

**AGÊNCIA REGIONAL DE
MONITORAÇÃO DAS REGIÕES
DO CARIBE E AMÉRICA DO SUL**

DRAFT

RELATÓRIO FINAL

**Avaliação de Segurança para
Implementação da RVSM no Espaço Aéreo das Regiões do
Caribe e da América do Sul - CAR/SAM
– Fase de Verificação –**

RESUMO EXECUTIVO

Este relatório apresenta os resultados da avaliação do risco de colisão, da fase de verificação, pré- implementação da Separação Vertical Mínima Reduzida de 300 m (1000 pés), entre o FL290 e FL410, inclusive, no espaço aéreo das Regiões do Caribe e América do Sul (CAR/SAM). **Esta etapa corresponde à quarta providência da estratégia de implementação do “Manual on Implementation of a 300 m (1000 ft) Vertical Separation Minimum between FL 290 and FL410 inclusive, ICAO, Montreal, Doc 9574, 1st edition 1992, 2nd edition 2000”.**

Esta avaliação deve ser efetuada para verificar, ainda em um ambiente com separação de 2000 pés, se a RVSM pode ser implementada de acordo com os OBJETIVOS DE SEGURANÇA estabelecidos, até que:

- 1) tenha sido demonstrado que os requisitos de aprovação RVSM e material de orientação estejam adequados, no sentido de que, a conformidade de tais requisitos leve a um desempenho de manutenção de altitude observado consistente com a especificação de desempenho de manutenção de altitude global, que requer a satisfação simultânea das quatro exigências seguintes:
 - a) a proporção de TVE maior que 90 m (300 pés), em magnitude, deve ser menor que $2,0 \times 10^{-3}$;
 - b) a proporção de TVE maior que 150 m (500 pés), em magnitude, deve ser menor que $3,7 \times 10^{-6}$;
 - c) a proporção de TVE maior que 200 m (650 pés), em magnitude, deve ser menor que $4,7 \times 10^{-7}$;
 - d) a proporção de TVE entre 290 m e 320 m (950 e 1050 pés), em magnitude, deve ser menor que $5,3 \times 10^{-8}$;
- 2) tenham sido remediadas as causas dos erros observados que são inconsistentes com a especificação de desempenho de manutenção de altitude global;
- 3) o TLS técnico de $2,5 \times 10^{-9}$ acidentes fatais por hora de voo da aeronave tenha sido satisfeito com um nível pré-determinado de confiança estatística;

- 4) a integridade do sistema tenha sido verificada; isto deve incluir a confirmação, com um pré-determinado nível de confiança, de que a introdução da RVSM não aumente o risco devido a erros operacionais e contingências em vôo. Isto pode requerer a implementação de medidas adicionais de segurança efetivas para reduzir o risco como resultado destes eventos;
- 5) a proporção máxima de tempo que uma aeronave gasta em um nível de vôo incorreto, 300 m (1000 pés), ou múltiplos, fora do nível de vôo autorizado, quando voando na mesma direção de um tráfego no citado nível de vôo, deve ser menor ou igual a $1,8 \times 10^{-5}$;
- 6) as medidas adicionais de segurança necessárias sejam determinadas e implementadas no sentido de satisfazer os objetivos de segurança global, caso a quantificação do nível do risco global indicar, com um pré-determinado nível de confiança, que os objetivos de segurança total serão violados num ambiente RVSM.

Os principais dados da avaliação, as principais conclusões inferidas e as recomendações, são resumidos em seguida.

Sobre o Espaço Aéreo – O espaço aéreo das regiões CAR/SAM é constituído por 39 Regiões de Informação de Vôo (FIR) sob a responsabilidade dos seguintes Estados: Antígua, Antilhas Holandesas, Argentina, Barbados, Barbuda, Belize, Bolívia, Brasil, Chile, Colômbia, Costa Rica, Cuba, Dominicana, El Salvador, Equador, Estados Unidos, Granada, Guadalupe, Guatemala, Guiana, Guiana Francesa, Haiti, Honduras, Jamaica, Martinica, México, Neves, Nicarágua, Panamá, Paraguai, Peru, República Dominicana, St. Bartolomeu, St. Kitts, St. Lúcia, St. Vicente, Suriname, Trinidad & Tobago, Uruguai e Venezuela.

Coleta de Dados de Movimento de Tráfego – A amostra utilizada para estimar a frequência de passagem, os parâmetros físicos e dinâmicos da aeronave típica para avaliação do risco de colisão foi coletada no período compreendido entre 11 de junho e 10 de julho de 2004. Das 39 FIR das regiões CAR/SAM, foram tratados os dados recebidos em 21 envios. Nestes envios, em termos de horas de vôos foram recebidas 81938 horas, das quais, 34198 horas foram disponibilizadas. Dados recebidos de alguns Estados não puderam ser aproveitados por diferentes razões, entre eles erros nas horas

de entrada e saída (hora de saída menor ou igual hora de entrada), falta de informações para identificação e localização de rotas e dos fixos de notificação, etc.. O número total de horas de voo considerado mais realístico para estimar o risco de colisão final foi inferido em 763.557,6 horas/ ano, baseado no tempo médio de voo de 0,86667 horas para as regiões CAR/SAM. Nesta amostra, a maior frequência de passagem ocorreu na FIR Havana e o maior movimento de tráfego na FIR Brasília. A estimativa da frequência de passagem para as regiões CAR/SAM foi realizada considerando as três FIR adjacentes Havana, Centro-América e Panamá da região do Caribe e três FIR adjacentes Curitiba, Brasília, Recife mais o setor Manaus (da FIR Amazônica) da região da América do Sul. O critério de escolha destas FIR foi baseado na recomendação do Doc 9574 em que, pelo menos, três ACC adjacentes, que cobrem os fluxos de tráfego mais intensos ou frequências de passagem mais altas da região, sejam avaliados.

