnológica que as aeronaves militares tiveram na 1ª Guerra Mundial e ao longo da 2ª Guerra Mundial, como descrito por Sa (2018), resultando em um aumento muito significativo do alcance de voos das aeronaves; surgindo, nesse mesmo período, as primeiras linhas aéreas.

Tais desenvolvimentos tecnológicos passaram para os voos comerciais, entretanto, faltava padronização das operações aéreas para um crescimento ordenado e seguro, já que, por exemplo, cada país utilizava seu idioma nativo, as cartas de navegação não tinham um padrão etc., o que dificultava a compreensão e segurança durante um voo. A partir desses problemas, começou a se debater sobre os parâmetros da aviação que, à época, significava grandes preocupações dos governos e entidades associadas à aviação; uma vez que, o transporte aéreo já transportava passageiros e cargas pelo mundo e precisava de regras que propiciassem ao usuário, segurança, regularidade e eficiência. Por consequência dos debates, em 7 de setembro de 1944 foi assinado a Convenção de Chicago (Sa, 2018).

Nesta época surgiu a Organização da Aviação Civil Internacional (OACI), a qual tem como função o estabelecimento de parâmetros e recomendações para o bom desenvolvimento da aviação internacional (ANAC, 2021).

A convenção de Chicago, promulgada no Brasil pelo decreto nº 21.713 (1946), trouxe a obrigação de padronizar os regulamentos na época existentes. Com isso, foram estabelecidos os anexos que instituem os níveis mínimos de segurança da aviação civil (ANAC, 1946).

No Brasil, o código brasileiro da aeronáutica (CBAer), Lei 7.565, de 19 de dezembro de 1986, em seu artigo 25, determina que a infraestrutura aeronáutica, dentro ou fora do aeródromo civil, é destinada também para promover a segurança, a regularidade e a eficiência da aviação civil. Enquanto, a Lei 11.182, de 27 de setembro de 2005, estabelece que a agência brasileira de aviação civil (ANAC) é a responsável por promover segurança, a regularidade e a eficiência em todos os parâmetros da aviação civil, com exceção do sistema de investigação de acidentes e do sistema de controle do espaço aéreo; ficando, desse modo, como órgão responsável pelas investigações dos acidentes o Centro de Investigação e Prevenção de Acidentes (CENIPA) do Comando da Aeronáutica.

Apesar da aviação civil ser rígida em relação aos órgãos reguladores e de prevenção de acidentes, em 17 de julho de 2007 ocorreu, o que foi reconhecida como a maior tragédia da aviação brasileira, o acidente com o voo JJ 3054 da TAM. Esse acidente que fez, no total, 199 vítimas fatais, das quais 6 tripulantes e 181 passageiros, que estavam a bordo e 12 pessoas que

estavam no edifício, partiu do Aeroporto Internacional de Porto Alegre e tinha como destino o Aeroporto de Congonhas. Ao chegar no aeroporto de destino, o voo devia pousar na pista 17R/35L; entretanto, não foi possível, ocorrendo um acidente fatal e, para agravar a situação, a aeronave ao atravessar a avenida, se chocou com um posto de combustíveis e um prédio da companhia aérea TAM, o que ocasionou uma explosão (Rodrigues, 2008).

1.1 OBJETIVOS

O objetivo geral deste trabalho é estudar a eficiência do *Engineered Material Arresting System* (EMAS) e a análise de risco como metodologia para a implantação do sistema em um aeroporto.

Os objetivos específicos deste trabalho são:

- a) Estudar os parâmetros que devem ser levados em consideração durante o dimensionamento do EMAS;
- b) Efetuar análise de risco para aeroportos brasileiros, com a finalidade de definir apenas um para estudo de viabilidade econômica.
- c) Verificar a viabilidade técnico-econômica em um aeroporto brasileiro sujeito à excursão de pista.

1.2 JUSTIFICATIVA

Tendo em vista o avanço da aviação, bem como o aumento constante do tamanho e peso das aeronaves, segundo a FAA (2021), é necessário que se aumente também a área no final da pista destinada à segurança, dos passageiros e das aeronaves, durante o pouso e a decolagem, sendo essa área denominada RESA (*Runway End Safety Area*). Contudo, a impossibilidade do aumento dessa área em alguns aeroportos fez com que a FAA (*Federal Aviation Administration*) junto com a ESCO (*Engineered Arresting Systems Corporation*), Universidade de Dayton e a Autoridade Portuária de Nova York e Nova Jersey desenvolvessem um sistema de apreensão de aeronaves sujeitas à excursão de pista, o chamado EMAS (*Engineered Materials Arresting System*).

Dada a recente implantação do EMAS no Aeroporto de Congonhas, motivada pelo acidente com o voo JJ 3054 ocorrido nesse aeroporto, em 17 de julho de 2007, este trabalho se

justifica pela necessidade de estudos relacionados à viabilidade técnico-econômica deste sistema em outros aeroportos brasileiros sujeitos à excursão de pista.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo serão abordados temas como as características dos aeroportos, que têm por finalidade nivelar o entendimento dos leitores quanto às áreas dos aeródromos, além das metodologias utilizadas para realizar a análise de risco para cada aeroporto, as comparando para a definição de qual metodologia será aplicada para a escolha do aeroporto brasileiro, objeto de estudo do presente trabalho. Será discutido ainda sobre o *Engineered Material Arresting System* (EMAS), suas características e custo-benefício.

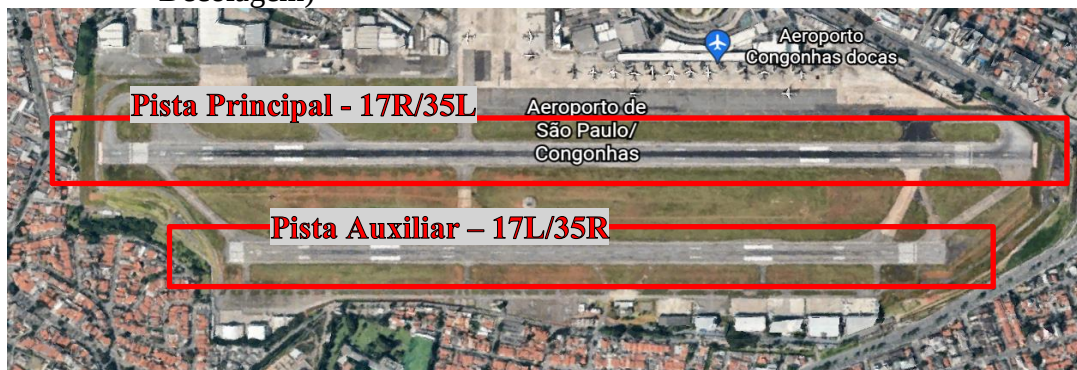
2.1 CARACTERÍSTICAS DOS AERÓDROMOS

No presente trabalho, serão citadas algumas características de um aeródromo, portanto, para entendimento de todos, a seguir serão exibidas e definidas, segundo o RBAC (2021), resumidamente, as mais importantes.

2.1.1 Pista de pouso e decolagem

A pista de pouso e decolagem é uma área plana e pavimentada, sendo designada ao pouso e decolagem de aeronaves, conforme Figura 1. Essa área deve atender alguns critérios como garantir a dimensão adequada para operações seguras e eventuais casos de falhas durante pouso e/ou decolagem; resistir ao tráfego das aeronaves a qual foi destinada, com base no mix de aeronaves de cada aeroporto; possuir uma superfície sem irregularidades e, em casos de sulcos ou ranhuras, devem ser perpendiculares ao eixo da pista ou paralelos às juntas transversais não perpendiculares.

Figura 1 – Vista aérea do Aeroporto de Congonhas (PPD – Pista de Pouso e Decolagem)



Fonte: Google Earth, 2021

Segundo o RBAC (2021), a pista de pouso e decolagem deve ainda atender os requisitos de declividade para garantir a integridade estrutural da aeronave, considerando os efeitos da carga dinâmica em operações de alta velocidade; além de permitir a drenagem adequada, para que não afete o coeficiente de atrito entre pneu-pavimento e para que não afete, também, a sinalização. O acostamento deve ficar à 30 m ou 60 m de distância a partir do eixo da pista, variando de acordo com o código atribuído à pista de pouso e decolagem; sendo construído de modo a suportar o peso da aeronave, sem gerar danos estruturais em caso de excursão da pista, possibilitando, ainda, a volta da mesma para a pista. É ainda dever do acostamento resistir à erosão e evitar que os materiais da superfície cheguem até os motores das aeronaves.

Já a declividade do acostamento da pista de pouso e decolagem deve estar alinhada com a superfície do acostamento, sendo que, sua declividade transversal deve ser compatível com a necessidade de drenagem. A localização da cabeceira deve estar na extremidade da pista de pouso e decolagem e atender os fatores de utilização, por exemplo o tipo de operação, as condições climáticas e os dados sobre o vento. A área de giro da pista deve estar presente nas cabeceiras que não possuem uma pista de táxi ou uma área de giro de pista de táxi, quando a letra do código for D, E ou F, para facilitar a curva de 180° e o alinhamento da aeronave com a cabeceira.

2.1.2 Comprimento de pista

O comprimento de pista é o comprimento mínimo necessário para operações de pouso e decolagem, conforme Figura 2, que deve ser dimensionado, de acordo com o manual de voo de cada aeronave, levando em consideração fatores como o peso máximo de decolagem, as condições atmosféricas normais, a declividade nula da pista etc.

Figura 2 – Vista aérea do Aeroporto de Congonhas (Comprimento de pista)



Fonte: Google Earth, 2021

Como um aeroporto não atende apenas um tipo de aeronave, o dimensionamento deve ser realizado a fim de atender as solicitações da aeronave crítica, que é a maior aeronave atendida pelo aeroporto.

2.1.3 Largura de pista

A largura de pista é a largura mínima necessária para atender uma determinada dimensão, conforme Figura 3; dimensão, essa, imposta pela largura exterior entre as rodas do trem de pouso principal. Novamente, devido ao mix de aeronaves atendido pelo aeroporto, tal dimensionamento deve seguir, sempre, as solicitações da maior aeronave atendida.

Figura 3 – Vista aérea do Aeroporto de Congonhas (Largura de pista)



Fonte: Google Earth, 2021

2.1.4 Stopway

Stopway é a zona de parada localizada no final da pista, utilizada para garantir um prolongamento da superfície de frenagem, devendo possuir a mesma largura que a pista de pouso e decolagem, conforme Figura 4.

Figura 4 – Vista aérea do Aeroporto de Congonhas (Stopway)



Fonte: Google Earth, 2021

2.1.5 Clearway

Clearway é a zona desimpedida, localizada no final da pista disponível para corrida de decolagem, conforme Figura 5; seu comprimento não deve exceder metade do comprimento da TORA e, sua largura deve ter, no mínimo, 75 m de cada lado do prolongamento do eixo da pista de pouso e decolagem. A declividade da área de *clearway* não pode ser considerada um obstáculo, portanto, não deve haver mudança brusca de declividade.

Figura 5 – Vista aérea do Aeroporto de Congonhas (Clearway)



Fonte: Google Earth, 2021

2.1.6 RESA

A RESA é uma área de segurança que serve para reduzir o risco de danos na aeronave, a impedindo de ultrapassar, acidentalmente, o final da pista, conforme Figura 6. Localizada na extremidade da pista, a RESA deve ter, no mínimo, 90 m de comprimento e, a largura deve ser igual ou superior ao dobro da largura da pista, conforme RBAC (2021). As declividades longitudinais da RESA devem ser compatíveis com as necessidades de drenagem, não afetando a sinalização e não agravando as consequências de uma possível excursão.

Figura 6 – Vista aérea do Aeroporto de Congonhas (RESA)



Fonte: Google Earth, 2021

2.2 NÍVEIS ACEITÁVEIS DE SEGURANÇA

O “nível aceitável de segurança” é aplicado pela Organização de Aviação Civil Internacional para indicar o grau mínimo de segurança que o sistema deve garantir (DOC 9859, 2009). Para estabelecer um nível aceitável de segurança operacional, é necessário considerar fatores como o nível de risco envolvido, o custo/benefício das melhorias do sistema e as expectativas do usuário para a segurança da aviação. Portanto, o nível aceitável de segurança tornou-se uma referência para as autoridades e a indústria da aviação determinarem o desempenho de segurança dos sistemas de aviação (Costa, 2007).

A autoridade de aviação civil do Reino Unido (CAA) prescreve níveis de segurança em relação a eventos em que aeronaves ultrapassam a cabeceira da pista (*overrun*), estabelecendo os valores de 5×10^{-7} por operação, como a taxa de alusão de *overrun* e, 1×10^{-7} por operação, como a taxa de alusão de *overrun* com consequências graves (Eddowes et al., 2001).

Portanto, define-se o risco como o produto do grau de severidade de um evento e sua probabilidade de ocorrência, tem-se a classificação da severidade dada pela FAA, conforme mostrado na Tabela 1, e os níveis de probabilidade dada pela Tabela 2, com isso tem-se a representação da matriz de risco, conforme ilustrado na Figura 7 (DOC 9859, 2009).

Tabela 1 – Definições do FAA referentes à severidade

Classificação da severidade de um Perigo				
Mínimo	Menor	Maior	Perigoso	Catastrófico
5	4	3	2	1
- Nenhum dano à aeronave, mas lesões mínimas ou desconforto de pouca consequência para o(s) passageiro(s) ou trabalhador(es)	- Danos mínimos às aeronaves	- Danos maiores à aeronave e/ou ferimentos leves ao(s) passageiro(s)/trabalhador(es)	- Danos graves à aeronave e/ou ferimentos graves ao(s) passageiro(s)/trabalhador(es)	- Perda total de aeronaves e/ou instalações ou lesão fatal em passageiro(s)/trabalhador(es)
	- Ferimentos leves aos passageiros	- Grandes interrupções não planejadas nas operações aeroportuárias	- Fechamento completo não planejado do aeroporto	- Encerramento completo não planejado do aeroporto e destruição de instalações críticas
	- Limitações mínimas de operações aeroportuárias não planejadas (ou seja, fechamento de pistas de táxi)	- Incidente grave	- Maiores limitações de operações não planejadas (ou seja, fechamento de pista)	- Instalações e equipamentos aeroportuários destruídos
	- Incidente menor envolvendo o uso de procedimentos de emergência do aeroporto	- Dedução sobre a capacidade do aeroporto para lidar com condições adversas	- Maiores danos no aeroporto para equipamentos e instalações	

Fonte: ACRP Report 50, 2011

Tabela 2 – Níveis de probabilidade apresentados pelo FAA

		Geral	Específico do Aeroporto	ATC Operacional	
				Por Facilidade	NAS-Geral
	Frequente A	Probabilidade de ocorrência por operação maior ou igual a 1×10^{-3}	Esperado que ocorra mais de uma vez por semana ou a cada 2500 partidas (4×10^{-4}), o que ocorrer antes	Esperado que ocorra mais de uma vez por semana	Esperado que ocorra a cada 1-2 dias
	Provável B	Probabilidade de ocorrência por operação menor que 1×10^{-3} , mas maior ou igual a 1×10^{-5}	Esperado que ocorra cerca de uma vez por mês ou a cada 250000 partidas (4×10^{-6}), o que ocorrer antes	Esperado que ocorra cerca de uma vez por mês	Esperado que ocorra várias vezes por mês
	Remoto C	Probabilidade de ocorrência por operação menor que 1×10^{-5} , mas maior ou igual a 1×10^{-7}	Esperado que ocorra cerca de uma vez por ano ou a cada 2,5 milhões de partidas (4×10^{-7}), o que ocorrer antes	Esperado que ocorra cerca de uma vez a cada 1-10 anos	Esperado que ocorra cerca de uma vez a cada poucos meses
	Extremamente Remoto D	Probabilidade de ocorrência por operação menor que 1×10^{-7} , mas maior ou igual a 1×10^{-9}	Esperado que ocorra a cada 10-100 anos ou a cada 25 milhões de partidas (4×10^{-8}), o que ocorrer antes	Esperado que ocorra cerca de uma vez a cada 10-100 anos	Esperado que ocorra cerca de uma vez a cada 3 anos
	Extremamente Improvável E	Probabilidade de ocorrência por operação menor que 1×10^{-9}	Esperado que ocorra em menos de 100 anos	Esperado que ocorra menos que uma vez a cada 100 anos	Esperado que ocorra menos que uma vez a cada 30 anos

Fonte: ACRP Report 50, 2011

Figura 7 – Matriz de risco do FAA

gravidade probabilidade	Sem efeito quanto à segurança 5	Menor 4	Maior 3	Perigoso 2	Catastrófico 1
Frequente A					
Provável B					
Remoto C					
Extremamente remoto D					
Extremamente improvável E					*

* Inaceitável em falhas relacionadas a causas simples

Alto risco
Risco médio
Baixo risco

Fonte: FAA, 1988:2010

2.3 ANÁLISE DE RISCO

Segundo Santos (2009), a análise de risco estima o grau de risco existente em relação à possibilidade de perigo pautada em um estágio preliminar e a comparação desse grau com parâmetros previamente estabelecidos, com a finalidade de verificar se os riscos são aceitáveis.

Na aviação, as avaliações de risco são empregadas em diversas áreas, por exemplo na concepção de aeronaves e nas definições de padrões operacionais e regras de controle de tráfego aéreo.

Em relação ao transporte aéreo, de acordo com a IAC 154-1001 (2004), os pontos principais das análises de risco são as ocorrências relacionadas à aeronave em circunstância de voo, em procedimentos de pouso ou decolagem, ou em operações no solo.

Para a infraestrutura de aeroportos a análise de risco é realizada para identificar se o aeroporto tem condições seguras de operação, mesmo contendo alguns tipos de não conformidades, como descrito em SANTOS (2009); tais inconformidades são listadas a seguir:

- a) Superfície do terreno, construções ao redor ou outras implantações e material/objetos excedendo às superfícies limitadoras de obstáculos, descritos do Plano Básico ou Específico de Zona de Proteção de Aeródromos ou de auxílios à navegação aérea;
- b) Faixa de pista ou Área de Segurança de fim de pista (RESA) insuficiente (dimensões e/ou qualidade) em relação ao estabelecido em regulamentação;
- c) Afastamento entre pistas de pouso e pista de táxi paralela insuficiente em relação ao estabelecido em regulamentação e;
- d) Falta ou implantação incorreta de auxílios visuais ou auxílios à navegação aérea.

Algumas metodologias de avaliação de riscos podem ser utilizadas no auxílio à definição de diretrizes a serem seguidas no que tange às características físicas de aeródromos, visando um nível adequado de segurança.

De acordo com Santos (2009), pode-se empregar duas metodologias para a análise de riscos, sendo elas: Modelo de Eddowes, Hancox e Macinnes (2001) e o Modelo de ACRP *Report 3* (2008).

No estudo realizado por Santos (2009), foi feita a comparação entre esses dois modelos de avaliação de riscos e probabilidade de ocorrência de acidentes e incidentes, tais como *overrun*, *undershoot*, e *veer-off*.

Atualmente, há uma versão mais atual do Modelo de ACRP *Report 3* (2008), que é o Modelo de ACRP *Report 50* (2011).

Portanto, no presente trabalho, todos os modelos foram comparados com intuito de se identificar qual seria o mais adequado para aplicação em aeródromos brasileiros.

Vale lembrar que, segundo a ANAC (2021), *overrun* é o termo em inglês utilizado para descrever um acidente aeroportuário causado quando a aeronave sofre excursão de pista na sua extremidade final; *undershoot* é o termo em inglês utilizado para descrever um acidente aeroportuário causado quando a aeronave toca a pista, durante pouso, antes da cabeceira da pista e; *veer-off* é o termo em inglês utilizado para descrever um acidente aeroportuário causado quando a aeronave sofre excursão de pista pela sua lateral.

2.3.1 Modelo de Eddowes et al. (2001)

O modelo de Eddowes et al. (2001), foi um estudo financiado pelas autoridades aeronáuticas da Noruega, no qual utiliza uma base de dados de acidentes/incidentes em aeródromos europeus para fazer uma análise quantitativa da probabilidade de risco. Os eventos de acidentes do estudo são *overrun* (excursão de pista pela cabeceira), *undershoot* (toque antes da área de contato de pouso), *veer-off* (excursão de pista pelas suas laterais), desvio lateral na operação de taxiamento da aeronave e desvio da aeronave para cima ou para baixo, durante a trajetória de voo (Santos, 2009).

Foi desenvolvido um modelo de risco para análise de *overrun* de modo genérico, como descrito em Eddowes et al. (2001), o qual foi baseado no seguinte:

- a) Na frequência de ocorrência de incidentes de *overrun*;
- b) Em uma função de probabilidade de distribuição acumulada, que descreve a distância percorrida em caso de ocorrência de um evento de *overrun*;
- c) Na gravidade das consequências do incidente, sendo presumido que qualquer aeronave que atinja distâncias além da RESA pode, potencialmente, estar em colisão com um obstáculo, sofrendo consequências catastróficas (perda total de fuselagem e/ou mortes).

Os seguintes índices de incidentes de *overrun* foram discriminados neste estudo, para os diferentes tipos de operação (Eddowes et al., 2001), como:

- a) *Overrun* em decolagem: 0,33 por milhão de movimentos;
- b) *Overrun* em aproximação precisão: 0,6 por milhão de movimentos;
- c) *Overrun* em aproximação não-precisão/visual: 4,68 por milhão de movimentos.

Já para o modelo de risco de *Undershoot*, o estudo reproduziu um modelo quantitativo de risco (Eddowes et al., 2001), que inclui:

- a) A probabilidade de ocorrência de um acidente de *undershoot* em operação de pouso;
- b) A provável distância que a aeronave toca o solo antes da cabeceira da pista quando ocorrer um evento de *undershoot*.

Em Eddowes et al. (2001) analisou-se que o índice médio de *undershoot* é de 0,25 por milhão de movimentos, sendo que a probabilidade de ocorrer um incidente de *undershoot* é,

ligeiramente, menor do que a média de um incidente de *overrun* e, é cerca de quatro vezes menor do que a de um evento de *overrun* em pouso.

Há uma correlação significativa entre a taxa de *undershoot* e a disponibilidade ou ausência de instrumentos de aproximação de precisão, que são, aproximadamente, seis vezes maiores em movimento sem instrumentos de aproximação de precisão. Com base nisso, os resultados da taxa de subestimação são os seguintes (Eddowes et al., 2001):

- a) Taxa de *undershoot* para aproximação precisão: 0,17 por milhão de movimentos;
- b) Taxa de *undershoot* para aproximação não-precisão/visual: 1,08 por milhão de movimentos.

Como o modelo de análise de risco de *overrun* e *undershoot*, acima mencionados, o método de análise de risco de *veer-off* é baseado na estimativa da probabilidade de um evento de *veer-off* e seu possível grau de desvio do eixo da pista. Porém, neste caso, a largura da aeronave, ou seja, sua envergadura, e a largura do trem de pouso principal precisam ser consideradas.

O estudo propôs as seguintes taxas médias de eventos de *veer-off*, em função do número de incidentes identificados (Eddowes et al., 2001):

- a) *veer-off* para operações de decolagem: 0,19 por milhão de movimentos;
- b) *veer-off* para operações de pouso: 0,56 por milhão de movimentos.

Verificou-se que os eventos de desvio em operações de pouso foram, significativamente, mais frequentes em movimentos sem assistência de aproximação de precisão (cerca de sete vezes maior) e, as razões obtidas foram as seguintes (Eddowes et al., 2001):

- a) *veer-off* para aproximações precisão: 0,364 por milhão de movimentos;
- b) *veer-off* para aproximações não-precisão/visual: 2,58 por milhão de movimentos.

2.3.2 Modelo de ACRP Report 3 (2008)

O modelo de análise de risco ACRP (Programa Cooperativo de Pesquisa Aeroportuária) *Report 3* (2008), avalia não só operações de pouso, mas também os acidentes de decolagem que podem vir a ocorrer. Os parâmetros presentes neste modelo são: clima do local, temperatura, direção dos ventos, tipo de aeronave, tipo de uso da aeronave, condições de pista, entre outros (ACRP *Report 3*, 2008).

Todavia, segundo Santos (2009), nenhum dos modelos apresentados considera o pavimento do aeródromo como um parâmetro.

Ainda de acordo com Santos (2009), o modelo ACRP *Report 3* é mais aplicável a aeródromos brasileiros, pois leva em consideração fatores que podem ser inclusos ou ausentados da análise de risco.

No modelo ACRP *Report 3* (2008), é realizado um estudo, no qual é feita uma correlação de vários dados de acidentes e incidentes, a partir de diversas bases que registram acidentes.

Na Tabela 3, é possível ver a fonte do banco de dados que foi utilizada e os tipos de acidentes que foram levados em consideração. Sendo: LDOR (*overrun* em operação de pouso), LDUS (*undershoot* em operação de pouso) e, TOOR (*overrun* em operação de decolagem).

Tabela 3 – Resumo dos eventos utilizados no modelo ACRP *Report 3* (2008)

Fonte de banco de dados	LDOR	LDUS	TOOR
FAA AIDS (incidentes)	14	29	12
FAA/NASA ASRS (incidentes)	79	11	9
NTSB (acidentes e incidentes)	113	51	56
TSB Canadá (acidentes)	23	1	5
AAIB Reino Unido (acidentes)	24	0	5
BEA França (acidentes)	3	1	3
Outros (acidentes)	18	0	2
Total	274	93	92
			459

Fonte: ACRP *Report 3*, 2008

Em ACRP *Report 3* (2008), o método de análise de risco se subdivide em algumas categorias para que a modelagem do risco seja concretizada, tais categorias são: modelo de probabilidade de acidentes\incidente, modelo de localização do acidente e modelo de consequências para avaliação da gravidade. Dessa forma, os dados são cruzados entre as informações de ocorrências normais de voo, como tipo de aeronave, classe de equipamento, direção dos ventos, condições climáticas, características do terreno, tipo de uso da aeronave etc., com os fatores externos à operação de voo. Os dados são em seguida tratados com uma regressão logística, obtendo-se as probabilidades para cada tipo de ocorrência, tornando-se

possível a adaptação do método de análise de riscos *ACRP Report 3* (2008) para os aeroportos brasileiros.

O método retira dados de acidentes que foram compilados em um banco de dados, que contém dados de entrada e detalhamento dos acidentes ocorridos, condições de voo, condições ambientais do local, condições da pista e, principalmente, qual a natureza do ocorrido, acidente ou incidente, dados estes que são fornecidos pelas agências relatoras. O método também utiliza de NOD (Operações Normais de Voo), para que essas operações possam auxiliar na determinação de taxas de acidentes e melhorar as probabilidades de ocorrência. A Tabela 4 demonstra qual a estrutura do banco de dados e seus fatores que alimentam o método (*ACRP Report 3*, 2008).

Tabela 4 – Estrutura do banco de dados (continua)

Categoria	Nível de campo 1	Nível de campo 2
Informação básica	ID de acidente	
	ID do evento	
	Classe do acidente	
	Tipo de evento	
	Investigador	
	Fonte	
		País
	Localização	Estado
		Cidade
	Data	
Informações Aeronave	Tempo	
	Notas Básicas	
	Feito	
	Modelo	
	Série	
	Nº de série	
	Idade	Nº de horas ou anos
	Nº de motores	
	Tipo de motor	Turboprop, Turbofan (Baixo ou alto) ou Turbojato
	Aterrissagem máxima certificada	
	Decolagem máxima certificada	
	Peso bruto máximo	
	Nº registro	

Tabela 5 – Estrutura do banco de dados (continuação)

Categoria	Nível de campo 1	Nível de campo 2
Informações Aeroporto	Regulamento de referência	
	Regulador ACFT	
	Proprietário	
	Operador	
	Código	Código LATA
	Latitude	
	Longitude	
	Nº da pista	
	Distância declarada de pouso	
	Distância de decolagem	
	Elevação do pouso	
	Latitude do pouso	
	Longitude do pouso	
	Elevação da decolagem	
	Latitude da decolagem	
	Longitude da decolagem	
	Condição de pista	
	Pista com ranhuras	SIM/NÃO
	Disponibilidade ARFF	A à F
	Torre de controle	SIM/NÃO
	Temporário	SIM/NÃO
	Obras em construção	
	Largura da pista	
	Declive da pista	
	Material da superfície	
	Comprimento RESA	
	Notas	
Consequências	Danos à aeronave	Destruído, Substancial, menor ou nenhum
	Mudança de Terreno	SIM/NÃO
	Área de Consequência	
	Nº de assentos de passageiros	
	Nº total de assentos	
	Dificuldade em chegar aos destroços	SIM/NÃO
	Consequência Detalhada	
	Área	

Tabela 6 – Estrutura do banco de dados (continuação)

Categoria	Nível de campo 1	Nível de campo 2
Informação detalhada	Status de colisão da aeronave	Ativo/Passivo/NA
	Visibilidade mín.	SIM/NÃO
	Violação	
	Abordagem mín.	SIM/NÃO
	Violação	
	Categoria de abordagem	Visual/Não-precisão/ILS Cat1, 2 ou 3
	Obrigatório	
	Categoria de abordagem usado	SIM/NÃO
	Outras aeronaves envolvidas	
	Capacidade de controle de falhas	Totalmente/Parcialmente/Não
	Glide slope capturado	SIM/NÃO
	Dar a volta	SIM/NÃO
	GPWS	SIM/NÃO
	Tipo GPWS	1 ^{sr} ou 2 nd geração
	Localizer capturado	SIM/NÃO
	Mudança de pista	SIM/NÃO
	Abordagem Estabilizada	SIM/NÃO
	Decolagem Abortada	SIM/NÃO
	Velocidade de decolagem abortada	
Informações de voo	Peso real na falha	
	O peso foi estimado	SIM/NÃO
	Peso máximo para operação	
	País de destino	
	País de Partida	
	Voo Desviado	SIM/NÃO
	ELT equipado e operacional	SIM/NÃO
	Voo atrasado	SIM/NÃO
	Duração do voo	
	Carga de Combustível	
	Fator de carga	
	Tipo de operação	
	Agendado	SIM/NÃO
	Distância de Aterragem obrigatório	
	Distância de decolagem obrigatório	

Tabela 7 – Estrutura do banco de dados (continuação)

Categoria	Nível de campo 1	Nível de campo 2
Impacto com obstáculos	Retirar peso	
	Carga de combustível de decolagem	
	Restrição de peso violado	SIM/NÃO
	Profundidade do Obstáculo	
	Altura do Obstáculo	
Impacto com terreno	Largura do Obstáculo	
	Localização de obstáculo	X, Y e Z
	Notas	
	Profundidade do Terreno	
	Altura do Terreno	
Lesões	Largura do Terreno	
	Localização do terreno	X, Y e Z
	Notas	
	Sem Lesões de passageiros	Fatal, Grave, Menor, Nenhum
	Sem lesões na tripulação de voo	Fatal, Grave, Menor, Nenhum
	Sem lesões na tripulação de cabine	Fatal, Grave, Menor, Nenhum
	Sem lesões na tripulação em terra	Fatal, Grave, Menor
	Lesões no solo	Fatal, Grave, Menor
	Lesões Públicas	Fatal, Grave, Menor
	Lesões totais	
Clima	Lesões mais altas do evento	
	Notas	
	Vento de teto	
	Ponto de condensação da água	
	Tempestade com trovões	SIM/NÃO
	Névoa	SIM/NÃO
	Precipitação Congelada	SIM/NÃO
	Direção do vento	
	Velocidade do vento	
	Cisalhamento do vento	SIM/NÃO
	Rajadas	
	Condição de gelo	SIM/NÃO
	Nível de luz	Amanhecer/Dia/Crepúsculo/Noite

Tabela 8 – Estrutura do banco de dados (continuação)

Categoria	Nível de campo 1	Nível de campo 2
	Chuva	Pesado/Moderado/Leve/Nenhum
	Neve	SIM/NÃO
	Temperatura	
	Visibilidade	
	RVR	
	Clima real diferente do relatado	SIM/NÃO
	Clima Geral	
	Variação Local	SIM/NÃO
	Vento de cauda	
	Vento cruzado	
Informações sobre destroços	Explosão	
	Incêndio	
	Sem obstáculos atingidos	
	Velocidade de saída da pista	
	Caminho total dos destroços	
	Comprimento	
	Piloto ativamente evitado	
	Ângulo POFI	
	Velocidade POFI	
	Localização POFI	X, Y e Z
	Localização dos destroços	Longitude e latitude
	Localização dos destroços	X, Y e Z
	Pista de saída X	
	Toque x na pista	
	Velocidade de toque	
	Local de Naufrágios elevação	
	Altura Acima limiar	
	Velocidade de Aproximação	
	Comprimento do caminho dos destroços em cada terreno	Até 4 segmentos
	Declive dos destroços	Até 4 segmentos
	Superfície dos destroços	Até 4 segmentos
Anomalias		Poder
		Freio (freios das rodas, spoilers ou reversores)
	Falha do sistema da aeronave	Hidráulico
		Pneu

Tabela 9 – Estrutura do banco de dados (continuação)

Categoria	Nível de campo 1	Nível de campo 2
		De outros
		Baixa visibilidade
		Chuva
		Cisalhamento do vento
		Vento de cauda
		Vento cruzado
	Condições do tempo	Rajadas
		Teto baixo
		Vento forte
		Turbulência
		Chuva congelante
		De outros
		Planejamento de voo incorreto
		Comunicação / Coordenação
	Erros Humanos	Ilusão Visual
		Fadiga
		Pressonite
		De outros
		Molhado
		Contaminado - Água parada
		Contaminado - Borracha
		Contaminado - Óleo
		Contaminado - Gelo
	Condições de superfície de pista	Contaminado - Lama
		Contaminado - Neve
		Contaminado - Tinta
		Contaminado - Outro
		Construção
		Superfície da pista
		Condições
		Declive
	Risco de vida selvagem	
		Desestabilizado - Abordagem
		Baixa
	Aproximação/Decolagem - Procedimentos	Desestabilizado - Baixa velocidade
		Toque longo

Tabela 10 – Estrutura do banco de dados (conclusão)

Categoria	Nível de campo 1	Nível de campo 2
		Desestabilizado - Alta
		Velocidade
		Muito acima do limiar
		Decolagem Rejeitada
		De outros
Custos	Tipo de aeronave	Largo ou estreito
	Custo de aeronave	Valor em dólares de 2007
	Custo humano	Valor em dólares de 2007
	Custos totais dos eventos	Valor em dólares de 2007

Fonte: ACRP Report 3, 2008

Elementos de abordagem para construção do modelo, como descrito em *ACRP Report 3* (2008), tais como:

- a) Probabilidade de evento: a probabilidade de ocorrência de atropelamento ou toque na pista muito cedo, depende das condições de operação, tais como fatores climáticos e estado operacional da aeronave. A taxa de acidente é balizada a partir dos dados históricos que foram montados em forma de banco de dados. Também foi utilizado o uso de NOD (Dados de Operações Normais).
- b) Localização do acidente: este elemento é fundamental para se calcular a probabilidade de localizar as áreas com maior chance de acidente, também balizado em dados históricos de acidentes. Pode se calcular o potencial de acidente em locais da pista.
- c) Consequência do acidente: este elemento tem um fator que difere em todos os aeroportos, ou seja, cada um conta com um tamanho da RESA presente no aeroporto, uma letalidade que pode vir a ocorrer devido às condições de entorno e de aeronave, assim definirá uma área de consequência.

2.3.3 Modelo de ACRP Report 50 (2011)

Conforme já mencionado, o *ACRP Report 50* (2011) é uma versão atualizada do *ACRP Report 3* (2008), ou seja, ambos foram programados com os mesmos modelos de análise de risco, entretanto, para a versão mais atual há algumas melhorias como: a possibilidade de estudo de implantação do EMAS; a possibilidade de definição dos níveis aceitáveis de segurança das

operações de pouso e decolagem, de acordo com cada aeroporto; a possibilidade de inserção dos dados referentes aos ventos de cauda e proa; além de apresentar uma interface mais amigável ao usuário, resultando em análises de risco mais fiéis e coerentes com os dados inseridos no software, aumentando sua precisão, uma vez que foi incluído, nessa última versão, um fator de criticidade da pista, o qual compara o comprimento da pista disponível no aeroporto com o comprimento da pista necessário para aquele aeroporto.

Como continuação do *ACRP Report 3* (2008), o *ACRP Report 50* (2011) utiliza os mesmos três modelos para a concretização da análise de risco, sendo eles:

- a) Modelo de probabilidade: o qual estima, de forma específica, conforme os dados de entrada, a probabilidade de ocorrências de cada um dos eventos: LDUS (*undershoot* em operação de pouso), LDOR (*overrun* em operação de pouso), LDVO (*veer-off* em operação de pouso), TOOR (*overrun* em operação de decolagem) e TOVO (*veer-off* em operação de decolagem). Esse modelo de risco é específico para cada evento, pois os fatores podem influenciá-los com maior ou menor intensidade, por exemplo para LDOR e TOOR, o vento de cauda pode ser crucial.
- b) Modelo de localização: o qual estima a probabilidade da localização de um evento de ultrapassagem de pista, bem como a sua distância, ou seja, esse modelo serve para estimar a probabilidade de parada de uma aeronave a uma determinada distância além do final da pista, ainda sobre a RESA. De extrema importância, principalmente, para os eventos de LDOR e TOOR.
- c) Modelo de Consequência: o qual utiliza o modelo de localização juntamente às informações de possíveis obstáculos até a localização prevista e, a partir daí, mensura-se a gravidade da ocorrência; sendo um modelo aplicável a todos os eventos.

Ainda conforme realizado no *ACRP Report 3*, o modelo de probabilidade (modelo de frequência) do *ACRP Report 50* utiliza uma análise de regressão logística, conforme Equação 1, cuja técnica é a mais adequada para identificar a probabilidade entre variáveis dicotômicas, como acidente e não acidente, sem gerar um valor de probabilidade tendencioso, devido alguma variável fornecida.

$$P\{Ocorrência_Acidente\} = \frac{1}{1+e^{b_0+b_1 \cdot x_1+b_2 \cdot x_2+b_3 \cdot x_3+\dots}} \quad (1)$$

Onde: $P\{Ocorrência_Acidente\}$ é a porcentagem da probabilidade de ocorrência de um acidente em condições parametrizadas; b_n são coeficientes de regressão e; x_n são variáveis independentes (por exemplo, clima, aeronave, tipo de operação etc.).

A Tabela 5 apresenta as variáveis aleatórias que interferem na probabilidade de ocorrência para cada um dos acidentes aeronáuticos.

Tabela 11 – Variáveis independentes utilizadas para modelos de frequência (continua)

Variável	LDOR	LDUS	LDVO	TOOR	TOVO
Constante ajustada	-13,065	-15,378	-13,088	-13,088	-15,612
Classe de usuário F		1,693		1,266	
Classe de usuário G	1,539	1,288	1,682		2,094
Classe de usuário T/C	-0,498	0,017			
Aeronave Classe A/B	-1,013	-0,778	-0,77	-1,150	-0,852
Classe de aeronave D/E/F	0,935	0,138	-0,252	-2,108	-0,091
Teto inferior a 200 pés	-0,019	0,07		0,792	
Teto de 200 a 1000 pés	-0,772	-1,144		-0,114	
Teto de 1000 a 2500 pés	-0,345	-0,721			
Visibilidade inferior a 2 SM	2,881	3,096	2,143	1,364	2,042
Visibilidade de 2 a 4 SM	1,532	1,824		-0,334	0,808
Visibilidade de 4 a 8 SM	0,2	0,416		0,652	-1,500
X wind de 5 a 12 kt	-0,913	-0,295	0,653	-0,695	0,102
X wind de 2 a 5 kt	-1,342	-0,698	-0,091	-1,045	
X wind mais de 12 kt	-0,921	-1,166	2,192	0,219	0,706
Vento de cauda de 5 a 12 kt			0,066		

Tabela 12 – Variáveis independentes utilizadas para modelos de frequência (conclusão)

Variável	LDOR	LDUS	LDVO	TOOR	TOVO
Vento de cauda superior a 12 kt	0,786		0,98		
Temp inferior a 5 C	0,043	0,197	0,558	0,269	0,988
Temp de 5 a 15 C	-0,019	-0,71	-0,453	-0,544	-0,42
Temp mais de 25 C	-1,067	-0,463	0,291	0,315	-0,921
Condições de gelo	2,007	2,703	2,67	3,324	
Chuva		0,991	-0,126	0,355	-1,541
Neve	0,449	-0,25	0,548	0,721	0,963
Precipitação congelada			-0,103		
Rajadas		0,041	-0,036	0,006	
Névoa			1,74		
Trovoada	-1,344				
Turboélice			-2,517	0,56	1,522
OD estrangeiro	0,929	1,354	-0,334		-0,236
Aeroporto Central/ não central	1,334				-0,692
Fator de Criticidade do registro	9,237	1,629	4,318		1,707
Condições Noturnas			-1,36		

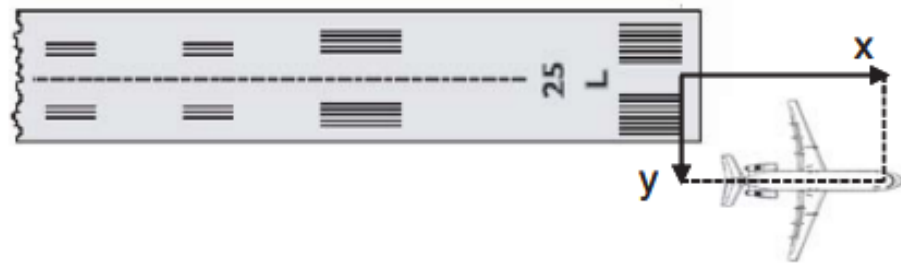
Fonte: ACRP Report 50 (2011)

O fator de criticidade, mencionado anteriormente como uma das melhorias da versão atual do software, é calculado a partir do logaritmo da razão entre a distância necessária e a distância disponível e, quanto mais elevados os resultados positivos, maiores os riscos, já que representam que a distância disponível é menor do que a necessária. Ressaltando que, a distância disponível passa por uma correção para se adequar às condições da pista e dos ventos de cauda e proa.

O modelo de localização utiliza bancos de dados internacionais de acidentes em aeroportos, os quais variam de acordo com as condições da pista do aeroporto, se tem ou não o EMAS instalado e com o tipo de terreno do aeroporto, se é ou não pavimentado. A partir desses dados, sabendo-se que, quando há o EMAS instalado no aeroporto, as distâncias para parada total da aeronave, pós ultrapassagem, são mais curtas, utiliza-se a desaceleração típica para o cálculo da probabilidade de localização.

A localização, para *overruns* e *undershoots*, é dada a partir da origem do eixo XY, situado no centro do final da pista, até o ponto de referência da aeronave, que são os trens de pouso do nariz, conforme ilustrado na Figura 8.

Figura 8 – Origem do eixo para as ultrapassagens



Fonte: ARCP Report 50, 2011

A distribuição longitudinal, ou seja, a probabilidade de ocorrência a partir de determinado “x” é dada pela Equação 2.

$$P\{\text{Localização} > x\} = e^{-a \cdot x^n} \quad (2)$$

Onde: $P\{\text{Localização} > x\}$ é a porcentagem da probabilidade da distância do *overrun/undershoot* ao longo do eixo da pista além de seu final, ser maior que x; x é a localização determinada ou a distância além do final da pista e; a e n são coeficientes de regressão.

Já a distribuição transversal, ou seja, a probabilidade de ocorrência a partir de determinado “y” é dada pela Equação 3.

$$P\{\text{Localização} > y\} = e^{-b \cdot y^m} \quad (3)$$

Onde: $P\{\text{Localização} > y\}$ é a porcentagem da probabilidade da distância do *overrun/undershoot*, em relação a borda da pista (*veer-offs*) ou em relação ao eixo da pista (*overruns* e *undershoots*), ser maior que y; y é a localização determinada ou a distância estendida do eixo da pista ou a distância da borda da pista e; b e m são coeficientes de regressão.

2.3.3.1 RSARA2 V.2 (Runway Safety Area Risk Analysis)

O software RSARA2 foi desenvolvido para o sistema Windows, a partir dos estudos realizados no ACRP *Report* 50, sendo a sua principal proposta facilitar a inserção dos dados necessários, bem como a caracterização das condições de análise, tornando-se uma plataforma mais amigável ao usuário/operador. Além disso, o software foi adaptado para avaliar diversas alternativas de RESA, incluindo análises referentes ao EMAS padrão e não padrão.

O software RSARA2 tem a capacidade de: avaliação completa dos riscos para diversas pistas; inserção de obstáculos para cada tipo de RESA; categorização dos obstáculos; definição e análise da geometria da RESA não padrão (não retangular); análise da RESA com o EMAS padrão e não padrão; inserção de dados históricos meteorológicos; conversão automática de dados meteorológicos em parâmetros utilizados nos modelos de probabilidade; inclusão de diversos tipos de aeronaves, sendo ainda possível adicionar outros tipos de aeronaves que não estão presentes em sua base; cálculo do fator de criticidade para cada operação; cálculo da distância necessária, para pouso e decolagem, baseado na elevação, temperatura, vento e condição da superfície da pista e; geração de relatórios com os resultados das análises realizadas.

Os relatórios de análises gerados apresentam os seguintes parâmetros: risco médio para cada tipo de incidente/acidente; frequência esperada de ocorrência de evento, a partir do volume de tráfego anual e seu crescimento, definido pelo usuário/operador; percentual de operações, cuja probabilidade é ser maior que o nível de segurança imposto pelo usuário/operador e; gráficos com a distribuição de risco para cada RESA e para cada evento.

Para que as análises sejam, efetivamente, realizadas pelo software RSARA2, é necessário que o usuário/operador forneça dados de entrada referentes ao aeroporto em questão. Os dados de entrada podem ser descritos como:

a) Dados históricos de operações do aeroporto: são os dados relacionados à data e hora das operações de pouso e decolagem; ao modelo da aeronave; à pista utilizada; ao tipo de operação realizada etc.;

b) Dados históricos meteorológicos (METAR – Meteorological Aerodrome Report): são os dados relacionados às condições climáticas do aeroporto, como vento, temperatura, precipitação, visibilidade etc. Esses dados devem pertencer a uma amostra cujo período seja igual ao período dos dados históricos de operações do aeroporto que serão utilizados para as análises. Ressaltando que, para cada tipo de operação, é necessário um METAR correspondente, ou seja, não existe uma

movimentação aeroportuária sem um METAR associado. Os METARs influenciam diretamente na análise do risco, uma vez que para a realização das operações de pouso e decolagem é de extrema importância informações como a direção e velocidade do vento, assim como o clima e suas intempéries. Os METARs são emitidos, obrigatoriamente, a cada 1 hora, sendo que, em condições excepcionais, baixa visibilidade, neve, pancadas de chuva e rajadas de vento, podem ser emitidos com um intervalo de tempo menor.

c) Características da pista: são as principais características da pista a ser analisada, por exemplo, elevação, direção, distâncias declaradas etc.

d) Características da RESA: são, além das características geométricas da RESA, a localização, a dimensão, o tipo de superfície, a categoria dos obstáculos, quando aplicável etc. É ainda nesse tópico que as características geométricas do EMAS são inclusas.

e) Informações gerais: são as informações relacionadas ao aeroporto, como o volume de tráfego anual, a taxa de crescimento anual etc.