População de Aeronaves – de acordo com o guia de orientação para implementação da RVSM é essencial que uma grande proporção da população de aeronaves aprovadas RVSM satisfaça os requisitos RVSM. Nas regiões CAR/SAM, representadas pelos dados de movimento de fluxo coletados nas FIR Brasília, Curitiba, Recife, setor Manaus (FIR Amazônica), Havana, Centro-América e Panamá, a população de aeronaves aprovadas é 53,0 % do total de tipos de aeronaves. Estas aeronaves respondem por 98,74 % do tempo de voo no período da coleta de dados.

Dados Sobre os Desvios Verticais – na ausência de meios apropriados para prover a monitoração da manutenção de altitude da aeronave, foram utilizados dados estatisticamente representativos da região do Atlântico Norte enviados pela agência CMA. Uma boa parte dos dados AAD, maiores ou iguais a 300 pés e menores ou iguais a 1000 pés, não teve a causa identificada exatamente nas planilhas enviadas para a agência CARSAMMA, como pode ser visto na Tabela 1. Para não descartar dados, os desvios AAD mal identificados foram considerados como sendo devidos à falha de equipamentos e ou do sistema de manutenção de altitude.

Tabela 1 – Grandes Desvios* AAD na Região CAR/SAM

data	hora	Tipo aeron	AWY	Local LHD	FL	LHD	tempo min	temp o seg	causa	info	FIR	State
01/01/04	09:42	F5	UA302	2758S/04848W	330	-400	-	90	não info	nil	SBCW	SB
01/01/04	09:42	F5	UA302	2758S/04848W	330	300	-	90	não info	nil	SBCW	SB
01/01/04	10:51	-	SBLO-SWKC	-	-	300	-	90	não info	nil	SBCW	SB
01/01/04	10:51	-	SBLO-SWKC	-	390	500	-	90	não info	nil	SBCW	SB
01/01/04	11:47	-	SBBH-SBPA	2401S/04738W	350	300	-	90	não info	nil	SBCW	SB
-	19:56	HS25A	SP DCT CAKE	270827S/	310	-900	-	90	turbulência	nil	SBCW	SB
03/02/04	21:59	FA20	UW13	VGH	330	400	7	-	não info	Modo C	SBBS	SB
03/02/04	21:30	HS25A	UW5	MORLU	350	300	-	90	não info	Modo C	SBCW	SB
05/02/04	17:20	C550	UW6	CTB	290	-300	12	-	ind. falsa altitude	nil	SBCW	SB
16/02/04	21:32	-	UA314	ACJ	390	-500	2	-	não info	Modo C	SBRE	SB
17/02/04	19:17	-	UW10	RDL270 MCO 106NM	350	300	4	-	não info	Modo C	SBRE	SB
17/02/04	19:20	-	UW10	TROVA	370	300	1	30	não info	Modo C	SBRE	SB
17/02/04	19:30	-	UB678	MACAO	350	-300	1	-	não info	Modo C	SBBS	SB
17/02/04	21:40	-	UB678	CISKO	350	-300	5	-	não info	Modo C	SBRE	SB
18/02/04	00:19	HS25A	UA314	RIQUE	330	300	6	-	não info	Modo C	SBBS	SB
18/02/04	13:35	B722	UZ7	RDL225 FLZ 114NM	310	-500	55	-	não info	Modo C	SBRE	SB
18/02/04	-	-	UW24	CTB	350	-500	-	90	falha radar	nil	SBCW	SB
20/02/04	23:43	-	-	TAIS	350	300	-	90	ind. falsa altitude	Modo C	SBBS	SB
21/02/04	13:50	-	UW10	BAG	310	-500	30	-	ind. falsa altitude	Modo C	SBBS	SB
22/02/04	23:00	-	UW55	RDL200 BRS 148NM	310	-500	-	90	ind. falsa altitude	Modo C	SBBS	SB

*Grandes desvios (LHD) que não envolvem números inteiros de níveis de voo

Tabela 1 – Grandes Desvios AAD na Região CAR/SAM* (Cont.)

data	hora	Tipo aeron	AWY	Local LHD	FL	LHD	tempo min	temp o seg	causa	info	FIR	State
23/02/04	00:09	EA32	UB50	40NM SSW MITOL	350	-500	-	90	turbulência	Modo C	MHTG	MH
23/02/04	23:00	LR25	-	OMIRO	290	-500	-	90	turbulência	Modo C	MHTG	MH
24/02/-4	18:32	C650	UB678	SAGAZ	390	500	4	-	não info	Modo C	SBBS	SB
-	18:42	C650	UTA	210212S/0453508W	350	300	6	-	ind. falsa altitude	Modo C	SBBS	SB
01/03/04	10:56	C525	UB678	ASALA	390	400	2	-	Desconhecido	Modo C	SBRE	SB
03/03/04	13:50	-	UW9	NEFAR	330	-300	2	-	não info	Modo C	SBBS	SB
13/03/04	07:00	B742	UL206	0712S03128W	330	500	1	30	desconhecido	Modo C	SBRE	SB
16/03/04	13:55	-	UZ6	131837S/0501654W	330	400	-	90	desconhecido	Modo C	SBBS	SB
22/03/04	13:35	-	URG/DCT/FNP	2755S/05230W	330	500	-	90	não info	nil	SBCW	SB
22/03/04	22:50	C525	POR/RDE	262943S/0483608W	410	500	1	30	não info	nil	SBCW	SB
23/03/04	19:47	HS25B	UA315	OTAGA	310	300	2	-	desconhecido	Modo C	SBBS	SB
25/03/04	15:25	C525	UB678	LIBRA	330	300	7	-	desconhecido	Modo C	SBRE	SB
25/03/04	20:20	HS25B	UW55	175444S/0480309W	330	400	-	90	desconhecido	Modo C	SBBS	SB
29/03/04	19:57	LR35	UA314	IRUCE	390	500	5	-	desconhecido	Modo C	SBBS	SB
30/03/04	02:25	B732	UA317	KUNOS	310	500	25	-		-	SBBS	SB
-	04:06	B703	UTA	QUILT	330	300	6	-	desconhecido	Modo C	SBBS	SB
08/04/04		M326	UA317	ACNEL	290	-400	-	90	não info	Modo C	SBBS	SB
15/04/04	11:05	HS25A	UA312	MONTE	330	400	-	90	não info	Modo C	SBBS	SB
18/04/04	11:50	F5	UA302	2639S/04722W	290	700	10	-	acft s/pil autom.	nil	SBCW	SB
19/04/04	15:30	BE30	-	115 NM S SELEK	310	300	-	90	não info	nil	MHTG	MH

* Grandes desvios (LHD) que não envolvem números inteiros de níveis de voo

Tabela 1 – Grandes Desvios AAD na Região CAR/SAM* (Cont.)

data	hora	Tipo aeron	AWY	Local LHD	FL	LHD	tempo min	temp o seg	causa	info	FIR	State
01/05/04		-	UA302	FNP	350	400	30	-	não info	nil	SBCW	SB
-	17:28	-	UA309	POR	350	500	11	-	acft s/sist. aut. Nav	nil	SBCW	SB
08/05/04	12:15	B737	UW10	BOLAS	350	400	5	-	não info	Modo C	SBRE	SB
08/05/04	13:50	B763	UL780	-	330	-300	1	30	fallha equip.	nil	SPIM	SP
13/05/04	23:30	B737	UZ5	NELSO	310	-1000	1	30	falha SSR	Modo C	SBRE	SB
14/05/04	20:28	HS25A	UA312	CREPI	310	300	8		não info	Modo C	SBRE	SB
16/05/04	20:03	TU54	UB767	PZA	290	300	40	-	turbulência	Modo C	MHTG	MH
18/05/04	23:21	B732	UZ5	NELSO	350	400	-	90	não info	Modo C	SBRE	SB
19/05/04	21:03	HS25A	UW13	BHZ	330	500	3	-	não info	Modo C	SBRE	SB
21/05/04	22:00	C130	-	-	310	400	60	-	falta calibração	Modo C	SBCW	SB
-	07:44	-	UB678	CNF	350/370	-300	24	-	não info	Modo C	SBBS	SB
24/05/04	10:55	B757	UA317	TUKOR	350	-500	27	-	turbulência	Modo C	MHTG	MH
06/06/04	01:34	B727	UG436	34NM W ANAPO	390	-400	-	90	turbulência	Modo C	MHTG	MH
06/06/04	14:00	YK42	UR630	BISTO	290	300	32	-	turbulência	Modo C	MHTG	MH
12/06/04	20:43	B757	UR644	ROATAN	310	500	-	90	turbulência	Modo C	MHTG	MH
16/06/04	01:03	-	UW61	CTB	330	-400	-	90	desconhecida	Modo C	SBCW	SB
16/06/04	21:00	B737	-	20NM N CAT	370	-600	26	-	turbulência	Modo C	MHTG	MH
17/06/04	03:43	B737	UA317	RADON	350	300	13	-	turbulência	Modo C	MHTG	MH
25/06/04	17:30	-	-	ORH	350	300	1	30	defeito	Modo C	SBCW	SB
14/07/04	10:27	-	UA302	FNP	350	300	10	-	não info	Modo C	SBCW	SB
16/07/04	13:45	-	UA314	FNP	330	300	5	-	não info	Modo C	SBCW	SB
16/07/04	15:50	-	UA314	FNP	330	-400	10	-	não info	Modo C	SBCW	SB
19/07/04	17:30	LJ25	UA308	CGR	370	-400	20	-	não info	Modo C	SBCW	SB

* Grandes desvios (LHD) que não envolvem números inteiros de níveis de voo

Os grandes desvios verticais *AAD* (atípicos), coletados nas regiões CAR/SAM, foram acrescidos aos desvios *AAD* típicos do NAT para um novo ajuste da função distribuição de probabilidades *AAD*. Isto foi feito de duas maneiras: na primeira, simplesmente substituindo os desvios atípicos da região NAT pelos das regiões CAR/SAM; e na segunda, adicionando os desvios atípicos das regiões CAR/SAM aos da região NAT. A frequência relativa para cada desvio LHD das regiões CAR/SAM é estimada dividindo o seu tempo de duração pelo número total de horas de voo do sistema MNPS. O tempo de duração para cada desvio LHD do NAT foi considerado como sendo igual à média do tempo dos desvios LHD das regiões CAR/SAM. Os dados estatísticos (média e desvio padrão) das funções distribuição *ASE* para cada grupo de tipos de aeronaves foram obtidos do programa de monitoração para RVSM da Europa e que constam no relatório “The EUR RVSM Safety Monitoring Report” de 2003.

1) Demonstração da viabilidade técnica da aplicação da RVSM nas regiões CAR/SAM -

1a) Condições que quantificam a especificação de desempenho total do sistema

Frequência de Passagem - A estimativa para a frequência de passagem foi realizada pelo método de passagem por fixos. Nesta avaliação, o resultado obtido com separação vertical de 2000 pés foi utilizado na avaliação do risco para a aplicação da RVSM. A frequência de passagem foi determinada individualmente para cada trecho de rota, para cada aerovia, para cada FIR, para três FIR adjacentes da região do Caribe e para quatro FIR adjacentes da região da América do Sul e para todo o espaço aéreo das Regiões CAR/SAM representado pelas sete FIR. O pico da frequência de passagem, de 2,673 no sentido oposto, ocorreu no trecho de rota entre os fixos URSUS e UCA da aerovia UA301 localizada na FIR Havana (MUFH). Na América do Sul o pico da frequência de passagem ocorreu na FIR Recife no trecho de rota entre os fixos SAGAZ e LIBRA da aerovia UW58, conforme pode ser observado na Tabela 2 abaixo;