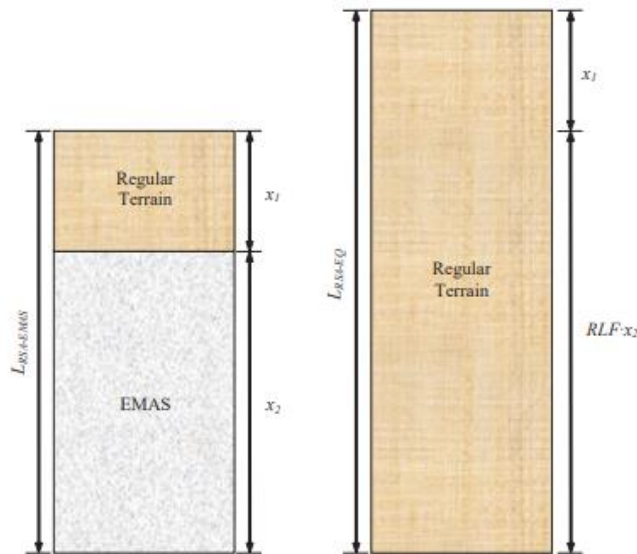
A maioria dos dados de entrada são inseridos no software através de planilhas do Microsoft Excel. Por exemplo os dados históricos de operações do aeroporto e os dados históricos meteorológicos. Além das características da RESA, com ou sem EMAS, que consiste em um Excel formado por uma matriz de células, de dimensões $10\text{ ft} \times 10\text{ ft}$, as quais correspondem às coordenadas com referência ao centro da pista e, caso necessário, essa escala pode ser alterada; nesse Excel o usuário/operador é quem define a geometria da RESA, bem como seu material/tipo de superfície, sendo possível testar o risco com uma RESA padrão e não padrão ou com a inserção do EMAS.

Para a realização de análises que tenham a presença do EMAS, o software utiliza um fator de comprimento de pista, conforme Equação 4, no qual ele transforma o comprimento da RESA com o EMAS em um comprimento equivalente de RESA convencional, como ilustrado, esquematicamente, na Figura 9, para que então esse comprimento equivalente seja usado nos modelos de probabilidade.

$$RLF = \frac{\alpha_{EMAS}}{\alpha_{RSA}} \quad (4)$$

Onde: RLF é um fator de comprimento de pista; α_{EMAS} é a desaceleração da RESA com EMAS e; α_{RSA} é a desaceleração da RESA convencional

Figura 9 – RESA convencional com comprimento equivalente à RESA com EMAS



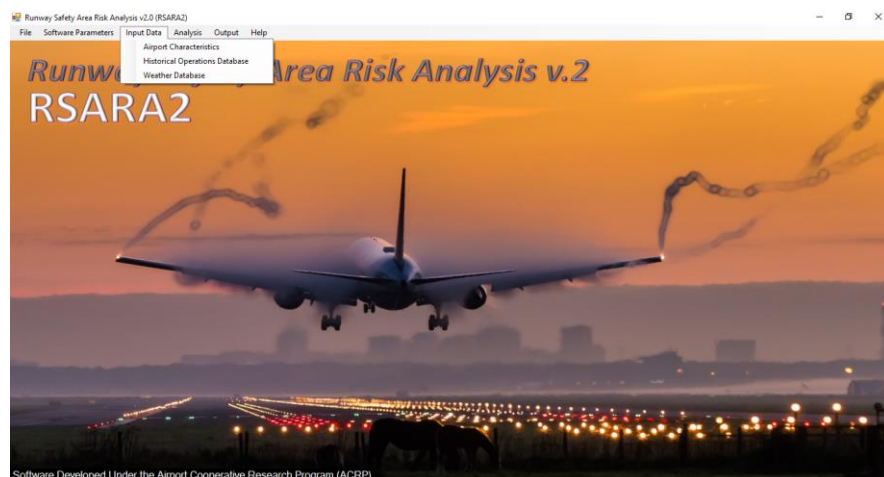
Fonte: ACRP Report 50 (2011)

Para a conversão do comprimento de RESA com EMAS para um comprimento equivalente de RESA convencional, o software analisa o local onde a aeronave pararia sobre o EMAS e então aumenta a RESA convencional para que essa mesma aeronave, com as mesmas condições de saída de pista, pare em um local equivalente sobre a RESA convencional.

A seguir são exibidas algumas imagens para exemplificar como os dados de entrada são inseridos no software.

A Figura 10 ilustra a tela inicial do programa, com ênfase no *Input Data*, que são os principais dados de entrada que devem ser fornecidos pelo usuário/operador.

Figura 10 – Tela inicial do Software



Fonte: Autores, 2022

Já a Figura 11 ilustra como os dados históricos de operações do aeroporto devem ser inseridos. Lembrando que, as colunas do Excel devem estar exatamente na ordem e formato mostrados a seguir, para que o software consiga ler e analisar as informações.

Figura 11 – Exemplo de Excel com os dados históricos de operações (Aeroporto SBRJ)

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	HOD_ID	DATE&TIME	RUNWAY_DESIGNATION	BOUND	FLIGHT_NO	FAA_Code	FLIGHT_Category	FLIGHT_Type
2	1	31/12/19 9:00 AM	17 D		1113	AT43	GA	D
3	2	31/12/19 2:00 PM	17 A		1118	AT43	GA	D
4	3	1/1/20 8:00 AM	17 A		1125	C208	GA	D
5	4	2/1/20 12:00 PM	17 A		1142	BE9T	GA	D
6	5	2/1/20 2:00 PM	17 D		1144	BE9T	GA	D
7	6	3/1/20 5:00 PM	17 D		1163	BE9T	GA	D
8	7	3/1/20 5:00 PM	17 D		1164	BE9T	GA	D
9	8	3/1/20 6:00 PM	17 A		1165	BE9T	GA	D
10	9	3/1/20 6:00 PM	17 A		1166	BE9T	GA	D
11	10	6/1/20 10:00 AM	17 A		1170	C206	GA	D
12	11	6/1/20 11:00 AM	17 D		1171	C206	GA	D
13	12	6/1/20 1:00 PM	17 D		1173	C206	GA	D
14	13	7/1/20 9:00 AM	17 D		1182	AT43	GA	D
15	14	7/1/20 2:00 PM	17 A		1187	AT43	GA	D
16	15	8/1/20 8:00 AM	35 A		1194	C208	GA	D
17	16	9/1/20 12:00 PM	17 A		1212	BE9T	GA	D
18	17	9/1/20 2:00 PM	35 D		1214	BE9T	GA	D
19	18	10/1/20 5:00 PM	17 D		1230	BE9T	GA	D
20	19	10/1/20 6:00 PM	17 A		1231	BE9T	GA	D
21	20	10/1/20 6:00 PM	17 A		1232	BE9T	GA	D
22	21	13/1/20 10:00 AM	17 A		1236	C206	GA	D
23	22	13/1/20 11:00 AM	17 D		1237	C206	GA	D
24	23	13/1/20 1:00 PM	17 D		1239	C206	GA	D
25	24	14/1/20 9:00 AM	17 D		1248	AT43	GA	D
26	25	14/1/20 2:00 PM	17 A		1253	AT43	GA	D

Fonte: Autores, 2022

Na Figura 11, mostrada acima, a coluna A é a identificação numérica da operação; a coluna B é a data e hora da operação; as colunas C e D são, respectivamente, o número e a letra de identificação da cabeceira da pista que foi utilizada para aquela operação em questão; a coluna E é o número do voo; a coluna F é o código FAA para o avião que estava sendo utilizado durante a operação em questão; a coluna G é a categoria do voo e; a coluna H é o tipo de voo.

Na Figura 12 é exibido o Excel com os dados históricos meteorológicos, no qual, assim como para os dados históricos de operações do aeroporto, as colunas devem estar exatamente na ordem apresentada a seguir. Ressaltando que a planilha com os dados históricos meteorológicos é, totalmente, baseada nos METARs emitidos por cada aeroporto, portanto, as informações presentes no Excel são os dados apresentados em cada METAR, organizados em colunas, para a leitura e análise do software.

Figura 12 – Exemplo Excel com os dados históricos meteorológicos (Aeroporto SBRJ)

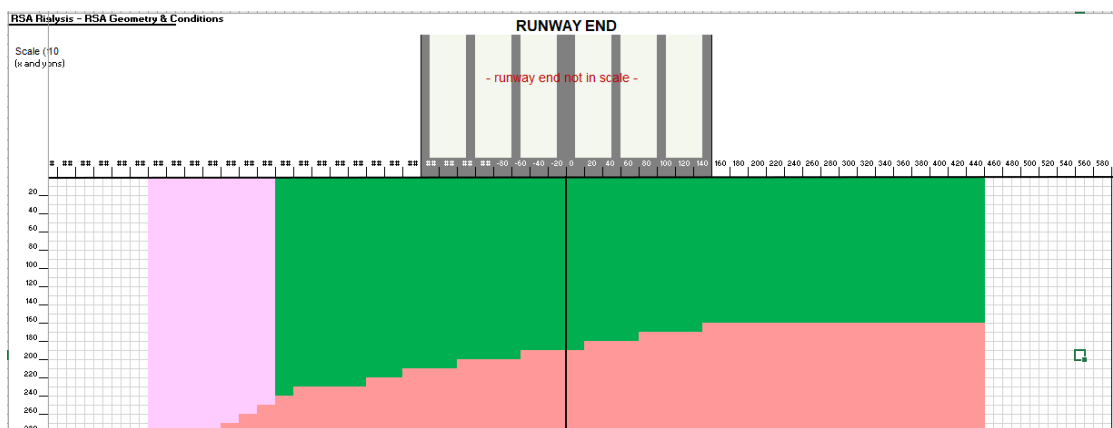
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
1	Date&Time	Visibility_S	Wind Direction_d	Wind Speed_kmh	Air Temp	Ceiling_ft	Thunderstorm	Rain	Rain Show	Freezing Rain	Freezing Drizzle	Snow	Snow Pellet	Ice Cr
2	31/12/19 7:00 AM	4.970968	320	04	81	2700	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE
3	31/12/19 8:00 AM	4.970968	300	05	81	2700	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE
4	31/12/19 9:00 AM	5.592339	280	03	84.6	2700	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE
5	31/12/19 10:00 AM	6.213088629	260	04	84.6	2700	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE
6	31/12/19 11:00 AM	6.213088629	260	06	86.4	2400	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE
7	31/12/19 12:00 PM	6.213088629	240	05	86.4	2400	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE
8	31/12/19 1:00 PM	6.213088629	250	06	86.4	2400	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE
9	31/12/19 2:00 PM	4.970968	250	04	86.4	2700	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE
10	31/12/19 3:00 PM	4.970968	150	03	86.4	2400	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE
11	31/12/19 4:00 PM	4.970968	180	06	86.4	2400	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE
12	31/12/19 5:00 PM	6.213088629	150	05	88.2	2500	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE
13	31/12/19 6:00 PM	6.213088629	170	04	84.6	2500	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE
14	31/12/19 6:00 PM	6.213088629	150	05	84.6	2500	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE
15	1/1/20 7:00 AM	3.106855	270	02	82.8	9900	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE
16	1/1/20 8:00 AM	3.728226	220	04	84.6	1100	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE
17	1/1/20 9:00 AM	4.970968	220	05	86.4	9900	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE
18	1/1/20 10:00 AM	6.213088629	250	06	88.2	9900	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE
19	1/1/20 11:00 AM	6.213088629	250	06	90	9900	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE
20	1/1/20 12:00 PM	6.213088629	240	07	90	3500	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE
21	1/1/20 1:00 PM	6.213088629	250	08	90	3500	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE
22	1/1/20 2:00 PM	6.213088629	170	05	93.6	3500	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE
23	1/1/20 3:00 PM	6.213088629	240	06	91.8	2500	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE
24	1/1/20 4:00 PM	6.213088629	140	04	93.6	2000	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE
25	1/1/20 5:00 PM	5.592339	120	04	91.8	2500	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE
26	1/1/20 6:00 PM	6.213088629	150	07	86.4	9900	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE
27	1/1/20 6:00 PM	6.213088629	170	05	86.4	9900	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE
28	2/1/20 7:00 AM	3.106855	000	00	82.8	2100	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE
29	2/1/20 8:00 AM	3.728226	170	01	82.8	2400	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE

Fonte: Autores, 2022

Na Figura 12, exibida acima, a coluna A é a data e hora em que o METAR foi gerado; a coluna B é a visibilidade na hora que o METAR foi gerado; a coluna C e D são, respectivamente, a direção e a velocidade do vento no momento de geração do METAR; a coluna E é a temperatura do ar na hora que o METAR foi gerado; a coluna F é o teto referente às nuvens mais baixas no momento de geração do METAR e; as demais colunas são referentes à presença de cada intempérie apresentada no momento de geração do METAR.

Por fim, para os dados de entrada, é apresentado, na Figura 13, o Excel com as características da RESA, onde é definido a geometria, o tipo de superfície e os tipos de obstáculos existentes.

Figura 13 – Exemplo de Excel com as características da RESA (Aeroporto SBRJ)



Fonte: Autores, 2021

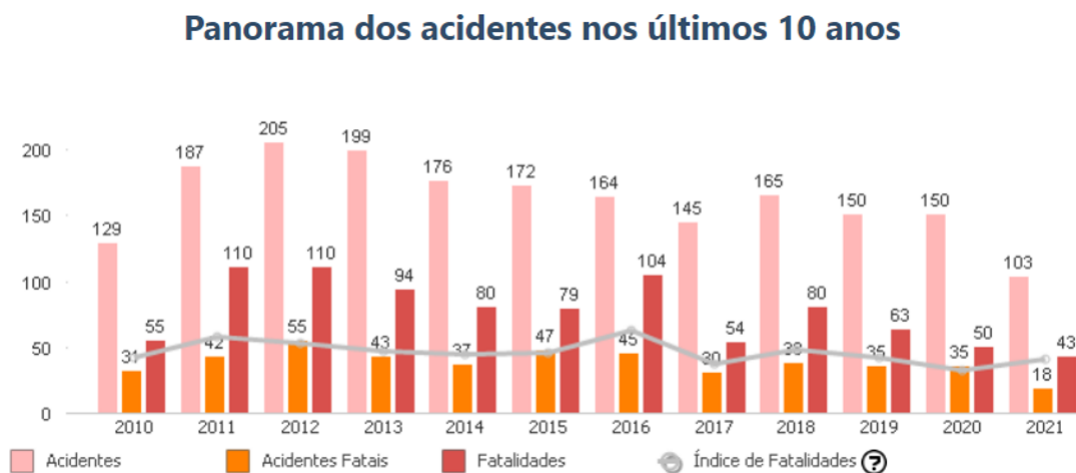
Para este Excel com as características da RESA, cada tipo de superfície e cada tipo de obstáculo têm uma letra correspondente, que ao ser digitada na célula escolhida, transforma-se em uma cor, sendo, dessa forma, possível desenhar a geometria da RESA com suas características, como no exemplo acima, Figura 13; no qual as células em verde são referentes ao tipo de superfície (grama/solo/área não pavimentada), as células em lilás são referentes ao tipo de obstáculo (pequenas valas/cercas/terreno irregular/pequenas depressões) e as células em salmão também são referentes ao tipo de obstáculo (corpo de água/parede de tijolos/não presença de cercas frangíveis contra *Jet Blast*/grandes valas).

2.4 ACIDENTES AERONÁUTICOS

De acordo com o CENIPA (2021), um acidente aéreo é causado por uma somatória das variáveis, diretas ou indiretas, por exemplo falha humana (aspectos fisiológicos, psicológicos e operacional) e falha mecânica (aspectos de projeto, fabricação e de manuseio do material), sendo que, o conjunto das variáveis contribui para a ocorrência do sinistro.

Na Figura 14, pode-se observar o panorama de acidentes aeronáuticos, atualizados no dia 03/10/2021, dos últimos 10 anos, com os dados da última ocorrência, sendo levado em consideração todos os tipos de acidentes com apontamento para os acidentes fatais e as fatalidades. Durante esse período, de 10 anos, foram registradas 922 fatalidades, dando uma média de, aproximadamente, 83 fatalidades por ano (CENIPA, 2021).

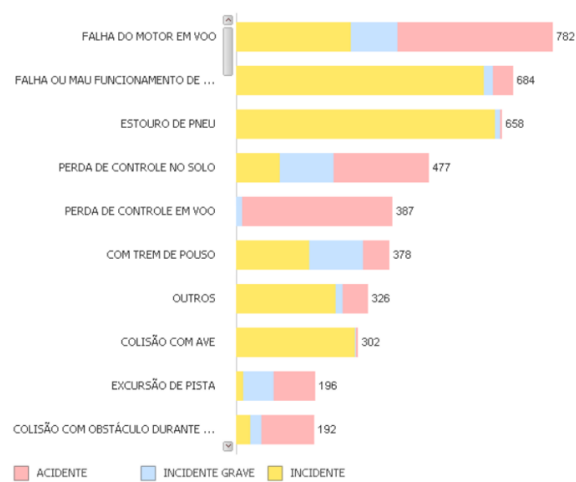
Figura 14 – Panorama dos acidentes aeronáuticos



Fonte: CENIPA, 2021

A Figura 15 ilustra as principais ocorrências aeronáuticas levando em consideração os acidentes, incidente graves e os incidentes. Algumas dessas ocorrências são fatores mecânicos, outros são ocasionados por fatores externos, como a não conformidade com a infraestrutura do aeródromo, que por sua vez precisa de algum tipo de redimensionamento dos elementos do aeródromo ou a implementação de algum sistema de segurança que proporcione à pista níveis aceitáveis de riscos (CENIPA, 2021).

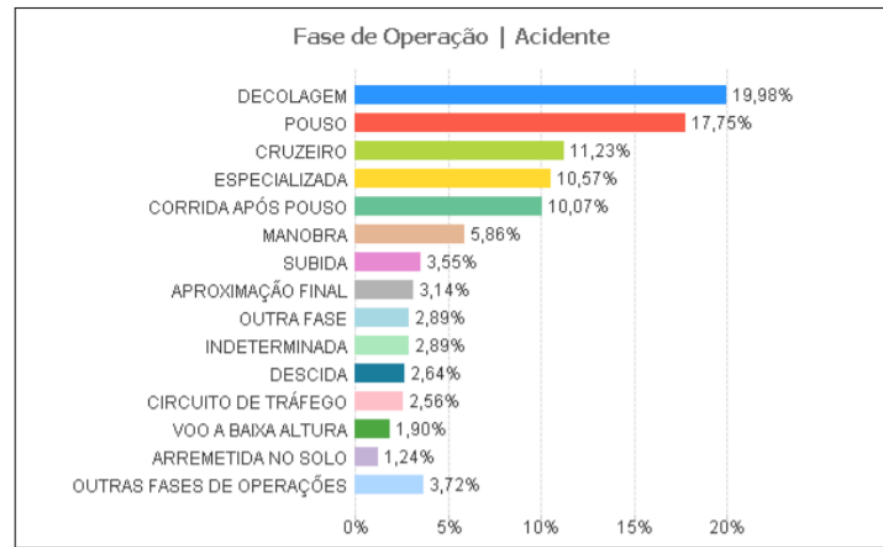
Figura 15 – Ocorrências por tipo: acidentes, incidente grave e incidente



Fonte: CENIPA, 2021

Já a Figura 16 exhibe os registros levantados, no Sumário Estatístico de Aviões 2010-2019, de acordo com o CENIPA (2021), do percentual de ocorrência, discriminado pela fase de operação da aeronave no ato do acidente.

Figura 16 – Percentual de acidentes por fase de operação, nos últimos 10 anos.

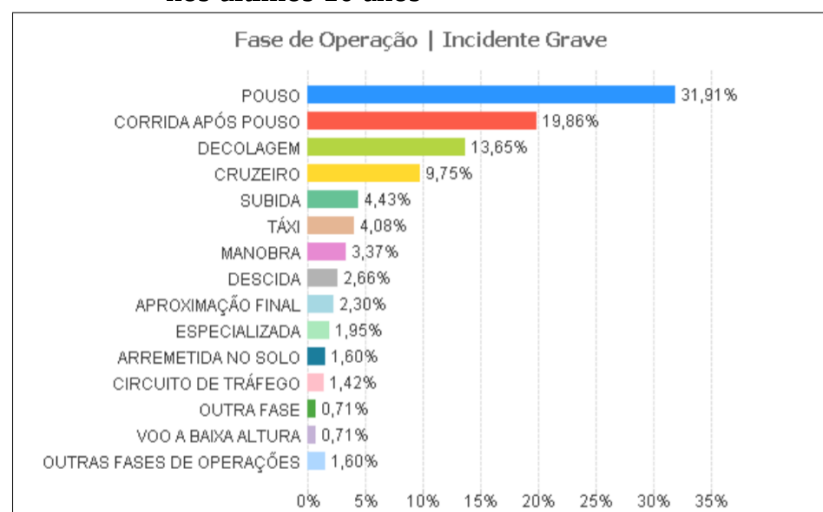


Fonte: CENIPA, 2021

Observa-se que as fases operacionais mais frequentes neste período são: decolagem, com 19,98% dos acidentes; pouso, com 17,75% dos acidentes e; cruzeiro, com 11,23% dos acidentes; sendo responsáveis por, aproximadamente, 49% de todos os acidentes (CENIPA, 2021).

Enquanto a Figura 17 exibe os registros levantados, no Sumário Estatístico de Aviões 2010-2019, de acordo com o CENIPA (2021), do percentual de ocorrência, discriminado pela fase de operação da aeronave no ato do incidente grave.

Figura 17 – Percentual de incidentes graves por fase de operação, nos últimos 10 anos



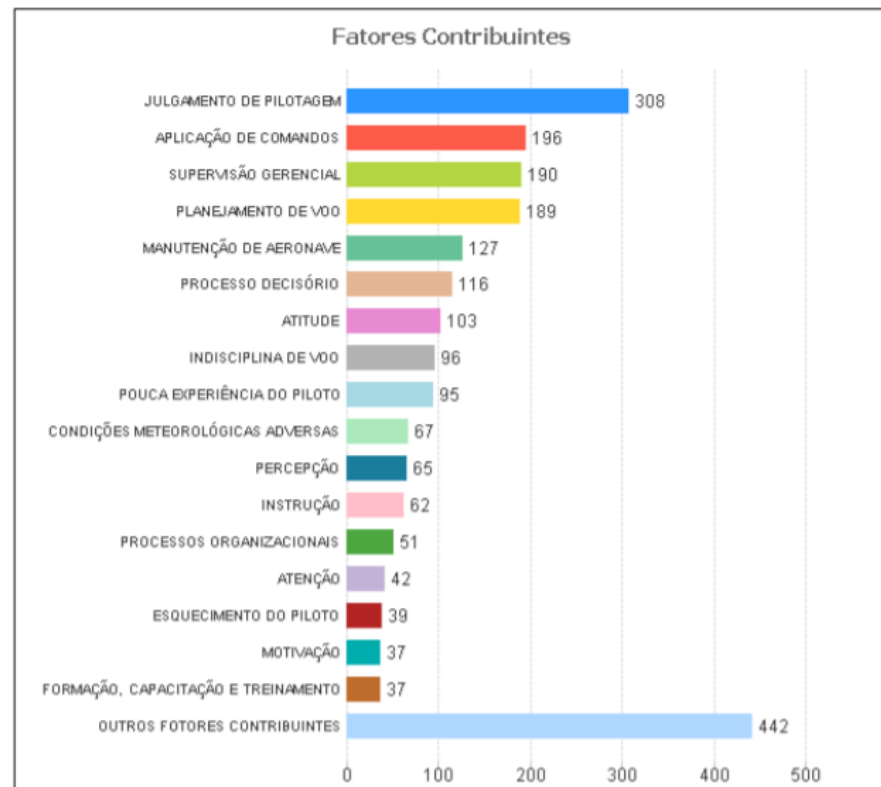
Fonte: CENIPA, 2021

Observa-se que as fases operacionais mais frequentes neste período são: pouso, com 31,91% dos incidentes graves; corrida após pouso, com 19,86% dos incidentes graves e; decolagem, com 13,65% dos incidentes graves; sendo responsáveis por, aproximadamente, 66% de todos os incidentes graves (CENIPA, 2021).

De acordo com o CENIPA (2021), a implantação do EMAS como sistema de segurança no final da pista, além diminuir a probabilidade de acidentes/incidentes graves de *overrun* (acidente em que o piloto não consegue parar o avião antes da extremidade final da pista), pode-se, também, diminuir a incidência de outros tipos de acidentes/incidentes graves, por exemplo o *veer-off* (saída lateral da pista).

Para a ocorrência de um acidente, ainda segundo o CENIPA (2021), o fator principal contribuinte é o julgamento do piloto no momento decisivo da situação de risco, como ilustrado na Figura 18. A implantação de um sistema de segurança no final de pista, pode-se tornar um elemento fundamental na hora da decisão do piloto, como visto no acidente do voo JJ 3054 da TAM, em 2007, no aeroporto de Congonhas, onde o piloto cogitou sair pela lateral da pista (*veer-off*), já que não havia uma melhor opção para frear o avião naquelas circunstâncias.

Figura 18 – Incidência dos fatores contribuintes em acidentes, nos últimos 10 anos



Fonte: CENIPA, 2021

De acordo com a Figura 18, pode-se notar que, dentre os fatores contribuintes, o que apresenta uma porcentagem maior é “outros fatores contribuintes”, totalizando 19,54%, em comparação ao “julgamento de pilotagem” que totaliza 13,62%; entretanto, o julgamento do piloto é considerado o fator principal, por não haverem informações suficientes no CENIPA, que definam o que são esses outros fatores, portanto, fica subentendido que são fatores que juntos se tornam um número relevante, mas separados, não seriam o suficiente para criação de um subgrupo específico para cada tipo de fator, como feito com os demais.

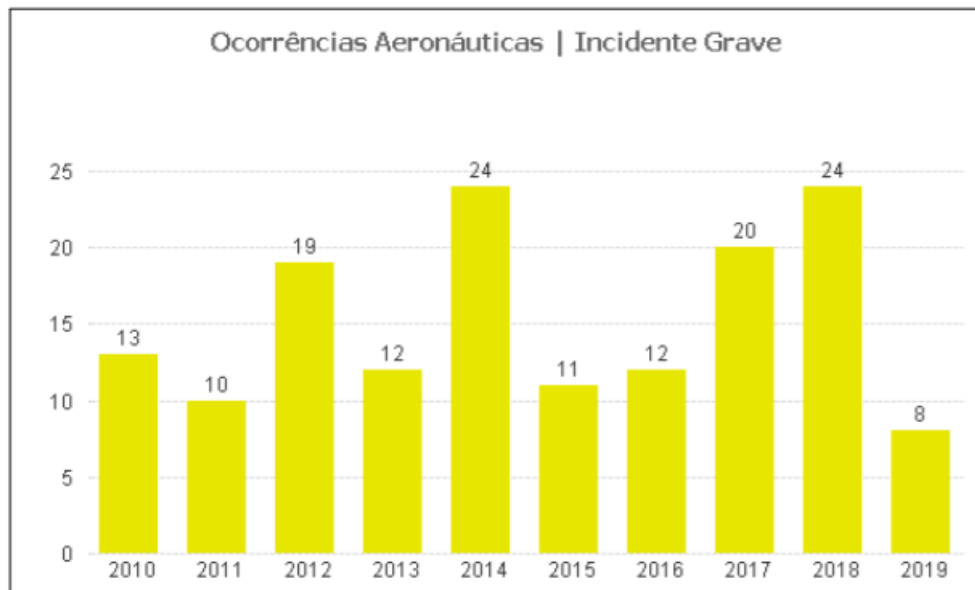
Com relação aos eventos de saída de pistas, nos últimos 10 anos (2010-2019), ocorreram 186 acidentes, como exibido na Figura 19 e, 153 incidentes graves, como exibido na Figura 20, que tiveram saída de pista na aviação civil brasileira na área de Aeródromos, totalizando 339 ocorrências, como abordado no Sumário Estatístico de Aeródromos 2010-2019 (CENIPA, 2021).

Figura 19 – Acidentes de saída de pista entre os anos de 2010 e 2019



Fonte: CENIPA, 2021

Figura 20 – Incidentes graves de saída de pista entre os anos de 2010 e 2019



Fonte: CENIPA, 2021

2.5 TECNOLOGIA EMAS (ENGINEERED MATERIALS ARRESTING SYSTEM)

Segundo a *Federal Aviation Administration* (1999), os aeroportos deviam aumentar sua área de RESA (*Runway End Safety Area*), para 500 *ft* (equivalente à 152,4 m) de largura por 1000 *ft* (equivalente à 304,8 m) de comprimento, até o ano de 2015. Ainda segundo a FAA (2021), em 1990, a *Federal Aviation Administration* (FAA) em parceria com a *Engineered Arresting Systems Corporation* (ESCO), a Universidade de Dayton e a Autoridade Portuária de Nova York e Nova Jersey, criaram um sistema passivo de apreensão de aeronaves em ultrapassagem, o chamado EMAS (*Engineered Material Arresting System*), levando em consideração que nem todos os aeroportos tinham espaço suficiente para o aumento da sua área de RESA, devido às circunstâncias dos arredores como construções de edifícios e vias, lagos e mares e também à topografia local.

O EMAS (*Engineered Material Arresting System*) consiste em um sistema de apreensão de aeronaves em excursão de pista, tanto durante a decolagem, quanto durante o pouso, o qual proporciona a desaceleração da aeronave até sua parada, mitigando a gravidade dos acidentes/incidentes e, até mesmo os evitando (Yang et al., 2018).

De acordo com Ketabdari et al. (2020), o EMAS é uma área que se estende ao final de uma pista de pouso e decolagem e, utiliza de material frágil ao impacto, fazendo com que as aeronaves em situação de *oveerrun* fiquem presas no sistema sem que haja qualquer tipo de

dano à aeronave ou aos tripulantes. A literatura internacional classifica o sistema de travamento de aeronaves em dois tipos: o passivo e o ativo.

O passivo é quando ao entrar no leito supressor, a aeronave tende a parar devido à força de arrasto gerada em seu trem de pouso, não havendo a necessidade de meios externos para que a interrupção ocorra, como exibido na Figura 21. Já o ativo é quando a aeronave é detida por cabos ou redes, os quais transferem a energia cinética da aeronave, de forma que essa seja amortecida e parada, ou seja, há a necessidade de meios externos para que a interrupção ocorra, como pode ser visto na Figura 22 a aeronave sendo parada por um sistema de barricada composta por redes. O sistema passivo é mais comum em aeroportos comerciais, enquanto o sistema ativo é mais voltado para área militar.

Figura 21 – Sistema de apreensão passivo de aeronaves



Fonte: Airport Business, 2016

Figura 22 – Sistema de apreensão ativo de aeronaves



Fonte: Brookshire, 2017

Segundo estatísticas levantadas pela Boeing, considerando acidentes de todo o mundo, entre os anos de 1959 e 2015, a chance de falhas durante a fase de pouso de uma aeronave é de 47%, como mostrado em Prabha e Raghavendra (2020). Ressaltando a importância de um sistema que trave a aeronave em excursão de pista, evitando, dessa forma, um acidente catastrófico.

De acordo com Zhang, Yang e Li (2013), a finalidade do EMAS é parar completamente a aeronave sujeita à excursão de pista, de modo que os passageiros não sofram nenhum tipo de lesão; bem como a diminuição de danos à aeronave. Portanto, quando a aeronave entra em contato com o EMAS, o esmagando e o quebrando, esse absorverá a energia cinética da aeronave, a desacelerando, de forma constante e sem movimentos bruscos, até que pare por completo.

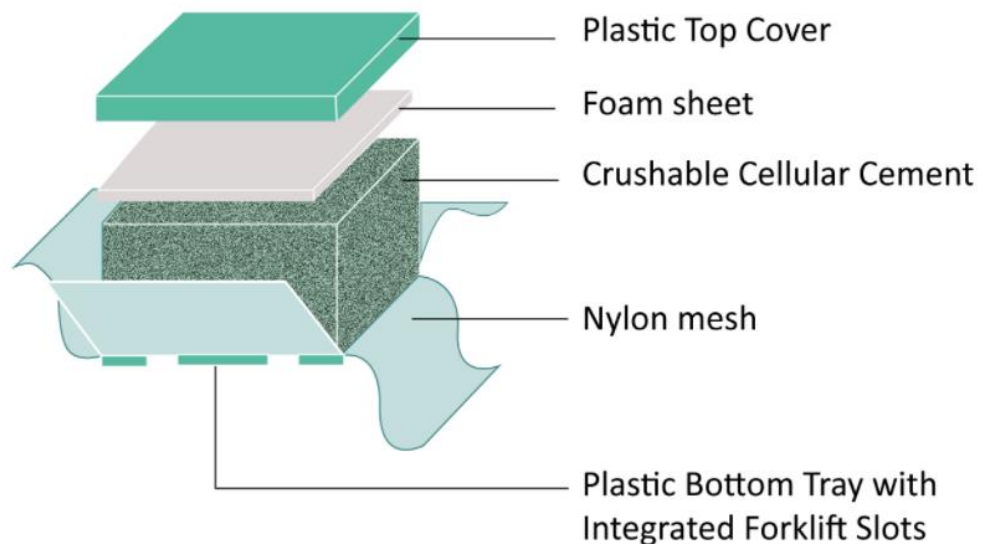
2.5.1 Materiais utilizados para construção do EMAS

Materiais como polímeros com estruturas celulares vêm sendo estudados para uso no EMAS; como exemplo desses materiais, pode-se citar o polipropileno expandido (EPP) e a espuma de poliuretano expandido (PUR), como discutido em Yang et al. (2017). Outro tipo de material que vem sendo estudado em Xing et al. (2017), é o metálico em formato de favo de mel.

Contudo, segundo a FAA (2021), atualmente, há apenas dois tipos de EMAS, ambos produzidos pela *Runway Safe* (antiga ESCO), os quais são instalados no final da pista, cobrindo toda a sua largura, sendo o comprimento variável de acordo com cada aeroporto.

O primeiro tipo de EMAS tem como material principal os blocos de concreto celular, chamado EMASMAX, tendo uma estrutura de camadas conforme ilustrado na Figura 23. Os blocos de concreto são instalados acima de uma base pavimentada de concreto e suas juntas são calafetadas ou seladas com fitas (*Runway Safe*, 2021).

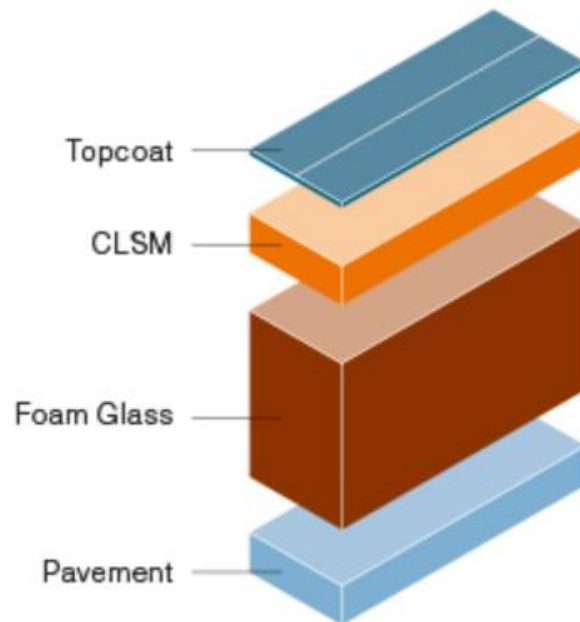
Figura 23 – Composição das camadas do EMASMAX



Fonte: Runway Safe, 2021

Já o segundo tipo de EMAS tem como material principal a espuma de sílica feita de vidro (100% reciclado), chamado greenEMAS, tendo uma estrutura de camadas conforme ilustrado na Figura 24. A espuma de sílica é aplicada, formando uma camada monolítica, sendo que acima dessa camada vêm as camadas de *Controlled Low-Strength Material* (CLSM) e o revestimento (*Runway Safe*, 2021).

Figura 24 – Composição das camadas do greenEMAS



Fonte: Runway Safe, 2021

É importante ressaltar que, todas as instalações de quaisquer EMAS devem ser revisadas e aprovadas pela FAA, sendo projetadas para uma vida útil de 20 anos.

2.5.2 Fabricantes do EMAS

Ainda segundo a FAA (2021), a *Runway Safe* é o único fabricante, atual, dos EMAS, que atende as especificações necessárias impostas na *Advisory Circular* 150-5220-22B, a qual descreve, por exemplo, como deverão ser feitos os projetos, instalações e manutenções do EMAS.

O AC (*Advisory Circular*) 150-5220-22B (2012) menciona não ser um AC obrigatório, não constituindo, assim, um regulamento; entretanto, é obrigatório o uso desse AC para a instalação do EMAS em aeroportos financiados por programas de assistência federal e, também para aeroportos certificados sob o Título 14 do Código de Regulamentos Federais (CFR).

O Código de Regulamentos Federais (CFR) é a codificação das regras federais gerais que são publicadas no Registro Federal. O CFR é dividido em 50 títulos, nos quais cada um abrange uma área. O título 14, por exemplo, abrange a área de aeronáutica e espaço (*Wex Definitions Team*, 2020).

2.5.3 Especificações para projeto e instalação do EMAS

Conforme descrito na AC 150-5220-22B (2012), para projetar o EMAS para um aeroporto, é necessário levar em consideração alguns quesitos como característica do tráfego (peso da aeronave e pressão de enchimento dos pneus), espaço disponível no aeroporto, condições climáticas etc.

Em relação ao peso da aeronave, esse varia de acordo com o mix de aeronaves atendido por cada aeroporto. Outro fator que influencia no peso da aeronave é o combustível presente na mesma. No momento da decolagem tem-se o peso máximo de decolagem (MTW – *Maximum Taxi Weight*), já que, normalmente, a aeronave tende estar com o tanque cheio, portanto, mais pesada. Em operações de pouso têm-se o peso máximo de pouso (MLW – *Maximum Landing Weight*), que por ter consumido parte do combustível durante o percurso, a aeronave tende estar mais leve.

Contudo, deve-se atentar à profundidade do leito supressor, como indicado em Zhang, Yang e Li (2013), pois se a profundidade for muito alta, há uma possibilidade de aeronaves menores não conseguirem romper/esmagar o sistema de apreensão, há ainda a chance de danificar o trem de pouso dessas aeronaves, devido à força excessiva a qual será exposto ao esmagar o EMAS. Por outro lado, se a profundidade for muito rasa, há a possibilidade de o sistema de apreensão não conseguir travar as aeronaves de maior porte. Portanto, deve-se, ainda, levar em consideração a profundidade do leito supressor e a resistência à compressão de seu material, para o dimensionamento do EMAS.

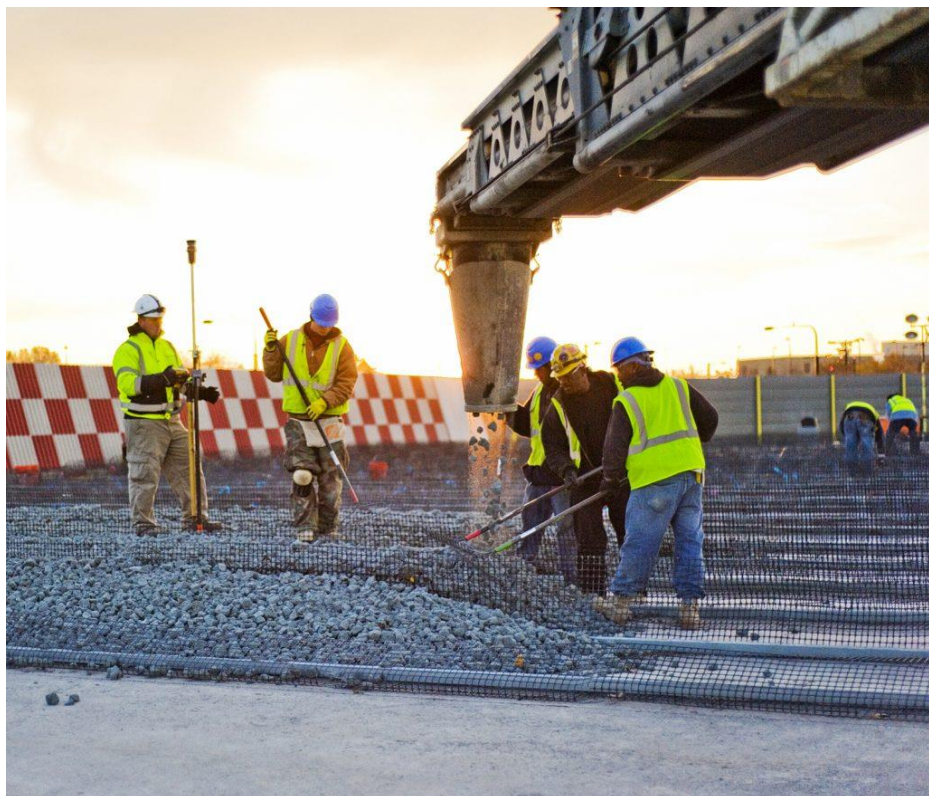
A Figura 25 ilustra a instalação do EMASMAX, sendo possível notar a profundidade desse sistema. A Figura 26 ilustra a instalação do greenEMAS, sendo possível notar a profundidade desse sistema.

Figura 25 – Instalação do EMASMAX



Fonte: Runway Safe, 2021

Figura 26 – Instalação do greenEMAS



Fonte: Runway Safe, 2021

A instalação do EMAS deve ser feita acima de uma base cimentada e após a RESA, entretanto, deve haver um espaço entre o final da pista e o início do leito supressor, para que possíveis explosões de aeronaves não danifiquem o material utilizado no EMAS, bem como evitar que pequenas ultrapassagens cheguem até o EMAS; ultrapassagens, essas, curtas o suficiente de tal modo que não haja a necessidade do uso do EMAS (Yang et al., 2018).

Segundo Yang et al. (2018), o EMAS deve ser dimensionado para parar uma aeronave cuja velocidade de saída da pista seja de 70 nós e, em caso de área insuficiente para instalação do EMAS que atenda essa velocidade, é requerido que esse sistema atenda no mínimo uma velocidade de saída da pista de 40 nós.

Os materiais que compõem o EMAS não devem ser atrativos para vermes, pássaros e animais; não devem ser inflamáveis; não devem emitir gases tóxicos em um ambiente de incêndio; não devem ser propícios ao crescimento de plantas indesejadas, sendo necessário a aplicação de herbicidas; devem manter sua densidade constante, independentemente do clima do local, levando em consideração a faixa de temperatura para a qual foram projetados; devem ser resistentes a fluídos anticongelantes; devem ser resistentes a combustível proveniente das aeronaves, fluídos hidráulicos e óleos lubrificantes; devem ter resistência UV; devem ser resistentes à água, gelo e degelo; e, devem ser resistentes à pintura e herbicidas (AC 150-5220-22B, 2012).

2.5.4 Manutenção do EMAS

Como pode ser notado em Ho e Romero (2009), o selante de juntas e os materiais de vedação do EMAS devem ser resistentes à expansão e contração devido às mudanças de temperatura e às explosões de aeronaves; no entanto, problemas relacionados ao endurecimento, à deterioração precoce da fita selante e do selante em si, podem ocorrer, gerando preocupação devido à entrada de umidade nas juntas; outro problema que gera preocupação é o relacionado à eflorescência entre os blocos de concreto, a qual resulta em lixiviação; os fatores climáticos também requerem atenção, já que levam a problemas que necessitam de manutenção, por exemplo revestimento descascado, pintura da superfície do EMAS e calafetagem das juntas. Contudo, tendo em vista que esses tipos de problemas estavam prejudicando a vida útil do EMAS, os fabricantes desenvolveram diversas melhorias.

Outro fator que encarece a manutenção do Emas, como mencionado em Yang et al. (2018), é que a manutenção deve ser feita apenas pelo fabricante do material, uma vez que a tripulação não tem as técnicas básicas necessárias para tal.

2.6 AEROPORTOS COM O EMAS INSTALADO

De acordo com a FAA (2021), o EMASMAX está instalado em 66 aeroportos, apenas nos Estados Unidos, totalizando 111 sistemas instalados, como apresentado na Tabela 6; já o sistema greenEMAS está instalado em 1 aeroporto nos Estados Unidos, totalizando 4 sistemas instalados, como apresentado na Tabela 7. Sem contar os outros países que também já aderiram ao EMAS, por exemplo: China, Espanha, Taiwan, Japão, Reino Unido, França, Suíça e o Brasil.

Tabela 13 – Aeroportos com EMASMAX, nos Estados Unidos (continua)

Aeroporto	Localização	Nº de Sistemas	Data(s) de Instalação
JFK International	Jamaica, NY	2	1996(1999)/2007 (2014)
Minneapolis St. Paul	Minneapolis, MN	1	1999(2008)
Little Rock	Little Rock, AR	2	2000/2003 (2018)
Rochester International	Rochester, NY	1	2001
Burbank	Burbank, CA	1	2002* (2017)
Baton Rouge Metropolitan	Baton Rouge, LA	1	2002
Greater Binghamton	Binghamton, NY	2	2002 (2012)/2009****
Greenville Downtown	Greenville, SC	1	2003**/2010****
Barnstable Municipal	Hyannis, MA	1	2003
Roanoke Regional	Roanoke, VA	1	2004
Fort Lauderdale International	Fort Lauderdale, FL	4	2004 (2019), 2014
LaGuardia	Flushing, NY	4	2005 (2014)/2015
Boston Logan	Boston, MA	2	2005/2006 (2012)/(2014)
Laredo International	Laredo, TX	1	2006/2012****
San Diego International	San Diego, CA	1	2006
Teterboro	Teterboro, NJ	3	2006+/2011/2013
Chicago Midway	Chicago, IL	0	Replaced
Merle K (Mudhole) Smith	Cordova, AK	1	2007
Charleston Yeager	Charleston, WV	1	2007 (2019)

Tabela 14 – Aeroportos com EMASMAX, nos Estados Unidos (continuação)

Aeroporto	Localização	Nº de Sistemas	Data(s) de Instalação
Manchester	Manchester, NH	1	2007
Wilkes-Barre/Scranton Intl.	Wilkes-Barre, PA	2	2008
San Luis Obispo	San Luis Obispo, CA	2	2008
Chicago-O'Hare	Chicago, IL	2	2008
Newark Liberty International	Newark, NJ	2	2008/2015
Charlotte Douglas International	Charlotte, NC	1	2008
St. Paul Downtown	St. Paul, MN	2	2008+
Worcester Regional	Worcester, MA	2	2008/2009**
Reading, Regional	Reading, PA	1	2009**
Kansas City Downtown	Kansas City, MO	2	2009+/2010
Smith Reynolds	Winston-Salem, NC	1	2010
New Castle County	Wilmington, DE	1	2010
Key West International	Key West, FL	2	2010/2015
Arcata-Eureka	Arcata, CA	1	2010
Telluride Regional	Telluride, CO	2	2010
Palm Beach	Palm Beach, FL	1	2011
Republic	Farmingdale, NY	2	2011/2013
Martin County	Stuart, FL	2	2011
Lafayette	Lafayette, LA	3	2011/2013/2016
Cleveland Hopkins	Cleveland, OH	2	2011
Groton	Groton-New London, CT	2	2011
Augusta State	Augusta, ME	2	2011
Elmira-Corning	Elmira, NY	1	2012
Trenton-Mercer	Trenton, NJ	4	2012/2013
New Bern	New Bern, NC	1	2012
Memphis	Memphis, TN	1	2013
Burke Lakefront	Cleveland, OH	1	2013
San Francisco	San Francisco, CA	4	2014

Tabela 15 – Aeroportos com EMASMAX, nos Estados Unidos (conclusão)

Aeroporto	Localização	Nº de Sistemas	Data(s) de Instalação
T.F. Green	Providence, RI	3	2014/2015/2017
Addison	Addison, TX	1	2014
Chicago Executive	Wheeling, IL	2	2014/2015
Reagan National	Washington, DC	3	2014/2015
Monterey	Monterey, CA	2	2015
Oakland International	Oakland, CA	1	2015
Nome	Nome, AK	1	2015
Lehigh Valley	Allentown, PA	2	2015
John Tune	Nashville, TN	1	2015
Kodiak	Kodiak, AK	2	2015
Rutland	Rutland, VT	1	2015
Sikorsky	Bridgeport, CT	1	2015
McAllen International	McAllen, TX	1	2015
Sandiford	Louisville, KY	1	2015
Venice	Venice, FL	1	2016
Boca Raton	Boca Raton, FL	2	2017
DeKalb/Peachtree	Atlanta, GA	1	2018
Cuyahoga	Cleveland, OH	2	2018
Lafayette	Lafayette, LA	1	2018
Little Rock	Little Rock, AR	1	2018
Oxford-Waterbury	Oxford, CT	1	2018
Hilton Head	Hilton Head, SC	2	2019
() cama substituída			
* alargado em 2008			
** aeroporto de aviação geral			
*** cama reformada			

Fonte: FAA, 2021

Tabela 16 – Aeroporto com greenEMAS, nos Estados Unidos

Aeroporto	Localização	Nº de Sistemas	Data de Instalação
Chicago Midway	Chicago, IL	4	fall 2014/2015/2016

Fonte: FAA, 2021

A Tabela 8, com dados fornecidos pela FAA (2021), apresenta a importância do EMAS nos incidentes ocorridos, já que, até agora, o sistema parou com segurança 17 aeronaves em *overrun*, as quais continham, no total, 417 tripulantes, inclusos passageiros, a bordo.