Tabela 2 – Picos de Frequências de Passagem

Segmentos de Rota	Frequência de Passagem (Sentido Oposto)	Aerovia	FIR
URSUS-UCA	2,673	UA301	Havana
SAGAZ-LIBRA	2,073	UW58	Recife
TUMAR-RETAK	1,396	UA636	Haiti
FAMIP-PANDI	1,384	UZ2	Brasília
TBG-KORPU	1,318	UL780	Panamá
TANGO-VUMPI	1,242	UL795	Manaus
ESV-SISEL	1,138	UG437	Guayaquil
XAREO-ETANO	0,8326	UA314	Curitiba
KIRAP-AMIDA	0,7898	UG521a	Centro-América

Nas Tabelas 3 e 4 abaixo, são mostrados as frequências de passagem e os tempos de voo analisados das FIR que possuem fluxos de tráfego mais intenso. A estimativa da frequência de passagem para as regiões CAR/SAM torna-se mais próxima da realidade com a inclusão da FIR Manaus às três adjacentes: Curitiba, Brasília e Recife.

Tabela 3– Frequência de Passagem da Região do Caribe

FIR (ACC)	Horas de Voo	Frequência de Passagem Mesmo Sentido	Frequência de Passagem Sentido Oposto	Frequência de Passagem Equivalente
Havana	3964	0,0	1,060	1,060
Centro-América	3805	0,0	0,2276	0,2276
Panamá	3054	0,0	0,4880	0,4880
Total	10822	0,0	0,6049	0,6049

Tabela 4 – Frequência de Passagem da Região da América do Sul

FIR (ACC)	Horas de Voo	Frequência de Passagem Mesmo Sentido	Frequência de Passagem Sentido Oposto	Frequência de Passagem Equivalente
Curitiba	3561	0,0044	0,2034	0,2123
Brasília	8166	0,0389	0,3411	0,4092
Recife	3198	0,0050	0,2522	0,2645
Sub-Total	14925	0,0256	0,2813	0,3275
Manaus	1963	0,0	0,4014	0,4014
Total	16888	0,0253	0,3098	0,3557

A frequência de passagem equivalente, mostrada na Tabela 5, para as regiões CAR/SAM, não apresenta diferença significativa com a inclusão da FIR Manaus, no entanto é de considerável importância para a estimação do tempo total de voo (T).

Tabela 5 - Frequência de Passagem das Regiões CAR/SAM

	Frequência de passagem	
	CAR3/SAM3*	CAR3/SAM4*
Sentido Oposto	0,4898	0,4810
Mesmo Sentido	0,02558	0,0253
Equivalente	0,5362	0,5269

*CAR3 – Havana, Centro-América e Panamá; SAM3 – Curitiba, Brasília e Recife; SAM4 -Curitiba, Brasília, Recife e setor Manaus (FIR Amazônica).

Probabilidade de Superposição Lateral – Para a aeronave típica que voa nas Regiões CAR/SAM com envergadura (λ_y) de 0,019495 MN, usando uma aproximação dada por uma distribuição descrita por uma função dupla exponencial, foi obtido o valor de $P_y(0) = 0,0459$ (Tabela 6). Este parâmetro deverá ser monitorado após a implementação da RVSM, para verificar a sua conformidade, através da coleta dos

desvios laterais e posterior determinação do desempenho de navegação lateral das aeronaves em operação nas Regiões CAR/SAM.

Tabela 6 – Probabilidade de Superposição Lateral, $P_y(0)$ e λ_y para as regiões CAR/SAM

Regiões	$P_y(0)$	Envergadura, λ_y
CAR3	0,0455	0,019318
CAR5**	0,0451	0,019145
SAM3	0,0451	0,019114
SAM4	0,0462	0,019608
CAR3/SAM3	0,0453	0,019199
CAR3/SAM4	0,0459	0,019495
CAR5/SAM4	0,0458	0,019414

**CAR5 – Havana, Centro-América, Panamá, Haiti e Guayaquil

Probabilidade de Superposição Vertical – A proporção de tempo de vôo usada no componente ASE do TVE é aquela extraída do movimento de tráfego nas regiões CAR/SAM durante o período de coleta de dados. Quatro distribuições para TVE foram consideradas: a primeira distribuição consistiu apenas de dados normais para o desempenho AAD típico do NAT; a segunda, considerou os dados típicos e atípicos do NAT; na terceira, os dados atípicos do NAT foram substituídos pelos grandes desvios obtidos das regiões CAR/SAM; e, na quarta foram adicionados os dados atípicos das regiões CAR/SAM aos dados típicos e atípicos da região do NAT. Os resultados das probabilidades de superposição vertical para as quatro distribuições TVE situam-se dentro da especificação de desempenho total, que requer que $P_z(1000)$ não exceda o valor de $1,7 \times 10^{-8}$, conforme Tabelas 7.1 a 7.3 abaixo:

Tabela 7.1 – Probabilidade de Superposição Vertical para as Regiões, CAR3*

Caso	Descrição	$P_z(1000)$	$P_z(0)$	$P_y(0)$
1	ASE + AAD típico do NAT	$2,2758 \times 10^{-9}$	0,3953	0,0455
2	ASE + AAD típico e atípico do NAT	$9,2662 \times 10^{-9}$	0,4182	
3	ASE + AAD típico do NAT + AAD atípico das regiões CAR/SAM	$1,1386 \times 10^{-8}$	0,4226	
4	ASE + AAD típico e atípico do NAT + AAD atípico das regiões CAR/SAM	$6,6482 \times 10^{-9}$	0,4228	

*CAR3 – Havana, Centro-América e Panamá

Tabela 7.2 – Probabilidade de Superposição Vertical para as Regiões SAM4

Caso	Descrição	$P_z(1000)$	$P_z(0)$	$P_y(0)$
1	ASE + AAD típico do NAT	$8,8213 \times 10^{-10}$	0,3884	0,0462
2	ASE + AAD típico e atípico do NAT	$3,5829 \times 10^{-9}$	0,4097	
3	ASE + AAD típico do NAT + AAD atípico das regiões CAR/SAM	$4,4028 \times 10^{-9}$	0,4140	
4	ASE + AAD típico e atípico do NAT + AAD atípico das regiões CAR/SAM	$4,4399 \times 10^{-9}$	0,4142	