Tabela 17 – Incidentes evitados com o uso do EMAS, nos Estados Unidos (continua)

Encontro	Tripulação e Passageiros	Incidente
Maio de 1999	30	Um avião de passageiros Saab 340 sobrevoou a pista do aeroporto JFK em Nova York
Maio de 2003	3	Um Gemini Cargo MD-11 invadiu a pista do aeroporto JFK em Nova York
Janeiro de 2005	3	Um Boeing 747 invadiu a pista do aeroporto JFK em Nova York
Julho de 2006	5	Um Mystere Falcon 900 invadiu a pista do aeroporto Greenville Downtown na Carolina do Sul
Julho de 2008	145	Um Airbus A320 invadiu a pista do Aeroporto O'Hare de Chicago em Chicago, IL
Janeiro de 2010	34	Um jato regional Bombardier CRJ-200 invadiu a pista do Aeroporto Yeager em Charleston, WVA
Outubro de 2010	10	Um G-4 Gulfstream ultrapassou a pista do Aeroporto de Teterboro em Teterboro, NJ
Novembro de 2011	5	Um Cessna Citation II invadiu a pista do Aeroporto Internacional de Key West em Key West, FL
outubro 2013	8	Um Cessna 680 Citation invadiu a pista de Palm Beach International em West Palm Beach, FL
Janeiro de 2016	2	Um Falcon 20 invadiu a pista do Aeroporto Executivo de Chicago em Chicago, IL
Outubro 2016	37	Um Boeing 737 invadiu a pista do aeroporto LaGuardia em Flushing, NY
Abril de 2017	2	Um Cessna 750 Citation invadiu a pista do aeroporto Bob Hope em Burbank, CA

Tabela 18 – Incidentes evitados com o uso do EMAS, nos Estados Unidos (conclusão)

Encontro	Tripulação e Passageiros	Incidente
Fevereiro de 2018	4	Um Beech Jet 400A invadiu a pista do Aeroporto Burke Lakefront em Cleveland, OH
Dezembro de 2018	117	Um Boeing 737 invadiu a pista do aeroporto Bob Hope em Burbank, CA
Fevereiro de 2019	1	Um Embraer Phenom 100 invadiu a pista de Kansas City, MO
Fevereiro de 2021	2	Um Dassault F900 ultrapassou a pista de Chicago Executive-Wheeling, IL
Julho de 2021	9	Um Cessna Citation Excel invadiu a pista em Reading, PA

Fonte: FAA, 2021

2.6.1 EMAS no Brasil

Na América Latina, o primeiro aeroporto a aderir ao EMAS é o Aeroporto de Congonhas, situado na Zona Sul, na cidade de São Paulo; sendo utilizado o greenEMAS, feito com espuma de sílica de vidro. O sistema encontra-se em fase final de construção pela empresa KIBAG, no Aeroporto de Congonhas. A instalação do EMAS está sendo feita nas duas cabeceiras da pista, a fim de desacelerar aeronaves, que ultrapassarem os limites da pista, durante o pouso.

As dimensões para o EMAS adotado na pista principal do Aeroporto de Congonhas são: 70 m x 45 m, na cabeceira 17R e, 75 m x 45 m, na cabeceira 35L (Barros, 2021).

2.6.1.1 Primeira visita técnica

Para este trabalho, os membros do grupo e o orientador foram convidados a uma primeira visita técnica no Aeroporto de Congonhas, realizada no dia 13 de novembro de 2021, onde foram recepcionados e guiados pelo Joel Castanheira (*Senior Project Manager* da KIBAG) e pelo Pablo Miranda (CEO da KIBAG Brasil).

Na Figura 27, da esquerda para a direita, tem-se, respectivamente, Daniele Rissardi, Patrícia Okuma, Felipe Carvalho, Joel Castanheira, Pablo Miranda e Abner Almeida, em frente à estrutura metálica sobre a qual está sendo construído o EMAS.

Figura 27 – Primeira visita técnica no Aeroporto de Congonhas



Fonte: Cava, 2021

O sistema de apreensão que está em fase de execução no Aeroporto de Congonhas foi projetado e dimensionado pela *Runway Safe* e está sendo construído pela KIBAG. O sistema escolhido para o Aeroporto de Congonhas foi o greenEMAS, no qual é composto por espuma de sílica de vidro reciclado, como ilustra a Figura 28.

Acima da camada de espuma de sílica de vidro vem a camada de concreto CLSM (*Controlled Low-Strength Material*), com um f_{ck} de 2,5 MPa. Para um melhor controle do comportamento dos materiais e para testar o comportamento dos veículos, por exemplo o caminhão de incêndio, sobre o sistema, foram feitos dois modelos do EMAS, em escala reduzida, no Aeroporto de Congonhas.

A Figura 29 ilustra um dos modelos, em tamanho reduzido, do greenEMAS sendo construído, onde é possível notar as camadas de espuma de sílica de vidro, o concreto CLSM e as telas fixadas longitudinalmente.

Figura 28 – Amostra da espuma de sílica de vidro utilizada no sistema



Fonte: Autores, 2021

Figura 29 – Modelo do EMAS sendo construído no Aeroporto de Congonhas



Fonte: Infraero, 2021

As telas e os perfilados devem ser posicionados longitudinalmente, para que não haja interferência quando a aeronave atingir o sistema, portanto, caso fossem dispostas transversalmente, a aeronave enfrentaria certa diferença de resistência ao passar sobre esses materiais, atrapalhando sua locomoção pelo sistema e dando a sensação desconfortável de trepidação aos passageiros e à tripulação. A Figura 30 mostra um dos modelos já construído, onde é possível notar um chanfro em suas bordas. Essa inclinação se deve ao mix de aeronaves que deve ser atendido por esse sistema.

Figura 30 – Modelo do EMAS construído no Aeroporto de Congonhas



Fonte: Autores, 2021

Para aeronaves menores, um sistema muito profundo pode danificar os trens de pouso devido à grande resistência causada na aeronave, por isso a parte chanfrada é ideal para esse tipo de aeronave, já que sua profundidade não é tão alta. Enquanto para aeronaves maiores, um sistema com menor espessura pode ser insuficiente para a parada total da aeronave, por isso a parte plana é ideal para esse tipo de aeronave, já que apresenta a maior profundidade adotada para o sistema.

Segundo dados fornecidos por Miranda e Castanheira, a profundidade ideal do sistema deve cobrir metade da roda do trem de pouso, acima disso torna-se uma ameaça ao trem de pouso da aeronave, podendo danificá-lo.

É de extrema importância que todas as camadas que compõem o EMAS sejam niveladas, com uma tolerância de apenas 1,5 cm. Tal rigor se deve à resistência que cada material proporcionará à aeronave. Supondo que uma área tenha um dos materiais com espessura diferente de outra área, ao entrar no sistema e passar sobre ambas as áreas, a aeronave encontrará resistências diferentes, o que pode ocasionar na saída da rota, levando a aeronave a girar sobre o leito supressor, ou ainda, fazer com que a aeronave penda para um dos lados. No caso de as espessuras não ficarem com cotas regulares, ultrapassando a tolerância, é necessária a reconstrução do sistema.

Nos casos em que o comprimento da RESA precisa ser ampliado, tem-se duas opções, ou diminui-se a pista de pouso e decolagem e, por consequência diminui o mix de aeronaves atendido pelo aeroporto, ou instala-se o EMAS que, por sua vez, reduz o comprimento necessário de RESA, já que sua função é garantir segurança aos passageiros e à aeronave em casos de excursão de pista, mantendo o mix de aeronaves atendido pelo aeroporto.

Portanto, o EMAS é importante, principalmente, para aeroportos cujo comprimento da RESA não há como ser ampliado devido à topografia e aos obstáculos ao redor da pista de pouso e decolagem, já que garante segurança dos usuários e da aeronave, sem diminuir o lucro do aeroporto.

Cada sistema é projetado de acordo com o cliente e o aeródromo. Por exemplo, para o Aeroporto de Congonhas, o EMAS foi projetado para uma velocidade de saída de pista de 50 nós. Tendo as dimensões de 70 m por 45 m, na cabeceira 17R e, 75 m por 45 m, na cabeceira 35L; sendo que em ambas as cabeceiras, o EMAS está afastado à 7,5 m do final da pista. O espaçamento de 7,5 m entre o início do leito supressor e do final da pista deve-se à possibilidade de ocorrência de um *Jet Blast*, que prejudicaria o EMAS.

2.6.1.2 Segunda visita técnica

Ainda para este trabalho, um dos alunos, juntamente ao orientador, foram convidados a uma segunda visita técnica no aeroporto de Congonhas, realizada do dia 11 de março de 2022 para o dia 12 de março de 2022, na qual foram recepcionados, novamente, pelo Pablo Miranda (CEO da KIBAG Brasil); entretanto, dessa vez, com a permissão para acessarem a pista e, consequentemente, analisarem a execução da obra do EMAS, durante o período noturno, momento em que ocorrem as obras.

Na Figura 31, da esquerda para a direita, tem-se, respectivamente, Felipe Carvalho, Pablo Miranda e Felipe Cava, em frente à obra do leito supressor.

Figura 31 – Segunda visita técnica no Aeroporto de Congonhas



Fonte: Cava, 2022

Essa segunda visita foi importante, principalmente, para a compreensão e melhor visualização da execução das camadas que compõem o EMAS, já que pôde ser observado na prática e em tamanho real. Sendo importante também para a verificação do controle de qualidade das camadas que, como mencionado durante a primeira visita, devem estar, rigorosamente, niveladas, para não comprometerem o desempenho do leito supressor; portanto,

a altimetria e compactação das camadas devem ser controladas de forma sistemática, principalmente referente à espuma de sílica de vidro, por ser umas das camadas da estrutura com maior importância.

A Figura 32 ilustra o canteiro de obras, no qual estava sendo instalado a camada de sílica de vidro.

Figura 32 – Implantação da camada de sílica de vidro do EMAS



Fonte: Autores, 2021

Outro ponto interessante que pôde ser notado nessa segunda visita técnica são os espaçamentos de, aproximadamente, 5 m de largura, localizados nas laterais do EMAS, a fim de facilitar o acesso ao leito supressor, em caso de ocorrência de uma excursão de pista e/ou até mesmo para manutenções, garantindo ao máximo a integridade do sistema, já que o acesso não seria feito sobre ele.

Ainda durante a segunda visita técnica pôde-se observar que, apesar do *SetBack*, espaçamento de 7,5 m entre o final da pista e o início do EMAS, cuja finalidade é evitar danos devido a um possível *Jet Blast*, é também utilizado um dispositivo para impedir o contato direto

do *Jet Blast* com o EMAS; ressaltando que esse dispositivo não é considerado um obstáculo no final da pista, já que pode ser facilmente ultrapassado, conforme ilustrado na Figura 33.

Figura 33 – Dispositivo de proteção do leito supressor contra o Jet Blast



Fonte: Autores, 2021

2.7 CUSTO-BENEFÍCIO DO EMAS

A instalação do EMAS nos aeroportos não só proporciona ganho, como também minimiza os prejuízos. Por exemplo, os prejuízos relacionados à acidentes/incidentes como a perda de credibilidade do aeroporto que, normalmente, vem associado à má reputação que um acidente/incidente gera. Além disso, existem os prejuízos gerados devido aos atrasos nos voos subsequentes a um acidente/incidente (Cong et al., 2016).

De acordo com estudos realizados por Cong et al. (2016), esses atrasos podem comprometer não apenas o aeroporto no qual ocorreu o acidente, mas todos os outros aeroportos conectados à rede, disseminando o atraso para esses outros aeroportos, o que pode ocorrer de forma mais ou menos intensa, variando de acordo com o grau de conexão com o aeroporto no qual o acidente/incidente ocorreu.

2.7.1 Prejuízos devido a um acidente/incidente de excursão de pista

Como exemplo de quanto pode custar um acidente/incidente de excursão de pista durante pouso, será citado o caso ocorrido em 17 de julho 2007, com o Voo JJ 3054, conforme ilustrado na Figura 34, no aeroporto de Congonhas, no qual o Airbus A320-233 da Tam não conseguiu parar dentro do limite da pista de pouso, a ultrapassando e atingindo em cheio um edifício do outro lado da Avenida Washington Luís (Duarte e Macedo, 2012).

Figura 34 – Acidente com o voo JJ 3054 da TAM



Fonte: Guerreiro, 2007

Apesar do clima chuvoso no dia do acidente, que deixou a pista mais escorregadia e, apesar da recente reforma na pista, que substituiu o *grooving* (ranhuras que servem para auxiliar na drenagem da água da pista) por um pavimento rugoso e que, posteriormente, apresentou

problemas relacionados ao baixo coeficiente de atrito; o CENIPA (2009) apontou duas hipóteses para o acidente.

Na primeira hipótese, a falha teria sido mecânica, devido a uma falha no sistema de controle de potência de motores, já que a aeronave estava com o reversor do motor número 2 desativado. Na segunda hipótese, a falha teria sido humana, uma vez que o piloto teria realizado um procedimento diferente do previsto no MMEL (*Master Minimum Equipment List*). Conforme descrito no CENIPA (2009), na hora do pouso não houve a deflexão dos *ground spoilers*, que permite a abertura automática do spoiler, no momento em que os trens de pouso tocam o solo.

A abertura dos *spoilers* contribui para a diminuição da sustentação das asas e aumento do arrasto aerodinâmico, sendo que a não deflexão dos *ground spoilers* reduz a capacidade de frenagem da aeronave, de modo que aumenta a distância necessária para total parada em 50%. Isso se deu devido ao fato do reversor do motor nº 2 estar desativado, o que culminou para que não houvesse registro na movimentação de seu manete, que se encontrava na posição “CL”. Para que a função *ground spoiler* funcionasse, era necessário que um manete estivesse na posição “IDLE” e o outro na posição “REV”, ou ainda, quem ambos os manetes estivessem na posição “IDLE” (CENIPA, 2009).

Ainda de acordo com o CENIPA (2009), o edifício da TAM Express, que foi atingido pela aeronave, teve sua estrutura comprometida, sendo necessário sua posterior demolição; o posto de combustíveis teve sua loja de conveniências afetada, além de alguns veículos que se encontravam estacionados no posto; e a aeronave foi completamente destruída.

Em Birnfeld (2017) é possível checar que dadas as dimensões dos estragos feitos por esse acidente, em 2017, a Latam (fusão da antiga TAM Linhas Aéreas com Lan Airlines) e a Airbus fecharam um acordo com as famílias de 70 vítimas do acidente. Nesse acordo, era previsto que os cônjuges e/ou herdeiros recebessem R\$ 428.571,00 por vítima, totalizando em quase R\$ 30 milhões, não incluso as famílias das demais vítimas. Além desse acordo, todos os cônjuges e/ou herdeiros das 199 vítimas, receberam uma indenização, na época, de R\$ 15.000,00 por vítima, totalizando em R\$ 2.985.000,00; valor esse, referente ao RETA (Responsabilidade das Empresas de Transporte Aéreo), que é um seguro aéreo equivalente ao DPVAT.

Segundo Cruz (2021), em 2009, o valor do RETA foi alterado para R\$ 41 mil, corrigido pelo IPCA (Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo) e ainda, de acordo com Sandra (2021) o valor atual do RETA é, aproximadamente, R\$ 82 mil, variando de acordo com o porte, a categoria e o tipo de operação da aeronave.

Dentre os custos gerados pelo acidente, tem ainda o referente à aeronave que, na época do acidente, custava US\$ 70,8 milhões, por se tratar de um *Airbus* ano 98. Fora os outros custos relacionados ao edifício e ao posto de combustíveis atingidos (Birnfeld, 2017).

Ainda segundo Birnfeld (2017), em 2014, a *Airbus* entrou com uma ação ordinária, onde exigia o ressarcimento de todos os valores pagos, decorrentes do acidente, uma vez que, até o momento, não havia sido provado que o acidente foi de responsabilidade apenas da *Airbus*; valor este de R\$ 537 milhões, o qual estava incluso a correção monetária, os juros e todos os gastos com indenizações aos familiares das vítimas, e a todos envolvidos no acidente (prédio, posto de combustíveis e gastos com a aeronave).

2.7.2 Custos para instalação e manutenção do EMAS

Ho e Romero (2009) avaliaram a utilização do material conhecido como *Engineered Material Arresting System* (EMAS) em três aeroportos dos EUA: *Greenville Downtown Airport* (GMU), SC, Aeroporto Regional de Roanoke (ROA), VA e Aeroporto de Burbank (BUR), CA. Os autores levaram em consideração para a análise as dimensões do EMAS, o custo de implantação e períodos de construção, atividades de manutenção e problemas encontrados, conforme exibido na Tabela 9.

Com isso, Ho e Romero (2009) concluíram que, em 2009, os custos de construção do EMAS, com base nos três aeroportos analisados, variaram entre \$ 1,8 e \$ 6,25 milhões, resultando em, aproximadamente, por unidade, os custos entre \$ 86 *dólares/ft³* à \$ 110 *dólares/ft³*. Segundo Rosenkrans (2006), o custo, aproximado, para a instalação de um EMAS varia entre US\$ 2 milhões e US\$ 6 milhões, sem contar as mudanças que podem ser necessárias, por exemplo, mudança de uma antena de localização.

Tabela 19 – Resultados da pesquisa em três aeroportos (continua)

EMAS Dimensões (ft)	GMU: 159 x 113 x 1.17 (comprimento x largura x espessura média), instalado em 2003. BUR: 170 x 169 x 1.33 (comprimento x largura x espessura média), instalado em 2002. ROA: 299 x 170 x 1.25 (comprimento x largura x espessura média), instalado em 2004.
Custos de construção	GMU: 1.8 milhões (86 dollar/ft³) BUR: 4.2 milhões (110 dollar/ft³) ROA: 6.25 milhões (98 dollar/ft³)

Tabela 20 – Resultados da pesquisa em três aeroportos (conclusão)

Dias de construção	GMU: 60 dias, BUR: 75 dias, ROA: 82 dias.
Manutenção Períodos	GMU: Ocorreu no terceiro ano (2006) após a instalação do EMAS. BUR: As inspeções visuais são feitas periodicamente. Depois que um problema é identificado, o empreiteiro é solicitado a repará-lo. ROA: Ocorreu no segundo ano (2005) após a instalação do EMAS ainda em garantia.
Manutenção Problemas	1. Os selantes endurecem e quebram; infiltração de umidade. 2. Revestimento descascado. 3. As juntas foram calafetadas. 4. A eflorescência está escapando dos orifícios de ventilação entre os blocos. 5. Repintura e limpeza da superfície.
Recomendações e expectativas para alternativa do sistema	1. A alternativa deve ser competitiva; o fabricante exclusivo não é recomendado. 2. Os custos de construção e manutenção devem ser tão minimizados quanto possíveis. 3. O EMAS deve ser concebido para impedir aeronaves ou veículos de incursões não intencionais. 4. Os materiais de construção devem ser comumente aplicados na infraestrutura para que os aeroportos possam selecionar um empreiteiro que não esteja longe de um aeroporto e possa consertar o EMAS rapidamente. 5. O EAS deve poder ser mantido pelo pessoal do aeroporto.

Fonte: Autores, "adaptado" de Ho e Romero, 2009, Página 6

Ainda de acordo com Rosenkrans (2006), sabe-se que a manutenção mais onerosa do EMAS em que havia conhecimento por parte da ESCO naquele tempo, foi em 2005, no Aeroporto Internacional de Nova Iorque (John F. Keenedy), custando cerca de US\$ 2 milhões para restauração do sistema após a parada de um Boeing 747 sobre o leito supressor.

Em UKessays (2015), é possível notar uma breve comparação entre os custos para aumento da sexta RESA, na pista 25, do Aeroporto de Sydney e, o custo para implantar o EMAS nessa mesma pista. Por ser uma pista limitada, a expansão da RESA acabou ficando, por volta de, \$ AU25 milhões e, ainda assim não foi atingido o padrão exigido pela ICAO. Já se o Aeroporto de Sydney tivesse optado pela instalação do EMAS despenderia apenas \$ AU6 milhões.

Dados recentes mostram que, de acordo com o Governo Federal do Brasil (2021), será feito um investimento de R\$ 122,5 milhões pela Infraero para a construção do EMAS no Aeroporto de Congonhas, tendo como vencedor do processo licitatório o Kibag/Conserva.

2.7.3 Comparação entre os custos

Comparando os custos descritos nos itens anteriores, é notável o benefício econômico que a instalação do EMAS traz ao aeroporto. Uma vez que, por exemplo, em 2014, a *Airbus* estava exigindo o ressarcimento de R\$ 537 milhões, valor esse que, ainda sem a correção monetária para o ano atual, já é, aproximadamente, cinco vezes maior que o custo para instalação do EMAS, que é, apenas, R\$ 122,5 milhões.

Os prejuízos gerados por um acidente em um aeroporto vão muito além dos custos despendidos com esse, como já citado, temos o exemplo da má reputação que fica para aquele aeroporto, ou seja, além de gastos, tem ainda a falta de ganho devido a um acidente.

3 ESTUDO DE CASO

Conforme apresentado na revisão bibliográfica deste trabalho, existem diversos tipos de acidentes que uma aeronave pode sofrer durante uma operação de pouso e decolagem, por exemplo excursão de pista por *veer-off* e *overrun*. Acidentes como excursões de pista podem ocasionar danos à aeronave e aos passageiros, com risco de morte.

Tecnologias como o *Engineered Material Arresting System* podem ser consideradas como mecanismos de redução destes acidentes. Neste capítulo será realizado um estudo de caso para verificar a viabilidade técnico-econômica do EMAS, o qual terá como base aeroportos brasileiros, definidos a partir da impossibilidade de expansão do comprimento da RESA devido ao espaço limitado ao redor da pista de pouso e decolagem, que serão submetidos a diversos cenários para uma análise de risco e, posteriormente, uma análise econômica para o aeroporto selecionado.

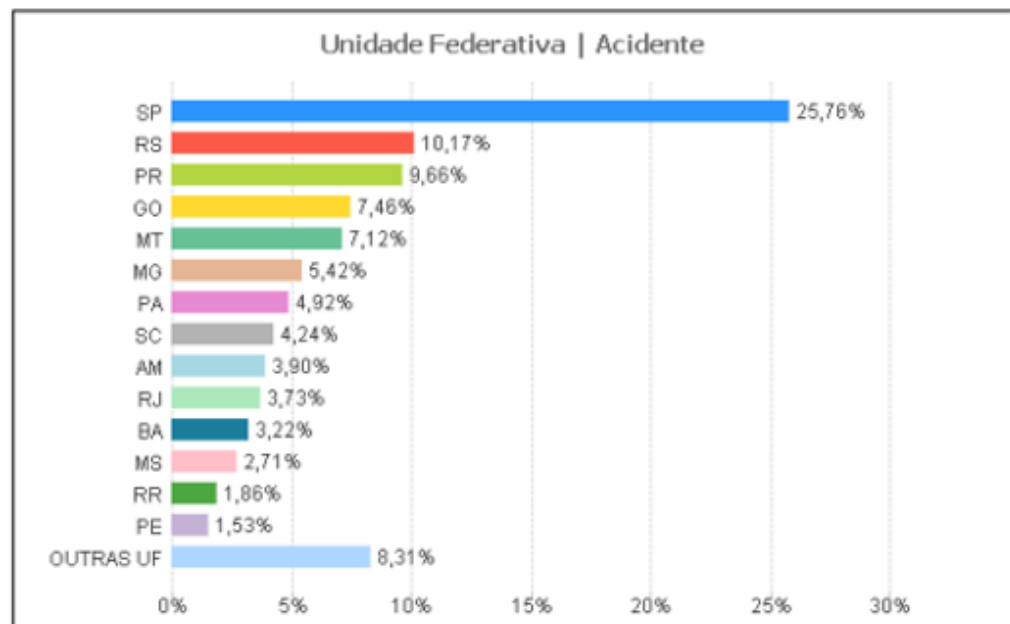
3.1 ESTATÍSTICAS DE ACIDENTES EM AEROPORTOS BRASILEIROS

De acordo com o CENIPA (2021), em seu sumário estatístico de aeródromos 2010-2019, as regiões brasileiras com maiores percentuais de acidentes registrados entre os anos de 2010 e 2019 são: São Paulo (SP), com 25,76% dos acidentes; Rio Grande do Sul (RS), com 10,17% dos acidentes; e Paraná (PR), com 9,66% dos acidentes; como apresentado na Figura 35.

Ainda nesse mesmo relatório, os dados levantados sobre os acidentes categorizados pelo tipo de aeronave, ocorridos entre os anos de 2010 e 2019, mostram que 76,05% dos acidentes foram com aviões. Sendo que, os modelos de aeronaves com porcentagem de acidentes, mais frequentes, são ULAC, AB11 e PA34, que juntos representam 23,8% do total de aeronaves envolvidas em acidentes (CENIPA, 2021).

Segundo os dados do CENIPA (2021), os aeródromos com maior número de ocorrências aeroportuárias, levando em consideração as regiões descritas acima com maiores taxas de acidente (SP, RS e PR), foram: SBGR, SBMT, SBLO, SBJD e SBPA, conforme Tabela 10.

Figura 35 – Percentual de acidentes por região brasileira, nos últimos 10 anos



Fonte: CENIPA, 2021

Tabela 21 – Número de ocorrências por aeroporto (continua)

Aeródromo	Acidentes	Incidentes Graves	Incidentes	Total Geral
SBGR	4	5	120	129
SBMT	13	9	95	117
SBBH	1	3	96	100
SBLO	7	6	79	92
SBBR	1	12	72	85
SBGL	1	5	68	74
SBGO	6	10	56	72
SBJR	4	7	60	71
SBJD	8	10	50	68
SBPA	3	3	61	67
SBKP	1	1	62	64
SBSP	2	4	54	60
SBSV	1	7	48	56
SBEG	6	3	45	54
SBRJ	2	2	45	49
SBCT	0	4	44	48
SBRP	1	4	42	47
SBFL	2	2	39	43

Tabela 22 – Número de ocorrências por aeroporto (continuação)

Aeródromo	Acidentes	Incidentes Graves	Incidentes	Total Geral
SBFR	3	3	36	42
SBBI	7	9	25	41
SBPR	6	10	24	40
SBCG	4	5	30	39
SBCF	2	1	34	37
SBFZ	1	1	34	36
SBUL	0	8	28	36
SBBE	1	2	32	35
SBBP	10	12	13	35
SBSJ	3	3	28	34
SBME	1	2	28	31
SBCY	0	6	24	30
SBVT	0	0	29	29
SWNV	12	10	5	27
SBMA	0	3	18	21
SBMG	7	5	9	21
SBRB	1	1	19	21
SBSL	0	5	15	20
SBJC	3	6	10	19
SBSR	0	3	15	18
SDAM	5	5	8	18
SWFN	8	6	4	18
SBPJ	0	4	13	17
SBJV	3	0	13	16
SDCO	5	1	10	16
SBCA	2	4	9	15
SBFI	1	1	13	15
SBSN	0	1	14	15
SDTB	9	3	2	14
SBNF	2	0	11	13
SBTE	1	3	8	12
SDPW	4	2	6	12
SBBU	4	0	7	11
SBCB	0	1	10	11
SBIL	3	0	8	11
SBPS	1	2	8	11
SDAI	9	1	1	11

Tabela 23 – Número de ocorrências por aeroporto (continuação)

Aeródromo	Acidentes	Incidentes Graves	Incidentes	Total Geral
SDVH	6	5	0	11
SBCP	0	0	10	10
SBPV	0	3	7	10
SBUR	1	1	8	10
SWUZ	7	0	3	10
SBPF	1	4	4	9
SBQV	1	0	8	9
SIXE	6	2	1	9
SSOK	4	0	5	9
SSZW	6	2	1	9
SWCA	1	2	6	9
SWFR	4	3	2	9
SWLV	7	2	0	9
SBJF	3	3	2	8
SBMO	0	1	7	8
SBTF	1	2	5	8
SDUB	3	3	2	8
SBAR	1	0	6	7
SBDN	0	0	7	7
SBJP	1	0	6	7
SBMK	0	1	6	7
SBML	1	0	6	7
SDEN	6	0	1	7
SDMC	4	2	1	7
SDTF	5	0	2	7
SSBL	4	1	2	7
SSBN	4	2	1	7
SSKG	3	2	2	7
SWNS	1	3	3	7
SSBV	1	0	5	6
SBCJ	1	0	5	6
SBCZ	1	1	4	6
SBGW	1	2	3	6
SBJU	0	1	5	6
SBPC	1	2	3	6
SBPL	1	0	5	6
SDIH	2	1	3	6

Tabela 24 – Número de ocorrências por aeroporto (continuação)

Aeródromo	Acidentes	Incidentes Graves	Incidentes	Total Geral
SDIO	3	2	1	6
SNJO	3	2	1	6
SSKT	3	2	1	6
SSNH	3	2	1	6
SWRD	0	2	4	6
SBFS	0	1	4	5
SBHT	1	0	4	5
SBLJ	2	2	1	5
SBSM	0	3	2	5
SBTT	1	0	4	5
SBUY	2	0	3	5
SDAG	2	1	2	5
SDBB	2	2	1	5
SDTK	3	1	1	5
SNDC	1	3	1	5
SSAK	4	1	0	5
SSCN	3	0	2	5
SSKZ	2	3	0	5
SSNG	4	1	0	5
SWGK	1	1	3	5
SWSI	2	2	1	5
SBAQ	1	1	2	4
SBAU	1	0	3	4
SBIP	0	1	3	4
SBPK	0	1	3	4
SBPP	0	0	4	4
SBTR	1	1	2	4
SDAA	0	2	2	4
SDET	2	1	1	4
SDIM	1	1	2	4
SDOW	1	3	0	4
SDRK	2	1	1	4
SIVU	1	2	1	4
SJNP	4	0	0	4
SNAU	3	0	1	4
SNDV	1	1	2	4
SNMD	4	0	0	4

Tabela 25 – Número de ocorrências por aeroporto (continuação)

Aeródromo	Acidentes	Incidentes Graves	Incidentes	Total Geral
SNPA	2	1	1	4
SNRU	1	3	0	4
SSOS	1	1	2	4
SWJW	1	3	0	4
SWKO	0	1	3	4
SWPI	0	0	4	4
SBCX	0	0	3	3
SBIH	2	1	0	3
SBIZ	0	1	2	3
SBMQ	0	0	3	3
SBMY	0	0	3	3
SBNM	1	1	1	3
SBVH	1	1	1	3
SDBK	0	0	3	3
SDBN	2	1	0	3
SDDN	0	0	3	3
SDJA	1	0	2	3
SDMJ	3	0	0	3
SDOI	2	1	0	3
SDRS	1	1	1	3
SDVI	3	0	0	3
SIBH	0	0	3	3
SIFC	1	1	1	3
SIRI	3	0	0	3
SJCY	1	2	0	3
SNBR	0	0	3	3
SNDH	0	1	2	3
SNEM	3	0	0	3
SNWC	1	1	1	3
SSBG	3	0	0	3
SSER	1	2	0	3
SSGA	2	1	0	3
SSIE	1	1	1	3
SSKM	3	0	0	3
SSKW	0	2	1	3
SSOG	2	0	1	3
SSRS	2	1	0	3

Tabela 26 – Número de ocorrências por aeroporto (conclusão)

Aeródromo	Acidentes	Incidentes Graves	Incidentes	Total Geral
SBAE	1	0	1	2
SBAT	0	0	2	2
SBBW	0	1	1	2
SBGP	0	0	2	2
SBLE	0	0	2	2
SBNT	0	0	2	2
SBPN	2	0	0	2
SBST	0	1	1	2
SBTA	1	0	1	2
SBTD	1	1	0	2
SBTV	1	0	1	2
SDEM	2	0	0	2
SDJL	2	0	0	2
SDMH	2	0	0	2

Fonte: CENIPA, 2021

Segundo a ANAC (2021), acidente aeroportuário pode ser definido como ocorrência aeronáutica, desde o embarque até o desembarque de todos, na qual haja falecimento ou ferimento grave de uma pessoa provocado por alguma peça ou componente da aeronave ou por estar dentro da aeronave. Pode ainda ser considerado acidente, os casos em que a aeronave tenha seu desempenho comprometido devido a danos estruturais ou quando a aeronave é considerada desaparecida ou esteja inacessível.

Ainda de acordo com a ANAC (2021), incidente grave aeroportuário é uma ocorrência aeronáutica com grande potencial de risco de acidente, desde o momento de embarque até o momento de desembarque.

Já o incidente aeroportuário pode ser classificado como uma ocorrência aeronáutica, quando não é um acidente ou um incidente grave, que afeta ou tenha possibilidade de afetar a segurança da aeronave (ANAC, 2021).

3.1.1 Aeroportos escolhidos para estudo de caso

Dentre os aeroportos citados anteriormente (SBMT, SBJD, SBGR, SBPA, SBLO, SBRJ, SBNF, SBIL, SBJV, SBPS, SBTE), e seguindo o critério de criticidade, devido a impossibilidade de expansão das RESAs, para a análise de risco foram escolhidos o Aeroporto

Santos Dumont (SBRJ) e o Aeroporto Jorge Amado – Ilhéus (SBIL), já que ambos os aeroportos apresentam corpos de água ao seu redor, o que limita a expansão de sua(s) RESA(s).

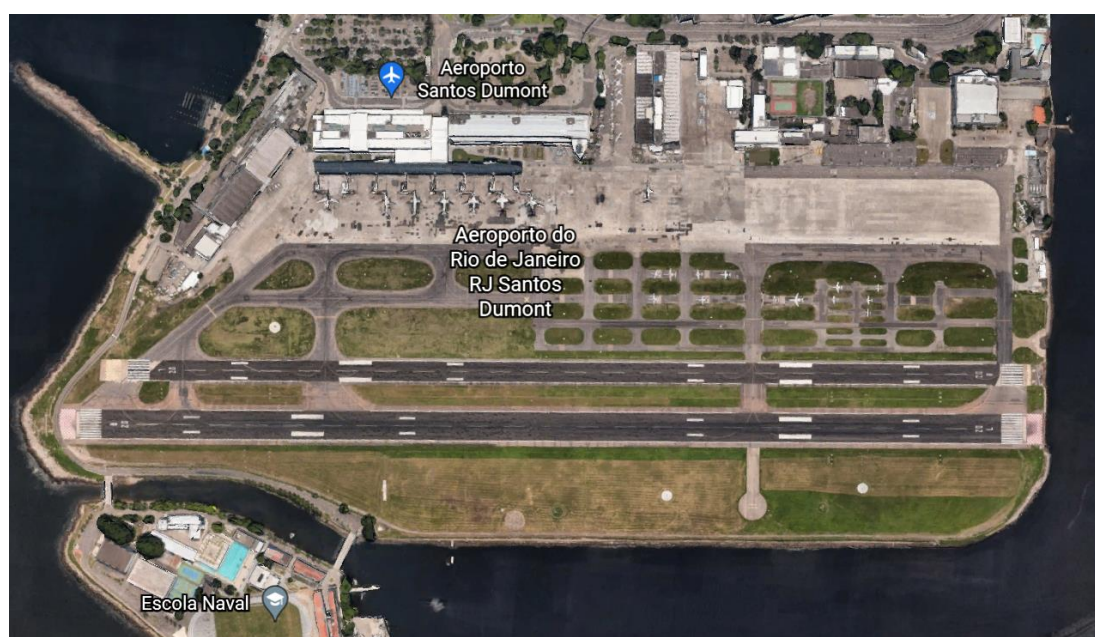
O Aeroporto Santos Dumont está localizado na Praça Senador Salgado Filho, no Centro do Rio de Janeiro, o qual possui, segundo o IBGE (2021), cerca de 6.775.561 hab e 5.265,82 hab/km².

Foi o primeiro aeroporto civil do país, tendo sido idealizado pelo arquiteto francês Alfred Agache e projetado pelos irmãos arquitetos cariocas Marcelo e Milton Roberto. Como a demanda do aeroporto crescia de forma contínua, em 1958, a pista principal foi ampliada, passando a ter 1.323 metros de comprimento, além de ser inaugurada a pista auxiliar com 1.260 metros de comprimento (Infraero, 2021).

Ainda segundo a Infraero (2021), esse aeroporto, situado próximo à zona portuária e às grandes empresas, opera apenas com tráfego de voos domésticos, tendo uma movimentação diária de, aproximadamente, 29 mil pessoas.

O Aeroporto Santos Dumont conta com 833 mil m² de sítio aeroportuário, sendo 95.800 m² destinados ao pátio de aeronaves e 19.000 m² destinados ao terminal de passageiros. Possui oito pontes de embarque, treze vagas para estacionamento das aeronaves e duas pistas de pouso e decolagem, como ilustrado na Figura 36; a pista principal (02R/20L), com 1.323 metros de comprimento por 42 metros de largura e, a pista auxiliar (02L/20R), com 1.260 metros de comprimento por 30 metros de largura (Infraero, 2021).

Figura 36 – Aeroporto Santos Dumont



Fonte: Google Earth, 2012

De acordo com o CENIPA (2021), ocorreram 2 acidentes, 2 incidentes graves e 45 incidentes, entre 2010 e 2019, no Aeroporto SBRJ (Santos Dumont).

Já o Aeroporto de Ilhéus (Jorge Amado) está localizado na cidade de Ilhéus, no estado da Bahia, a qual possui, segundo o IBGE (2010), 184.236 hab e 104,67 hab/km².

A cidade de Ilhéus, segundo o Instituto Nossa Ilhéus (2021), é umas das sete cidades mais importantes da Bahia, tendo um alto fluxo de turismo internacional, ocupando o quinto lugar entre as cidades baianas com maior fluxo de turismo.

O aeroporto de Ilhéus, de acordo com a Seinfra (2021), é o terceiro aeroporto do estado no quesito movimentação de passageiros, ficando atrás apenas dos aeroportos de Salvador e Porto Seguro. Atualmente, esse aeroporto está passando por obras de requalificação que incluem a ampliação do terminal de passageiros, um novo prédio para Seção Contraintendência (SCI), ampliação do pátio de aeronaves e ampliação do estacionamento para veículos.

Esse aeroporto conta com uma área de 9.462,08 m² destinada ao estacionamento de aeronaves, com capacidade para um Boeing 737-800 e dois Airbus A-319, simultaneamente; um pátio para aviação executiva com 3.283,75 m², com uma capacidade de atendimento anual de, aproximadamente, 700 mil passageiros e; uma pista de pouso de decolagem, com 1.467 metros de comprimento por 45 metros de largura, conforme ilustrado na Figura 37, cujas cabeceiras têm a numeração de 11 e 29 (Aeroporto de Ilhéus, 2021).

Figura 37 – Aeroporto Jorge Amado



Fonte: Google Earth, 2021

De acordo com o CENIPA (2021), ocorreram 3 acidentes, 0 incidentes graves e 8 incidentes, entre 2010 e 2019, no Aeroporto SBIL (Jorge Amado).

3.2 MÉTODOS

A análise de risco, do presente trabalho, será feita com o auxílio do software RSARA2, o qual foi desenvolvido pelos pesquisadores do ACRP *Report* 50, como mencionado anteriormente, e com uma finalidade comparativa, serão apresentados e analisados alguns possíveis cenários, para que, posteriormente, possam ser verificados, de modo que seja escolhida a melhor alternativa técnico-econômica para um aumento significativo dos níveis de segurança dos aeroportos escolhidos.

Os dados de entrada do software RSARA2, como os dados históricos de operações do aeroporto, os dados históricos meteorológicos e as características geométricas da pista, utilizados para as análises de risco, foram fornecidos pela KIBAG Brasil. Já os dados referentes as características da RESA, exceto pela existente, que também foi fornecida pela KIBAG Brasil, foram estimados para fins de comparação entre cenários.

3.2.1 Características da pista

De acordo com o RBAC nº 154, Emenda nº 07 (2021), aeroportos cadastrados na ANAC (Agência Nacional de Aviação Civil) antes do dia 12 de maio de 2009 devem obedecer ao disposto, originalmente, no Regulamento; já aeroportos cadastrados após essa data, devem obedecer às inserções e modificações feitas no Regulamento através das Emendas.

Portanto, para aeroportos código 1 ou 2, por instrumento, e para aeroportos código 3 ou 4, cadastrados antes do dia 12 de maio de 2009, as dimensões mínimas requeridas para a RESA são: 90 m de comprimento e largura igual ao dobro da largura da pista.

Para aeroportos código 1 ou 2, para operação visual, cadastrados após o dia 12 de maio de 2009, as dimensões mínimas requeridas para a RESA são: 30 m de comprimento e largura igual à largura da faixa de pista preparada.

Para aeroportos código 1 ou 2, para operação por instrumento, cadastrados após o dia 12 de maio de 2009, as dimensões mínimas requeridas para a RESA são: 120 m de comprimento e largura igual à largura da faixa de pista preparada.

Para aeroportos código 3 ou 4, cadastrados após o dia 12 de maio de 2009, as dimensões mínimas requeridas para a RESA são: 240 m de comprimento e largura igual à largura da faixa de pista preparada.

Os dois aeroportos escolhidos para os estudos, Aeroporto Santos Dumont (SBRJ) e Aeroporto Jorge Amado – Ilhéus (SBIL), foram selecionados por serem os mais críticos

dentre os demais apresentados, sendo ambos classificados como código 3, além de serem cercados por corpos de água, como rios e mares. Portanto, a expansão desses aeroportos para adequação segundo o padrão estabelecido pela ICAO/ANAC, conforme mencionado acima, é bem limitada, principalmente por questões ambientais que devem ser levadas em consideração ao construir quaisquer estruturas submersas ou ainda sobre a água (estruturas em balanço).

3.2.1.1 Aeroporto Santos Dumont (SBRJ)

O Aeroporto Santos Dumont (SBRJ), conforme já descrito anteriormente, apresenta 1.323 m de comprimento de pista por 42 m de largura, com uma elevação de, aproximadamente, 3,05 m acima do nível do mar. Devido à ausência da faixa preparada, que percorre, paralelamente à pista de pouso e decolagem, foi considerado uma largura livre de quaisquer obstáculos de 75 m, a partir do eixo central da pista, totalizando uma faixa de operação de 150 m, na qual está previsto uma eventual ocorrência por *veer-off* (saída lateral da pista).

O Aeroporto Santos Dumont (SBRJ) é cercado pela Baía de Guanabara, ou seja, ambas as cabeceiras, tanto da pista principal (02R/20L), quanto da pista auxiliar (02L/20R), são limitadas à expansão da RESA.

Para a análise no Aeroporto Santos Dumont, as cabeceiras utilizadas foram: 02R e 20 L, da pista principal.

3.2.1.2 Aeroporto Jorge Amado – Ilhéus (SBIL)

O Aeroporto Jorge Amado – Ilhéus (SBIL), também conforme descrito anteriormente, apresenta 1.467 m de comprimento de pista por 45 m de largura, com uma elevação de, aproximadamente, 4,57 m acima do nível do mar.

Da mesma forma que o Aeroporto Santos Dumont, o Aeroporto Jorge Amado – Ilhéus (SBIL) tem uma de suas cabeceiras (cabeceira 11) ao lado do Rio Cachoeira, o que também limita a expansão da RESA nessa cabeceira.

Para a análise no Aeroporto Jorge Amado - Ilhéus, as cabeceiras utilizadas foram: 11 e 29.

3.2.2 Dados históricos de operações

Os dados históricos de operações são os dados referentes ao tipo de aeronave utilizada em cada voo, bem como a data e horário em que cada operação, de pouso e decolagem, ocorreu.

Para as análises referentes aos aeroportos que serão estudados, SBRJ e SBIL, foram fornecidas, pela KIBAG Brasil, as planilhas com todas as informações necessárias.

3.2.2.1 Aeroporto Santos Dumont (SBRJ)

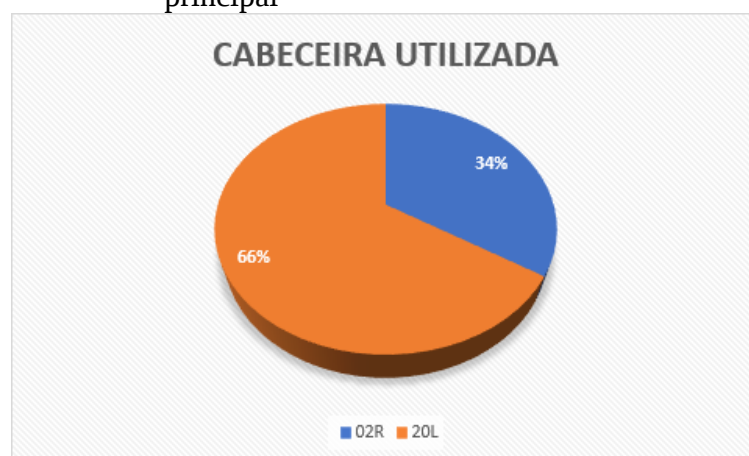
De acordo com os dados fornecidos pela KIBAG Brasil, o Aeroporto Santos Dumont apresenta uma taxa de crescimento de tráfego anual de 0,0%, cuja movimentação anual é de 90.000 operações.