*SAM4 – Curitiba, Brasília, Recife e setor Manaus (FIR Amazônica)

Tabela 7.3 – Probabilidade de Superposição Vertical para as Regiões CAR/SAM

Caso	Descrição	$P_z(1000)$	$P_z(0)$	$P_y(0)$
1	ASE + AAD típico do NAT	$1,4493 \times 10^{-9}$	0,3882	0,0459
2	ASE + AAD típico e atípico do NAT	$5,8951 \times 10^{-9}$	0,4098	
3	ASE + AAD típico do NAT + AAD atípico das regiões CAR/SAM	$7,2439 \times 10^{-9}$	0,4141	
4	ASE + AAD típico e atípico do NAT + AAD atípico das regiões CAR/SAM	$7,3048 \times 10^{-9}$	0,4143	

*Baseado nos dados coletados das regiões CAR3/SAM4

1b) Verificação da especificação de performance global de manutenção de altura

Os dados estatísticos (desvio padrão e média) ASE para cada grupo de tipos de aeronaves foram obtidos do programa de monitoração da RVSM da Europa. A modelagem da distribuição ASE leva em conta a população de aeronaves regional, RVSM aprovadas, através das proporções de tempo de voo contribuído por cada grupo de aeronaves que voa nas regiões CAR/SAM. A modelagem da distribuição AAD é baseada no desempenho típico e atípico do sistema de navegação de manutenção de altitude. Os dados atípicos obtidos das regiões CAR/SAM correspondem aos grandes desvios sofridos por aeronaves consideradas aprovadas para RVSM. Portanto, a função distribuição de probabilidades resultante para TVE, obtida através da convolução das funções distribuições ASE e AAD, foi determinada para as seguintes situações:

Caso 1 – não são consideradas as aeronaves que sofreram grandes erros no espaço aéreo do NAT, ou seja, é assumido que não houve grandes erros devidos às

turbulências ou possíveis outros erros do sistema de manutenção de altitude. Esta situação é considerada para efeito de comparação simplesmente.

Caso 2 – Caso real do espaço aéreo do NAT, com os erros normais e grandes erros dentro do aceitável, cuja probabilidade de superposição vertical satisfaz a especificação de desempenho global do sistema. Nesta situação é assumido que os mesmos grandes erros sofridos pelas aeronaves que voam no NAT também ocorrem nas regiões CAR/SAM.

Caso 3 – são considerados os grandes desvios ocorridos nas regiões CAR/SAM cometidos por aeronaves consideradas aprovadas para RVSM, adicionados aos desvios normais ocorridos no espaço aéreo do NAT. Esta situação é uma aproximação que pode ser considerada como representativa para o espaço aéreo das regiões CAR/SAM.

Caso 4 – os grandes desvios ocorridos nas regiões CAR/SAM são adicionados aos erros *AAD* normais e atípicos da região do NAT. Uma situação claramente conservativa que é analisada para compensar os possíveis erros que não tenham sido reportados.

As Tabelas de 8.1 a 8.3 mostram que todas as proporções de *TVE* são satisfeitas simultaneamente, mostrando que a especificação de desempenho de manutenção de altitude global poderá estar de acordo, dada as condições nas quais os dados sobre desvios foram obtidos do espaço aéreo NAT e das regiões CAR/SAM.

Tabela 8.1 – Proporção dos Erros de Manutenção de Altitude
(Havana, Centro-América e Panamá)

Caso Proporção	1	2	3	4	Limite Máximo
$Pr ob\{ TVE \geq 300\}$	$8,84 \times 10^{-5}$	$8,55 \times 10^{-5}$	$8,54 \times 10^{-5}$	$8,55 \times 10^{-5}$	$2,0 \times 10^{-3}$
$Pr ob\{ TVE \geq 500\}$	$2,32 \times 10^{-6}$	$2,27 \times 10^{-6}$	$2,27 \times 10^{-6}$	$2,27 \times 10^{-6}$	$3,7 \times 10^{-6}$
$Pr ob\{ TVE \geq 650\}$	$2,18 \times 10^{-7}$	$2,13 \times 10^{-7}$	$2,13 \times 10^{-7}$	$2,13 \times 10^{-7}$	$4,7 \times 10^{-7}$
$Pr ob\{950 \leq TVE \leq 1050\}$	$2,24 \times 10^{-9}$	$2,19 \times 10^{-9}$	$2,18 \times 10^{-9}$	$2,18 \times 10^{-9}$	$5,3 \times 10^{-8}$

Tabela 8.2 – Proporção dos Erros de Manutenção de Altitude
(Curitiba, Brasília, Recife e Setor Manaus (FIR Amazônica))

Caso Proporção	1	2	3	4	Limite Máximo
$Pr ob\{ TVE \geq 300\}$	$7,39 \times 10^{-5}$	$7,12 \times 10^{-5}$	$7,12 \times 10^{-5}$	$7,12 \times 10^{-5}$	$2,0 \times 10^{-3}$
$Pr ob\{ TVE \geq 500\}$	$1,37 \times 10^{-6}$	$1,34 \times 10^{-6}$	$1,34 \times 10^{-6}$	$1,34 \times 10^{-6}$	$3,7 \times 10^{-6}$
$Pr ob\{ TVE \geq 650\}$	$1,00 \times 10^{-7}$	$9,80 \times 10^{-8}$	$9,79 \times 10^{-8}$	$9,79 \times 10^{-8}$	$4,7 \times 10^{-7}$
$Pr ob\{950 \leq TVE \leq 1050\}$	$7,70 \times 10^{-10}$	$7,51 \times 10^{-10}$	$7,50 \times 10^{-10}$	$7,50 \times 10^{-10}$	$5,3 \times 10^{-8}$