Por se tratar de um aeroporto cujas movimentações são tanto por uso doméstico, quanto por outras naturezas, pode ser classificado como HUB, ou seja, é, normalmente, utilizado como ponto de transferência entre destino inicial e final, já que não é exclusivo para voos domésticos (Azzolini, 2018).

Baseado no histórico de operações de pouso e decolagem do aeroporto de Santos Dumont, para a presente análise, foram selecionados os dados entre os anos de 2016 e 2018.

Na Figura 38, é possível visualizar a frequência com que cada cabeceira, da pista principal, foi utilizada nesse período.

Figura 38 – Porcentagem de uso das cabeceiras da pista principal

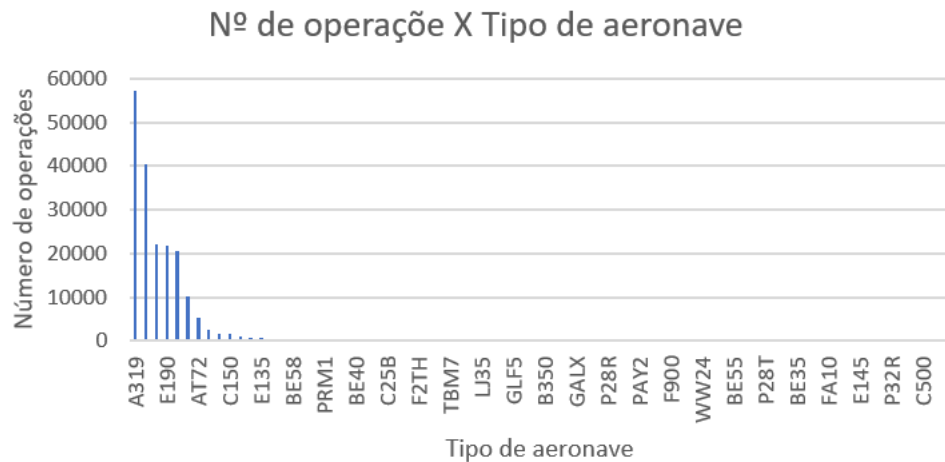


Fonte: Autores, 2022

Ainda nessa amostra dos dados históricos de operações entre 2016 e 2018, foi feito um gráfico, conforme Figura 39, no qual mostra a frequência de operações pelo tipo de aeronave;

tendo como resultado que as três aeronaves com maior frequência, no Aeroporto Santos Dumont (SBRJ), foram: A319, com 29,40% das operações totais realizadas; B738, com 20,81% das operações totais realizadas e; E195, com 11,36% das operações totais realizadas.

Figura 39 – Número de operações por tipo de aeronave

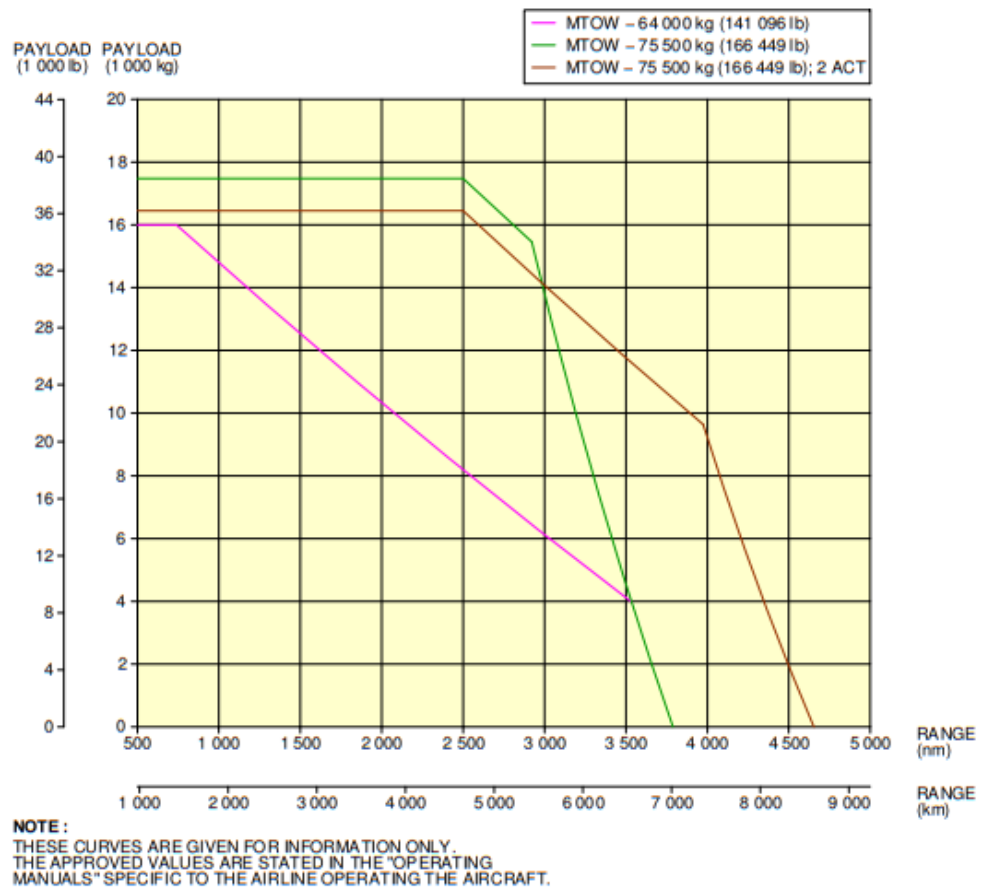


Fonte: Autores, 2022

Tendo em vista as três aeronaves mais frequentes no Aeroporto Santos Dumont, para a definição de qual delas será utilizada como aeronave de projeto, foi realizada uma comparação entre os três modelos, no qual o critério decisivo foi o PMD (Peso Máximo de Decolagem), já que para fins de dimensionamento, é um dos critérios mais importantes a ser considerado.

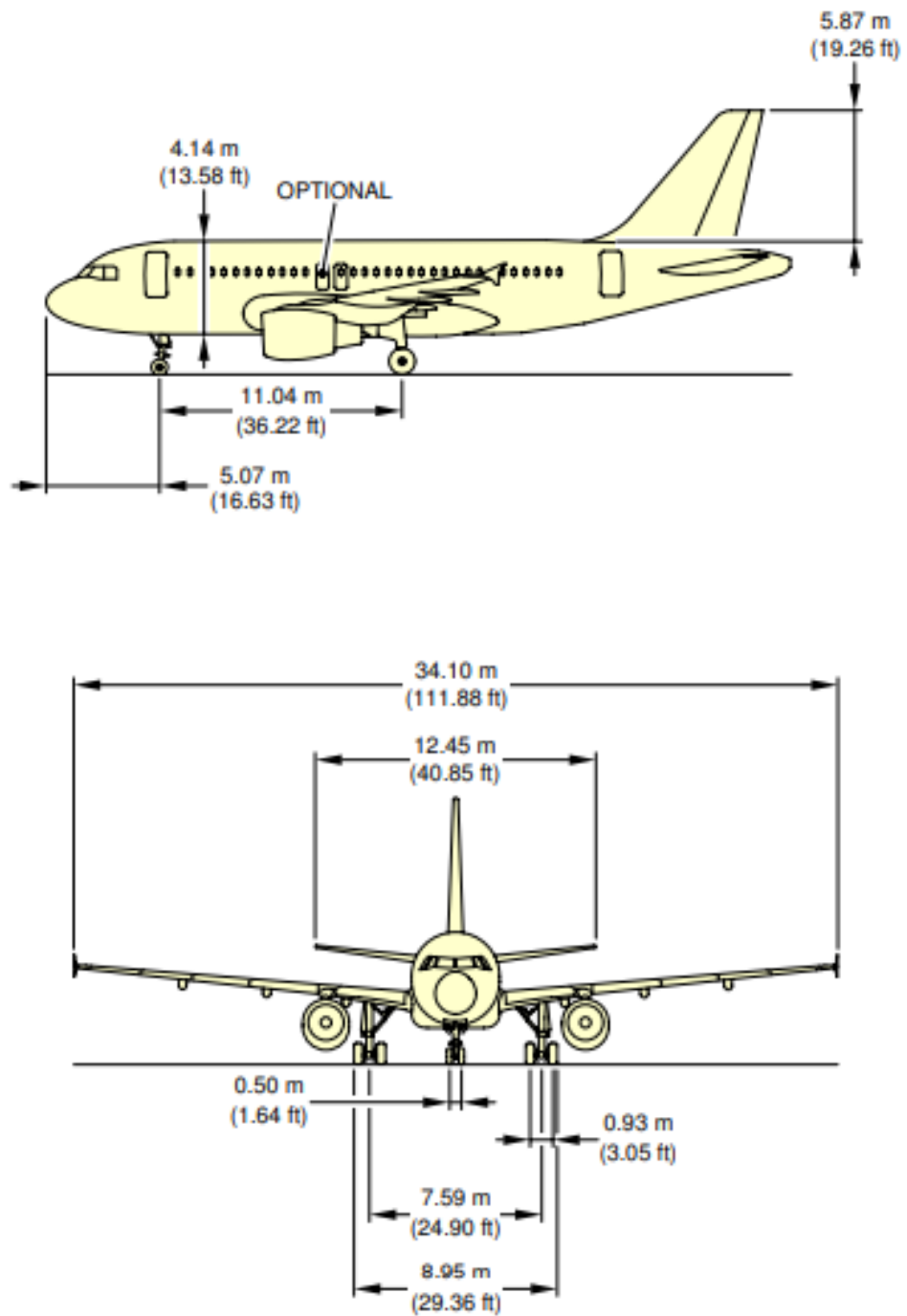
Para a aeronave A319, de acordo com a AIRBUS (2020), seu peso máximo de decolagem é, aproximadamente 75.500 kg, conforme ilustrado na Figura 40, enquanto suas dimensões são exibidas na Figura 41 e na Figura 42.

Figura 40 – Peso Máximo de Decolagem – A319



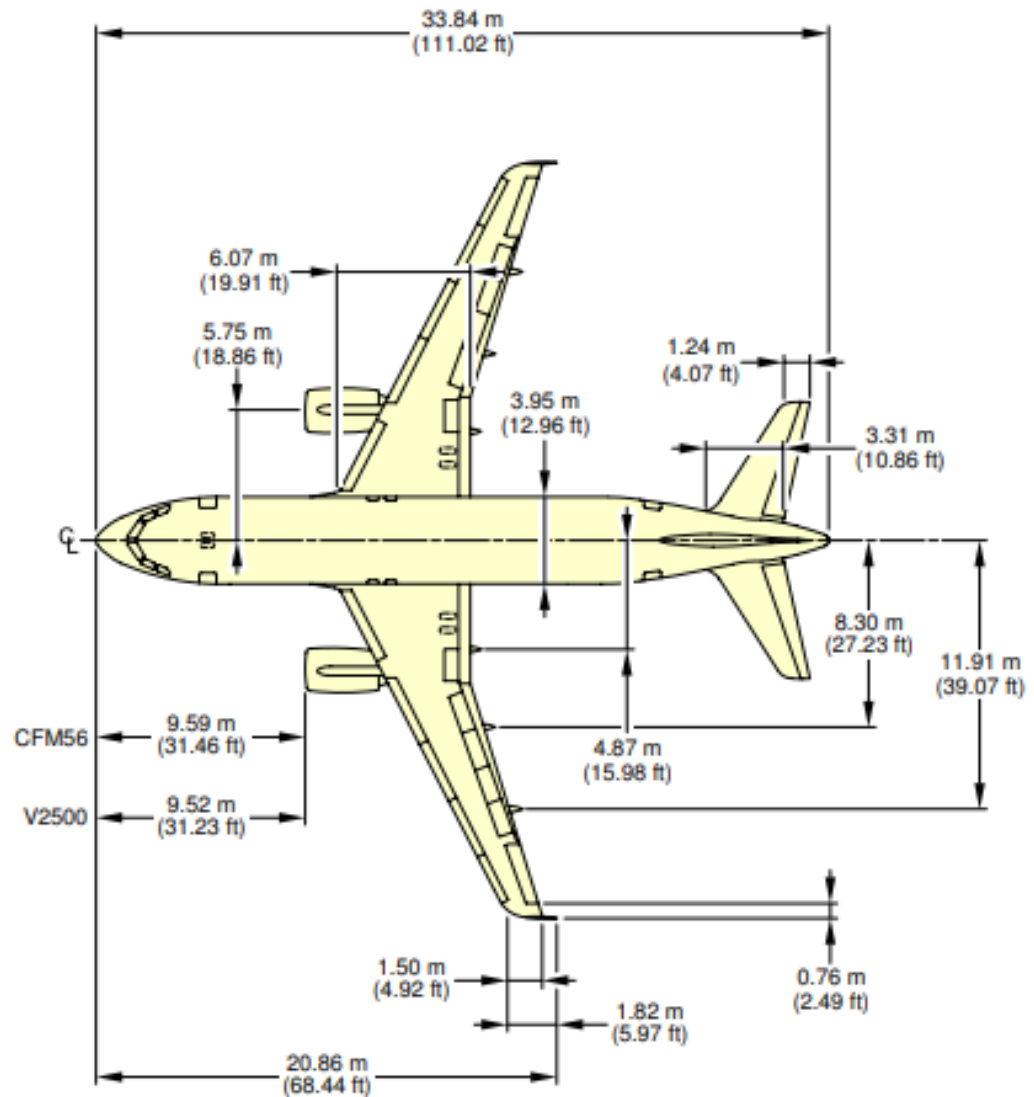
Fonte: AIRBUS, 2020

Figura 41 – Dimensões (vista lateral e vista frontal) – A319



Fonte: AIRBUS, 2020

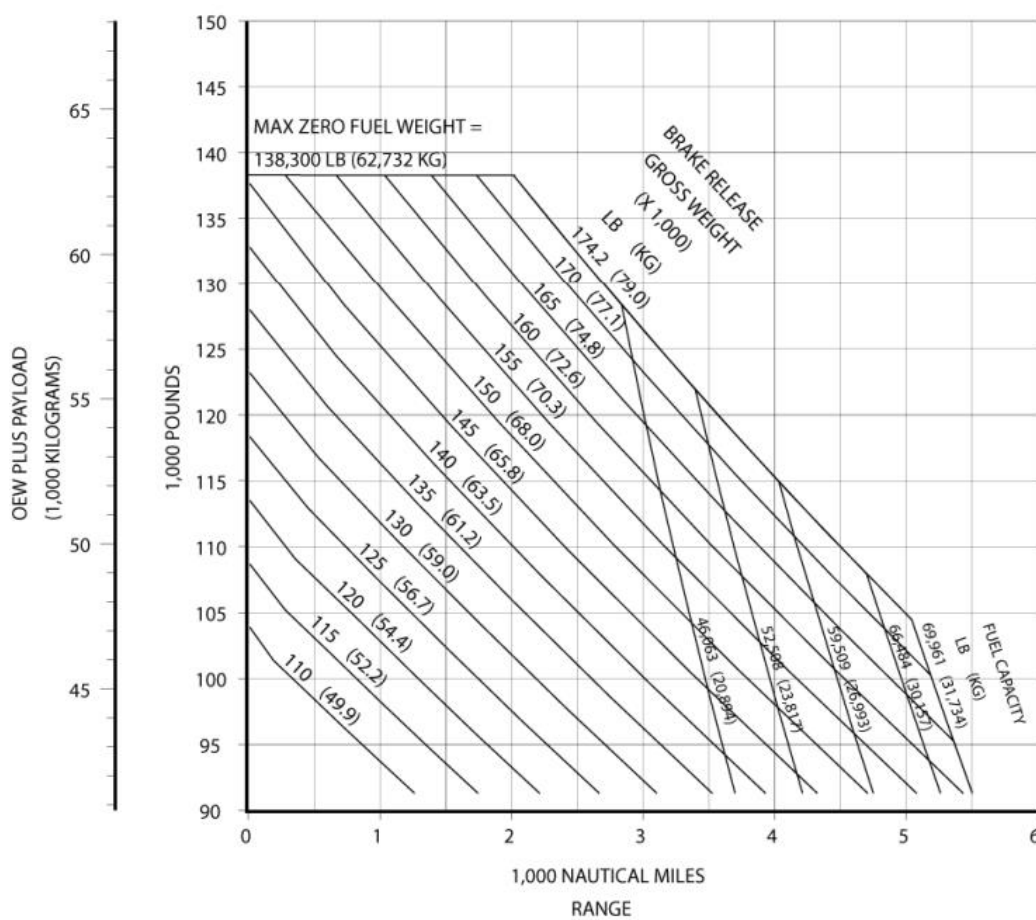
Figura 42 – Dimensões (planta) – A319



Fonte: AIRBUS, 2020

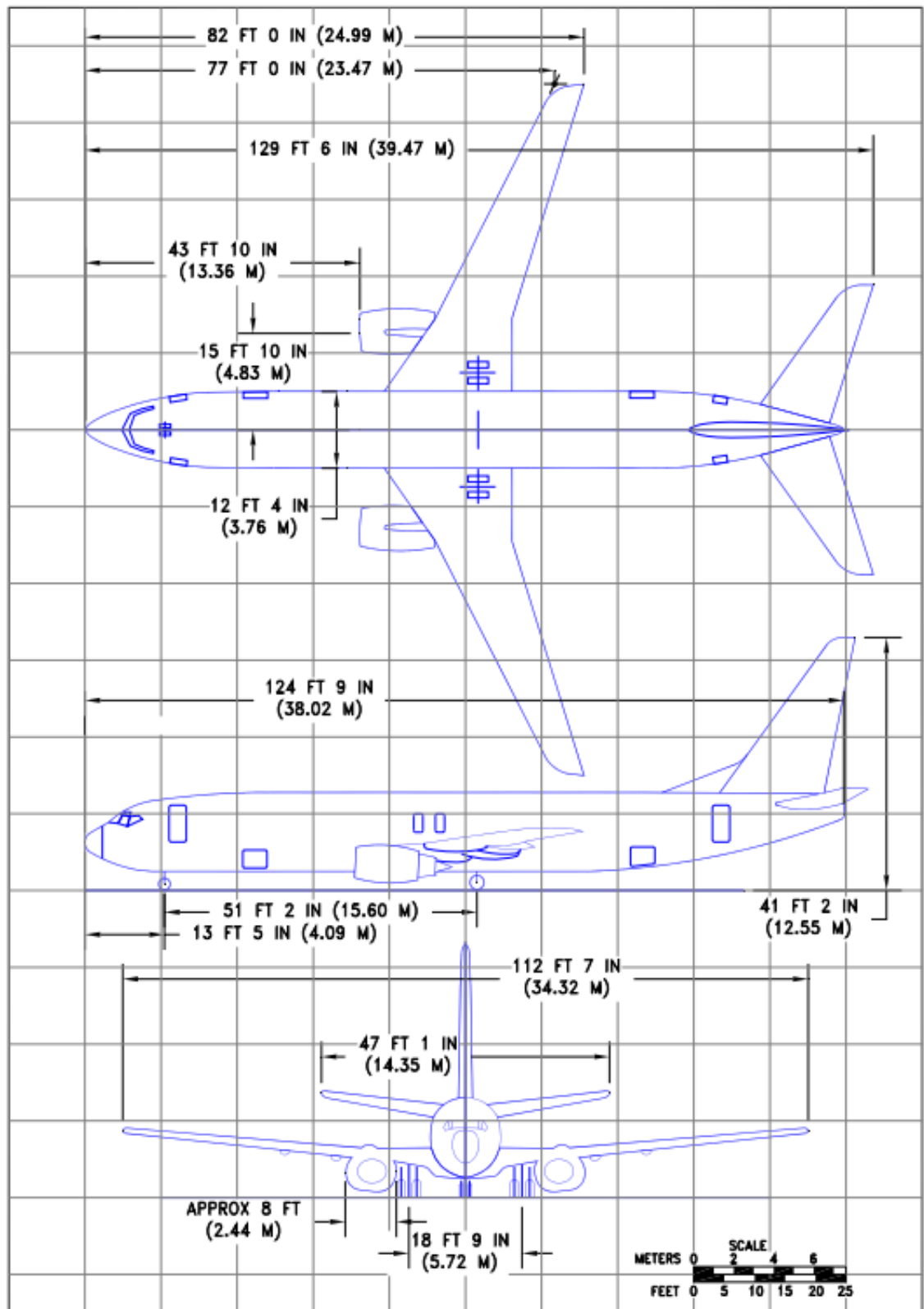
Já para a aeronave B738, de acordo com a BOEING (2013), seu peso máximo de decolagem é, aproximadamente 79.000 kg, conforme ilustrado na Figura 43, enquanto suas dimensões são exibidas na Figura 44.

Figura 43 – Peso Máximo de Decolagem – B738



Fonte: BOEING, 2013

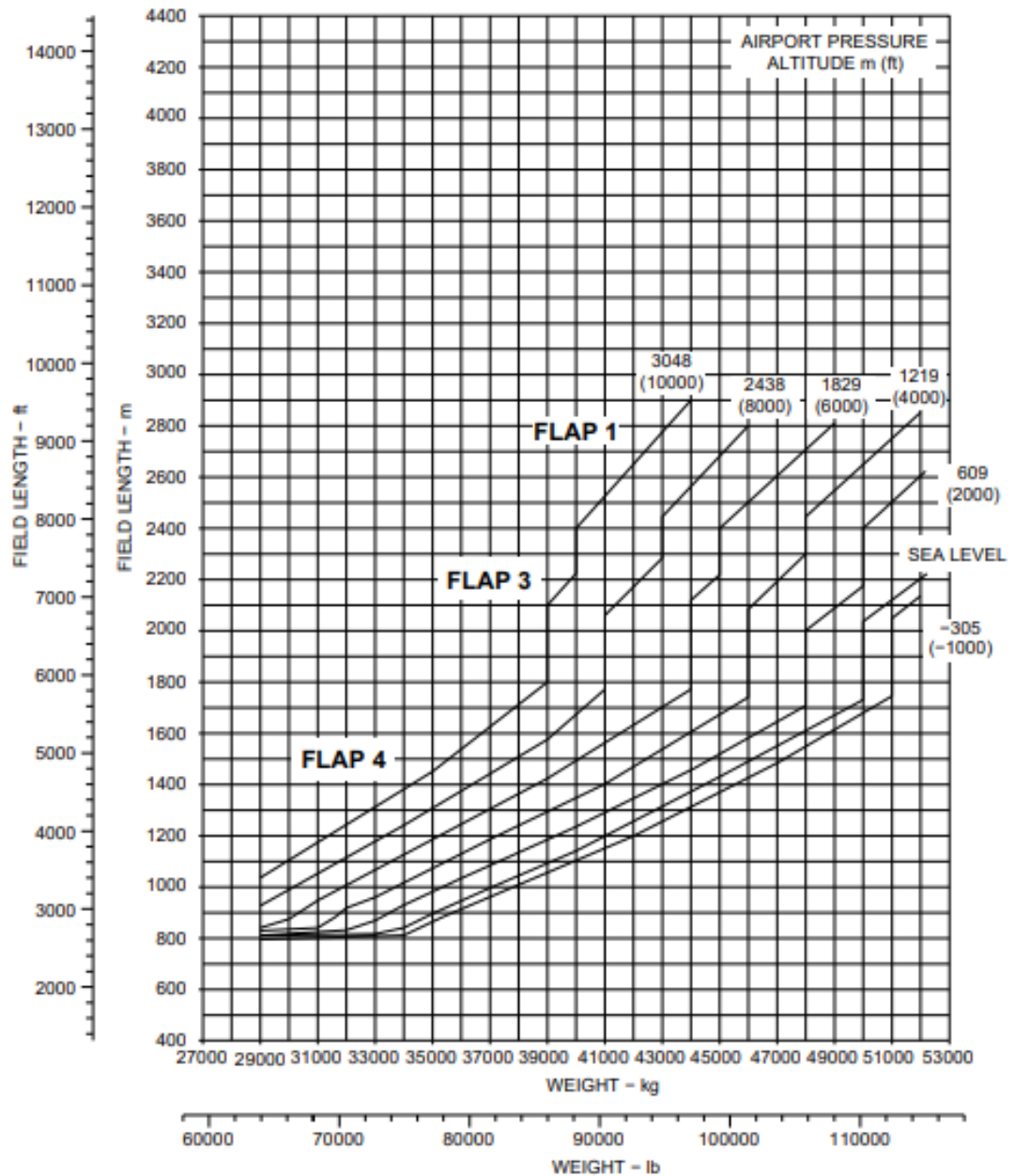
Figura 44 – Dimensões (planta, vista lateral e vista frontal) – B738



Fonte: BOEING, 2013

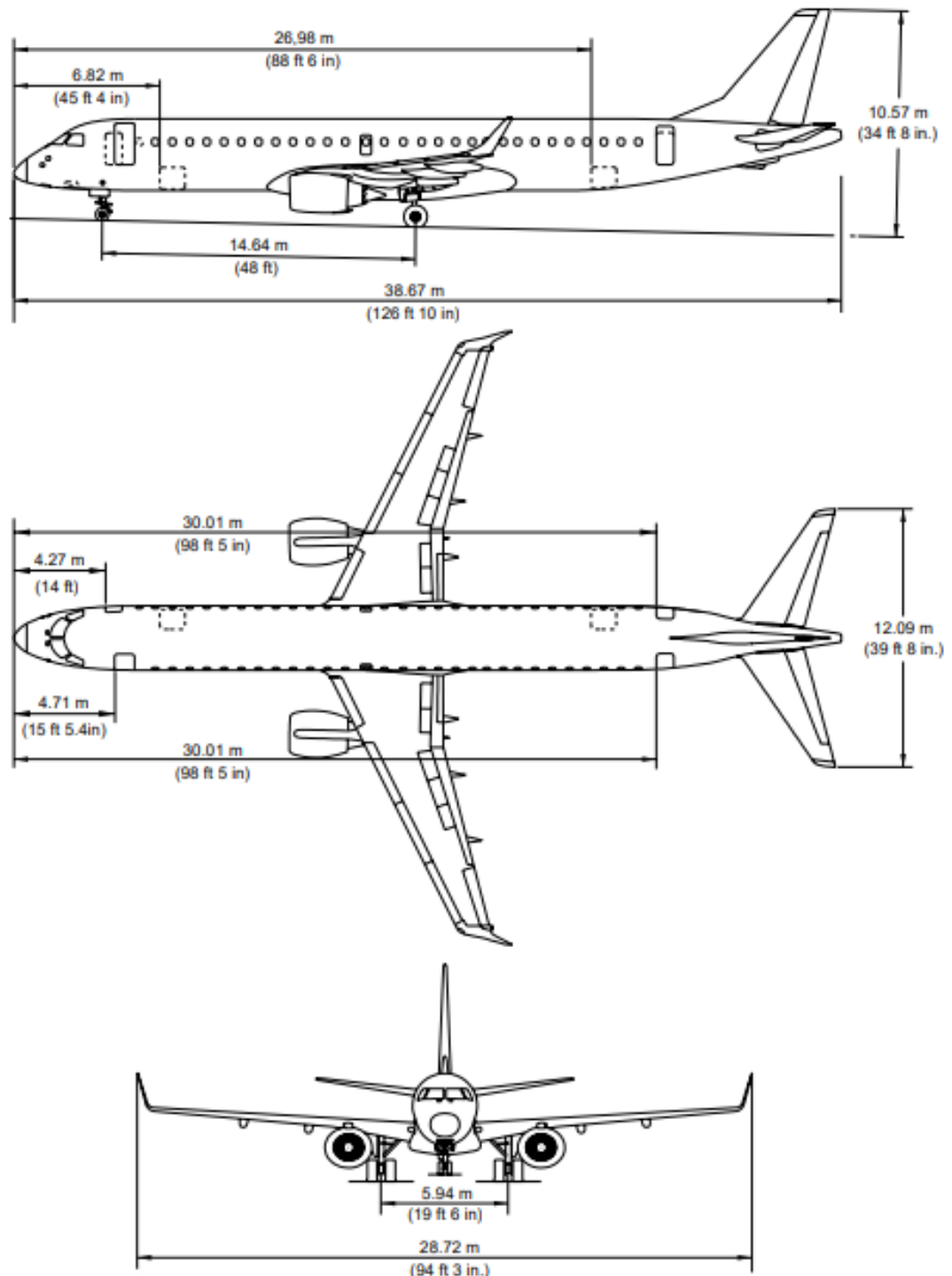
Para a aeronave E195, de acordo com a EMBRAER (2021), seu peso máximo de decolagem é, aproximadamente, 53.000 kg, conforme ilustrado na Figura 45, enquanto suas dimensões são exibidas na Figura 46.

Figura 45 – Peso Máximo de Decolagem – E195



Fonte: EMBRAER, 2021

Figura 46 – Dimensões (vista lateral, planta e vista frontal) – E195



Fonte: EMBRAER, 2021

Portanto, ao comparar as três aeronaves, é notável que a aeronave de projeto escolhida para fins de cálculos será a B738, por ter apresentado o maior Peso Máximo de Decolagem dentre as três aeronaves analisadas, com, aproximadamente, 79.000 kg de PMD, cujas dimensões apresentadas também foram as maiores, por exemplo o seu comprimento total de 38,67 m e a sua envergadura de 28,72 m.

3.2.2.2 Aeroporto Jorge Amado – Ilhéus (SBIL)

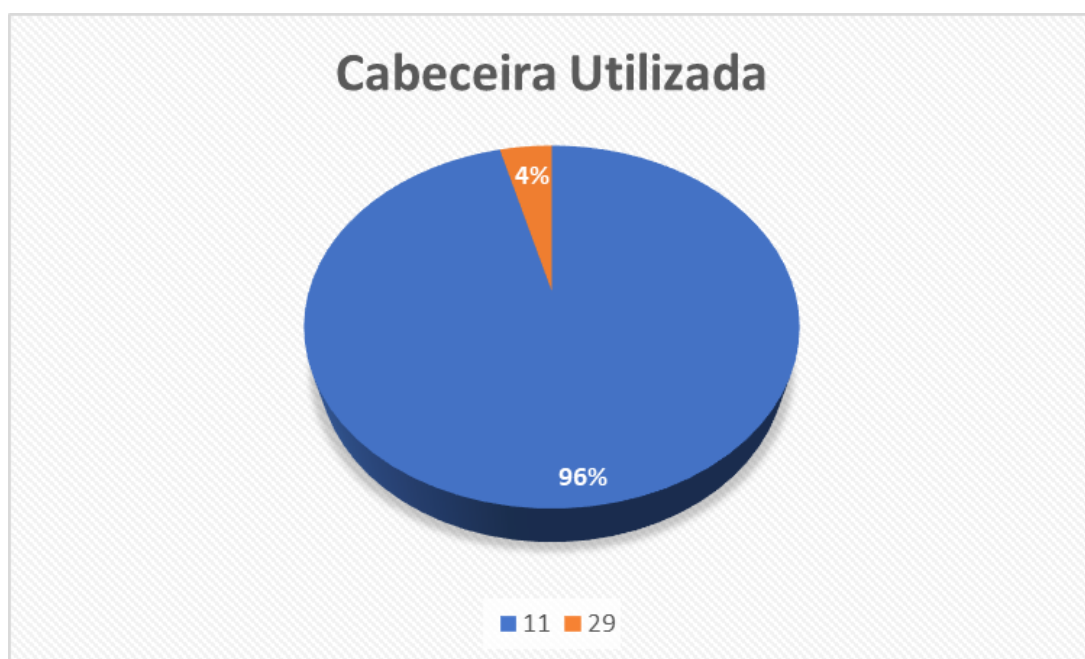
Ainda de acordo com os dados fornecidos pela KIBAG Brasil, o Aeroporto Jorge Amado – Ilhéus também apresenta uma taxa de crescimento de tráfego anual de 0,0%, cuja movimentação anual é de 8.400 operações.

As movimentações do Aeroporto Jorge Amado – Ilhéus também são tanto por uso doméstico, quanto por outras naturezas, podendo ser classificado, segundo Azzolini (2018), como HUB, portanto, é considerado como ponto de transferência entre destino inicial e final, por não ser exclusivo para voos domésticos.

Baseado no histórico de operações de pouso e decolagem do aeroporto Jorge Amado – Ilhéus, para a presente análise, foram selecionados os dados entre os anos de 2016 e 2018.

Na Figura 47, é possível visualizar a frequência com que cada cabeceira, da pista principal, foi utilizada nesse período.

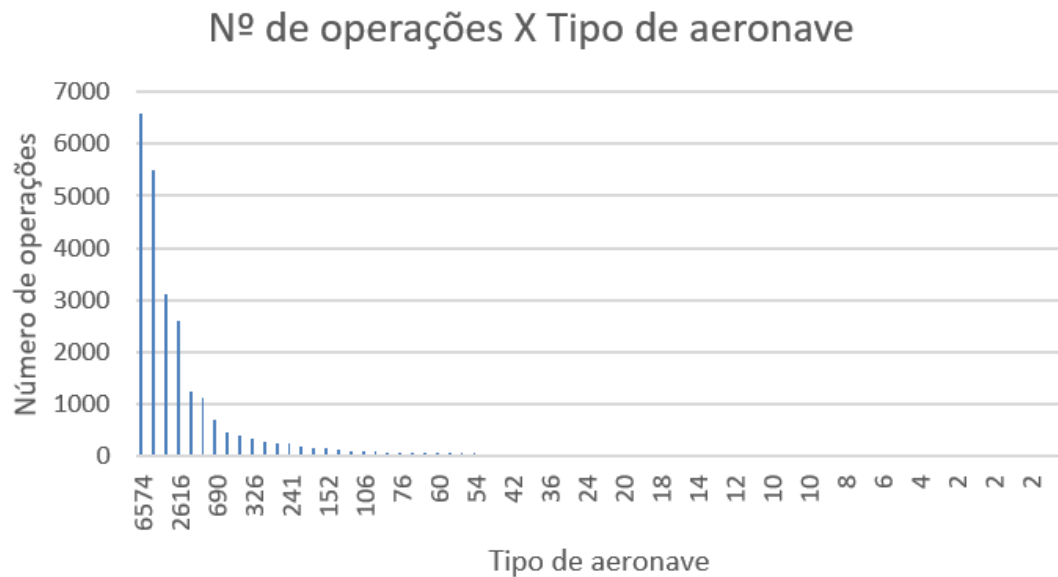
Figura 47 – Porcentagem de uso das cabeceiras da pista principal



Fonte: Autores, 2022

Ainda nessa amostra dos dados históricos de operações entre 2016 e 2018, foi feito um gráfico, conforme Figura 48, no qual mostra a frequência de operações pelo tipo de aeronave; tendo como resultado que as três aeronaves com maior frequência, no Aeroporto Jorge Amado – Ilhéus, foram: E195, com 26,35% das operações totais realizadas; A319, com 22,01% das operações totais realizadas e; C210, com 12,46% das operações totais realizadas.

Figura 48 – Número de operações por tipo de aeronave



Fonte: Autores, 2022

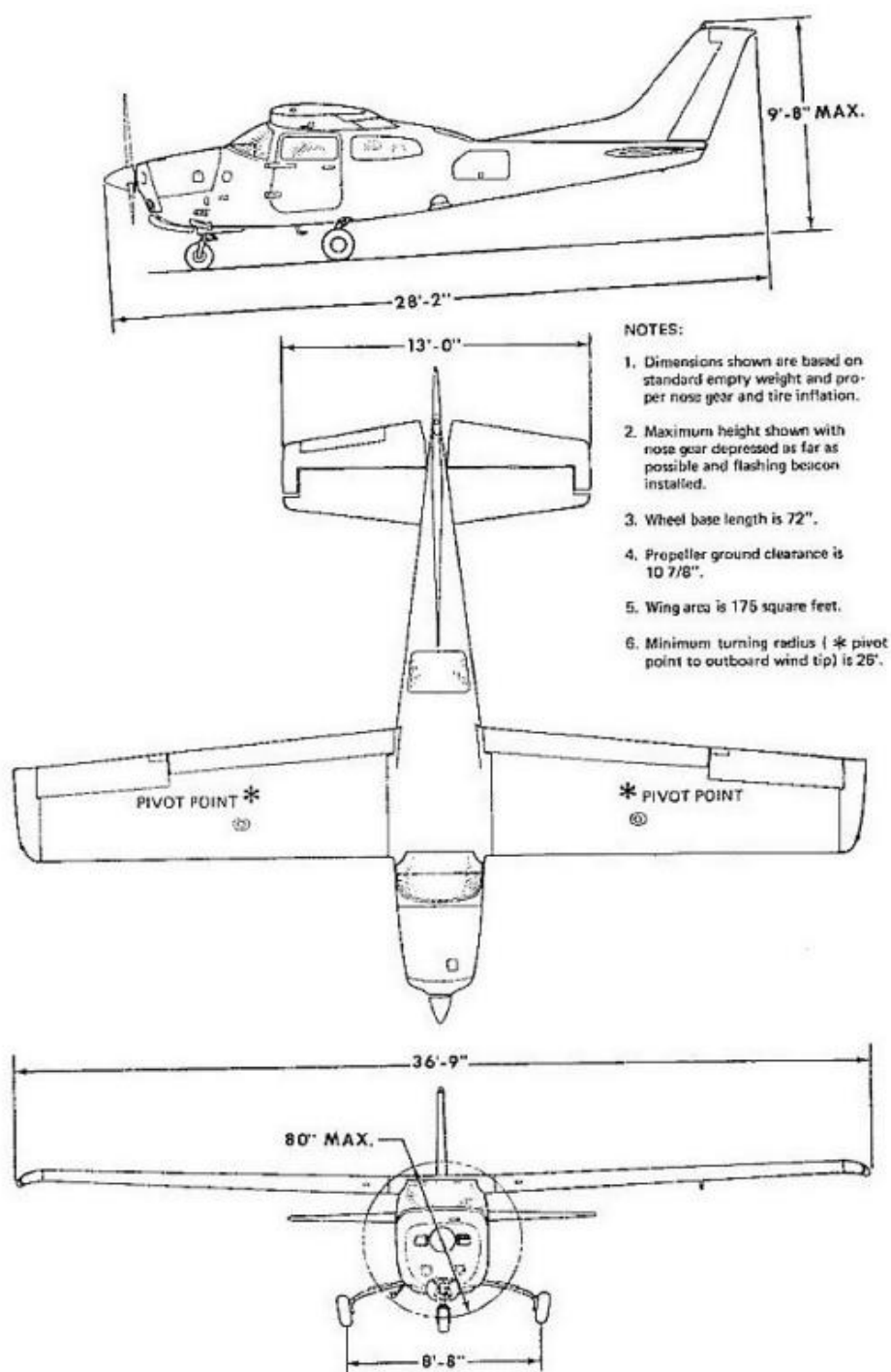
Tendo em vista as três aeronaves mais frequentes no Aeroporto Jorge Amado - Ilhéus, para a definição de qual delas será utilizada como aeronave de projeto, foi realizada uma comparação entre os três modelos, no qual o critério decisivo foi o PMD (Peso Máximo de Decolagem), já que para fins de dimensionamento, é um dos critérios mais importantes a ser considerado.

Para a aeronave E195, de acordo com a EMBRAER (2021), seu peso máximo de decolagem é, aproximadamente, 53.000 kg, conforme ilustrado, anteriormente, na Figura 45, enquanto suas dimensões são exibidas na Figura 46.

Já para a aeronave A319, de acordo com a AIRBUS (2020), seu peso máximo de decolagem é, aproximadamente, 75.500 kg, conforme ilustrado, anteriormente, na Figura 40, enquanto suas dimensões são exibidas na Figura 41 e na Figura 42.

Para a aeronave C210, de acordo com a Airliners (2022), seu peso máximo de decolagem é, aproximadamente, 1.860 kg, enquanto suas dimensões são exibidas na Figura 49.

Figura 49 – Dimensões (planta, vista frontal e lateral) – C210



Fonte: CESSNA 210 Training Manual, 2017

Portanto, ao comparar as três aeronaves, é notável que a aeronave de projeto escolhida para fins de cálculos seria a A319, por ter apresentado o maior Peso Máximo de Decolagem dentre as três aeronaves analisadas, com, aproximadamente, 79.000 kg de PMD, cujas dimensões apresentadas também foram as maiores, por exemplo o seu comprimento total de 38,67 m e a sua envergadura de 28,72 m. Entretanto, para essa aeronave não há um ábaco

correspondente no AC 150/5220-22B, para que, posteriormente, seja realizado o pré-dimensionamento do EMAS e, por esse motivo a aeronave de projeto adotada para o Aeroporto Jorge Amado – Ilhéus, foi a B737.

3.2.2 Dados históricos meteorológicos (METARs)

Os dados históricos meteorológicos, assim como os demais, exercem grande influência nas análises de risco, já que, por exemplo, o modo como o vento está atingindo a aeronave interfere, diretamente, em qual cabeceira será realizado o pouso e a decolagem; assim como a visibilidade no momento de realização das operações de pouso e decolagem é de extrema importância para a segurança da manobra.

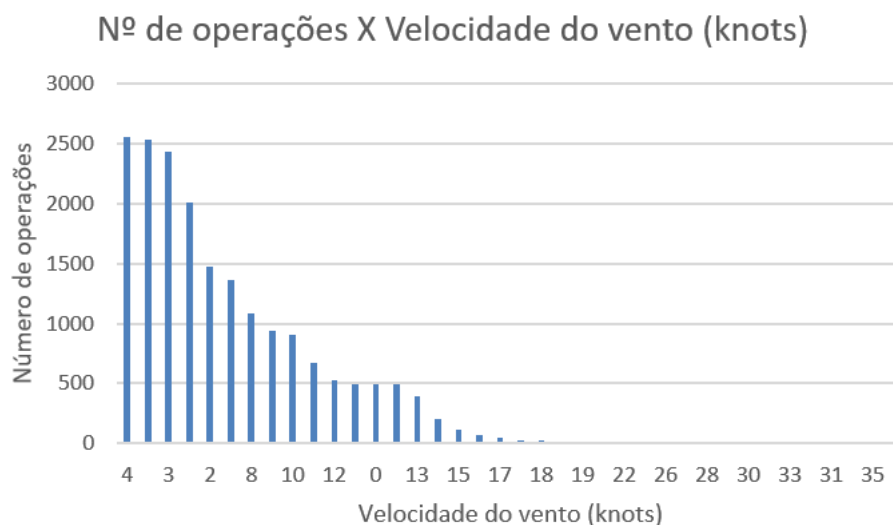
Conforme mencionado anteriormente, uma das melhorias do *ACRP Report 50* foi a possibilidade de adicionar os dados sobre os ventos, cuja influência sobre a análise de risco é alta, já que deve ser levado em consideração os ventos de cauda e proa, uma vez que para as manobras de pouso é favorável que o vento esteja “contra” a aeronave, ou seja, indo da parte dianteira para a parte traseira, portanto, vento de proa; e para as manobras de decolagem é favorável que o vento esteja “a favor” da aeronave, ou seja indo da parte traseira para parte dianteira, portanto, vento de cauda.

Outros fatores meteorológicos que também são importantes e devem ser levados em consideração na análise de risco são as tempestades, as chuvas, as chuvas de granizo, a neve, dentre outros. Vale ressaltar que todas essas informações a respeito dos dados meteorológicos são emitidas através dos METARs.

3.2.1.1 Aeroporto Santos Dumont (SBRJ)

Ainda de acordo com os dados utilizados para a análise de risco no Aeroporto Santos Dumont, é possível verificar, conforme Figura 50, a frequência das velocidades do vento; sendo perceptível que os ventos mais relevantes são os de 4 knots, representando 13,50% das operações totais realizadas; os de 5 knots, representando 13,38% das operações totais realizadas e; os de 3 knots, representando 12,84% das operações totais realizadas.

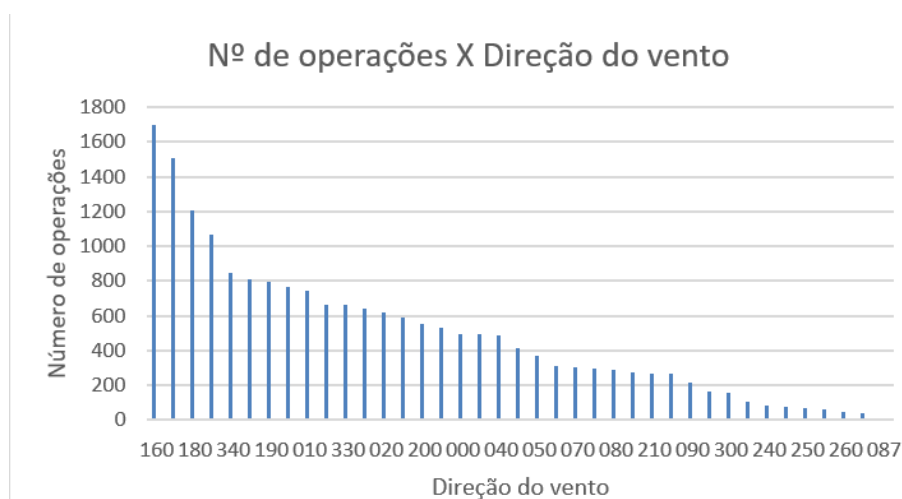
Figura 50 – Número de operações por velocidade do vento



Fonte: Autores, 2022

Já em relação à direção dos ventos, é possível notar, na Figura 51, que as três direções mais relevantes são: 160°, representando 8,93% das operações totais realizadas; 170°, representando 7,94% das operações totais realizadas e; 180°, representando 6,35% das operações totais realizadas.

Figura 51 – Número de operações por direção do vento

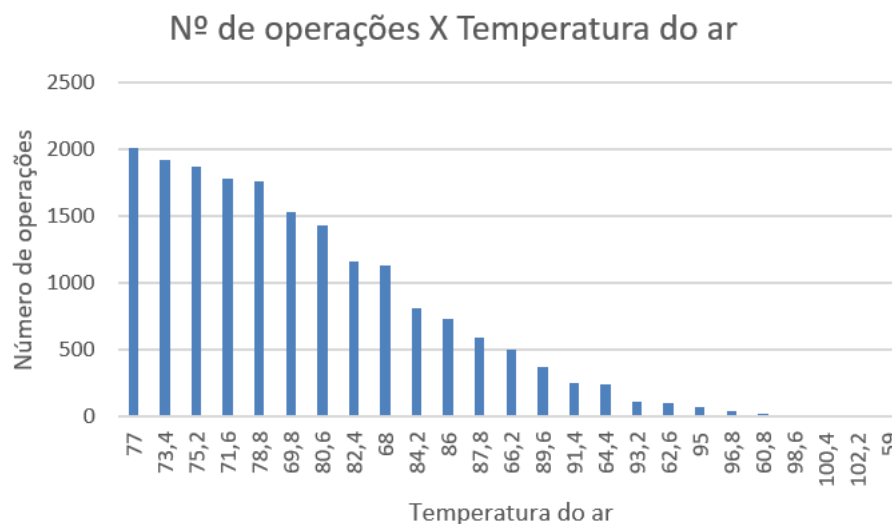


Fonte: Autores, 2022

E em relação à temperatura nota-se, na Figura 52, que as três temperaturas mais relevantes são: 77°F (25°C), representando 10,91% das operações totais realizadas; 73,4°F (23°C), representando 10,38% das operações totais realizadas e; 75,2°F (24°C), representando

10,13% das operações totais realizadas; sendo que a média de temperatura do ar varia em torno de 76,71°F (24,84°C).

Figura 52 – Número de operações por direção do vento

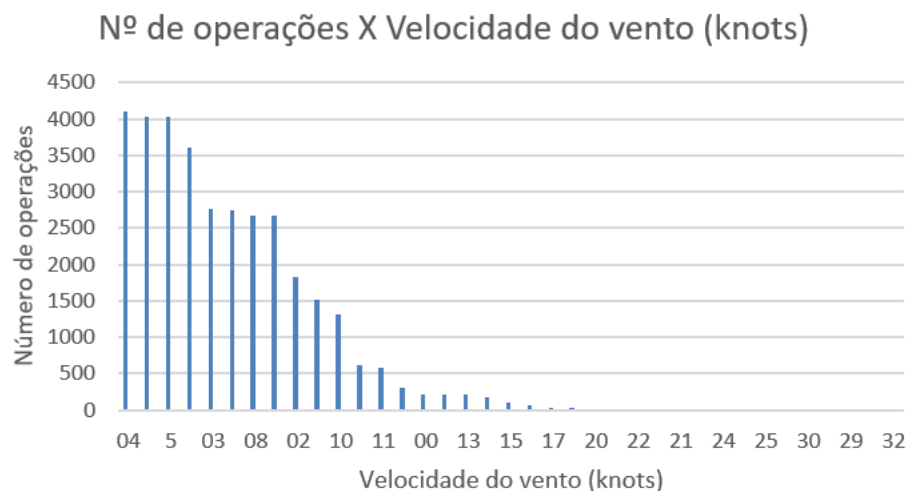


Fonte: Autores, 2022

3.2.1.2 Aeroporto Jorge Amado – Ilhéus (SBIL)

Segundo os dados utilizados para a análise de risco no Aeroporto Jorge Amado - Ilhéus, é possível verificar, conforme Figura 53, a frequência das velocidades do vento; sendo perceptível que os ventos mais relevantes são os de 4 knots, representando 13,70% das operações totais realizadas; os de 5 knots, representando 13,46% das operações totais realizadas e; os de 6 knots, representando 12,05% das operações totais realizadas.

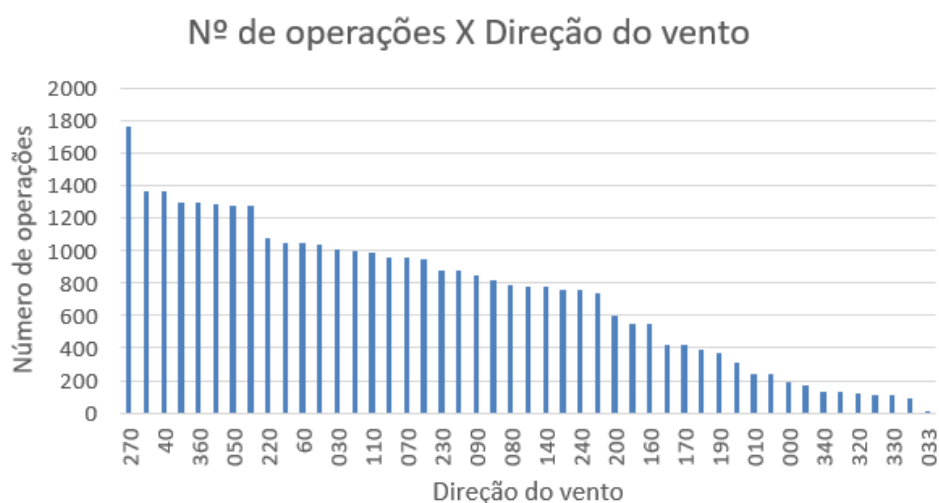
Figura 53 – Número de operações por velocidade do vento



Fonte: Autores, 2022

Já em relação à direção dos ventos, é possível notar, na Figura 54, que as três direções mais relevantes são: 270°, representando 6,32% das operações totais realizadas; 40°, representando 4,87% das operações totais realizadas e; 360°, representando 4,64% das operações totais realizadas.

Figura 54 – Número de operações por direção do vento

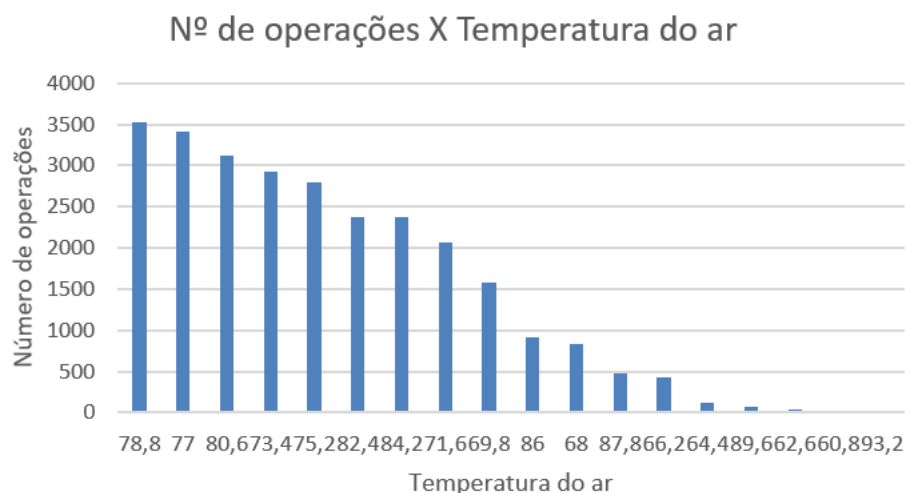


Fonte: Autores, 2022

E em relação à temperatura nota-se, na Figura 55, que as três temperaturas mais relevantes são: 78,8°F (26°C), representando 13,05% das operações totais realizadas; 77°F (25°C), representando 12,58% das operações totais realizadas e; 80,6°F (27°C), representando

11,55% das operações totais realizadas; sendo que a média de temperatura do ar varia em torno de 77,34°F (25,19°C).

Figura 55 – Número de operações por direção do vento



Fonte: Autores, 2022

3.3 RESULTADOS RSARA2

As análises de riscos, tanto para o Aeroporto Santos Dumont (SBRJ), quanto para o Aeroporto Jorge Amado – Ilhéus (SBIL), foram realizadas para alguns cenários, cuja diferença entre eles é a geometria da RESA, podendo ser definidos como:

- a) Cenário 1: no qual foi considerado a geometria da RESA atualmente existente no aeroporto.
- b) Cenário 2: no qual foi considerado a geometria da RESA segundo o padrão imposto pela ICAO/ANAC para aeroportos mais antigos, portanto, as dimensões mínimas da RESA devem ser 90 m X 90 m, com uma distância de 60 m a partir do final da pista.
- c) Cenário 3: no qual foi considerado a geometria da RESA segundo o padrão imposto pela ICAO/ANAC para aeroportos mais recentes, portanto, o comprimento mínimo da RESA deve ser 240 m, com uma distância de 60 m a partir do final da pista.
- d) Cenário 4: no qual foi considerado a implantação do EMAS para uma velocidade de saída de pista de 50 knots.

e) Cenário 5: no qual foi considerado a implantação do EMAS para uma velocidade de saída de pista de 60 knots.

f) Cenário 6: no qual foi considerado a implantação do EMAS para uma velocidade de saída de pista de 70 knots.

A finalidade da análise para diversos cenários é poder comparar e definir, qual o cenário, tecnicamente, mais viável para cada um dos aeroportos.

3.3.1 Aeroporto Santos Dumont (SBRJ)

Tendo em vista que ao redor do aeroporto Santos Dumont fica o mar, também conhecido como baía de Guanabara e, não tendo espaço disponível para expansão em terra firme, para o aumento de sua segurança; a análise de risco foi feita para ambas as cabeceiras (20L/02R) da pista principal, considerando todos os seis cenários apresentados anteriormente.

3.3.1.1 Cenário 1

O primeiro cenário analisado neste trabalho consiste na condição existente do final da pista de pouso e decolagem do Aeroporto Santos Dumont (SBRJ).

Na Figura 56, tem-se a imagem do aeroporto com a situação atual de operação sem a presença da RESA em ambas as cabeceiras.

Figura 56 – Aeroporto SBRJ atualmente



Fonte: Google Earth, 2020

O relatório referente ao cenário atual do aeroporto Santos Dumont, cujos níveis aceitáveis de segurança atuais são 1 acidente a cada 10.000.000 de operações, se mostra abaixo do nível recomendado para atividades regulares, com uma probabilidade total de 1,8 incidentes graves a cada 1.000.000 de operações.

A Figura 57 ilustra a probabilidade de ocorrência, retirada do Anexo com os resultados para o cenário 1 do Aeroporto Santos Dumont, de cada evento analisado, destacando o LDOR (*Landing Distance Overrun*), que é o evento onde a aeronave ultrapassa o final de pista e, ocasionalmente, por falta de solo disponível, atinge o mar, elevando o incidente a complicações mais graves.

Figura 57 – Probabilidade de ocorrência dos eventos e nível aceitável de operação



Fonte: Autores, 2022

Considerando a média do intervalo de, aproximadamente, 6 anos, que o Software RSARA2 retorna para a ocorrência de incidente grave e, com base no histórico de ocorrências do Aeroporto Santos Dumont, cuja média real se encontra entre 6 e 8 anos; é perceptível a assertividade da probabilidade feita pela análise de risco, portanto, faz-se necessário a adoção de uma intervenção, que mitigue o número de ocorrências e aumente o nível de segurança do aeroporto.

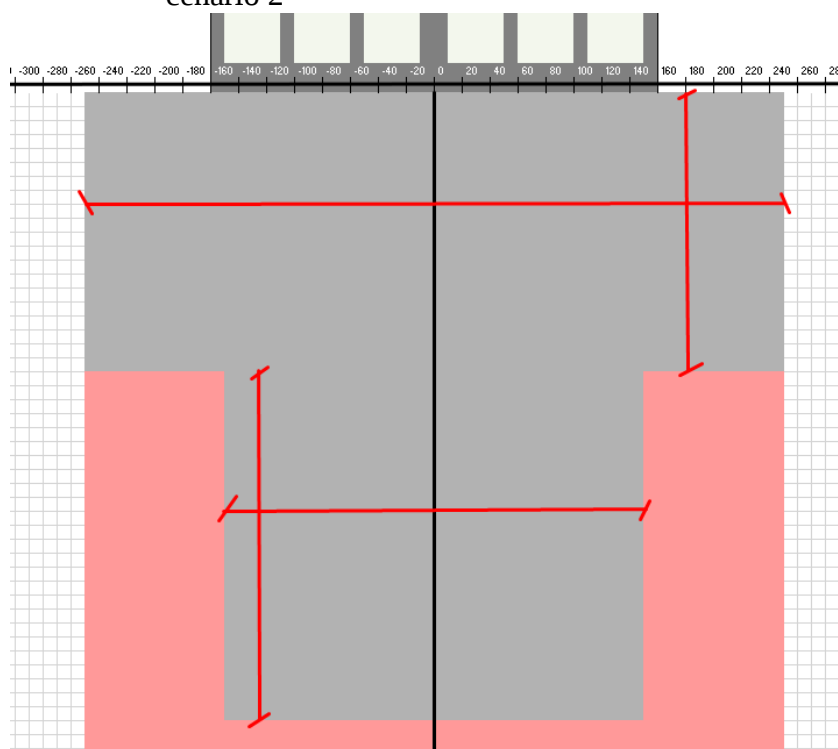
Com isso, nos próximos cenários, será analisado a implantação de medidas de intervenção para a melhoria dos níveis de segurança do aeroporto; tal medida mitigatória tende agregar valor ao aeroporto não somente de forma direta, como também de forma indireta. Por exemplo, quando há dois aeroportos não muito distantes, como é o caso do Aeroporto de Congonhas e o Aeroporto Internacional de Guarulhos, ambos localizados em São Paulo, caso um deles apresente muito mais ocorrências do que o outro, a tendência é que as pessoas passem a optar pelo aeroporto com menos ocorrências.

3.3.1.2 Cenário 2

As pistas mais antigas, cujo código de referência do aeródromo é 3, cadastradas na ANAC (Agência Nacional de Aviação Civil), antes do dia 12 de maio de 2009, devem seguir os padrões impostos pela RBAC nº 154 (2021), conforme mencionado anteriormente, no qual o comprimento da pista deve ser, no mínimo, 90 m e a largura da pista deve ser, no mínimo, igual ao dobro da largura requerida da pista.

Portanto, neste cenário, foi utilizada uma RESA com as especificações mínimas de acordo com o código 3 da pista em análise (02R/20L), ou seja, foi adotada uma RESA com 90 m de comprimento por 90 m de largura e uma *Stopway* com 60 m de comprimento por 150 m de largura, conforme ilustrado na Figura 58, na qual está representada a superfície da pista, composta de concreto asfáltico, definida para a *Stopway* e para a RESA.

Figura 58 – Geometria da cabeceira 02R, no RSARA2, para o cenário 2



Fonte: Autores, 2022

De acordo com a análise feita, para este cenário, o nível de segurança do aeroporto em geral, comparando as condições existentes e fazendo a implantação da RESA de dimensões mínimas de 90 m x 90 m e, lembrando que em conjunto é considerado uma área de *Stopway*, houve um aumento de segurança de 36%, porém os níveis ainda ficaram abaixo da expectativa

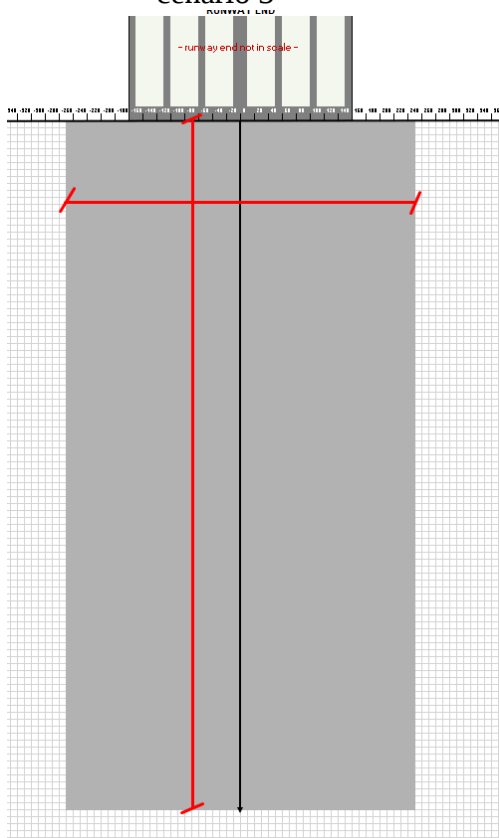
de 1×10^{-7} (1 incidente grave a cada 10.000.000 de operações), alcançando $1,14 \times 10^{-6}$ (1,14 incidente grave a cada 1.000.000 de operações).

3.3.1.3 Cenário 3

As pistas mais recentes, cujo código de referência do aeródromo é 3, cadastradas na ANAC (Agência Nacional de Aviação Civil), após o dia 12 de maio de 2009, devem seguir os padrões impostos pela RBAC nº154 (2021), conforme mencionado anteriormente, no qual o comprimento da pista deve ser, no mínimo, 240 m e a largura da pista deve ser, no mínimo, igual ao dobro da largura requerida da pista.

Portanto, neste cenário, foi utilizada uma RESA com as especificações mínimas de acordo com o código 3 da pista em análise (02R-20L), supondo que seja um projeto aeroportuário recente, ou seja, foi adotada uma RESA com 240 m de comprimento por 150 m de largura e uma *Stopway* com 60 m de comprimento por 150 m de largura, conforme ilustrado na Figura 59.

Figura 59 – Geometria da cabeceira 02R, no RSARA2, para o cenário 3



Fonte: Autores, 2022

De acordo com a análise feita, para este cenário, comparando as condições existentes e fazendo a implantação da RESA de dimensões mínimas de 240 m x 150 m e, lembrando que em conjunto é considerado uma área de *Stopway*, o aumento nos níveis de segurança foi ainda mais expressivo, chegando a 81%, ou seja, o nível de segurança das operações do Aeroporto Santos Dumont foi elevado a $3,44 \times 10^{-7}$ (3,44 incidentes grave a cada 10.000.000), portanto, com o fluxo atual de operação do SBRJ (90.000 operações), é esperado que ocorra um incidente considerado como grave em aproximadamente 32 anos de operações.

Comparando os três cenários apresentados até o momento, é possível notar a probabilidade de ocorrência de cada evento para cada um dos cenários, de acordo com os resultados apresentados nos Anexos para os cenários 1, 2 e 3 do Aeroporto Santos Dumont, conforme ilustrado na Figura 60.

Figura 60 – Probabilidade de ocorrência dos eventos LDOR, TOOR, LDUS, LDVO E TOVO, para cada cenário de RESA padrão



Fonte: Autores, 2022

Ainda comparando os três cenários de RESA padrão, apresentados até o momento, referente aos ganhos que as intervenções apresentam em relação ao tempo de ocorrência do incidente grave, tem-se que, o cenário com a RESA mínima de 90 m x 90 m apresentou um ganho de 4 anos até que ocorra o incidente grave, passando de 6 anos da situação atual, para 10 anos com a intervenção da RESA 90 m x 90 m; já o cenário com a RESA mínima de 240 m x 150 m apresentou um ganho de, em média 26 anos até que ocorra um incidente grave, passando de 6 anos da situação atual, para 32 anos com a intervenção da RESA 240 m x 150 m.

Devido às questões ambientais é perceptível que nenhum dos cenários apresentados anteriormente é viável para esse aeroporto, já que exigem grandes comprimentos de RESA, que para serem implantadas seria necessária a realização de um aterro no entorno do Aeroporto Santos Dumont. Pode-se notar que o mesmo ocorre para o Aeroporto Jorge Amado – Ilhéus, que também apresenta corpos de água próximos às suas cabeceiras.

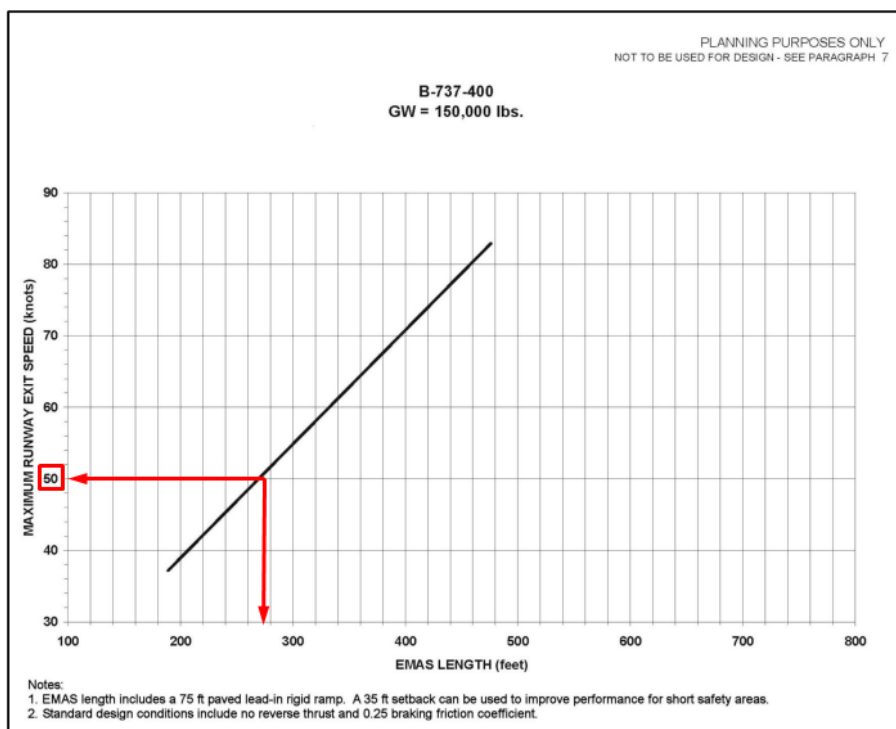
3.3.1.4 Cenário 4

Para este cenário foi considerado a implantação do EMAS com velocidade máxima de saída de pista de 50 knots, ou seja, a aeronave de projeto pode atingir o leito supressor com uma velocidade de, no máximo, 50 knots, para garantia do desempenho do EMAS.

Para o pré-dimensionamento do EMAS foi utilizado o ábaco disponível no Advisory Circular nº 150/5220-22B.

Como ilustrado na Figura 61, para a aeronave de projeto (B737) e uma velocidade máxima de saída de pista de 50 Knots, tem-se um comprimento de EMAS de, aproximadamente, 85 m (280 feet).

Figura 61 – Ábaco AC 150/5220-22B para aeronave B737



Fonte: AC 150/5220-22B, 2022

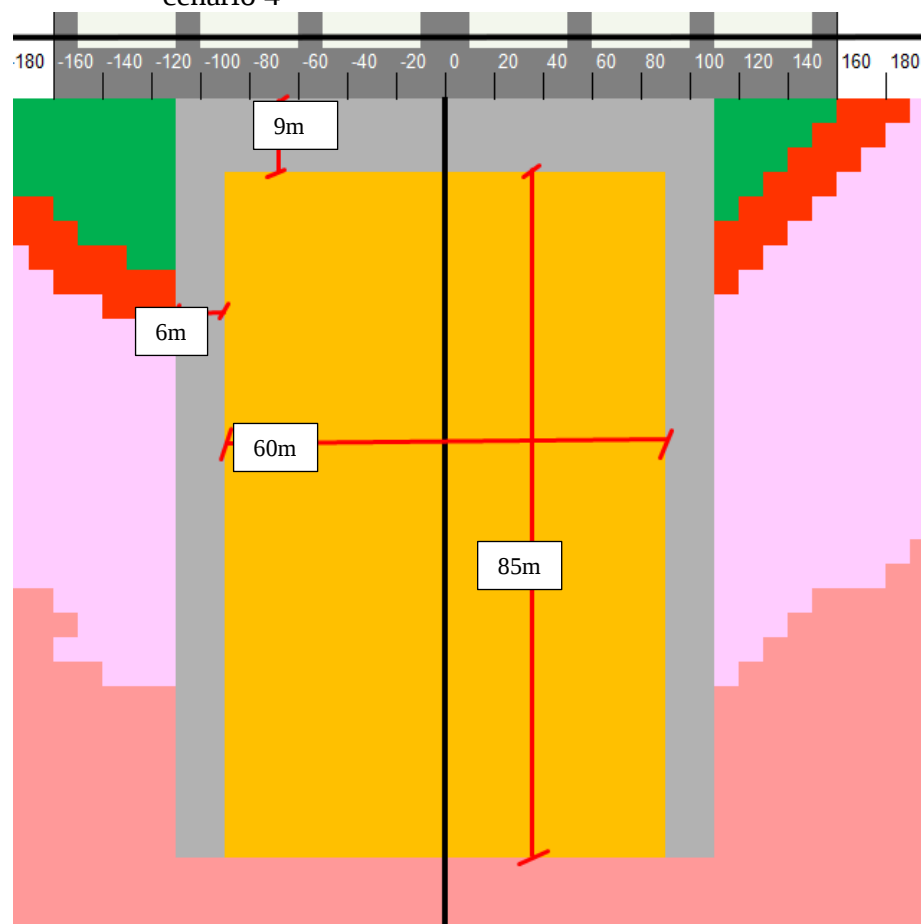
Neste cenário não houve implantação de uma *stopway*, por se tratar de uma intervenção proposta, que busca maior proximidade com a realidade.

Para a implantação do EMAS é necessário um espaçamento (*SetBack*) entre o final da pista e o início do EMAS, a fim de evitar danos causados pelas aeronaves, durante operação de decolagem. Sendo adotado, para esse trabalho, um espaçamento de 9 m.

Também foi considerado uma faixa de 6 m em cada lado do leito, destinada a ser uma via de serviço para veículos.

Com base nas informações mencionadas acima, as dimensões adotadas para o EMAS, em ambas as cabeceiras (02R/20L), foram 85 m de comprimento por 60 m de largura, conforme ilustrado na Figura 62.

Figura 62 – Geometria das cabeceiras 02R e 02L, no RSARA2, para o cenário 4



Fonte: Autores, 2022

Conforme a análise de risco realizada para o presente cenário, foi obtido um nível de segurança de $7,0 \times 10^{-7}$, o que equivale a 7 incidentes graves a cada 10.000.000 de operações, ou seja, houve um aumento de 61%, quando comparado à situação atual. Esse resultado mostra a

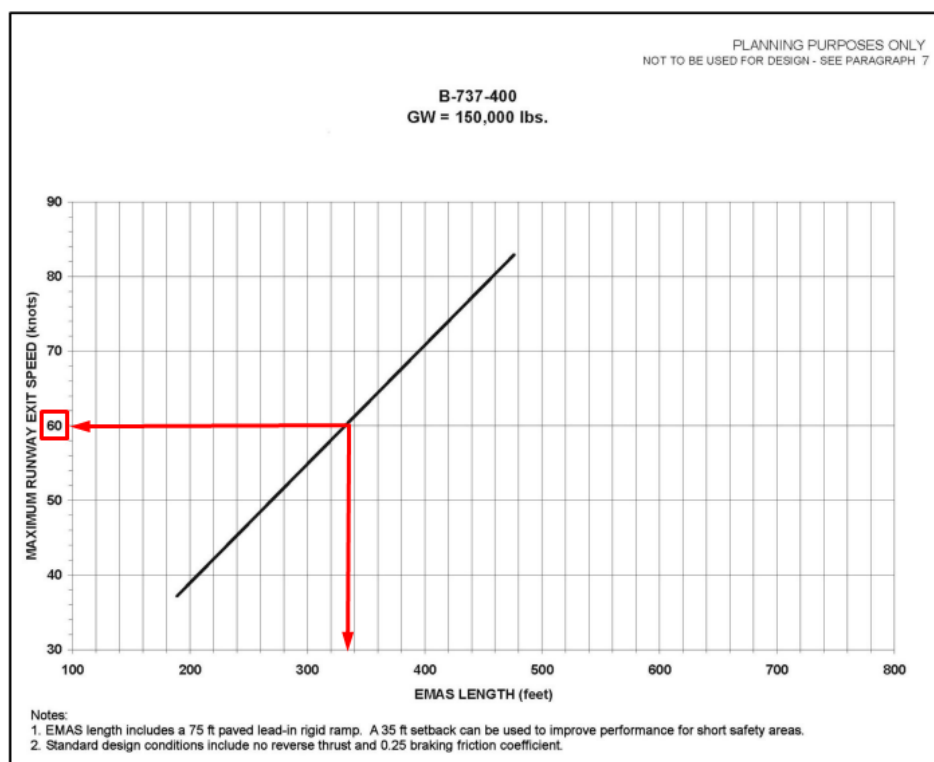
eficiência do sistema ao diminuir a severidade das ocorrências, além de aumentar o intervalo entre elas em, aproximadamente, 16 anos.

3.3.1.5 Cenário 5

Para este cenário foi considerado a implantação do EMAS com velocidade máxima de saída de pista de 60 knots, ou seja, a aeronave de projeto pode atingir o leito supressor com uma velocidade de, no máximo, 60 knots, para garantia do desempenho do EMAS.

Para o pré-dimensionamento do EMAS foi utilizado o ábaco disponível no Advisory Circular nº 150/5220-22B. Como ilustrado na Figura 63, para a aeronave de projeto (B737) e uma velocidade máxima de saída de pista de 60 Knots, tem-se um comprimento de EMAS de, aproximadamente, 104 m (340 feet).

Figura 63 – Ábaco AC 150/5220-22B para aeronave B737

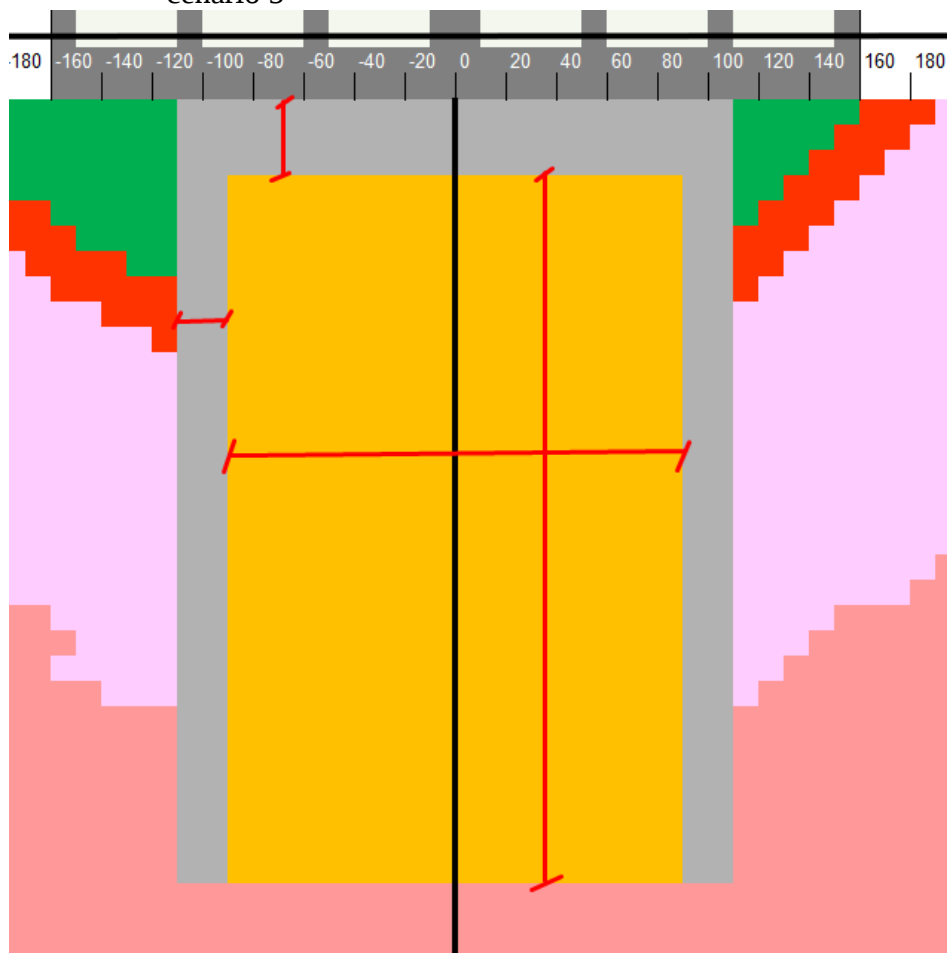


Fonte: AC 150/5220-22B, 2022

Assim como para o cenário anterior, não houve implantação de uma *stopway*; o *SetBack* utilizado foi de 9 m e; foi considerado uma faixa de via de serviço de 6 m de largura de cada lado do leito.

Com base nas informações mencionadas acima, as dimensões adotadas para o EMAS, em ambas as cabeceiras (02R/20L), foram 104 m de comprimento por 60 m de largura, conforme ilustrado na Figura 64.

Figura 64 – Geometria das cabeceiras 02R e 02L, no RSARA2, para o cenário 5



Fonte: Autores, 2022

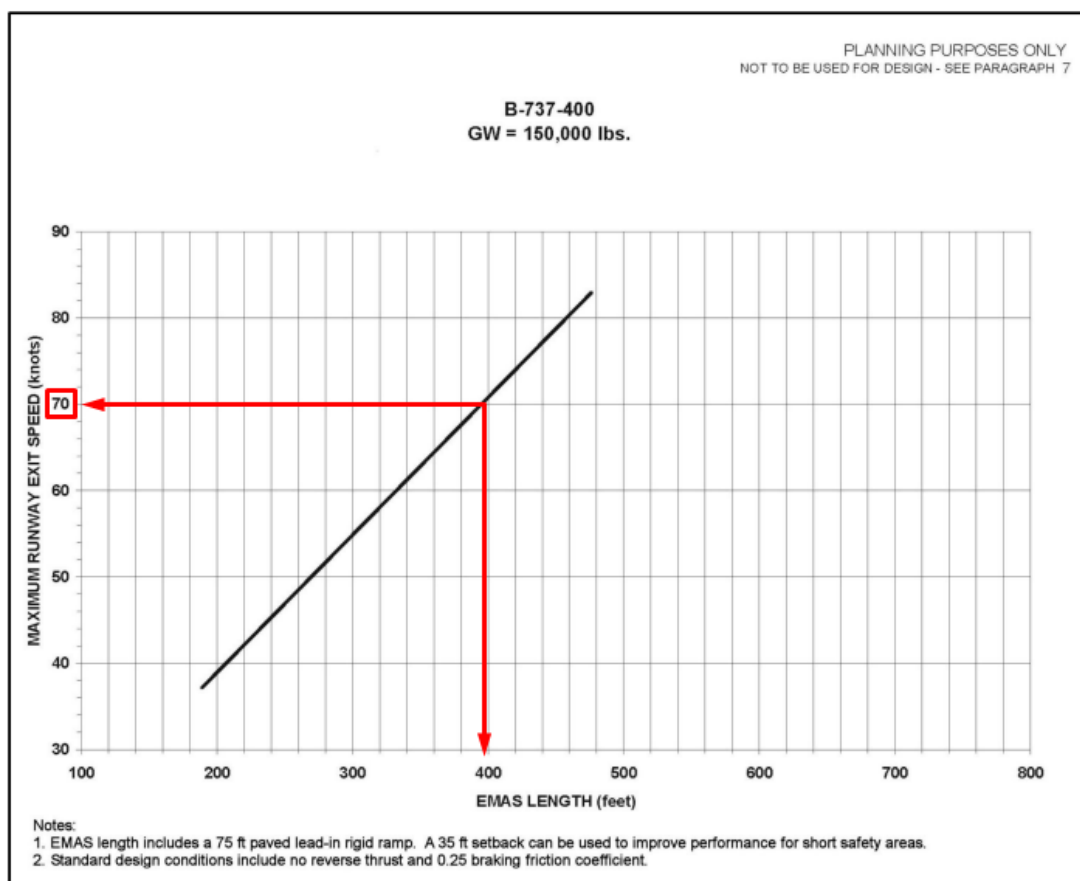
Conforme a análise de risco realizada para o presente cenário, foi obtido um nível de segurança de $6,4 \times 10^{-7}$, o que equivale a 6,4 incidentes graves a cada 10.000.000 de operações, ou seja, houve um aumento de 64%, quando comparado à situação atual. Esse resultado mostra a eficiência do sistema ao diminuir a severidade das ocorrências, além de aumentar o intervalo entre elas em, aproximadamente, 17 anos.

3.3.1.6 Cenário 6

Para este cenário foi considerado a implantação do EMAS com velocidade máxima de saída de pista de 70 knots, ou seja, a aeronave de projeto pode atingir o leito supressor com uma velocidade de, no máximo, 70 knots, para garantia do desempenho do EMAS.

Para o pré-dimensionamento do EMAS foi utilizado o ábaco disponível no Advisory Circular nº 150/5220-22B. Como ilustrado na Figura 65, para a aeronave de projeto (B737) e uma velocidade máxima de saída de pista de 70 Knots, tem-se um comprimento de EMAS de, aproximadamente, 123 m (400 feet).

Figura 65 – Ábaco AC 150/5220-22B para aeronave B737

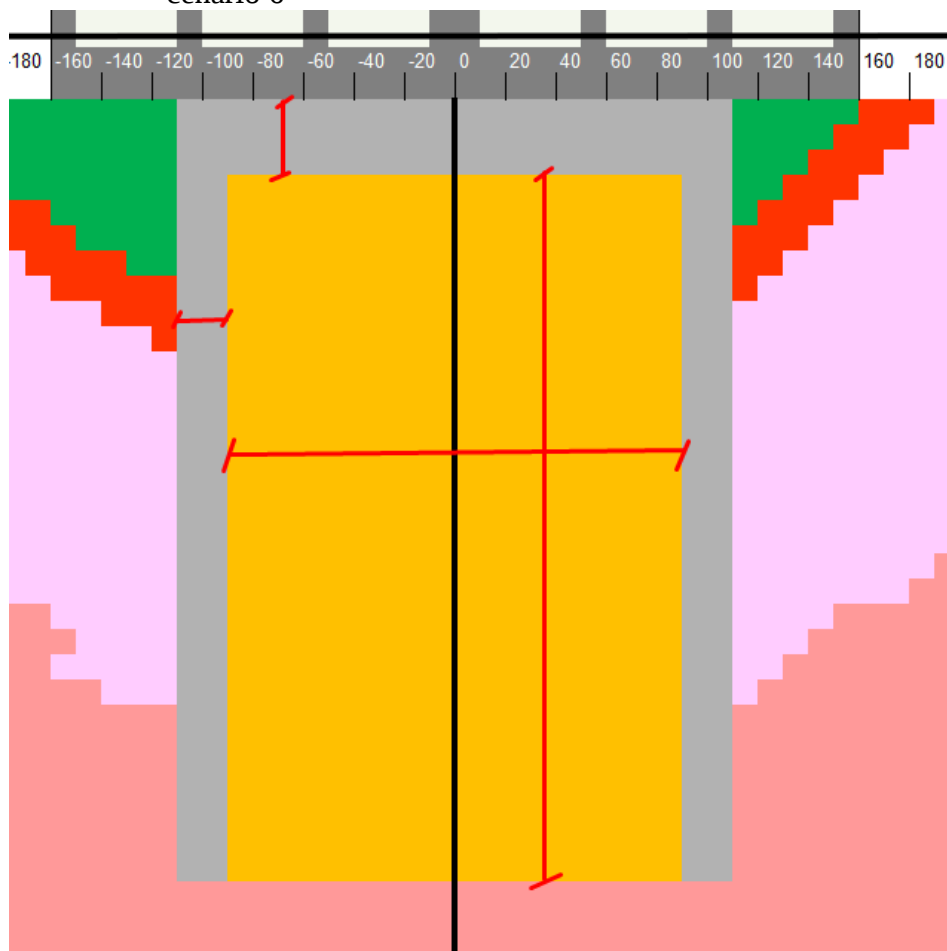


Fonte: AC 150/5220-22B, 2022

Assim como para os cenários anteriores, em que havia EMAS, não houve implantação de uma *stopway*; o *SetBack* utilizado foi de 9 m e; foi considerado uma faixa de via de serviço de 6 m de largura de cada lado do leito.

Com base nas informações mencionadas acima, as dimensões adotadas para o EMAS, em ambas as cabeceiras (02R/20L), foram 123 m de comprimento por 60 m de largura, conforme ilustrado na Figura 66.

Figura 66 – Geometria das cabeceiras 02R e 02L, no RSARA2, para o cenário 6

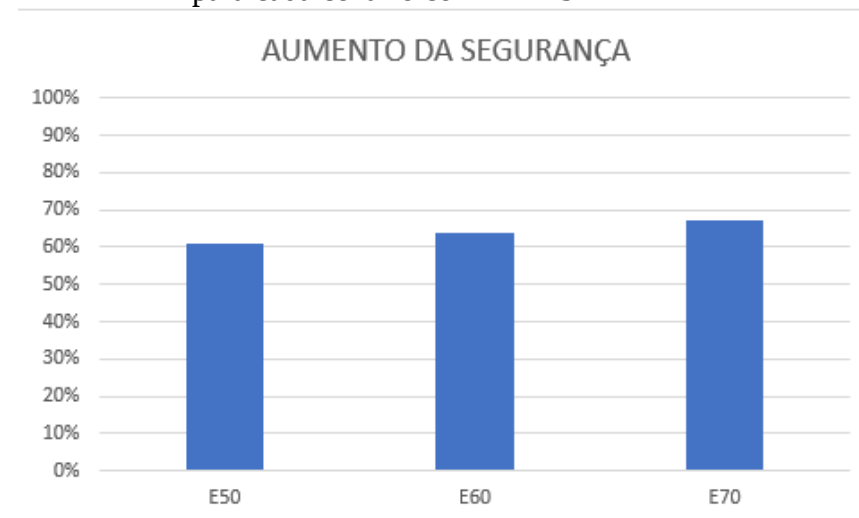


Fonte: Autores, 2022

Conforme a análise de risco realizada para o presente cenário, foi obtido um nível de segurança de $6,0 \times 10^{-7}$, o que equivale a 6,0 incidentes graves a cada 10.000.000 de operações, ou seja, houve um aumento de 67%, quando comparado à situação atual. Esse resultado mostra a eficiência do sistema ao diminuir a severidade das ocorrências, além de aumentar o intervalo entre elas em, aproximadamente, 19 anos.

Na Figura 67, é comparado, percentualmente, para os cenários 4, 5 e 6, conforme resultados obtidos e ilustrados nos respectivos Anexos, o aumento no nível de segurança do Aeroporto Santos Dumont, com a instalação do EMAS para cada cenário apresentado, 50 nós, 60 nós e 70 nós.

Figura 67 – Comparação percentual do aumento da segurança para cada cenário com EMAS



Fonte: Autores, 2022

Como pode-se notar na Figura 72, o aumento do nível de segurança entre os cenários com EMAS é pequeno, ou seja, quando comparados, é possível notar que o cenário 4 é o mais vantajoso, principalmente, em relação à geometria, uma vez que apresenta o menor comprimento necessário dentre todos os cenários estudados e, apesar de ter o menor comprimento de EMAS, ainda assim é o suficiente para que os níveis de segurança fiquem acima do estipulado pelo aeroporto.

Comparando os seis cenários analisados para o Aeroporto Santos Dumont é possível notar que, exceto pelo cenário 1 (condição atual da RESA), os demais apresentaram resultados satisfatórios em relação ao intervalo de tempo para as ocorrências de natureza incidente grave. Entretanto, comparando os cenários em que se tem apenas a RESA padrão com os cenários em que se tem o EMAS instalado, é notável que, em relação ao comprimento necessário, o EMAS projetado para uma velocidade de saída de pista de 50 nós, ainda é o mais viável para esse aeroporto, cujo comprimento é, aproximadamente, 58 m menor do que o requerido para uma RESA padrão de 90 m x 90 m.

Apesar de o cenário 4 ter se mostrado a melhor opção para o Aeroporto Santos Dumont, vale lembrar que esse aeroporto não apresenta RESA, assim como também não tem espaço para a implantação do EMAS, sendo necessária a construção de uma estrutura em balanço para o suporte do leito, já que a baía de Guanabara é uma área de preservação natural, ou seja, estruturas invasivas à natureza são proibidas nesse local.

A Tabela 11 mostra a média de anos que cada intervenção resulta para ocorrência de um incidente grave, e o comprimento mínimo necessário para a implantação da intervenção.

Tabela 27 – Intervalo entre as ocorrências e comprimento mínimo para cada intervenção

INTERVENÇÃO	ANOS	COMPRIMENTO MÍN.
(90x90) m ²	10	150
(150x240) m ²	32	300
EMAS 50	16	92
EMAS 60	17	109
EMAS 70	19	159

Fonte: Autores, 2022

3.3.2 Aeroporto Jorge Amado – Ilhéus (SBIL)

Atualmente, o Aeroporto Jorge Amado – Ilhéus contém uma pista com 1.467 m de comprimento, cuja cabeceira 11 está localizada próxima ao Rio Cachoeira, enquanto a cabeceira 29 está localizada próxima à Rodovia Barão do Rio Branco e ao mar, o que dificulta na expansão, em terra firme, de suas RESAs.

A aproximação, nesse aeroporto, é feita de modo, quase totalmente, manual, sendo que em condições extremas do clima, o recomendável seria alternar com a aproximação feita por instrumento, porém a falta de aparelhos, como ILS, PAPI, VOR e ADF, os quais servem para auxiliar os pilotos durante as operações de pouso e decolagem, é um problema enfrentado pelo Aeroporto Jorge Amado – Ilhéus. Outro problema enfrentado pelo aeroporto é a pista escorregadia em dias chuvosos; sem mencionar os obstáculos presentes, como a quantidade de pássaros.

Com a presente realidade do Aeroporto Jorge Amado – Ilhéus, a capacidade de operação acaba sendo reduzida, logo, esse aeroporto acaba sendo menos visado para conexões e pousos de emergência.

A empresa responsável pela administração do aeroporto é, diretamente, afetada, devido à redução de ofertas de voos, por não possuir a capacidade para atender determinadas categorias de aviões, por exemplo o *Airbus A320*, o qual possui maior capacidade de passageiros e cargas quando comparado ao *Airbus A319*, que opera no aeroporto, atualmente.

Baseando-se nos problemas atuais enfrentados por esse aeroporto, uma possível solução seria o aumento da segurança, sem alteração do tamanho da pista, que já é considerada pequena.

Portanto, a análise de risco foi feita para ambas as cabeceiras (11/29) da pista principal, considerando todos os seis cenários apresentados anteriormente.

3.3.1.1 Cenário 1

O primeiro cenário analisado para o Aeroporto Jorge Amado - Ilhéus (SBIL) consiste na condição existente do final de sua pista de pouso e decolagem.

Na Figura 68, tem-se a imagem do aeroporto com a situação atual de operação, na qual é possível notar a presença de RESA em ambas as cabeceiras.

Figura 68 – Aeroporto SBIL atualmente



Fonte: Google Earth, 2020

O relatório referente ao cenário atual do aeroporto Jorge Amado - Ilhéus, cujos níveis aceitáveis de segurança atuais são 1 acidente a cada 10.000.000 de operações, se mostra acima do nível recomendado para atividades regulares, com uma probabilidade total de 7,2 incidentes graves a cada 10.000.000 de operações. Contudo, a probabilidade de ocorrência de incidentes graves nesse aeroporto só é baixa devido ao número de movimentações, que também é baixo.

A Figura 69 ilustra a probabilidade de ocorrência, retirada do Anexo com os resultados para o cenário 1 do Aeroporto Jorge Amado – Ilhéus, de cada evento analisado, destacando o LDOR (*Landing Distance Overrun*), que é o evento onde a aeronave ultrapassa o final de pista e, ocasionalmente, por falta de solo disponível, atinge o mar, elevando o incidente a complicações mais graves.