Tabela 8.3 – Proporção dos Erros de Manutenção de Altitude
(REGIÕES CAR/SAM)

Caso Proporção	1	2	3	4	Limite Máximo
$Prob\{ TVE \geq 300\}$	$8,14 \times 10^{-5}$	$7,86 \times 10^{-5}$	$7,86 \times 10^{-5}$	$7,86 \times 10^{-5}$	$2,0 \times 10^{-3}$
$Prob\{ TVE \geq 500\}$	$1,76 \times 10^{-6}$	$1,72 \times 10^{-6}$	$1,72 \times 10^{-6}$	$1,72 \times 10^{-6}$	$3,7 \times 10^{-6}$
$Prob\{ TVE \geq 650\}$	$1,47 \times 10^{-7}$	$1,43 \times 10^{-7}$	$1,43 \times 10^{-7}$	$1,43 \times 10^{-7}$	$4,7 \times 10^{-7}$
$Prob\{950 \leq TVE \leq 1050\}$	$1,34 \times 10^{-9}$	$1,31 \times 10^{-9}$	$1,30 \times 10^{-9}$	$1,30 \times 10^{-9}$	$5,3 \times 10^{-8}$

1c) Verificação dos critérios MASPS

Tendo em vista a origem das funções distribuições para cada grupo de tipos de aeronaves e a contribuição em proporção de tempo de voo por grupo nas regiões CAR/SAM, tem-se que:

- a média do erro do sistema de altimetria (*ASE*) do grupo não excede ± 25 m (± 80 pés);
- a soma do valor absoluto da média *ASE* para o grupo e três desvios padrão da distribuição *ASE* dentro do grupo não excede 75 m (245 pés); e
- os erros de manutenção de altitude são simétricos com respeito à média de 0 m (0 pés), o desvio padrão não é maior do que 13 m (43,7 pés) e a frequência do erro decresce com o aumento da magnitude do erro a uma taxa exponencial. (Não entram os erros devidos a condições atmosféricas severas e fatores humanos).

1d) Identificação das causas da inconsistência dos erros de manutenção de altura:

As causas dos desvios correspondem a turbulências atmosféricas e outros possíveis erros técnicos de voo, como falhas de piloto automático, ou ainda, a certas condições operacionais de controle de tráfego aéreo não identificadas nos relatórios de incidentes.

1e) Verificação do TLS técnico.

O objetivo é verificar se o *TLS* técnico de $2,5 \times 10^{-9}$ acidentes fatais por hora de voo é satisfeito de acordo com um nível de confiança estatístico. O risco de colisão técnico representativo do espaço aéreo da região do Caribe é avaliado considerando as três ACC adjacente que englobam as FIR Havana, Centro-América e Panamá. Na América do Sul o risco é avaliado nas quatro ACC que abrangem as FIR Curitiba,

Brasília, Recife e setor Manaus da FIR Amazônica. Para as regiões CAR/SAM o risco é avaliado baseado nos sete ACC mencionadas. Na Tabela 9 abaixo, são apresentados os parâmetro do Modelo de Risco de Colisão Vertical Técnico.

Tabela 9 - Sumário dos Parâmetros do Modelo de Risco de Colisão Vertical

Parâmetro	Espaço Aéreo		
	CARIBE	AMÉRICA DO SUL	CAR/SAM
$P_y(0)$	0,0455	0,0462	0,0459
$P_z(1000)$	$6,6482 \times 10^{-9}$	$4,4399 \times 10^{-9}$	$7,3048 \times 10^{-9}$
$\lambda_x (MN)$	0,0217696	0,0217465	0,0217555
$\lambda_y (MN)$	0,0193178	0,0196077	0,0194945
$\lambda_z (MN)$	0,0065586	0,0066540	0,0066167
$\lambda_h (MN)$	0,0217696	0,0217465	0,0217555
$ \bar{V} (MN / h)$	469,93	442,33	453,87
$ \bar{\Delta V} (MN / h)$	20	31,32	31,31
$ \bar{y} (MN / h)$	20	20	20
$ \bar{z} (MN / h)$	1,5	1,5	1,5
$N_x(\text{oposto})$	0,6049	0,3098	0,4810
$N_x(\text{mesmo})$	0,0	0,02534	0,02528
$E_z(\text{cruzamento})$	0,1038	0,3902	0,2877
$S_x(MN)$	80	80	80

Risco de Colisão Vertical Técnico – O risco de colisão foi avaliado separadamente para as regiões do Caribe e da América do Sul e para o espaço aéreo total, conforme mostrado na Tabela 10. Foram considerados os quatro casos especificados anteriormente na determinação da função distribuição de probabilidades para TVE.

Tabela 10 - Estimativas para o Risco de Colisão Vertical Técnico para as Regiões
CAR/SAM

Caso	Caribe	América do Sul	CAR/SAM
1	$6,5723 \times 10^{-11}$	$1,8218 \times 10^{-11}$	$3,9946 \times 10^{-11}$
2	$2,6760 \times 10^{-10}$	$7,3995 \times 10^{-11}$	$1,6248 \times 10^{-10}$
3	$3,2882 \times 10^{-10}$	$9,0928 \times 10^{-11}$	$1,9966 \times 10^{-10}$
4	$3,3158 \times 10^{-10}$	$9,1695 \times 10^{-11}$	$2,0134 \times 10^{-10}$

Efeito do Crescimento do Tráfego Aéreo – A evolução do risco de colisão no período de 2004 a 2014 foi estimada, para o caso mais conservador (caso 4), para razões anuais de crescimento da frequência de passagem de 2, 4, 6 e 8 %. As projeções do risco estão mostradas nas Figuras 1, 2 e 3, abaixo. Nota-se que o risco técnico, até 2014, estará bem abaixo do limite $2,5 \times 10^{-9}$.