Figura 69 – Probabilidade de ocorrência dos eventos e nível aceitável de operação



Fonte: Autores, 2022

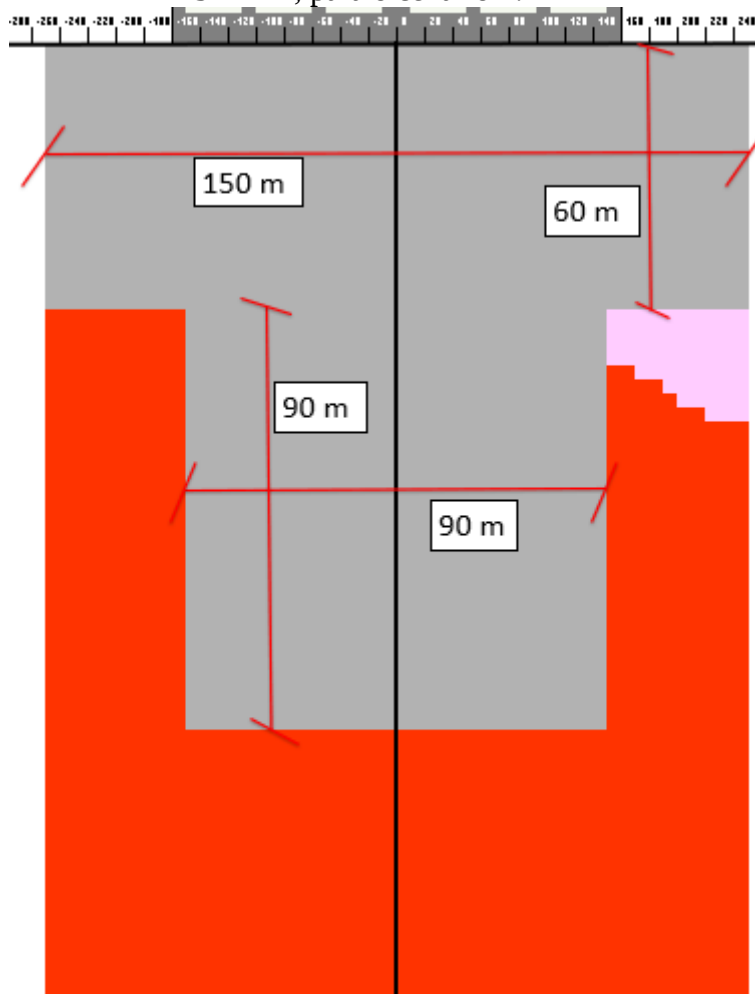
O aeroporto de Ilhéus se encontra em seus limites de sítio aeroportuário e sem possibilidade de expansão. Com isso, nos próximos cenários, será analisado a implantação de medidas de intervenção para a melhoria dos níveis de segurança do aeroporto.

3.3.1.2 Cenário 2

Conforme, anteriormente, mencionado, as pistas mais antigas, cujo código de referência do aeródromo é 3, cadastradas na ANAC (Agência Nacional de Aviação Civil), antes do dia 12 de maio de 2009, devem seguir os padrões impostos pela RBAC nº 154 (2021), no qual o comprimento da pista deve ser, no mínimo, 90 m e a largura da pista deve ser, no mínimo, igual ao dobro da largura requerida da pista.

Portanto, neste cenário, foi utilizada uma RESA com as especificações mínimas de acordo com o código 3, da pista em análise (11/29), ou seja, foi adotada uma RESA com 90 m de comprimento por 90 m de largura e uma *Stopway* com 60 m de comprimento por 150 m de largura, conforme ilustrado na Figura 70.

Figura 70 – Geometria das cabeceiras 11 e 29, no RSARA2, para o cenário 2.



Fonte: Autores, 2022

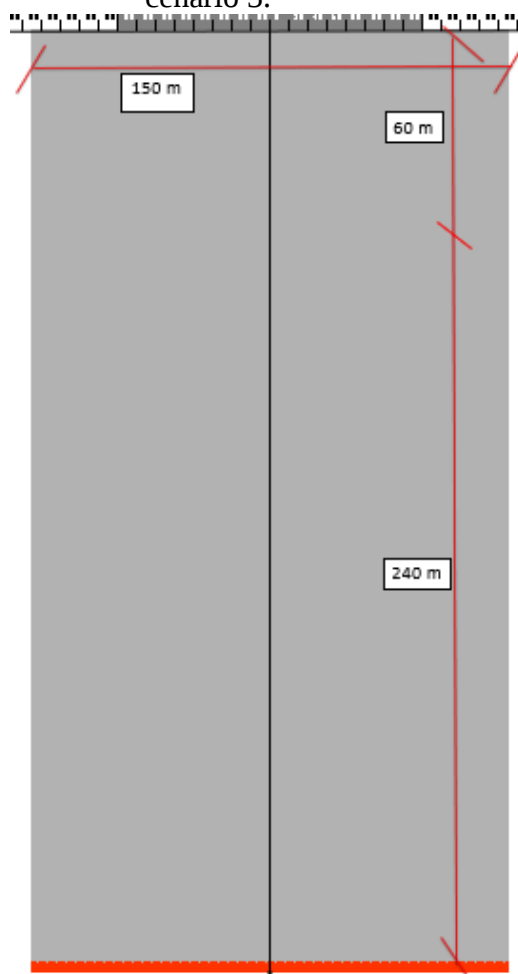
De acordo com a análise feita, para este cenário, comparando as condições existentes e fazendo a implantação da RESA de dimensões mínimas de 90 m x 90 m e, lembrando que em conjunto é considerado uma área de *Stopway*, houve um aumento da probabilidade de ocorrências em 6% em relação ao cenário atual; tendo como resultado um nível de segurança igual a $7,6 \times 10^{-7}$ (7,6 incidentes graves a cada 10.000.000 de operações).

3.3.1.3 Cenário 3

Conforme mencionado anteriormente, as pistas mais recentes, cujo código de referência do aeródromo é 3, cadastradas na ANAC (Agência Nacional de Aviação Civil), após o dia 12 de maio de 2009, devem seguir os padrões impostos pela RBAC nº154 (2021), no qual o comprimento da pista deve ser, no mínimo, 240 m e a largura da pista deve ser, no mínimo, igual ao dobro da largura requerida da pista.

Portanto, neste cenário, foi utilizada uma RESA com as especificações mínimas de acordo com o código 3 da pista em análise (11-29), supondo que seja um projeto aeroportuário recente, ou seja, foi adotada uma RESA com 240 m de comprimento por 150 m de largura e uma *Stopway* com 60 m de comprimento por 150 m de largura, conforme ilustrado na Figura 71.

Figura 71 – Geometria das cabeceiras 11 e 29, no RSARA2, para o cenário 3.

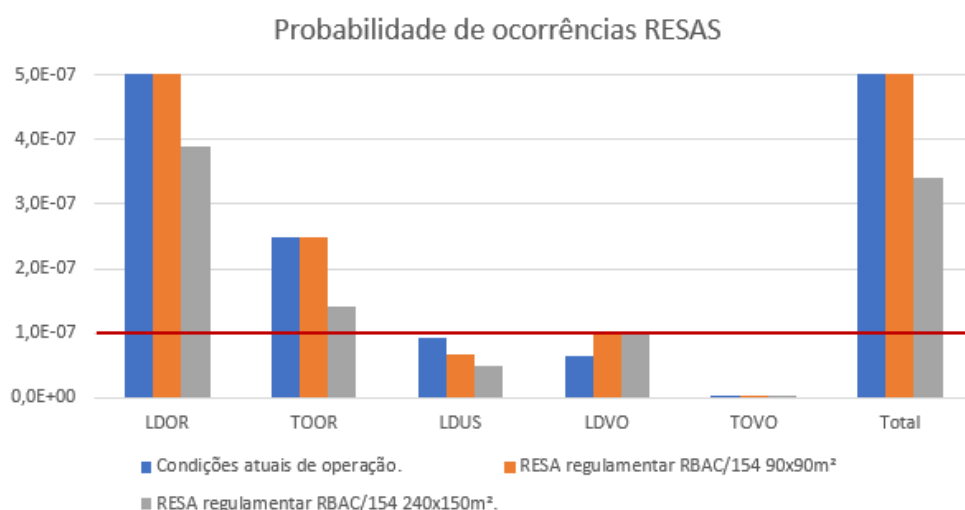


Fonte: Autores, 2022

De acordo com a análise feita, para este cenário, comparando as condições existentes e fazendo a implantação da RESA de dimensões mínimas de 240 m x 150 m e, lembrando que em conjunto é considerado uma área de *Stopway*, o nível de segurança foi $3,4 \times 10^{-7}$ (3,4 incidentes grave a cada 10.000.000), representando um aumento 53% quando comparado ao cenário atual.

Comparando os três cenários apresentados até o momento, para o Aeroporto Jorge Amado - Ilhéus, é possível notar a probabilidade de ocorrência de cada evento para cada um dos cenários, de acordo com os resultados apresentados nos Anexos para os cenários 1, 2 e 3 do Aeroporto Jorge Amado – Ilhéus, conforme ilustrado na Figura 72.

Figura 72 – Probabilidade de ocorrência dos eventos LDOR, TOOR, LDUS, LDVO E TOVO, para cada cenário de RESA padrão



Fonte: Autores, 2022

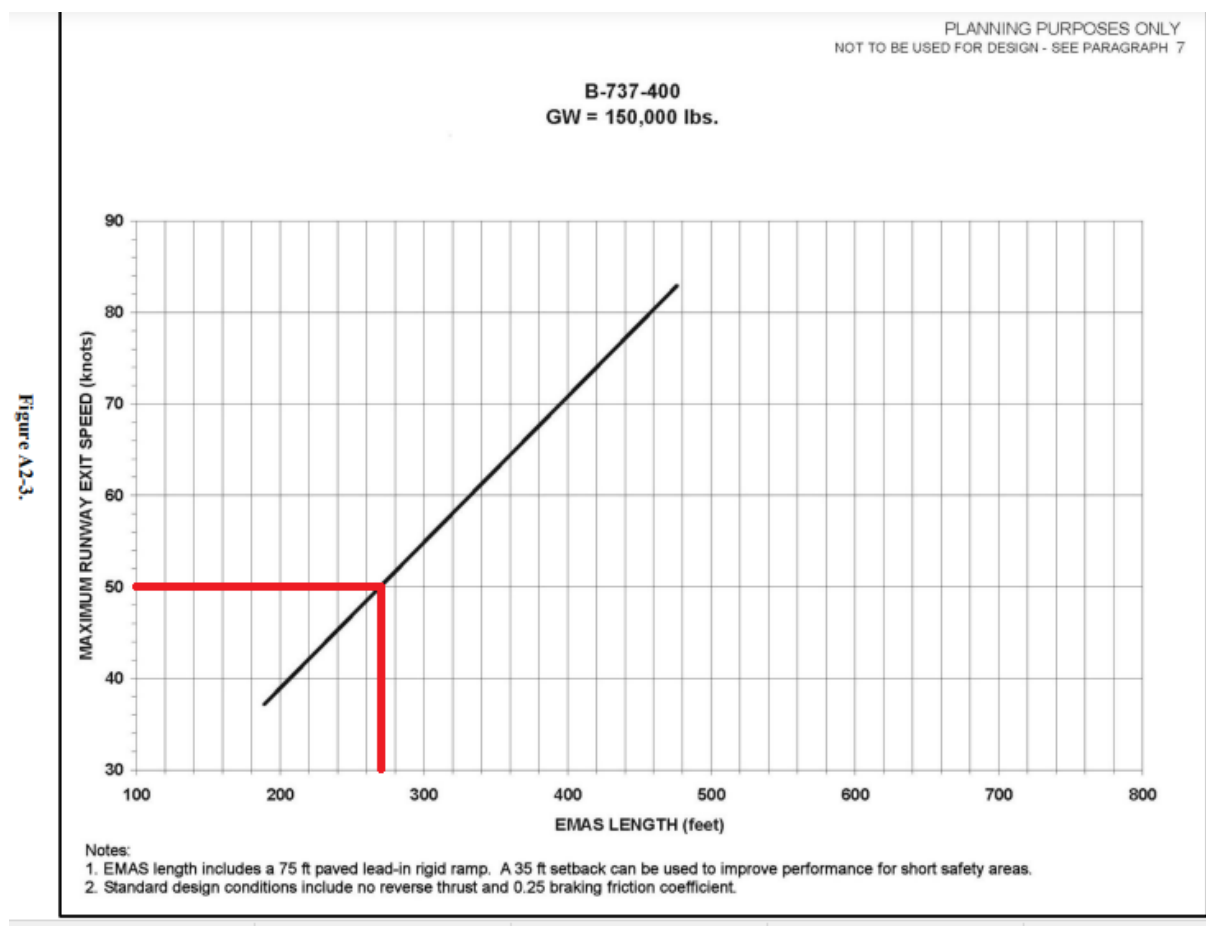
É perceptível que nenhum dos cenários apresentados anteriormente é viável para esse aeroporto, já que exigem grandes comprimentos de RESA, que teriam que ser descontados do comprimento da pista, a qual já é considerada pequena.

3.3.1.4 Cenário 4

Para este cenário foi considerado a implantação do EMAS com velocidade máxima de saída de pista de 50 knots, ou seja, a aeronave de projeto pode atingir o leito supressor com uma velocidade de, no máximo, 50 knots, para garantia do desempenho do EMAS.

Para o pré-dimensionamento do EMAS foi utilizado o ábaco disponível no Advisory Circular nº 150/5220-22B. Como ilustrado na Figura 73, para a aeronave de projeto (B737) e uma velocidade máxima de saída de pista de 50 Knots, tem-se um comprimento de EMAS de, aproximadamente, 83 m (270 feet).

Figura 73 – Ábaco AC 150/5220-22B para aeronave B737



Fonte: AC 150/5220-22B, 2022

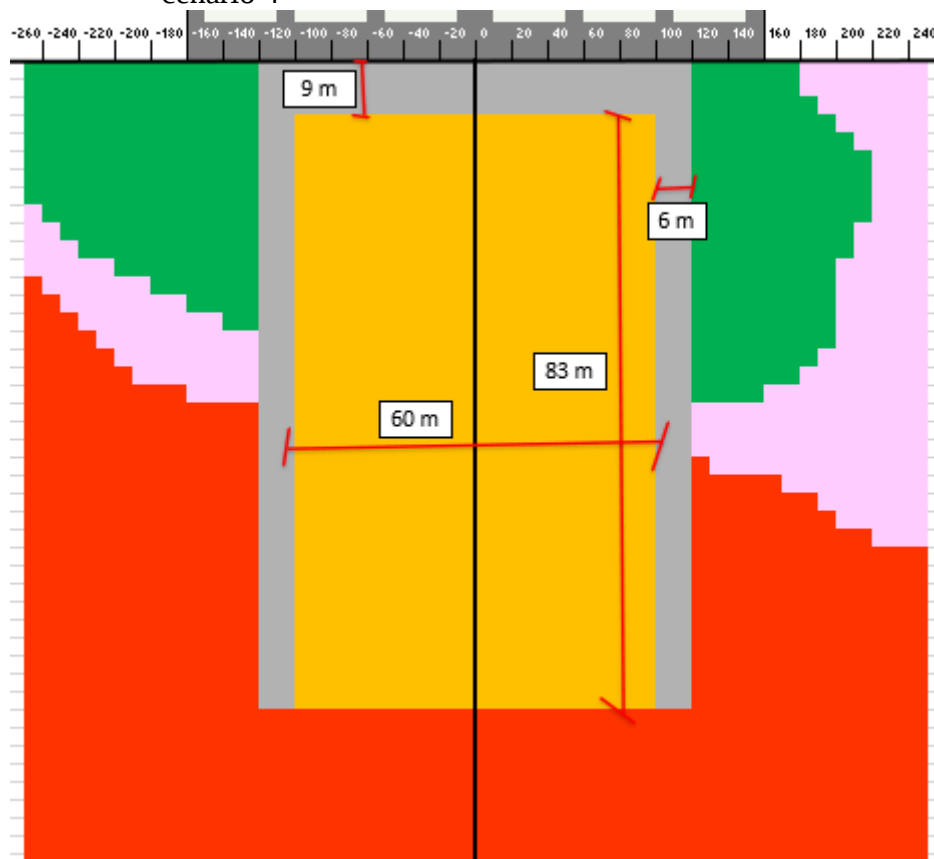
Neste cenário não houve implantação de uma *stopway*, por se tratar de uma intervenção proposta, que busca maior proximidade com a realidade.

Para a implantação do EMAS é necessário um espaçamento (*SetBack*) entre o final da pista e o início do EMAS, a fim de evitar danos causados pelas aeronaves, durante operação de decolagem. Sendo adotado, para esse trabalho, um espaçamento de 9 m.

Também foi considerado uma faixa de 6 m em cada lado do leito, destinada a ser uma via de serviço para veículos.

Com base nas informações mencionadas acima, as dimensões adotadas para o EMAS, em ambas as cabeceiras (11/29), foram 83 m de comprimento por 60 m de largura, conforme ilustrado na Figura 74.

Figura 74 – Geometria das cabeceiras 11 e 29, no RSARA2, para o cenário 4



Fonte: Autores, 2022

Conforme a análise de risco realizada para o presente cenário, foi obtido um nível de segurança de $4,9 \times 10^{-7}$, o que equivale a 4,9 incidentes graves a cada 10.000.000 de operações, ou seja, houve um aumento de 32%, quando comparado à situação atual.

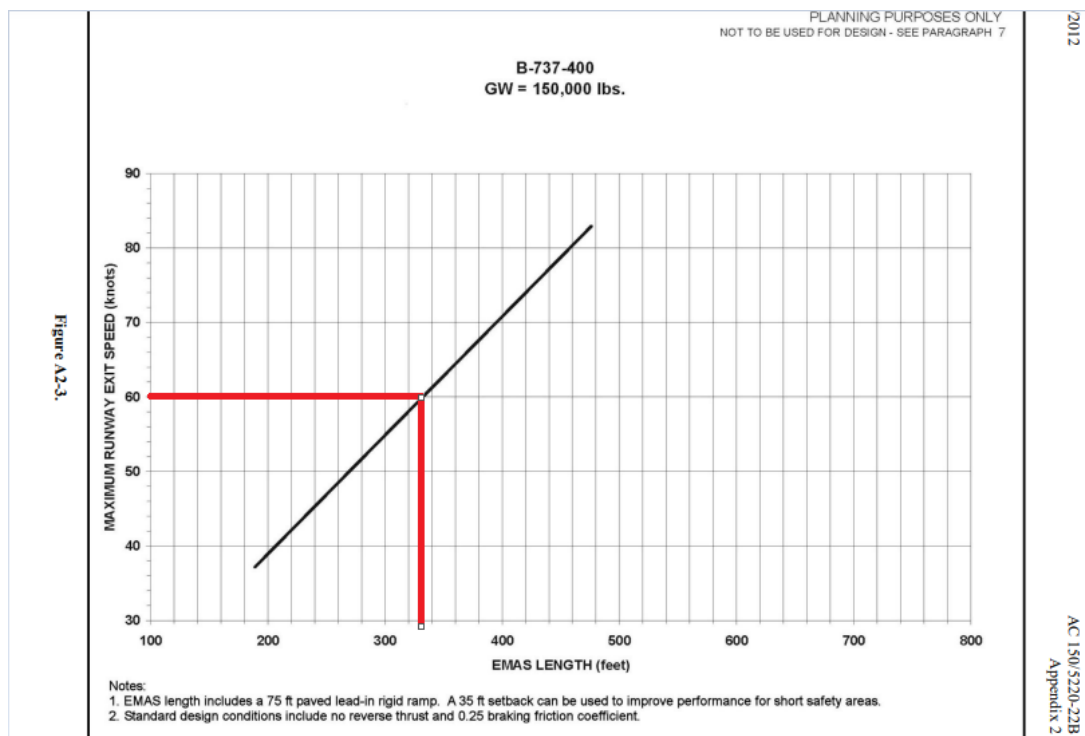
3.3.1.5 Cenário 5

Para este cenário foi considerado a implantação do EMAS com velocidade máxima de saída de pista de 60 knots, ou seja, a aeronave de projeto pode atingir o leito supressor com uma velocidade de, no máximo, 60 knots, para garantia do desempenho do EMAS.

Para o pré-dimensionamento do EMAS foi utilizado o ábaco disponível no Advisory Circular nº 150/5220-22B. Como ilustrado na Figura 75, para a aeronave de projeto (B737) e

uma velocidade máxima de saída de pista de 60 Knots, tem-se um comprimento de EMAS de, aproximadamente, 100 m (330 feet).

Figura 75 – Ábaco AC 150/5220-22B para aeronave B737

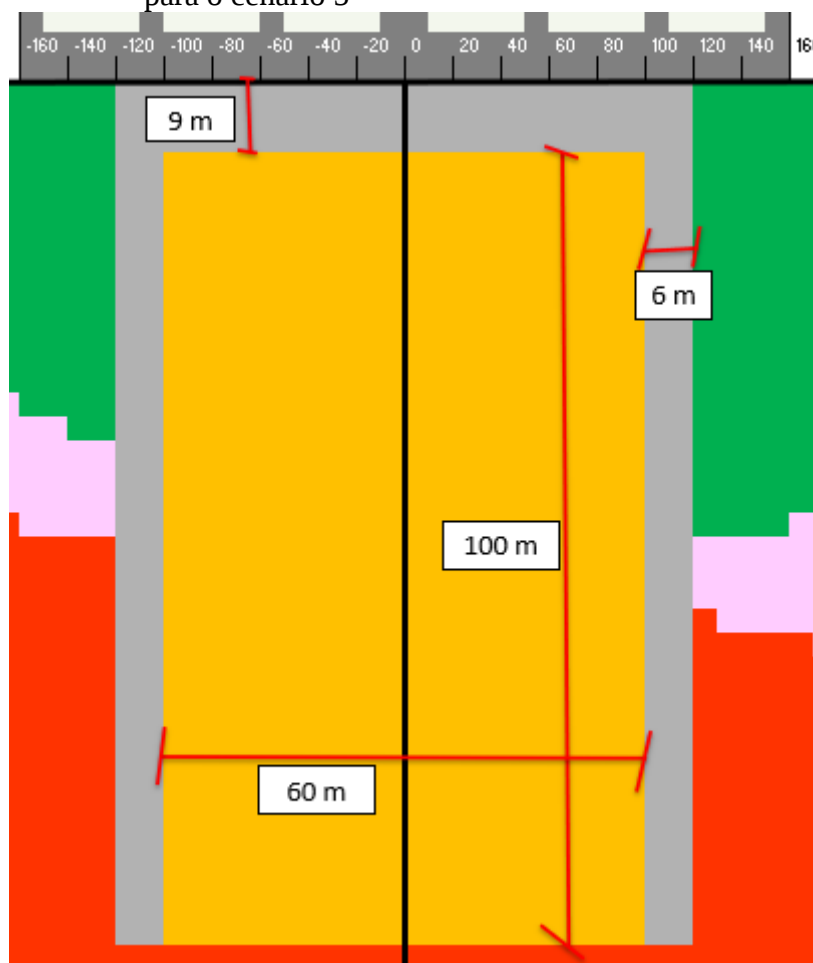


Fonte: AC 150/5220-22B, 2022

Assim como para o cenário anterior, não houve implantação de uma *stopway*; o *SetBack* utilizado foi de 9 m e; foi considerado uma faixa de via de serviço de 6 m de largura de cada lado do leito.

Com base nas informações mencionadas acima, as dimensões adotadas para o EMAS, em ambas as cabeceiras (11/29), foram 100 m de comprimento por 60 m de largura, conforme ilustrado na Figura 76.

Figura 76 – Geometria das cabeceiras 02R e 02L, no RSARA2, para o cenário 5



Fonte: Autores, 2022

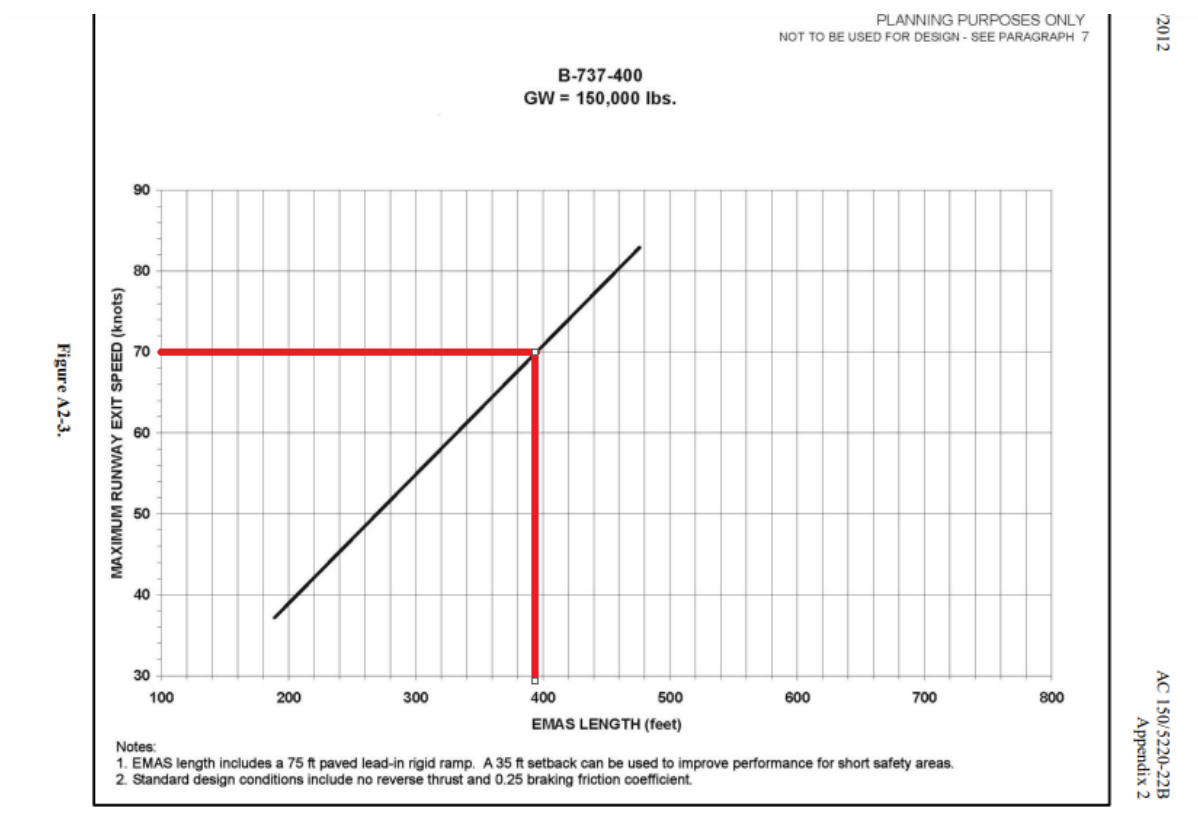
Conforme a análise de risco realizada para o presente cenário, foi obtido um nível de segurança de $4,7 \times 10^{-7}$, o que equivale a 4,7 incidentes graves a cada 10.000.000 operações ou seja, houve um aumento de 35%, quando comparado à situação atual.

3.3.1.6 Cenário 6

Para este cenário foi considerado a implantação do EMAS com velocidade máxima de saída de pista de 70 knots, ou seja, a aeronave de projeto pode atingir o leito supressor com uma velocidade de, no máximo, 70 knots, para garantia do desempenho do EMAS.

Para o pré-dimensionamento do EMAS foi utilizado o ábaco disponível no Advisory Circular nº 150/5220-22B. Como ilustrado na Figura 77, para a aeronave de projeto (B737) e uma velocidade máxima de saída de pista de 70 Knots, tem-se um comprimento de EMAS de, aproximadamente, 150 m (495 feet).

Figura 77 – Ábaco AC 150/5220-22B para aeronave B737

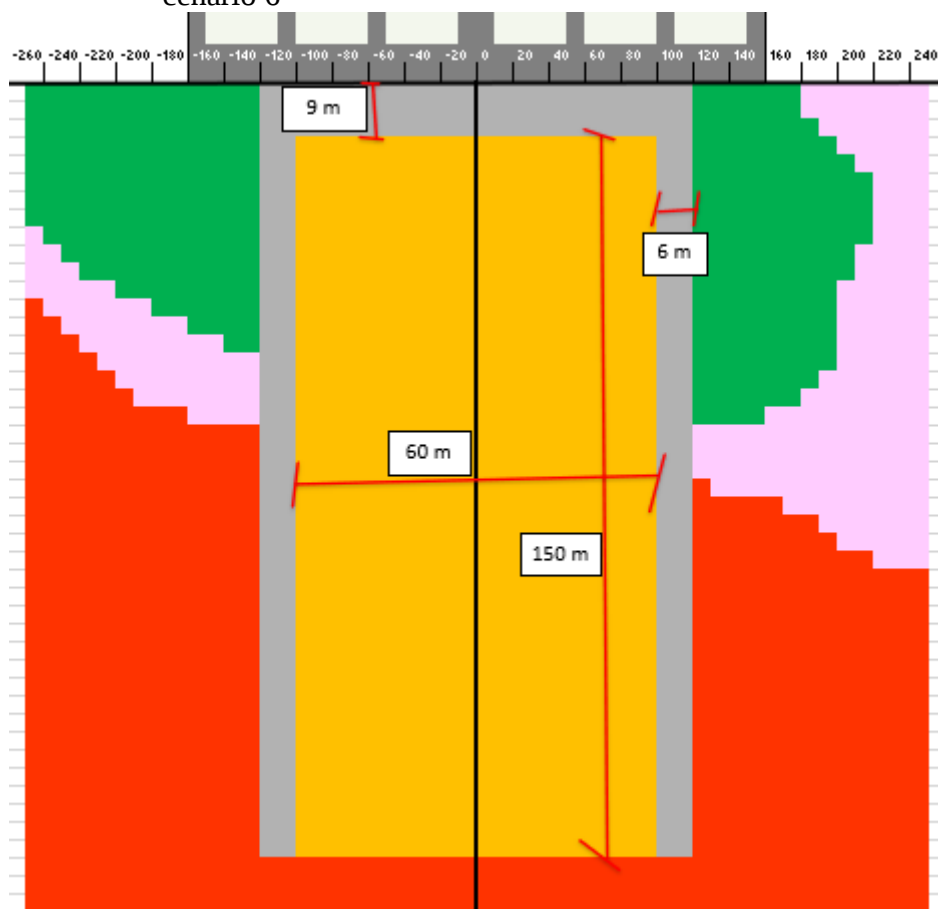


Fonte: AC 150/5220-22B, 2022

Assim como para os cenários anteriores, em que havia EMAS, não houve implantação de uma *stopway*; o *SetBack* utilizado foi de 9 m e; foi considerado uma faixa de via de serviço de 6 m de largura de cada lado do leito.

Com base nas informações mencionadas acima, as dimensões adotadas para o EMAS, em ambas as cabeceiras (11/29), foram 150 m de comprimento por 60 m de largura, conforme ilustrado na Figura 78.

Figura 78 – Geometria da cabeceira 02R e 02L no RSARA2 para o cenário 6



Fonte: Autores, 2022

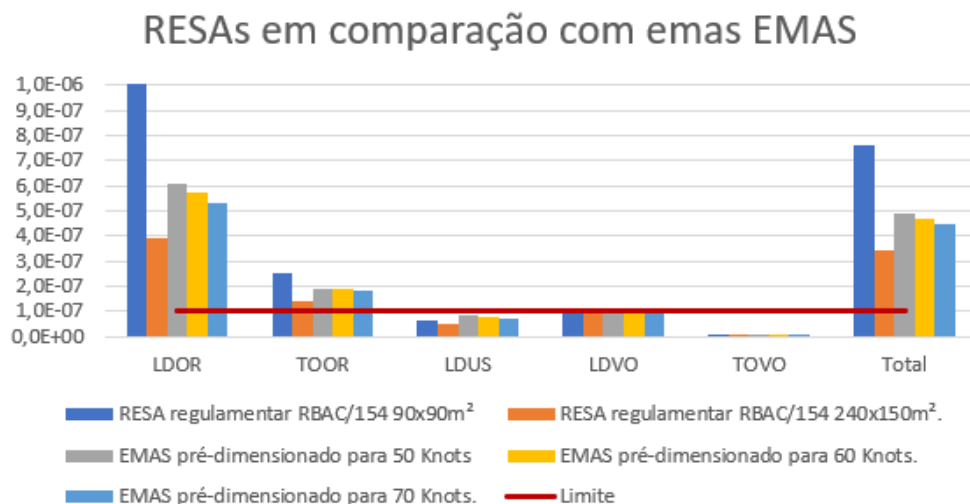
Conforme a análise de risco realizada para o presente cenário, foi obtido um nível de segurança de $4,5 \times 10^{-7}$, o que equivale a 4,5 incidentes graves a cada 10.000.000 de operações, ou seja, houve um aumento de 38%, quando comparado à situação atual.

Comparando os três cenários que apresentam o EMAS e, supondo que o leito supressor seja construído sobre o local onde, atualmente, está posicionada a RESA, tem-se que, para o cenário 4 (EMAS cuja velocidade máxima de pista é 50 knots) seria necessário um aumento de 58 m; já para o cenário 5 (EMAS cuja velocidade máxima de pista é 60 knots) seria necessário um aumento de 41 m; enquanto para o cenário 6 (EMAS cuja velocidade máxima de pista é 60 knots) não seria necessário um aumento significativo.

Em relação ao intervalo de tempo entre as ocorrências, todos os cenários apresentados para esse aeroporto tiveram acima de 100 anos, ou seja, independentemente do cenário escolhido, não há diferença em relação ao tempo; sendo importante analisar a alteração na probabilidade de ocorrência entre cada um dos cenários, de acordo com os resultados obtidos

nos Anexos para os cenários do Aeroporto Jorge Amado – Ilhéus, conforme ilustrado na Figura 79.

Figura 79 – Comparação da probabilidade de ocorrências entre todos os cenários apresentados



Fonte: Autores, 2022

Pode-se observar, na Figura 84, que para todos os cenários apresentados, o nível de segurança ficou acima do requerido, porém levando em consideração que a implantação do EMAS exige um espaço menor e, que o comprimento de pista existente já é pequeno e limitado, a opção mais viável para o presente aeroporto é o cenário 4, cujo EMAS foi dimensionado para uma velocidade máxima de saída de pista de 50 knots. No entanto, ainda assim, se faz necessária a construção de uma estrutura de suporte ao sistema, a qual não deve interferir no meio ambiente local.

Devido ao intervalo de tempo entre as ocorrências ser acima de 100 anos para todos os cenários, seria inviável, economicamente, a implantação do EMAS no Aeroporto Jorge Amado – Ilhéus, já que para qualquer cenário adotado, o intervalo seria grande o suficiente, ou seja, qualquer intervenção realizada já retornaria um intervalo aceitável, sem que precise investir em um sistema de apreensão, como o EMAS.

3.4 ANÁLISE ECONÔMICA

Para o presente trabalho, tendo em vista a inviabilidade econômica, já mencionada, para implantação do EMAS no Aeroporto Jorge Amado – Ilhéus, será realizada a análise econômica apenas para o Aeroporto Santos Dumont.

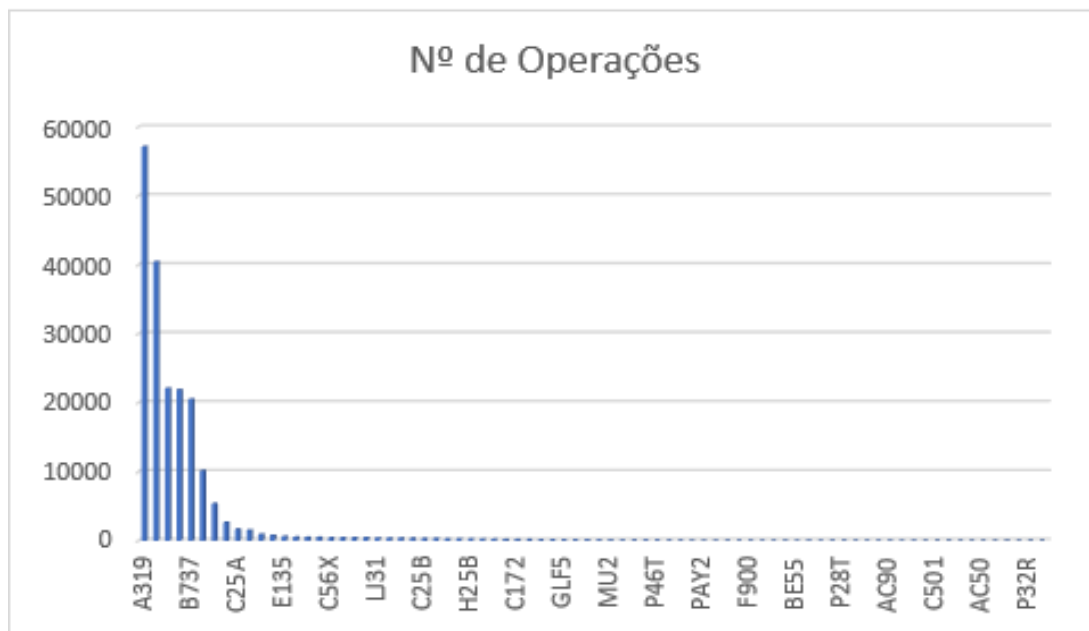
Para o estudo da viabilidade econômica para a implantação do EMAS no Aeroporto de Santos Dumont foram levantados alguns dados que serão utilizados como entrada, sendo eles:

- a) Preço da aeronave para o estudo da viabilidade;
- b) Taxa mínima de atratividade;
- c) Custo de implantação do EMAS;
- d) Custo de um acidente fatal;
- e) Custo do acidente com a implantação do EMAS;
- f) Custo do acidente sem a implantação do EMAS.

3.4.1 Preço da aeronave para o estudo da viabilidade

De acordo com o banco de dados do centro de investigação e prevenção de acidentes aeronáuticos (CENIPA), levantou-se o número de operações pela tipologia da aeronave no Aeroporto Santos Dumont, como ilustrado na Figura 80, a seguir.

Figura 80 – Número de operações realizadas por cada aeronave - SBRJ



Fonte: Autores, 2022

Como visto acima, as aeronaves que mais têm operações são: *Airbus A319* e a *Boeing 737*.

De acordo com Barros (2017), a aeronave A319 custa cerca de 101,5 milhões de dólares e, com o valor de 1 dólar valendo R\$5,1383 em 11/05/2022, o preço do avião ficaria por volta de R\$ 521,53745 milhões de reais.

Segundo Vinholes (2021), a aeronave B737 custa cerca de 100 milhões de dólares e, com o valor de 1 dólar custando R\$ 5,1383, em 11/05/2022, o preço do avião ficaria por volta de R\$ 513,83 milhões de reais.

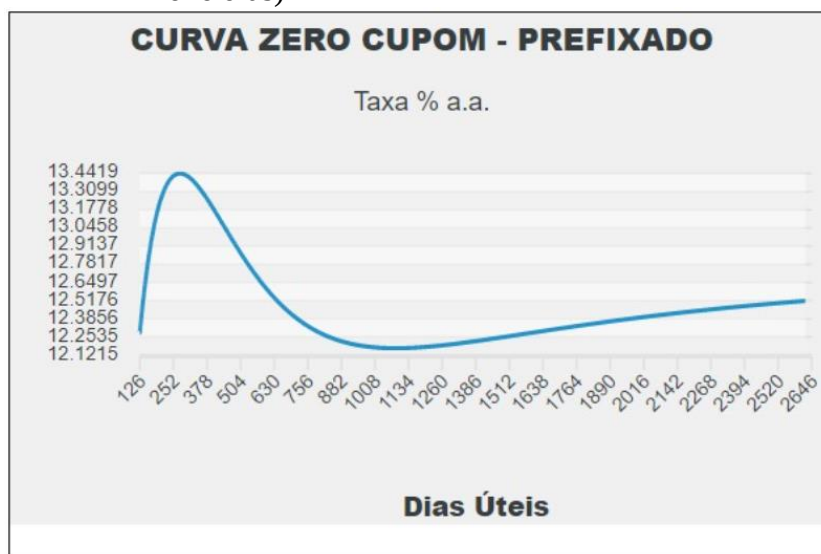
O preço considerado para a aeronave de projeto será a média entre as aeronaves que mais têm operações no Aeroporto Santos Dumont, logo, o valor considerado será de R\$ 517,683725 milhões de reais, conforme Equação 5.

$$\text{Preço da aeronave de projeto} = \frac{521.537.450,00 + 513.830.000,00}{2} = \text{R\$ } 517.683.725,00 \quad (5)$$

3.4.2 Taxa mínima de atratividade

A taxa mínima de atratividade a ser considerada no estudo de viabilidade, por se tratar de um investimento a longo prazo, foi utilizada como custo de oportunidade conforme a assíntota do gráfico, ilustrado na Figura 81, no qual 2.646 dias uteis equivale, em média, 10,5 anos, o que aproxima da média dos acidentes em relação ao cenário existente, 6 anos, e com a implantação do EMAS para 50 knots, EMAS para 60 knots e EMAS para 70 knots, respectivamente, 16, 17 e 19 anos de intervalo entre ocorrências de incidente grave.

Figura 81 – Curva assíntota para da variação de SELIC (últimos 2646 dias)



Fonte: Anbima

Na Figura 81 acima, nota-se que a longo prazo a taxa se converge em 12,5176% ao ano.

Por não ter o conhecimento sobre a liquidez do projeto e o risco que o EMAS apresenta, economicamente, para fins de cálculos, a taxa mínima de atratividade foi considerada como a própria taxa de oportunidade, Equação 6.

$$TMA = 12,5176 \text{ a. a} \quad (6)$$

3.4.3 Custo de implantação do EMAS

O custo da implantação do EMAS no aeroporto de Congonhas foi de 80 milhões de reais. Com esse parâmetro, e de acordo com o memorial descritivo, a implantação do EMAS em Congonhas apresenta a instalação do leito supressor nas duas cabeceiras, sendo que ambas ficaram com dimensões de 80 m x 45 m, portanto, tem-se um preço unitário por m², o qual foi considerado para o estudo de viabilidade em todos os cenários que previam a implantação do EMAS, de R\$ 11.111,11/m², como calculado na Equação 7.

$$\text{Custo de construção do Emas} = \frac{\text{R\$ } 80.000.000,00}{(45\text{m} \times 80\text{m}) + (45\text{m} \times 80\text{m})} = \text{R\$ } 11.111,11 / \text{m}^2 \quad (7)$$

Com o preço de implantação do EMAS por m², foi suposto que as espessuras, para os três cenários com EMAS, fossem as mesmas, com a finalidade de calcular o preço de cada um dos cenários, com EMAS, apresentados para o aeroporto de Santo Dumont.

Resumidamente, tem-se o cenário 3, que representa o EMAS, cuja velocidade máxima de saída de pista é de 50 nós (92km/hora) e a probabilidade de 1 incidente a cada 16 anos; o cenário 4, que representa o EMAS, cuja velocidade máxima de saída de pista é de 60 nós (111,1km/hora) e a probabilidade de 1 incidente a cada 17 anos e; por fim. O cenário 5, que representa o EMAS, cuja velocidade máxima de saída de pista é de 70 nós (129,64km/hora) e a probabilidade de 1 incidente a cada 29, conforme exibido, na Tabela 12, a seguir.

Tabela 28 – Resumo econômico de cada cenário com EMAS

EMAS	Largura (m)	Comprim. (m)	Área (m ²)	Preço (R\$)	Intervalo entre incidentes graves (anos)	Custo de construção por ano (20 anos)
50 nós	60	85	5.100	113.333.322,00	16	-15.667.757,09
60 nós	60	104	6.240	138.666.652,80	17	-19.169.961,61
70 nós	60	123	7.380	163.999.983,60	19	-22.672.166,14

Fonte: Autores, 2022

De acordo com o memorial descritivo, Infraero (2020), do EMAS no aeroporto de Congonhas, o EMAS precisa de uma manutenção a cada 20 anos, sabendo disso trabalhou-se no período de 20 anos para verificar a viabilidade do EMAS.

Com a taxa mínima de atratividade de 12,5176% ao ano e com o período de 20 anos, obteve-se o custo de construção por ano de acordo com cada cenário, conforme Equação 8.

$$Prestação = PV \frac{(1+i)^n \cdot i}{(1+i)^n - 1} \quad (8)$$

$$Prestação_{CENÁRIO\ 3} = R\$113.333.322,00 \cdot \frac{(1+0,125176)^{20} \cdot 0,125176}{(1+0,125176)^{20} - 1} = R\$15.667.757,09/\text{ano}$$

$$Prestação_{CENÁRIO\ 4} = R\$138.999.625,80 \cdot \frac{(1+0,125176)^{20} \cdot 0,125176}{(1+0,125176)^{20} - 1} = R\$19.169.961,61/\text{ano}$$

$$Prestação_{CENÁRIO\ 5} = R\$163.666.963,60 \cdot \frac{(1+0,125176)^{20} \cdot 0,125176}{(1+0,125176)^{20} - 1} = R\$22.672.166,14/\text{ano}$$

3.4.4 Custo de um acidente fatal

De acordo com Bom dia Brasil (2017), a *Airbus* pagou 30 milhões de reais de indenização para 30 famílias referente ao acidente da TAM em 2007, o qual fez, no total, 199 vítimas fatais. Considerando somente a indenização, pode-se considerar que um acidente fatal custou, no ano de 2017, 1 milhão de reais por família.

O preço da cesta básica, em 2017, estava custando R\$426,22 (Dieese, 2017). Já atualmente, em 2022, o preço da cesta básica sai por R\$ 761,19. Entre 2022 e 2017 teve uma variação de 78,59%.

Portanto, o custo total despendido devido a uma vítima fatal, atualmente, pode ser estimado em cerca R\$1.785.908,69.

3.4.5 Custo do acidente com a implantação do EMAS

Baseando-se nas ocorrências em aeroportos que já têm o EMAS implantado, como é o caso de algumas consequências menos graves em comparação se não tivesse o EMAS instalado, em dezembro de 2015, houve 15 incidentes em aeroportos dos Estados Unidos, no qual o EMAS foi efetivo em parar as aeronaves evitando maiores danos, haviam, no total, 406 pessoas a bordo nesses voos (Agência Folha, 1998).

Há diversos exemplos que podem ser citados para comprovar a eficácia do EMAS, como é o caso da pista de pouso 04R do Aeroporto Internacional John F. Kennedy, em New York, no qual tiveram três ultrapassagens de pistas, cujos danos e consequências foram mitigados pelo EMAS, resultando em aeronaves sem nenhum dano e passageiros ilesos. Outro exemplo, foi o ocorrido em 1999, quando um Saab 340B operado por instrumentos, por conta das condições meteorológicas, ultrapassou o final da pista e foi retido pelo EMAS, tendo consequência danos substanciais à aeronave. Já em 2003, uma aeronave saída de Bruxelas com destino Nova York fez um pouso tardio na pista 04R de 2.560 metros de comprimento, com a baixa visibilidade noturna, o piloto não conseguiu parar, portanto, a aeronave atingiu o EMAS, que rapidamente freou o avião, fazendo com que o mesmo sofresse apenas pequenos danos, enquanto os três ocupantes saíram ilesos.

Outro ponto para se levar em consideração foi a simulação em escala real que fizeram para testar a performance do EMAS, cujo resultado foi positivo, não havendo acidente fatal ou grandes reparações na aeronave em nenhum dos casos, portanto, como apontado por Basseto (2021), não foi possível estimar um custo para reparos das aeronaves; no caso da simulação em escala real feita pela empresa detentora do EMAS, foi visto que, após a aeronave atingir o leito supressor, não haviam danos que a impedisse de realizar novos voos, ou seja, mesmo após uma ocorrência, a aeronave não foi inutilizada. Entretanto, como foi uma simulação, os resultados reais nem sempre serão iguais, logo, deve-se levar em consideração que uma simulação é um ato controlado, com a aeronave em perfeito estado; já em situação real, a aeronave pode estar com pane em alguma parte de seu sistema ou até mesmo danificada, o que prejudicaria sua entrada no leito supressor, consequentemente, a probabilidade de sair ilesa após uma ocorrência, diminui e, levando isso em consideração, foi estimado um valor de 5% do preço da aeronave para reparos na mesma, conforme Equação 9.

$$\text{Custo do acidente com o Emas instalado} = \text{Custo da aeronave} \cdot$$

$$\text{percentual considerado de reparo da aeronave} \quad (9)$$

$$\therefore \text{Custo do acidente com o Emas instalado} = \text{R\$ } 517.683.725,00 \cdot 5\% = \text{R\$ } 25.884.186,25$$

3.4.6 Custo do acidente sem a implantação do EMAS (Aeroporto Santos Dumont)

O aeroporto de Santos Dumont tem um histórico de incidentes e acidentes relevantes para serem analisados, de acordo com Grillo (1994), teve um acidente em 1994, no qual um avião da linha Taxi aéreo caiu no mar após o piloto não conseguir frear a aeronave.