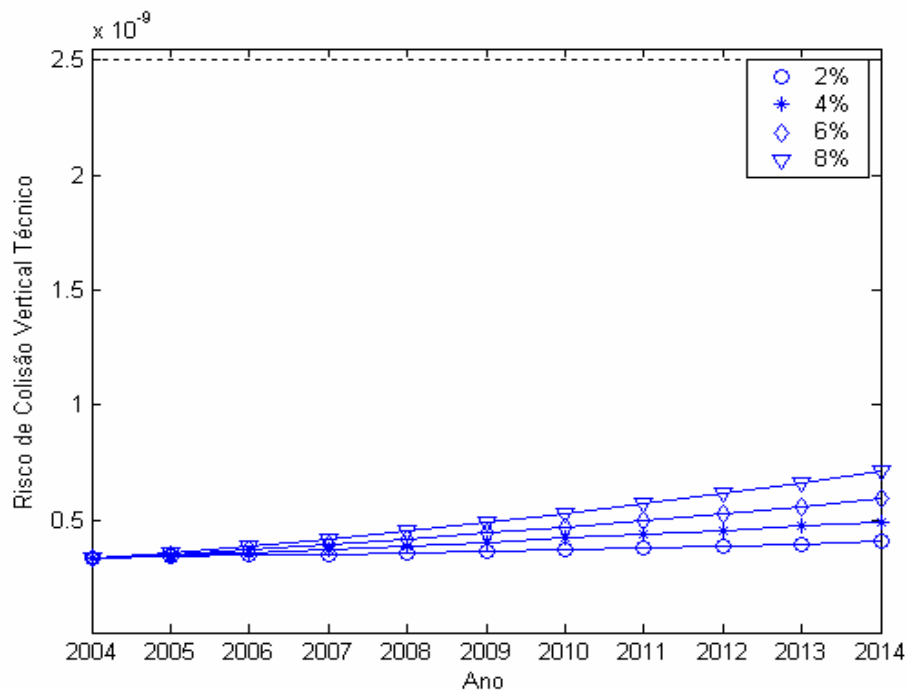


Figura 1 Projeção do Crescimento do Risco de Colisão Vertical Técnico
(Havana, Centro-América e Panamá)

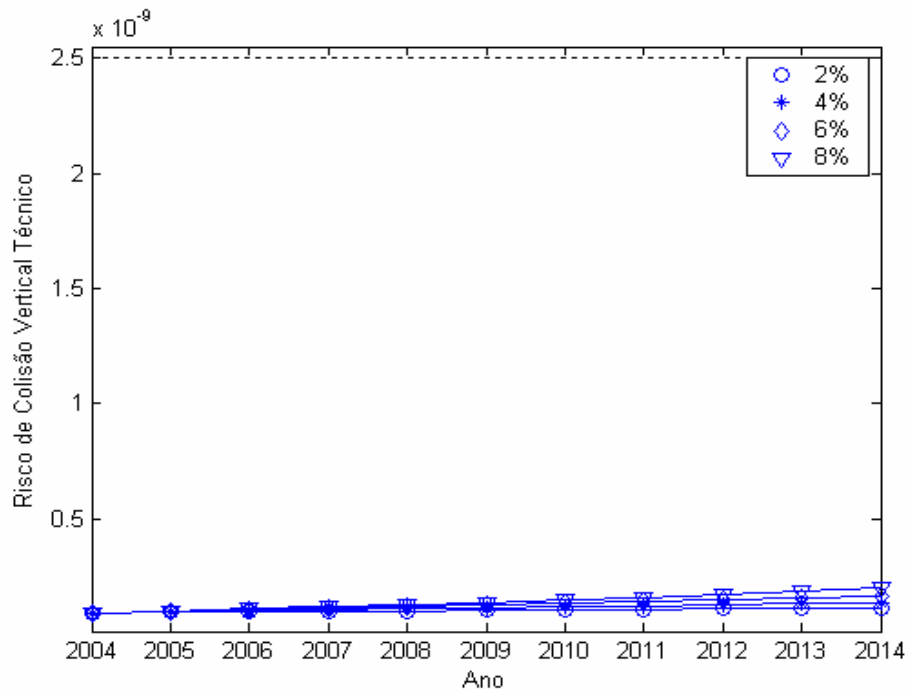


Figura 2 Projeção do Crescimento do Risco de Colisão Vertical Técnico (Curitiba, Brasília, Recife e Setor Manaus (FIR Amazônica))