Em 1995, ainda segundo mesmo site, o aeroporto ficou fechado por 2 horas depois de um incidente grave com um jatinho, o mesmo perdeu o freio e o piloto teve que fazer uma manobra arriscada para não passar da cabeceira da pista.

Em 30 de dezembro de 1958, houve um acidente com a aeronave Saab Scandia, prefixo VASP PP-SQE, no qual um dos motores parou durante operação de decolagem no Aeroporto Santos Dumont. O avião caiu na Baía de Guanabara por motivo de falha em seu motor, o que o fez perder o equilíbrio, fazendo 24 vítimas fatais dentre os 34 passageiros presentes.

De acordo com Torres (1997), em 3 de julho de 1997, houve um incidente grave com um bimotor Cessna Citation I, o qual caiu na Baía de Guanabara a 50 metros da pista do Aeroporto Santos Dumont. No avião estavam a dançarina Valéria Valenssa, seu marido e outros três passageiros que conseguiram pular na água e serem socorridos. Todos os passageiros saíram sem ferimentos graves.

Em 18 de julho de 1997, um Boeing 737 da Varig, com 133 passageiros a bordo, derrapou na pista ao pousar no Aeroporto Santos Dumont, enquanto fazia a ponte aérea entre Rio de Janeiro e São Paulo. O avião passou pelo final da pista e a cabine estava a cerca de um metro das águas da Baía de Guanabara. O trem de pouso e um dos motores do avião, que havia decolado de São Paulo, foram danificados. Neste incidente grave não houveram vítimas fatais (Folha de São Paulo, 1997).

No dia 2 de fevereiro de 2002, houve um acidente com um taxista que passava pela Avenida Almirante Silvio de Noronha, localizada próxima a uma das cabeceiras da pista de pouso e decolagem do Aeroporto Santos Dumont, no qual, em sua viagem de volta, o seu carro bateu em uma pedra devido ao deslocamento do ar causado pela decolagem do avião. Nesse acidente, o motorista ficou gravemente ferido, sendo levado ao hospital, onde foi a óbito (Folha de São Paulo, 2002).

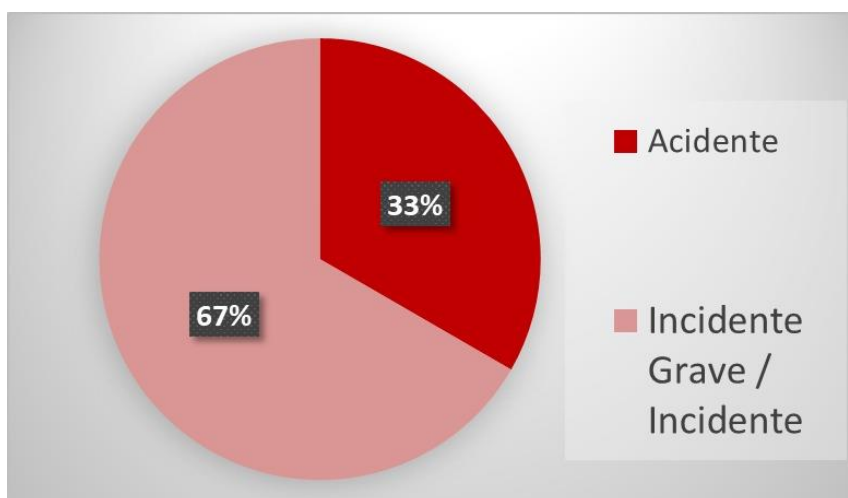
Segundo a Folha Online (2004), em 10 de setembro de 2004, aconteceu um incidente grave com uma aeronave da empresa TAM Jatos Executivos, no qual o avião sofreu uma perfuração no pneu, ao pousar em Santos Dumont. Os quatro passageiros e os tripulantes não ficaram feridos. O aeroporto ficou fechado por quase uma hora.

Em 12 de agosto de 2010, conforme Fonseca (2010), um jato Bombardier Learjet 55, matrícula PT-LXO, ex-Oceanair, sofreu uma falha elétrica após a decolagem do Aeroporto Santos Dumont. Ao retornar ao aeroporto, o avião teve problemas na parada e acabou mergulhando nas águas da Baía de Guanabara. Nesse incidente os três tripulantes foram socorridos sem ferimentos graves.

Em 25 de setembro de 2015, um Boeing 737 da Gol, que tinha como destino Belo Horizonte, derrapou na pista do Aeroporto Santos Dumont, levando ao fechamento do aeroporto por mais de duas horas até que o avião fosse retirado. Nesse incidente nenhum dos tripulantes se feriu (Estado de Minas, 2015).

Como pode-se observar pelo histórico das ocorrências no Aeroporto Santos Dumont, dos 10 relatos de ocorrências, 3 são acidentes, com vítimas fatais e perda total ou parcial da aeronave, sendo os outros 7 incidentes graves e incidente que tiveram perda percentual da aeronave e/ou ferimentos leves nos tripulantes. Abaixo, na Figura 82, é ilustrado, percentualmente, o histórico das ocorrências no Aeroporto Santos Dumont.

Figura 82 – Histórico das ocorrências do Aeroporto Santos Dumont



Fonte: Autores, 2022

Apesar de os acidentes e incidentes gerarem custos diretos para a companhia aérea e para o aeroporto, como o reparo e a manutenção da aeronave e do aeródromo, também geram custos indiretos, como é o caso do custo com investigação, custos judiciais e indenizações, sem mencionar os custos de perda de imagem da companhia e, consequentemente, perda de operações, ou seja, pode-se dizer que em muitas vezes são custos irreparáveis, podendo afetar

diretamente a imagem da companhia aérea, do próprio aeroporto e até mesmo da aeronave, podendo o prejuízo chegar a ser muito mais oneroso do que o próprio custo da aeronave.

Considerando tudo o que foi mencionado acima, para o estudo de viabilidade econômica, será considerado, para fins de cálculos, o custo por ocorrência equivalente a 30% do valor da aeronave de projeto, conforme Equação 10.

$$\text{Custo do acidente SEM o Emas instalado} = \text{Custo da aeronave} \cdot \text{percentual considerado de reparo da aeronave} \quad (10)$$

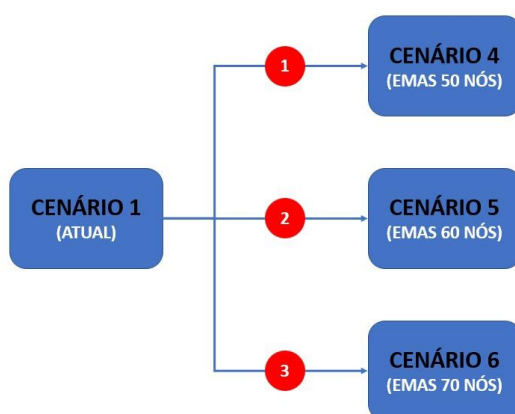
$$\therefore \text{Custo do acidente SEM o Emas instalado} = \text{R\$ } 517.683.725,00 \cdot 30\%$$

$$\therefore \text{Custo do acidente SEM o Emas instalado} = \text{R\$ } 155.305.117,50$$

3.4.7 Resultados da análise econômica (Aeroporto Santos Dumont)

A fim de se verificar a melhor viabilidade econômica da implantação do EMAS, foram escolhidos alguns cenários para seu cálculo, levando em considerações os dados de entrada apresentados e os parâmetros pré-definidos para a análise econômica, optou-se, então, por realizar comparações conforme demonstrado, na Figura 83, a seguir.

Figura 83 – Fluxograma com as três opções de mudança de cenário, partindo-se da condição atual



Fonte: Autores, 2022

Comparando-se o cenário atual (probabilidade de incidente grave de 1 a cada 6 anos), do Aeroporto Santos Dumont em relação a implantação do Emas para uma velocidade de saída

de pista de 50 nós (probabilidade de incidente grave de 1 a cada 16 anos), de acordo com o “caminho 1” do fluxograma apresentado, na Figura 88, acima, tem-se como dados de entrada:

- a) Custo anual para implantação do Emas 50 Nós (20 anos): R\$ 15.667.757,09
- b) Custo do acidente sem o Emas: R\$ 155.305.117,50
- c) Custo do acidente com o Emas: R\$ 25.884.186,25

Para o cenário 4, colocando-se os valores dos custos dos acidentes com o EMAS na data zero, obtém-se o resultado a seguir, conforme Equação 11:

$$\text{Custo acidente com EMAS}_{data\ 0} = \frac{R\$25.884.186,25}{(1+0,125176)^{16}} = R\$3.921.996,07 \quad (11)$$

Como não se sabe ao certo em que ano acontecerá o acidente, distribui-se o custo ao longo dos 16 anos, conforme Equação 12.

$$\text{Custo anual acidente com EMAS} = R\$3.921.996,07 \cdot \frac{(1+0,125176)^{16} \cdot 0,125176}{(1+0,125176)^{16} - 1} \quad (12)$$

$$\therefore \text{Custo anual acidente com EMAS} = R\$578.611,54$$

Para o cenário 1, colocando-se os valores dos custos dos acidentes sem o EMAS na data zero, obtém-se o resultado a seguir, conforme Equação 13.

$$\text{Custo acidente sem EMAS}_{data\ 0} = \frac{R\$155.305.117,50}{(1+0,125176)^6} = R\$76.535.514,49 \quad (13)$$

Como não se sabe ao certo em que ano acontecerá o acidente, distribui-se o custo ao longo dos 6 anos, conforme Equação 14.

$$\text{Custo anual acidente sem EMAS} = R\$76.535.514,49 \cdot \frac{(1+0,125176)^6 \cdot 0,125176}{(1+0,125176)^6 - 1} \quad (14)$$

$$\therefore \text{Custo anual acidente sem EMAS} = R\$18.889.096,50$$

O custo da implantação do EMAS 50 é de R\$ 113.333.322,00, distribuído ao longo do período analisado (20 anos), com uma taxa de 12,5176%, portanto, obtém-se o custo anual da construção, conforme Equação 15.

$$\text{Custo anual da construção do EMAS} = R\$113.333.322,00 \cdot \frac{(1+0,125176)^{20} \cdot 0,125176}{(1+0,125176)^{20} - 1} \quad (15)$$

$$\therefore \text{Custo anual da construção do EMAS 50} = R\$15.172.926,89$$

Esse mesmo processo de comparação entre o cenário 1, condição existente, com o cenário 4, será replicado para os cenários 5 e 6, obtendo-se os resultados apresentados, na Tabela 13, a seguir.

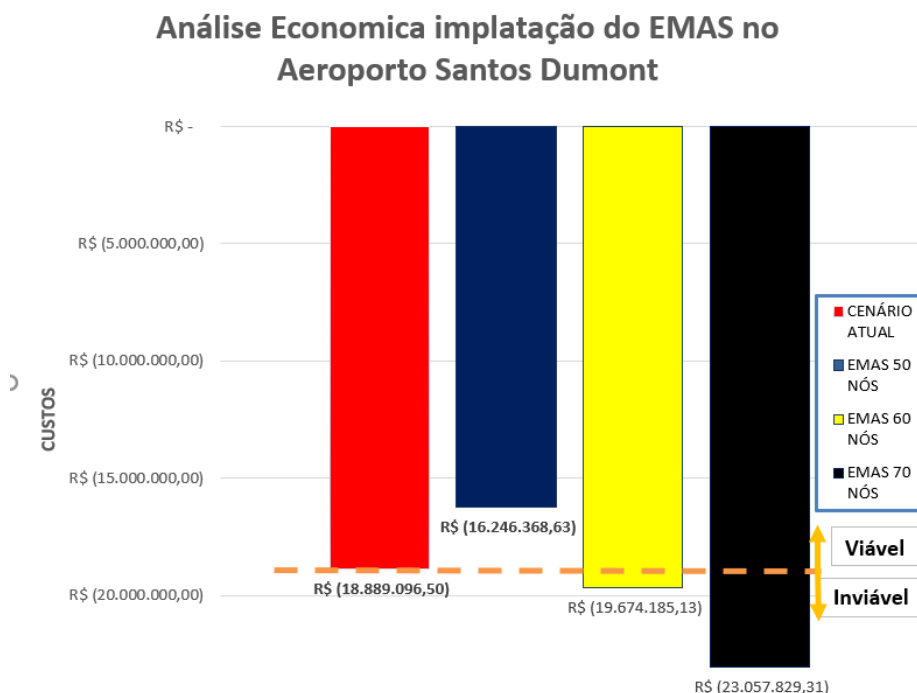
Tabela 29 – Comparação entre os cenários

Variáveis	Cenário 1 (atual)	Cenário 4 (EMAS 50)	Cenário 5 (EMAS 60)	Cenário 6 (EMAS 70)
RSARA2 – Probabilidade de acontecer 1 incidente grave a cada	6 anos	16 anos	17 anos	19 anos
Custo anual para implantação do EMAS (R\$/ano)	Não se aplica	- 15.667.757,09	- 1.969.961,61	- 22.672.166,14
Custo anual do acidente sem o EMAS (R\$/ano)	- 18.889.096,50	Não se aplica	Não se aplica	Não se aplica
Custo anual do acidente com o EMAS (R\$/ano)	Não se aplica	- 578.611,54	- 504.223,52	- 385.663,17
Comprimento	Não se aplica	85 metros	104 metros	123 metros
Gasto anual no período de 20 anos (R\$/ano)	18.889.096,50	16.246.368,63	19.674.185,13	23.057.829,31

Fonte: Autores, 2022

Logo, para a verificação da viabilidade econômica basta analisar o quanto custará, anualmente, para manter um acidente a cada 6 anos, como simulado para o cenário 1 pelo RSARA2, comparando tal custo entre cada um dos cenários, com EMAS, apresentados anteriormente, como ilustrado na Figura 84.

Figura 84 – Comparação da análise econômica entre o cenário atual e os cenários com EMAS



Fonte: Autores, 2022

Portanto, como pode-se notar acima, na Figura 89, o EMAS, cuja velocidade máxima de saída de pista é de 50 nós, se faz viável, economicamente, visto que, quando comparado ao cenário atual, há uma redução de 13,99% do gasto anual, enquanto que nos demais cenários com EMAS, cujas as velocidades de saída de pista são 60 nós e 70 nós, tem-se um aumento de 4,16% e 22,07%, respectivamente, dos custos anuais.

4 CONCLUSÃO

Pode-se concluir com o presente trabalho que, de fato, o EMAS é uma alternativa eficaz no aumento dos níveis de segurança dos aeroportos; entretanto, para aeroportos que apresentam capacidade de ampliação da RESA, de modo que atenda às normas de dimensionamento exigidas pela ICAO, o EMAS pode não ser a alternativa, economicamente, mais atrativa.

Baseando-se em todos os cenários apresentados, para ambos os aeroportos, é notável que para atingir os padrões de dimensionamento mínimos, estabelecidos pela ICAO/ANAC é necessária uma área destinada à expansão da RESA, sem que haja diminuição da pista, para que o aeroporto em questão continue operando com o mix de aeronaves atual. Contudo, há aeroportos, cuja área é limitada, sendo então possível a implantação de um sistema de apreensão de aeronaves, como o EMAS, o qual exige uma área menor que a RESA, em vez da implantação da RESA padrão.

O foco desse trabalho foram os aeroportos críticos, os quais são limitados quanto a expansão da RESA e, por isso, os aeroportos brasileiros escolhidos para análise de risco foram o Aeroporto Santos Dumont e o Aeroporto Jorge Amado – Ilhéus, já que ambos são cercados por corpos d'água.

Vale ressaltar que, para a análise de risco, vários fatores são importantes para serem utilizados como dados de entrada, não se tratando apenas da localização da pista e sua geometria. Fatores como o comportamento dos ventos, bem como os dados fornecidos por um METAR, influenciam diretamente na análise, já que, por exemplo, para uma operação de pouso é de extrema importância que o vento que age sobre o avião, esteja indo contra ele, o chamado vento de proa, o qual ajuda na frenagem.

De acordo com os resultados das análises de risco, obtidos com o auxílio do software RSARA2, é possível verificar, numericamente, a flutuação dos valores de probabilidade encontrados nos diversos cenários simulados, tanto para o Aeroporto Santos Dumont, quanto para o Aeroporto Jorge Amado – Ilhéus.

Para o Aeroporto Santos Dumont, considerando seu elevado número de operações realizadas, o grau de risco para a situação atual se mostrou crítico, estando abaixo do nível de segurança recomendado pela norma ICAO (1×10^{-7}), tendo como possíveis soluções a regularização da RESA, de acordo com os padrões exigidos pela ICAO, ou ainda, a possibilidade de implantação do EMAS, já que ambas as opções elevam os níveis de segurança, diminuindo o grau do risco.

Como esperado, para o Aeroporto Santos Dumont, os resultados apontaram que quanto maior a velocidade de saída de pista para qual o EMAS foi dimensionado, maior seu comprimento necessário e, conseqüentemente, maior o intervalo de tempo entre ocorrências. Isso se deve ao fato de que à medida em que se aumenta a velocidade de saída de pista que o sistema de apreensão suporta, maiores são as chances da parada eficaz de uma aeronave em excursão. Com um raciocínio similar, pode-se analisar os resultados obtidos para os cenários em que não havia o EMAS, já que quanto maior a RESA, maior o intervalo de tempo entre as ocorrências, ou seja, quanto maior for o comprimento para parada em caso de excursão, menor a probabilidade de ocorrência, já que o avião tem mais espaço para desacelerar até sua total parada.

Já para o Aeroporto Jorge Amado – Ilhéus, os resultados também se mostraram conforme esperado, já que a probabilidade de ocorrência de incidentes graves diminuiu à medida em que foi elevada a velocidade de saída de pista para qual o EMAS foi simulado, assim como os cenários que não apresentaram EMAS tiveram uma diminuição da probabilidade de ocorrências à medida em que o comprimento de RESA foi ampliado. Porém, para esse aeroporto, devido à baixa movimentação, o intervalo de tempo entre as ocorrências, para todos os cenários simulados, foi acima de 100 anos, ou seja, o nível de segurança em todos os cenários deu superior ao mínimo exigido.

Com isso, concluiu-se que, para o Aeroporto Jorge Amado – Ilhéus seria, tecnicamente, inviável a implantação do EMAS, já que ele atualmente, já atinge os padrões de nível de segurança exigidos. Sendo assim, a análise econômica, feita, posteriormente, teve como objeto de estudo apenas o Aeroporto Santos Dumont.

Com relação à análise econômica realizada para o Aeroporto Santos Dumont, foram simulados apenas os cenários em que apresentavam a implantação do EMAS; dentre os motivos para tal decisão, pode-se citar a falta de espaço para implantação de uma RESA padrão, a qual teria dimensões maiores que o sistema de apreensão; outro motivo importante foi a sustentabilidade, já que para a construção da RESA seria necessária a execução de um aterro na Baía de Guanabara, o que é, ambientalmente, incorreto e até mesmo proibido, sendo que na hipótese de ser algo, legalmente, aceitável, o custo gerado pelas obras de movimentação de terra, pelas obras de infraestruturas submersas, entre outras obras necessárias, seria elevadíssimo, inviabilizando, economicamente, a opção da RESA padrão.

De acordo com os resultados, referentes ao gasto anual no período de 20 anos, que é o tempo de vida útil do EMAS, obtidos, pode-se concluir que o EMAS, cuja velocidade máxima de saída de pista é de 50 nós, foi o mais atrativo, técnico-economicamente, já que além de ser

o que apresenta menor gasto anual é o que tem o menor comprimento necessário para elevar o nível de segurança do aeroporto ao patamar exigido que é 1×10^{-7} .

Com o presente trabalho, pode-se ainda concluir que, o EMAS é uma tecnologia recém-chegada no Brasil, portanto, futuros estudos sobre o tema abordado serão necessários para a dissipação desse sistema de apreensão no país. Como recomendação, um possível estudo a ser realizado, futuramente, é sobre como é feito o dimensionamento do leito supressor e quais tipo de análises são realizadas para simulação do momento em que a aeronave atinge o sistema até sua total parada.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADVISORY CIRCULAR. Engineered Materials Arresting Systems (EMAS) for Aircraft Overruns. **Advisory Circular**, 27 set. 2012. Disponível em: https://www.faa.gov/documentLibrary/media/Advisory_Circular/AC_150_5220-22B.pdf. Acesso em: 07, nov. 2021.

AEROPORTO DE ILHÉUS. Sobre o Aeroporto. **Aeroporto de Ilhéus**, 2021. Disponível em: <http://ilheus-aero.com.br/o-aeroporto/sobre-o-aeroporto>. Acesso em: 15, nov. 2021.

AGÊNCIA FOLHA. Santos Dumont registrou 4 acidentes em 4 anos. **Folha online**, Rio de Janeiro, 13, fev. 1998. Disponível em: <https://www1.folha.uol.com.br/fol/geral/ge1302983.htm>. Acesso em: 20, abr. 2022.

AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL (ANAC). Regulamento Brasileiro de Aviação Civil – RBAC nº 154. **ANAC**, 17, set. 2021. Disponível em: <https://www.anac.gov.br/assuntos/legislacao/legislacao-1/boletim-de-pessoal/2019/37s1/anexo-i-rbac-no-154-emenda-06>. Acesso em: 09, nov. 2021.

AIRBUS. Aircraft characteristics airport and maintenance planning. **Airbus**, 01, dez. 2020. Disponível em: <https://www.airbus.com/sites/g/files/jlcbta136/files/2021-11/Airbus-Commercial-Aircraft-AC-A319.pdf>. Acesso em: 29, mai. 2022.

AIRLINERS. Cessna 210 Centurion. **Airliners**. Disponível em: <https://www.airliners.net/aircraft-data/cessna-210-centurion/148>. Acesso em: 30, abr. 2022.

AIRPORT BUSINESS. Zodiac Arresting Systems' EMAS records 10th successful aircraft save. **Aiport Business**, 30, jun. 2016. Disponível em: <http://www.airport-business.com/2016/06/emas-records-10th-successful-aircraft-save/>. Acesso em: 09, nov. 2021.

ANACPÉDIA. Área de segurança de fim de pista. **ANACPédia**. Disponível em: https://www2.anac.gov.br/anacpedia/por_ing/tr2258.htm. Acesso em: 07, nov. 2021.

ANACPÉDIA. Excursão de pista. **ANACPédia**. Disponível em: https://www2.anac.gov.br/anacpedia/por_ing/tr2254.htm. Acesso em: 07, nov. 2021.

ASSESSORIA ESTATÍSTICA; Aeródromos - Sumario Estatístico 2010-2019. **Centro de Investigação e Prevenção de Acidentes Aeronáuticos (CENIPA)**. Brasília. 2021.

ASSESSORIA ESTATÍSTICA; Aviões - Sumário Estatístico 2010-2019. **Centro de Investigação e Prevenção de Acidentes Aeronáuticos (CENIPA)**. Brasília. 2020.

AZZOLINI, Willian. O que é HUB, e porque ele é tão importante para a viação. **AirIsnp**, 04, mar. 2018. Disponível em: <http://www.airinsp.com.br/hub-aviacao/>. Acesso em: 29, mai. 2022.

BAPTISTA, Marcos. Como acessar o código METAR/TAF – REDEMET. **MeteoroCG**, 16, abr. 2020. Disponível em: <https://meteorocg.blogspot.com/2020/04/como-acessar-codigo-metar-taf-redemet.html>. Acesso em: 26, mai. 2022.

BARROS, Alexandre. *Airbus A319*. **Aviação Brasil**, 26, mar. 2017. Disponível em: <https://aviacaobrasil.com.br/airbus-a319/>. Acesso em: 20, abr. 2022.

BARROS, Alexandre. Os Números do Aeroporto de Porto Seguro. **Aviação Brasil**, 13 mar. 2021. Disponível em: <https://aviacaobrasil.com.br/aeroporto-de-porto-seguro/>. Acesso em: 15, nov. 2021.

BASSETO, Murilo. Incidente mostra o que vai acontecer em Congonhas se avião tiver um problema. **AeroIn**, 23, jul. 2021. Disponível em: <https://aeroIn.net/incidente-mostra-que-vai-acontecer-em-congonhas-se-aviao-tiver-esse-problema/>. Acesso em: 20, abr. 2022.

BIRNFELD, Marco A.. Milionário acordo com 70 famílias das 199 vítimas do acidente da TAM. **Jornal do Comércio**, 12, dez. 2017. Disponível em: https://www.jornaldocomercio.com/_conteudo/2017/12/colunas/espaco_vital/601026-milionario-acordo-com-70-familias-das-199-vitimas-do-acidente-da-tam.html. Acesso em: 07, nov. 2021.

BOEING COMMERCIAL AIRPLANES. **737 Airplane Characteristics for Airport Planning**. Set. 2013.

BOEING. Nova Família 737 MAX da Boeing – Eficiência, Confiabilidade, Atrativos para Passageiros. **Boeing**. Disponível em: <https://www.boeing.com.br/produtos-e-servicos/avioes-comerciais/737-max.page>. Acesso em: 20, abr. 2022.

BOM DIA BRASIL. Airbus pagará mais de R\$ 30 milhões para grupo de familiares de vítimas de acidente com avião da TAM em Congonhas. **G1**, 11, dez. 2017. Disponível em: <https://g1.globo.com/rj/rio-de-janeiro/noticia/airbus-pagara-mais-de-r-30-milhoes-para-grupo-de-familiares-de-vitimas-de-acidente-com-aviao-da-tam-em-congonhas.ghtml>. Acesso em: 25, abr. 2022.

BROOKSHIRE, Bethany. 50 years ago, engineers tried catching comercial planes in nets. **Science News**, 19, out. 2017. Disponível em: <https://www.sciencenews.org/article/50-years-ago-engineers-tried-catching-commercial-planes-nets>. Acesso em: 09, nov.2021.

CENIPA. Relatório final A – nº 67/CENIPA/2009. **CENIPA**, 2009. Disponível em: http://sistema.cenipa.aer.mil.br/cenipa/paginas/relatorios/rf/pt/pr_mbk_17_07_2007.pdf. Acesso em: 07, nov. 2021.

CONG, Wei; HU, Minhua; DONG, Bin; WANG, Yanjun; FENG, Cheng. Empirical analysis of airport network and critical airports. **Chinese Journal of Aeronautics**, n. 29, p. 512-519, abril, 2016.

CORNELL LAW SCHOOL. Code of Federal Regulations (C.F.R.). **Corneel Law School**, mai, 2020. Disponível em: [https://www.law.cornell.edu/wex/code_of_federal_regulations_\(c.f.r.\)](https://www.law.cornell.edu/wex/code_of_federal_regulations_(c.f.r.)). Acesso em: 09, nov. 2021.

COSTA, D. Certificação Operacional de Aeroportos – Notas de aula do Curso de Formação para Especialistas em Regulação de Aviação Civil da ANAC. Brasília: NCE/UFRJ, 2007.

DIEESE. Custo da cesta básica diminui na maioria das capitais. **Dieese**, 7, mar. 2017. Disponível em: <https://www.dieese.org.br/analisecestabasica/2017/201702cestabasica.pdf>. Acesso em: 20, abr. 2022.

DUARTE, Nathália; MACEDO, Letícia. Acidente da TAM completa 5 anos sem julgamento de denunciados. **G1**, São Paulo, 17, jul. 2012. Disponível em: <http://g1.globo.com/sao-paulo/noticia/2012/07/acidente-da-tam-completa-5-anos-sem-julgamento-de-denunciados.html>. Acesso em: 07, nov. 2021.

EDDOWES, M.; HANCOX, J.; MACINNES, A.. Final Report on the Risk Analysis in Support of Aerodrome Design Rules. Report AEAT/RAIR/RD02325/R/002, desenvolvido para a NORWEGIAN CIVIL AVIATION AUTHORITY. **AEA Technology**, 2001.

EMBRAER 195. Airport Planning Manual. **Embraer**, 26, nov. 2021. Disponível em: https://www.flyembraer.com/irj/go/km/docs/download_center/Anonymous/Ergonomia/Home%20Page/Documents/APM_195.pdf. Acesso em: 29, mai. 2022.

EMBRAER. E195. **Embraer**. Disponível em: <https://www.embraercommercialaviation.com/commercial-jets/e195/>. Acesso em: 30, abr. 2022.

ESTADO DE MINAS. Avião da Gol que vinha para Belo Horizonte atolou na pista e 30 voos são cancelados. **Estado de Minas**, 25, set. 2015. Disponível em: https://www.em.com.br/app/noticia/nacional/2015/09/25/interna_nacional,692128/aviao-da-gol-que-vinha-para-belo-horizonte-derrapa-na-pista-e-voos-e-cancelados-ca.shtml. Acesso em: 06, mai. 2022.

FARIA, R. J. B.. PORTARIA Nº 12/SAI. **ANAC**, 03, jan. 2021. Disponível em: https://www.anac.gov.br/assuntos/legislacao/legislacao-1/portarias/2019/portaria-no-0012-sai-03-01-2019/@@display-file/arquivo_norma/PA2019-0012.pdf. Acesso em: 15, nov. 2021.

FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION. Engineered Material Arresting System (EMAS). **Federal Aviation Administration**, 29, jul. 2021. Disponível em: <https://www.faa.gov/newsroom/engineered-material-arresting-system-emas-0>. Acesso em: 07 nov. 2021.

FOLHA DE S. PAULO. Boeing da ponte aérea derrapa na pista. **Folha de São Paulo**, São Paulo, 18, jul. 1997. Disponível em: <https://www1.folha.uol.com.br/fsp/cotidian/ff180717.htm>. Acesso em: 06, mai. 2022.

FOLHA DE S. PAULO. Deslocamento de ar de decolagem atira táxi na baía de Guanabara. **Folha de São Paulo**, São Paulo, 31, jan. 2002. Disponível em: <https://www1.folha.uol.com.br/fsp/cotidian/ff3101200227.htm>. Acesso em: 06, mai. 2022.

FOLHA ONLINE. Pneu estourado em pouso de avião da TAM fecha aeroporto Santos Dumont, no Rio. **Desastres aéreos**. Disponível em:

https://www.desastresaereos.net/acidentes_tam4.htm#:~:text=10%20setembro%20de%202004,t%C3%A1xi%20a%C3%A9reo%2C%20pousava%20no%20aeroporto. Acesso em: 06, mai. 2022.

FONSECA, Pedro. Jato executivo sai da pista e cai na baía de Guanabara. **G1**, 12, ago. 2010. Disponível em: <https://g1.globo.com/mundo/noticia/2010/08/jato-executivo-sai-da-pista-e-cai-na-baia-de-guanabara-3.html>. Acesso em: 06, mai. 2022.

GOOGLE EARTH. Aeroporto de Congonhas. **Google Earth**, 03, nov. 2014. Disponível em: <https://earth.google.com/web/search/aeroporto+de+congonhas/@-23.62825134,-46.65734146,799.91422653a,1741.00187836d,35y,47.82175969h,4.09203557t,-0r/data=CoEBGlcSUQolMHg5NGNlNWE3YWI5ZDQwMGYzOjB4M2FlNzA2OTdlNjRkNzA4NRnt-VBYmKA3wCEACXnzClRHwCoWYWVyb3BvcnRvIGRIIGNvbmdvbmhcxgCIAEiJgokCY47Ufo4VTfAEci150oJVzfAGfsSGcpijknAie8wzRnbkEnA>. Acesso em: 07, nov. 2021.

GOOGLE EARTH. Aeroporto de Ilhéus. **Google Earth**, 23, jul. 2021. Disponível em: <https://earth.google.com/web/search/aeroporto+de+ilh%C3%A9us+/@-14.81717126,-39.03304332,5.15344153a,1688.84949849d,35y,-1.6883898h,1.34055898t,-0r/data=CigiJgokCXS9lAZ14TrAEXv-moXo4jrAGeQ6Ivm5U0jAIfXklvanVEjA>. Acesso em: 15, nov. 2021.

GOOGLE EARTH. Aeroporto Santos Dumont. **Google Earth**, 06, dez. 2012. Disponível em: <https://earth.google.com/web/search/aeroporto+santos+dumont/@-22.9098676,-43.16384487,6.87008065a,1714.23026773d,35y,-93.70149315h,0.37733368t,359.99999915r/data=CigiJgokCRKwAm-s-DNAERKwAm-s-DPAGQXdqD7nQj9AIfitSvNyhVHA>. Acesso em: 15, nov. 2021.

GOVERNO DO BRASIL. Congonhas será o primeiro aeroporto da América Latina com sistema EMAS. **Governo do Brasil**, 11 fev. 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/pt-br/noticias/transito-e-transportes/2021/02/congonhas-sera-o-primeiro-aeroporto-da-america-latina-com-sistema-emas>. Acesso em: 07, nov. 2021.

GRILLO, Cristina. Avião não consegue parar em pista e cai na baía de Guanabara. Folha de São Paulo, São Paulo, 10, nov. 1994. Disponível em: <https://www1.folha.uol.com.br/fsp/1994/11/10/cotidiano/6.html>. Acesso em: 06, mai. 2022.

GUERREIRO, Bruno. Acidente com avião da TAM @ São Paulo. **Flickr**, 18, jul. 2007. Disponível em: https://www.flickr.com/photos/auto_photo/843472475/in/photostream/. Acesso em: 15, nov. 2021.

HO, Chun-Hsing; ROMERO, Pedro. Investigation of existing engineered material arresting system at three U.S. airports. **Departamento de Engenharia Civil e Engenharia Ambiental**, University of Utah. Salt Lake City, Utah.

INFRAERO AEROPORTOS. Características: Aeroporto do Rio de Janeiro – Santos Dumont. **Infraero**, 2021. Disponível em: <https://www4.infraero.gov.br/aeroportos/aeroporto-do-rio-de-janeiro-santos-dumont/sobre-o-aeroporto/caracteristicas/>. Acesso em: 15, nov. 2021.

INFRAERO AEROPORTOS. Histórico: Aeroporto do Rio de Janeiro – Santos Dumont. **Infraero**, 2021. Disponível em: <https://www4.infraero.gov.br/aeroportos/aeroporto-do-rio-de-janeiro-santos-dumont/sobre-o-aeroporto/historico/>. Acesso em: 15, nov. 2021.

INFRAERO AEROPORTOS. Memorial descritivo das soluções consolidadas (MDSC) – RESA/EMAS. **Infraero**, 24, jul. 2020. Disponível em: https://licitacao.infraero.gov.br/arquivos_licitacao/2020/SEDE/171_ADLI-1_S BSP_2020_LI/13_Anexo_XX_MDSCEMAS.pdf. Acesso em: 06, mai. 2022.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Cidades e Estados: Ilhéus. **IBGE**, 2021. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ba/ilheus/panorama>. Acesso em: 15, nov. 2021.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Cidades e Estados: Rio de Janeiro. **IBGE**, 2021. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/rj/rio-de-janeiro.html>. Acesso em: 15, nov. 2021.

INSTITUTO NOSSA ILHÉUS. São Jorge dos Ilhéus: Nossa Ilhéus. **Nossa Ilhéus**, 2021. Disponível em: <https://www.nossailheus.org.br/quem-somos/nossa-ilheus/>. Acesso em: 15, nov. 2021.

KETABDARI, Misagh; TORALDO, Emanuele; CRISPINO, Maurizio; LUNKAR, Vardhman. Evaluating the interaction between engineered materials and aircraft tyres as arresting systems in landing overrun events. **Case Studies in Construction Materials**, n. 13, dezembro 2020.

ORGANIZAÇÃO DE AVIAÇÃO CIVIL INTERNACIONAL (OACI). DOC 9859-AN/474, Safety Management Manual, 2ª edição, Canadá: OACI, 2009.

PALMA, Giovano; PORTARIA Nº 4.289. **DIÁRIO OFICIAL DA UNIÃO**, 19, fev. 2021. Disponível em: <https://www.in.gov.br/web/dou/-/portaria-n-4.289-de-19-de-fevereiro-de-2021-304696064>. Acesso em: 15, nov. 2021.

PENSADOR. Dificilmente existirá alguma coisa... John Ruskin. **Pensador**. Disponível em: <https://www.pensador.com/frase/OTU4NzA0/>. Acesso em: 07, nov. 2021.

PERINI, A. B.; FILHO, D. P. P.; RODRIGUES, E. S.; AMARAL, F. S.; REICHERT, R. F. L. Anuário Estatístico Operacional. 2018. **Infraero Aeroportos**, Brasília, maio 2019. Disponível em: https://www4.infraero.gov.br/media/677124/anuario_2018.pdf. Acesso em: 24 de outubro de 2021.

PRABHA, Sachin; RAGHAVENDRA, Subramanya. Overview on development of multi-dimensional aircraft arresting system at the time adverse failure of landing gear. **Materials Today: Proceedings**, n. 45, p. 318-326, 2021.

PROJETO DE AERÓDROMOS. Regulamento Brasileiro de Aviação Civil. **ANAC**, 2021. Disponível em: https://www.anac.gov.br/assuntos/legislacao/legislacao-1/rbha-e-rbac/rbac/rbac-154-emd-07/@@display-file/arquivo_norma/RBAC154EMD07.pdf. Acesso em: 30, out. 2021.

RODRIGUES, Alan. Não foi a pista. **Isto é**, 01, out. 2008. Disponível em: https://istoe.com.br/5439_NAO+FOI+A+PISTA/. Acesso em: 07, nov. 2021.

ROSENKRANS, Wayne. Rethinking overrun protection: Midway international airport's december 2005 accident makes airport operators reconsider installing the latest engineered materials arresting system. **Flight Safety**, ago. 2006. Disponível em: https://www.flightsafety.org/asw/aug06/asw_aug06_p13-19.pdf. Acesso em: 15, nov. 2021.

ROUD, O.; BRUCKERT, D. CESSNA 210 Training Manual. **Red Sky Ventures, Memel CATS and Lulu**, Nambia, 2008.

RUNWAY SAFE. Construction and design, **Runway Safe**, 2021. Disponível em: <https://runwaysafe.com/solutions/emasmax/construction-and-design/>. Acesso em: 09, nov. 2021.

RUNWAY SAFE. Construction and design. **Runway Safe**, 2021. Disponível em: <https://runwaysafe.com/solutions/greenemas/greenemas-construction-and-design/>. Acesso em: 09, nov. 2021.

RUNWAY SAFE. EMASMAX: optmized engineering. **Runway Safe**, 2021. Disponível em: <https://runwaysafe.com/solutions/emasmax/>. Acesso em: 07, nov. 2021.

RUNWAY SAFE. greenEMAS: sustainably engineered. **Runway Safe**, 2021. Disponível em: <https://runwaysafe.com/solutions/greenemas/>. Acesso em: 07, nov. 2021.

SA, Marcial. A evolução do direito aéreo internacional e a Convenção de Chicago. **Revista Jus Navigandi**, ISSN 1518-4862, Teresina, ano 24, n. 5676, 15, jan. 2019. Disponível em: <https://jus.com.br/artigos/70448/a-evolucao-do-direito-aereo-internacional-e-a-convencao-de-chicago>. Acesso em 2, nov. 2021.

SANTOS, Roberta David de Aquino. Análise de risco de incidentes de aeronaves em solo durante operações de pouso ou decolagem. 2009. 70 f. Monografia (Especialização em Gestão da Aviação Civil) - **Universidade de Brasília**, Brasília, 2009.

SECRETARIA DE INFRAESTRUTURA. Ilhéus: terminal de passageiros do Aeroporto Jorge Amado passa por ampliação. **SEINFRA**, 25, jan. 2021. Disponível em: <http://www.infraestrutura.ba.gov.br/2021/01/11472/Ilheus-Terminal-de-passageiros-do-Aeroporto-Jorge-Amado-passa-por-ampliacao.html>. Acesso em: 15, nov. 2021.

SKY BRARY. Engineered Materials Arresting System (EMAS). **Sky Brary**. Disponível em: <https://skybrary.aero/articles/engineered-materials-arresting-system-emas>. Acesso em: 20, abr. 2022.

STOCHERO, Tahiane. Aeroporto de Congonhas terá em março de 2022 sistema emergencial que desacelera aviões em pistas pequenas. **G1**, 19, ago. 2021. Disponível em: <https://g1.globo.com/sp/sao-paulo/noticia/2021/08/19/aeroporto-de-congonhas-tera-em-marco-de-2022-sistema-emergencial-que-desacelera-avioes-em-pistas-pequenas.ghtml>. Acesso em: 15, nov. 2021.

TORRES, Sergio. Avião com globeleza cai na baía de Guanabara. **Folha de São Paulo**, São Paulo, 05, jul. 1997. Disponível em: <https://www1.folha.uol.com.br/fsp/cotidian/ff040725.htm>. Acesso em: 06, mai. 2022.

TRANSPORTATION RESEARCH BOARD (TRB). Airport Cooperative Research Program (ACRP) Report 3. **Analysis of Aircraft Overruns and Undershoots for Runway Safety Areas**. EUA: TRB, 2008.

UKESSAYS. EMAS installation at mangalore airport engineering essay. UKessays, 01, jan. 2015. Disponível em: <https://www.ukessays.com/essays/engineering/emas-installation-at-mangalore-airport-engineering-essay.php#citethis>. Acesso em: 15, nov. 2021.

U.S. DEPARTMENT OF TRANSPORTATION FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION. Order 5200.8. **FAA**, 10, janeiro 1999. Disponível em: https://www.faa.gov/documentLibrary/media/Order/Construction_5200_8.pdf. Acesso em: 24, out. 2021.

VINHOLE, Thiago. Conheça os 10 aviões mais caros da atualidade. **Airway**, 06, out. 2021. Disponível em: <https://www.airway.com.br/conheca-os-10-avioes-mais-caros-da-atualidade>. Acesso em: 11, mai. 2022.

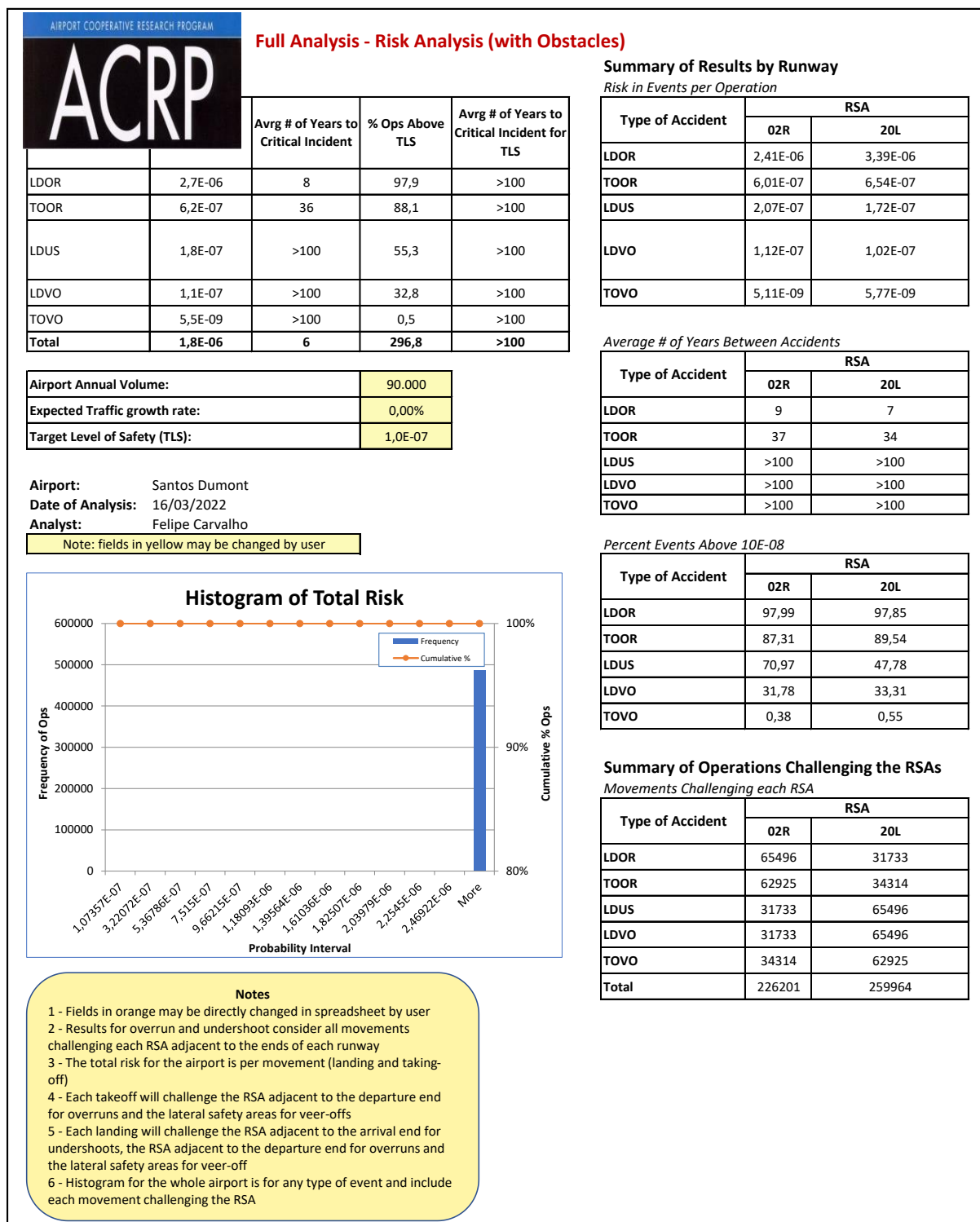
XING, Yun; YANG, Xiangfeng; YANG, Jialing; SUN, Yuxin. A theoretical modelo f honeycomb material arresting system for aircrafts. **Applied Mathematical Modelling**, n. 48, p. 316-337, agosto, 2017.

YANG, Xianfeng; YANG, Jialing; ZHANG, Zhiqiang; MA, Jingxuan; SUN, Yuxin; LIU, Hua. A review of civil aircraft arresting system for runway overruns. **Progress in Aerospace Sciences**, n. 102. P. 99-121, outubro, 2018.

YANG, Xianfeng; ZHANG, Zhiqiang; XING, Yun; YANG, Jialing; SUN, Yuxin. A new theoretical model of aircraft arresting system based on polymeric foam material. **Aerospace Science and Technology**, n.66, p. 284-293, julho, 2017.

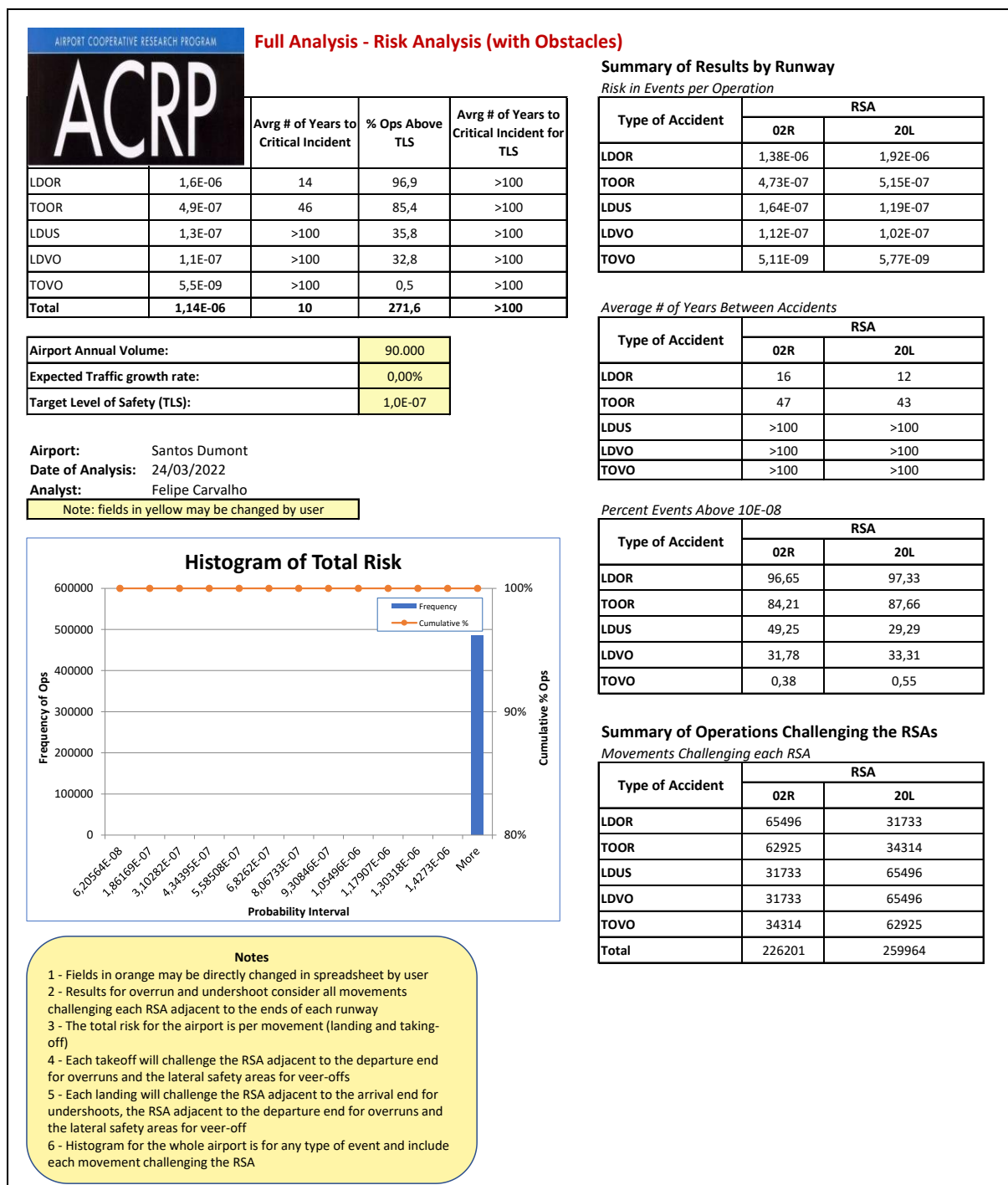
ZHANG, Z. Q.; YANG, J. L.; LI, Q. M. An analytical model of foamed concrete aircraft arresting system. **International Journal of Impact Engineering**, n. 61, p. 1-12, novembro, 2013.

ANEXOS



Resultados obtidos para o cenário 1 do Aeroporto Santos Dumont.

Observação: abaixo do logo do *Airport Cooperative Research Program (ACRP)*, tem-se na coluna 1 os Tipos de Acidentes, e na coluna 2 a Probabilidade Média.



Summary of Results by Runway

Risk in Events per Operation

Type of Accident	RSA	
	02R	20L
LDOR	1,38E-06	1,92E-06
TOOR	4,73E-07	5,15E-07
LDUS	1,64E-07	1,19E-07
LDVO	1,12E-07	1,02E-07
TOVO	5,11E-09	5,77E-09

Average # of Years Between Accidents

Type of Accident	RSA	
	02R	20L
LDOR	16	12
TOOR	47	43
LDUS	>100	>100
LDVO	>100	>100
TOVO	>100	>100

Percent Events Above 10E-08

Type of Accident	RSA	
	02R	20L
LDOR	96,65	97,33
TOOR	84,21	87,66
LDUS	49,25	29,29
LDVO	31,78	33,31
TOVO	0,38	0,55

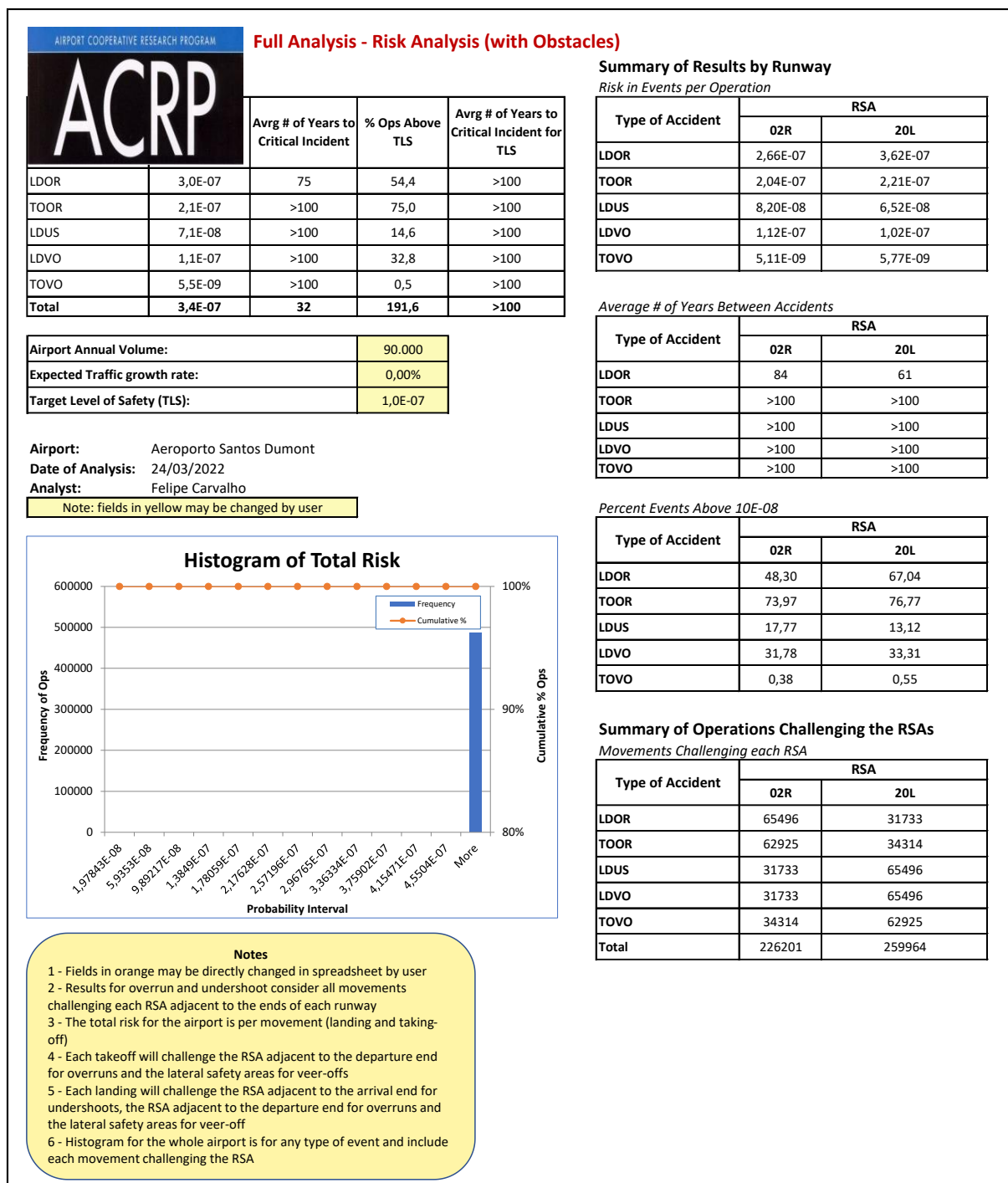
Summary of Operations Challenging the RSAs

Movements Challenging each RSA

Type of Accident	RSA	
	02R	20L
LDOR	65496	31733
TOOR	62925	34314
LDUS	31733	65496
LDVO	31733	65496
TOVO	34314	62925
Total	226201	259964

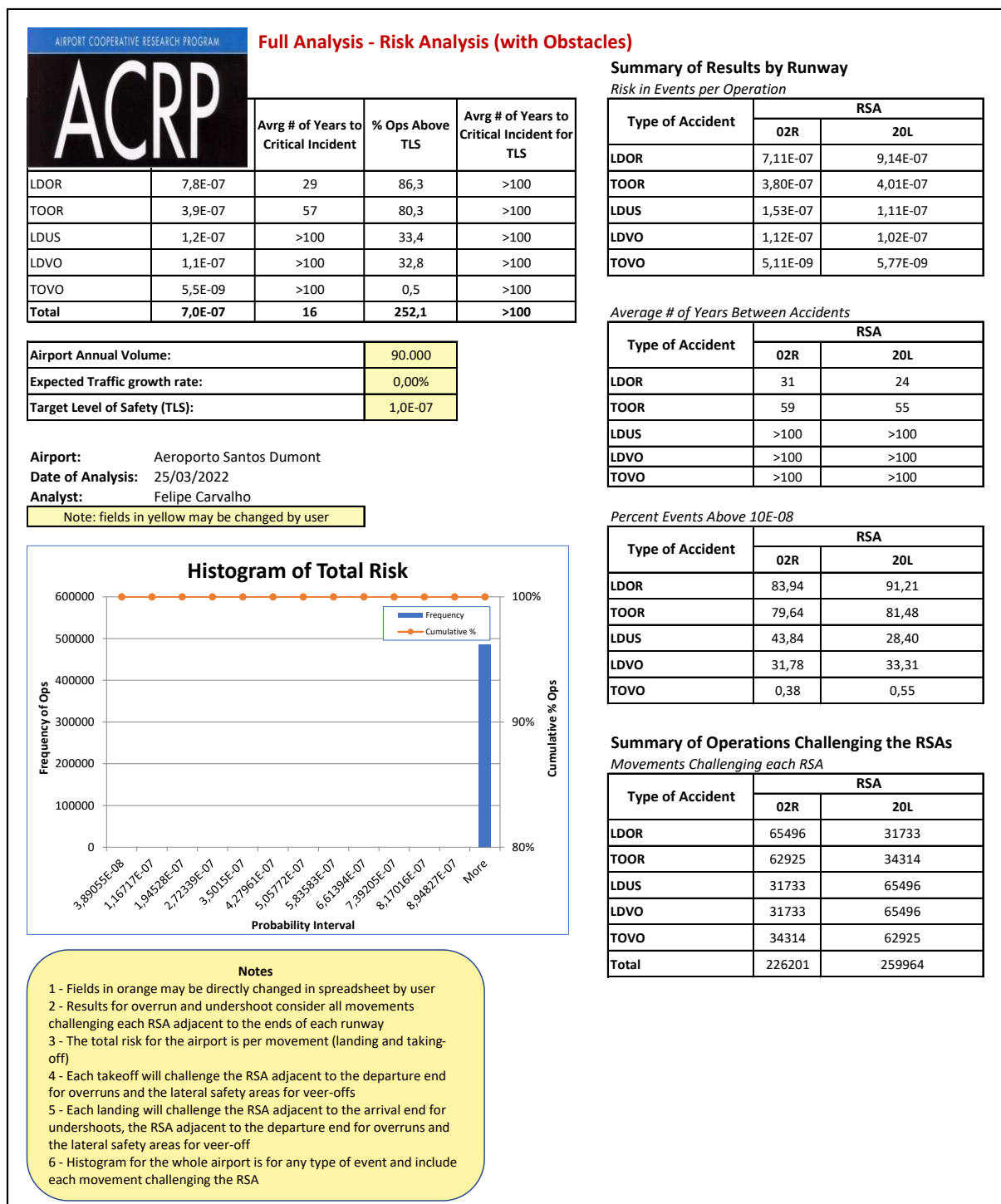
Resultados obtidos para o cenário 2 do Aeroporto Santos Dumont.

Observação: abaixo do logo do *Airport Cooperative Research Program* (ACRP), tem-se na coluna 1 os Tipos de Acidentes, e na coluna 2 a Probabilidade Média.



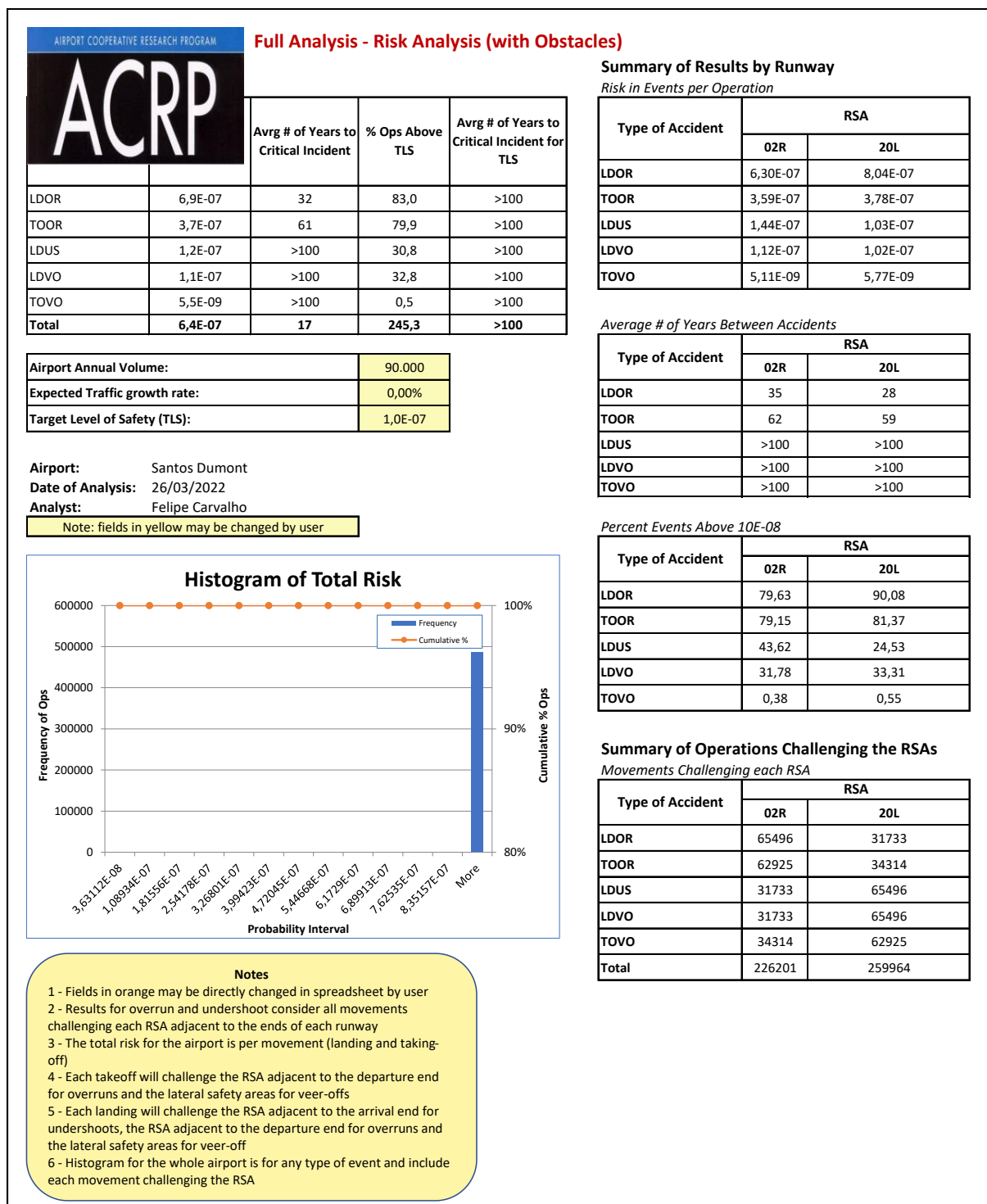
Resultados obtidos para o cenário 3 do Aeroporto Santos Dumont.

Observação: abaixo do logo do *Airport Cooperative Research Program (ACRP)*, tem-se na coluna 1 os Tipos de Acidentes, e na coluna 2 a Probabilidade Média.



Resultados obtidos para o cenário 4 do Aeroporto Santos Dumont.

Observação: abaixo do logo do *Airport Cooperative Research Program* (ACRP), tem-se na coluna 1 os Tipos de Acidentes, e na coluna 2 a Probabilidade Média.



Summary of Results by Runway

Risk in Events per Operation

Type of Accident	RSA	
	02R	20L
LDOR	6,30E-07	8,04E-07
TOOR	3,59E-07	3,78E-07
LDUS	1,44E-07	1,03E-07
LDVO	1,12E-07	1,02E-07
TOVO	5,11E-09	5,77E-09

Average # of Years Between Accidents

Type of Accident	RSA	
	02R	20L
LDOR	35	28
TOOR	62	59
LDUS	>100	>100
LDVO	>100	>100
TOVO	>100	>100

Percent Events Above 10E-08

Type of Accident	RSA	
	02R	20L
LDOR	79,63	90,08
TOOR	79,15	81,37
LDUS	43,62	24,53
LDVO	31,78	33,31
TOVO	0,38	0,55

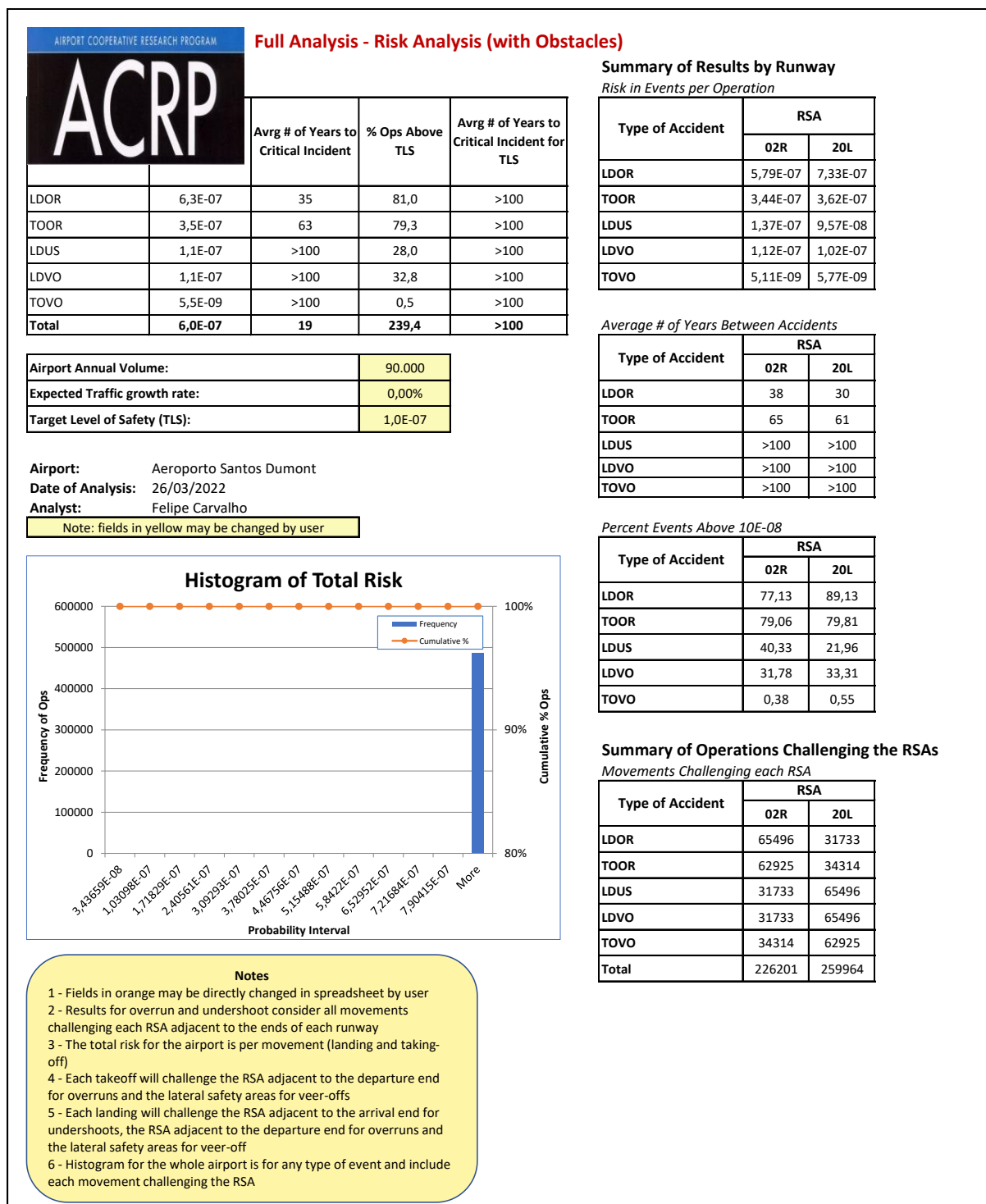
Summary of Operations Challenging the RSAs

Movements Challenging each RSA

Type of Accident	RSA	
	02R	20L
LDOR	65496	31733
TOOR	62925	34314
LDUS	31733	65496
LDVO	31733	65496
TOVO	34314	62925
Total	226201	259964

Resultados obtidos para o cenário 5 do Aeroporto Santos Dumont.

Observação: abaixo do logo do *Airport Cooperative Research Program* (ACRP), tem-se na coluna 1 os Tipos de Acidentes, e na coluna 2 a Probabilidade Média.



Summary of Results by Runway

Risk in Events per Operation

Type of Accident	RSA	
	02R	20L
LDOR	5,79E-07	7,33E-07
TOOR	3,44E-07	3,62E-07
LDUS	1,37E-07	9,57E-08
LDVO	1,12E-07	1,02E-07
TOVO	5,11E-09	5,77E-09

Average # of Years Between Accidents

Type of Accident	RSA	
	02R	20L
LDOR	38	30
TOOR	65	61
LDUS	>100	>100
LDVO	>100	>100
TOVO	>100	>100

Percent Events Above 10E-08

Type of Accident	RSA	
	02R	20L
LDOR	77,13	89,13
TOOR	79,06	79,81
LDUS	40,33	21,96
LDVO	31,78	33,31
TOVO	0,38	0,55

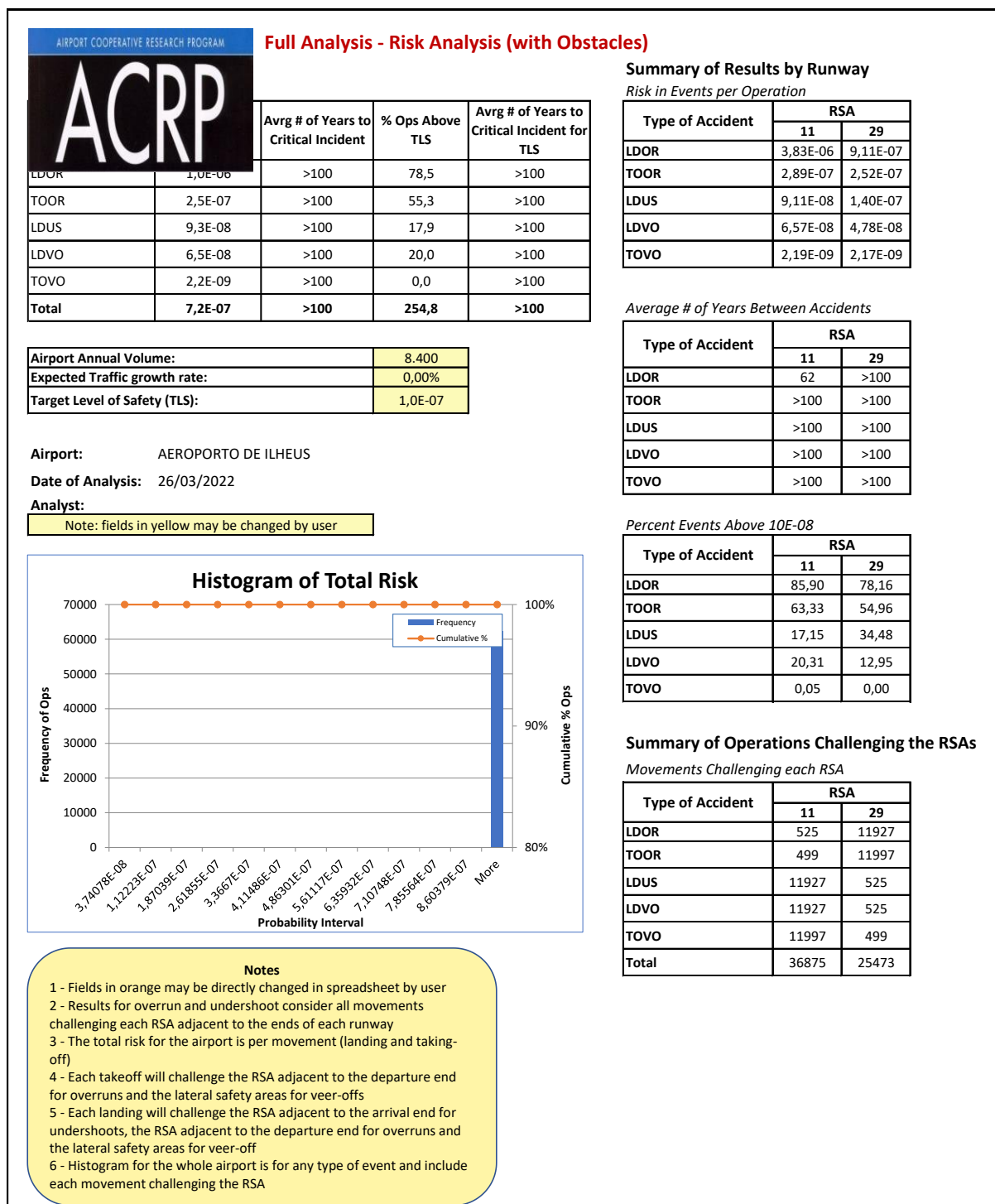
Summary of Operations Challenging the RSAs

Movements Challenging each RSA

Type of Accident	RSA	
	02R	20L
LDOR	65496	31733
TOOR	62925	34314
LDUS	31733	65496
LDVO	31733	65496
TOVO	34314	62925
Total	226201	259964

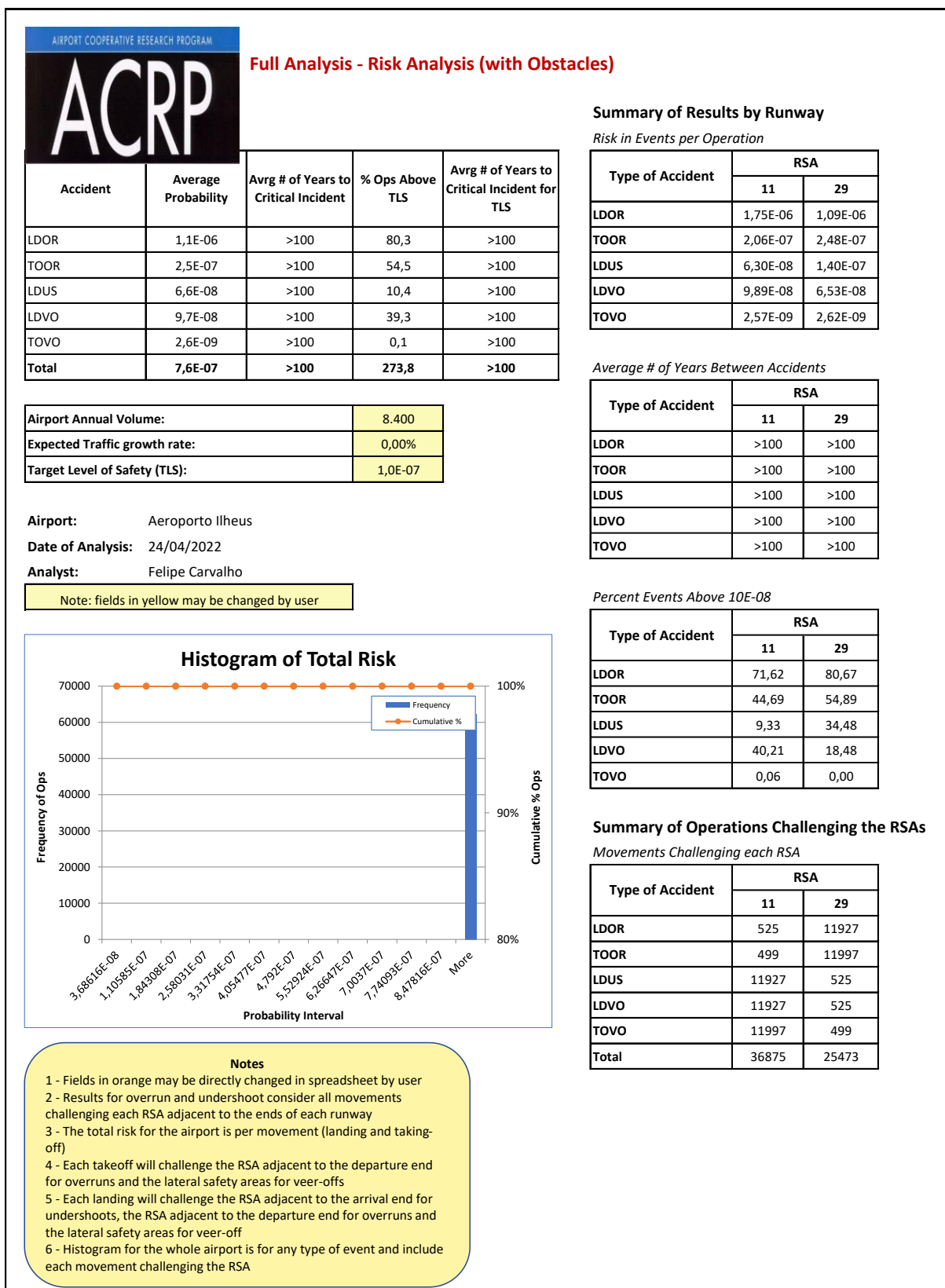
Resultados obtidos para o cenário 6 do Aeroporto Santos Dumont.

Observação: abaixo do logo do *Airport Cooperative Research Program* (ACRP), tem-se na coluna 1 os Tipos de Acidentes, e na coluna 2 a Probabilidade Média.



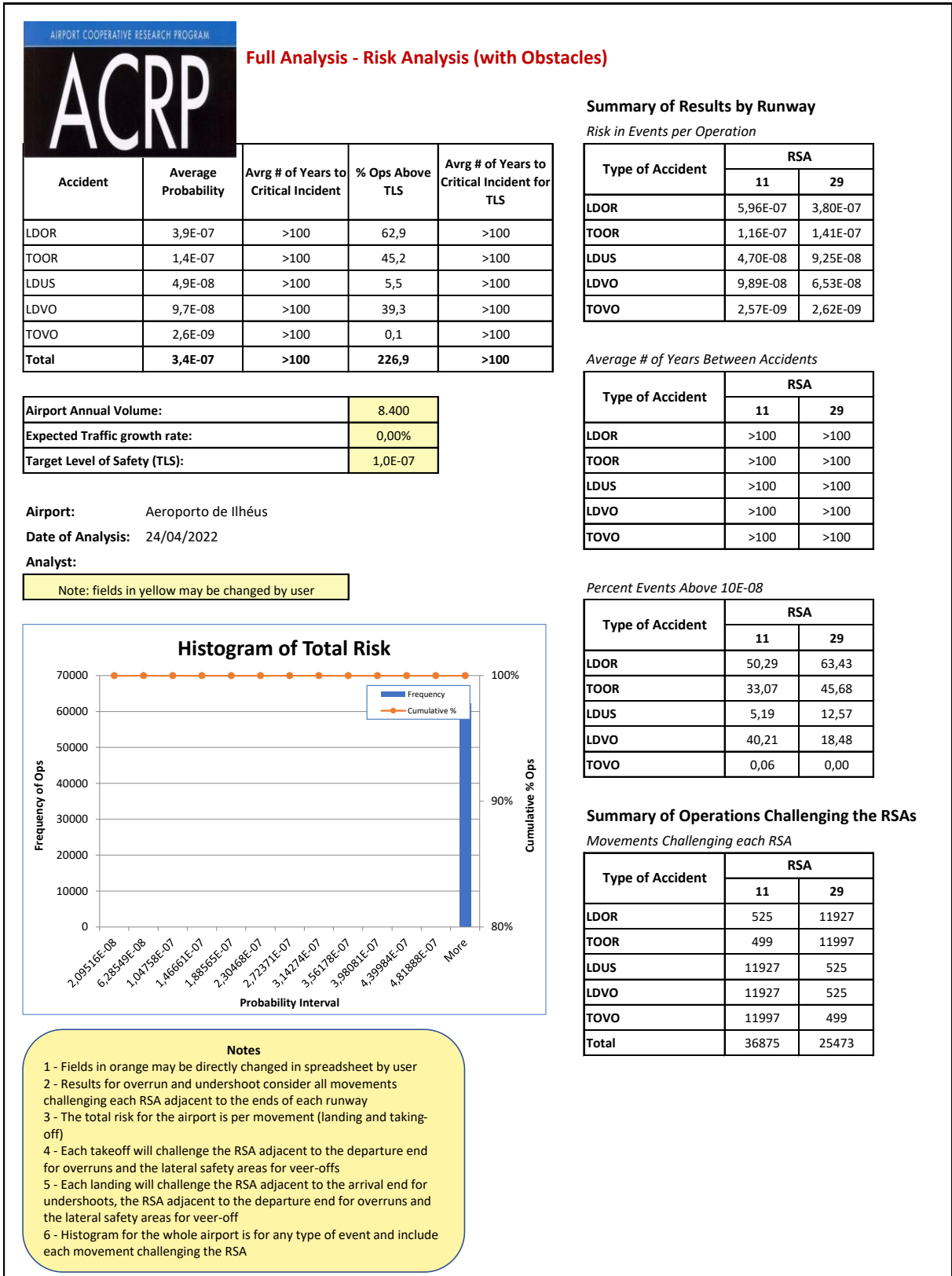
Resultados obtidos para o cenário 1 do Aeroporto Jorge Amado – Ilhéus.

Observação: abaixo do logo do *Airport Cooperative Research Program* (ACRP), tem-se na coluna 1 os Tipos de Acidentes, e na coluna 2 a Probabilidade Média.



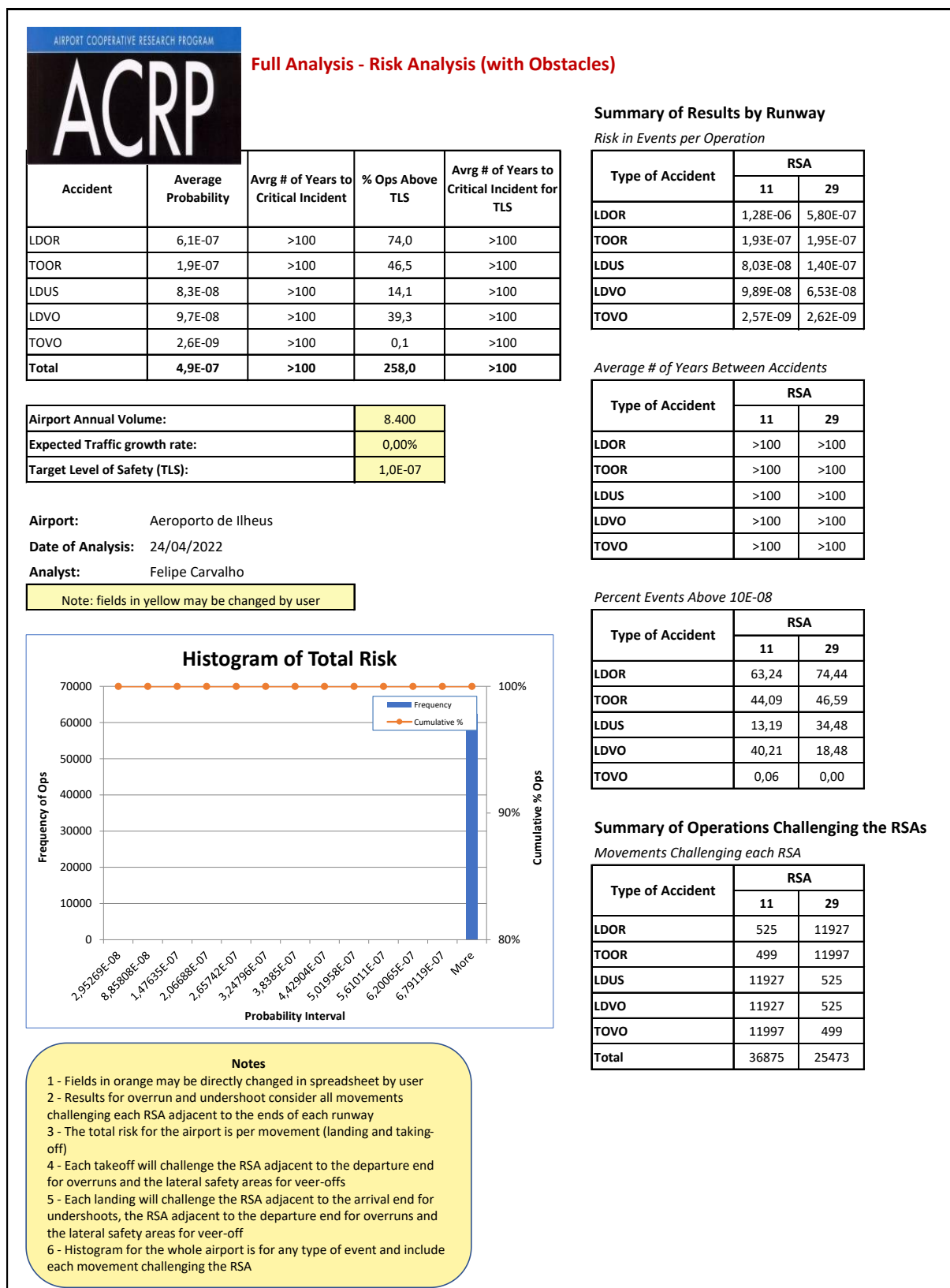
Resultados obtidos para o cenário 2 do Aeroporto Jorge Amado – Ilhéus.

Observação: abaixo do logo do *Airport Cooperative Research Program* (ACRP), tem-se na coluna 1 os Tipos de Acidentes, e na coluna 2 a Probabilidade Média.



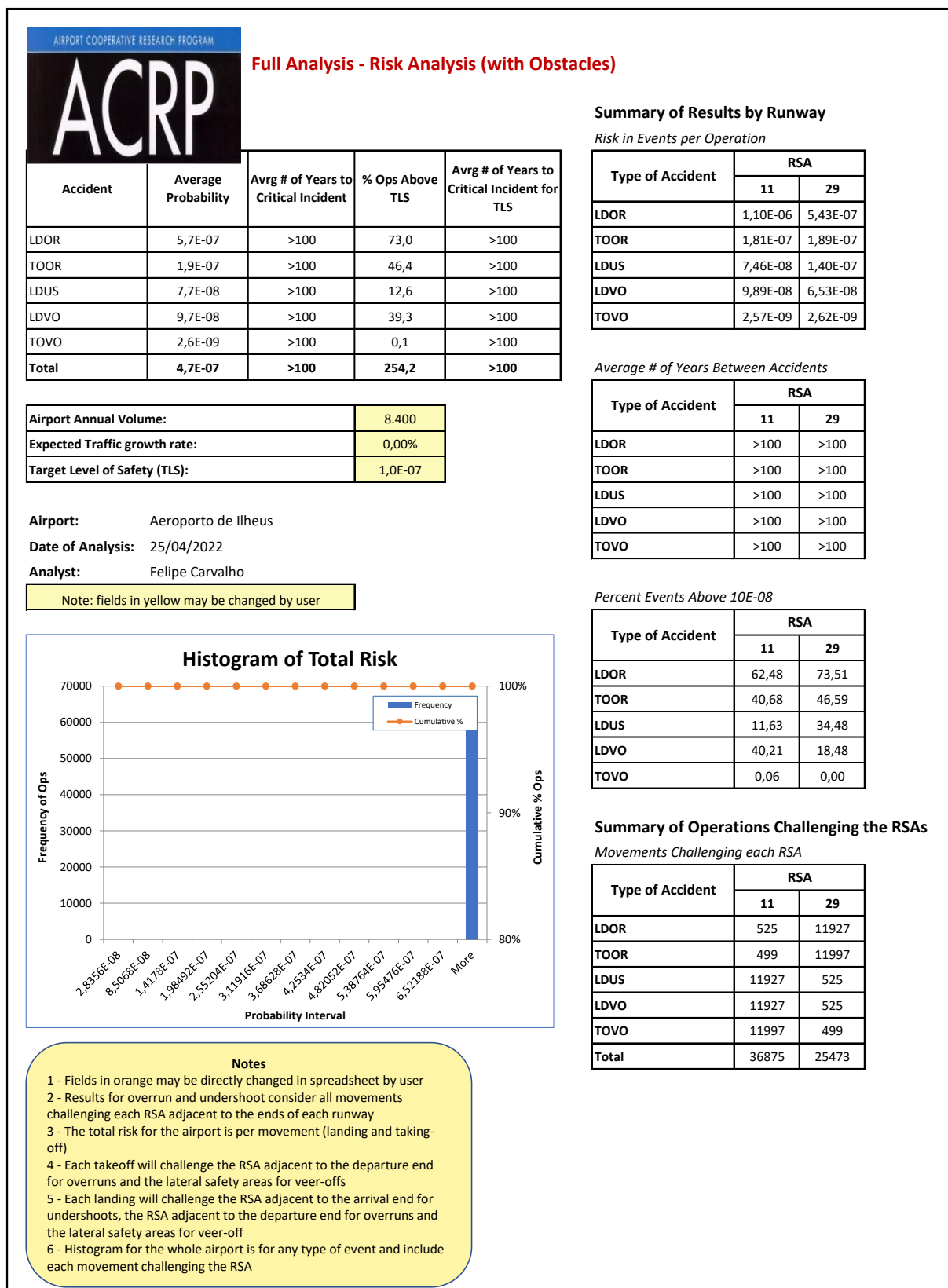
Resultados obtidos para o cenário 3 do Aeroporto Jorge Amado – Ilhéus.

Observação: abaixo do logo do *Airport Cooperative Research Program* (ACRP), tem-se na coluna 1 os Tipos de Acidentes, e na coluna 2 a Probabilidade Média.



Resultados obtidos para o cenário 4 do Aeroporto Jorge Amado – Ilhéus.

Observação: abaixo do logo do *Airport Cooperative Research Program (ACRP)*, tem-se na coluna 1 os Tipos de Acidentes, e na coluna 2 a Probabilidade Média.



Resultados obtidos para o cenário 5 do Aeroporto Jorge Amado – Ilhéus.

Observação: abaixo do logo do *Airport Cooperative Research Program* (ACRP), tem-se na coluna 1 os Tipos de Acidentes, e na coluna 2 a Probabilidade Média.



Full Analysis - Risk Analysis (with Obstacles)

Overall Results

Summary Table

Accident	Average Probability	Avrg # of Years to Critical Incident	% Ops Above TLS	Avrg # of Years to Critical Incident for TLS
LDOR	5,3E-07	>100	71,4	>100
TOOR	1,8E-07	>100	46,2	>100
LDUS	7,2E-08	>100	11,0	>100
LDVO	9,7E-08	>100	39,3	>100
TOVO	2,6E-09	>100	0,1	>100
Total	4,5E-07	>100	249,2	>100

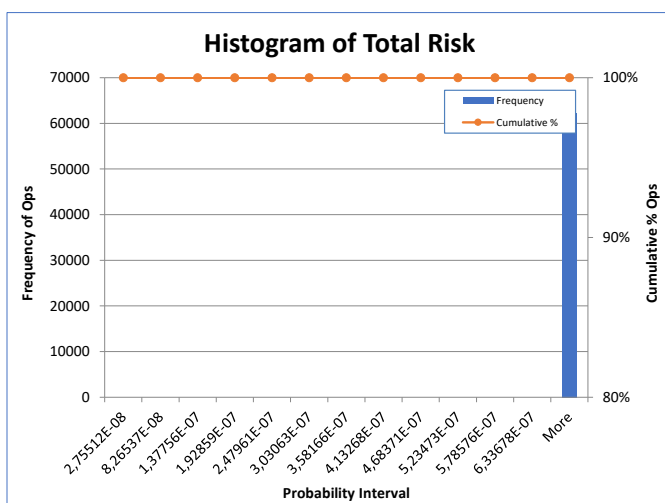
Airport Annual Volume:	8.400
Expected Traffic growth rate:	0,00%
Target Level of Safety (TLS):	1,0E-07

Airport: Aeroporto de Ilheus

Date of Analysis: 25/04/2022

Analyst: Felipe Carvalho

Note: fields in yellow may be changed by user



Notes

- 1 - Fields in orange may be directly changed in spreadsheet by user
- 2 - Results for overrun and undershoot consider all movements challenging each RSA adjacent to the ends of each runway
- 3 - The total risk for the airport is per movement (landing and taking-off)
- 4 - Each takeoff will challenge the RSA adjacent to the departure end for overruns and the lateral safety areas for veer-offs
- 5 - Each landing will challenge the RSA adjacent to the arrival end for undershoots, the RSA adjacent to the departure end for overruns and the lateral safety areas for veer-off
- 6 - Histogram for the whole airport is for any type of event and include each movement challenging the RSA

Summary of Results by Runway

Risk in Events per Operation

Type of Accident	RSA	
	11	29
LDOR	9,71E-07	5,16E-07
TOOR	1,70E-07	1,85E-07
LDUS	6,92E-08	1,40E-07
LDVO	9,89E-08	6,53E-08
TOVO	2,57E-09	2,62E-09

Average # of Years Between Accidents

Type of Accident	RSA	
	11	29
LDOR	>100	>100
TOOR	>100	>100
LDUS	>100	>100
LDVO	>100	>100
TOVO	>100	>100

Percent Events Above 10E-08

Type of Accident	RSA	
	11	29
LDOR	62,10	71,79
TOOR	36,47	46,59
LDUS	9,99	34,48
LDVO	40,21	18,48
TOVO	0,06	0,00

Summary of Operations Challenging the RSAs

Movements Challenging each RSA

Type of Accident	RSA	
	11	29
LDOR	525	11927
TOOR	499	11997
LDUS	11927	525
LDVO	11927	525
TOVO	11997	499
Total	36875	25473

Resultados obtidos para o cenário 6 do Aeroporto Jorge Amado – Ilhéus.

Observação: abaixo do logo do Airport Cooperative Research Program (ACRP), tem-se na coluna 1 os Tipos de Acidentes, e na coluna 2 a Probabilidade Média.