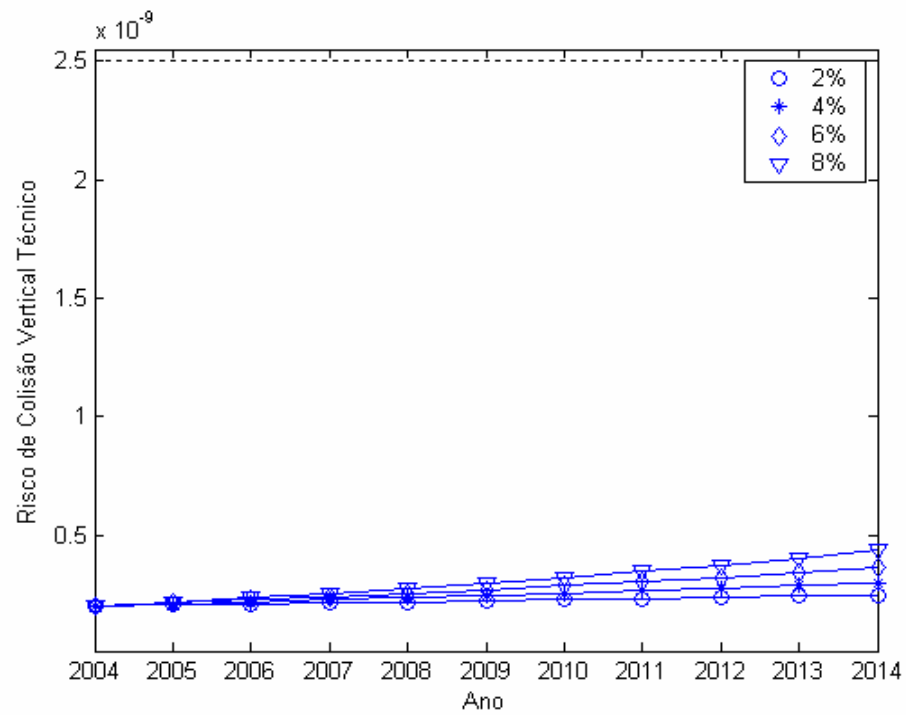


Figura 3 Projeção do Crescimento do Risco de Colisão Vertical Técnico – CAR/SAM

Risco de Colisão Técnico Após a Reunião de Lima

O número total de horas de voo do sistema considerado para as regiões CAR/SAM foi de 332.518,2 horas/ano obtido das planilhas de movimento de fluxo preenchidas corretamente. Na reunião de Lima, o grupo de trabalho decidiu por reestimar o risco de colisão baseado num tempo de voo total do sistema mais próximo da realidade. Este valor foi inferido em 763.557,6 horas de voo para as regiões CAR/SAM. O novo valor do risco técnico foi calculado apenas para o caso 4 por ser mais representativo, e apresenta-se 28 % menor do que o calculado anteriormente para as regiões CAR/SAM, conforme mostrado na Tabela 10-1, abaixo.

Tabela 10-1 - Estimativas para o Risco de Colisão Vertical Técnico para as Regiões CAR/SAM – ($T = 763.557,6$ horas/ano)

Caso	Caribe	América do Sul	CAR/SAM
4	$2,8243 \times 10^{-10}$	$6,8751 \times 10^{-11}$	$1,4538 \times 10^{-10}$

2) Avaliação e Estimação do Impacto da RVSM no Risco Devido aos Erros Operacionais e Procedimentos Contingenciais em Voo

Conforme a referência 6, os grandes erros identificados através dos relatórios de incidência podem ser devidos a procedimentos operacionais, condições meteorológicas adversas ou, ainda, a manobras de emergência por causa de falha de motor ou de pressurização, podem ser divididos em quatro tipos de grupos:

- 1) *erros de comunicação entre o órgão de controle-piloto e autorizações incorretas (D, E, e L);*
- 2) *eventos contingenciais nas aeronaves M;*
- 3) *erros devidos a efeitos meteorológicos (I);*
- 4) *ações devido ao ACAS (Sistema de Anticolisão em Voo (H)).*

Estas categorias de erros permitem que as causas sejam identificadas de uma maneira mais fácil.

2a) **Definição dos erros de acordo com as causas**

A definição dos erros de acordo com as causas deve ser baseada na classificação sugerida pelo Doc 9574¹ de acordo com decisão tomada durante a Reunião de Lima (“The Ninth Meeting/Workshop of Air Traffic Management (ATM) Authorities and Planners” (AP/ATM/9), Lima, 15-19 de Novembro de 2004). A Tabela 11 apresenta, a priori, 22 erros grandes, maiores do que 1000 pés, considerados operacionais, retirados dos relatórios de incidência enviados para a agência de monitoração regional CARSAMMA, no período de julho/2003 a julho/2004, cujos tipos e causas são descritos na Tabela 12, abaixo. Ainda, na Tabela 11, as duas últimas colunas referem-se aos números de níveis cruzados, n^{nc} , e ao número de aeronaves nivelando em nível errado, n^{ne} .

Tabela 11 Grandes Erros Operacionais na Região CAR/SAM em 2004.

data	hora	Tipo acft	AWY	Local LHD	FL	LHD	tempo (seg)	Tipo de Erro	info	FIR	State	n ^{nc}	n ^{ne}
27/07/03	08:52	A346	UL306	DIMAS	370	-4000	660	D	piloto	SOOO	SO	0	1
23/06/04	10:44	-	UM540	OSAMU	330	4000	180	D	Modo C	SBCW	SB	3	1
18/07/03	23:05	A320	UA247	BUXEX	350	-3000	120	E	piloto	SOOO	SO	0	1
03/02/04	21:30	-	UW5	-	-	-1000	20	E	nil	SBCW	SB	0	1
08/05/04	04:50	-	UW10	RESUS	350	1100	300	E	Modo C	SBRE	SB	1	1
16/06/04	18:32	-	UM788/UM792	CGR	370	-2000	90	M	Modo C	SBCW	SB	0	1
14/09/03	11:40	DC10	UG449	OTONI	350	-4000	120	L	piloto	SOOO	SO	0	1
02/04/04	06:58	B762	UG437	PML	310	4000	90	L	Modo C	MPZL	MP	0	1
08/04/04	02:05	MD88	UA303	KONRI	310	4000	90	L	info piloto	SCFZ	SC	0	1
08/04/04	23:36	B752	UG437	DUXUM	330	4000	90	L	info piloto	MPZL	MP	0	1
29/04/04	02:26	MD88	UA303	KONRI	310	4000	90	L	info piloto	SCFZ	SC	0	1
06/05/04	23:30	B763	UG437	DUXUM	330	4000	90	L	info piloto	MPZL	MP	0	1
10/05/04	20:14	MD80	UA317	TBG	350	-4000	90	L	Modo C	MPZL	MP	0	1
14/06/04	21:09	B763	UL780	BUXOS	310	4000	90	L	Modo C	MPZL	MP	0	1
04/07/04	00:36	A346	UIR SOOO/SBAO	0500S/04000W	330	4000	300	L	Info Piloto	SOOO	SO	0	1
12/07/04	16:37	-	UA314	ETANO	310	4000	300	L	Modo C	SBCW	SB	0	1
14/07/04	07:01	B763	UL302	IREMI	350	4000	1800	L	Info Piloto	SCFZ	SC	0	1
14/07/04	22:25	B737	UM525	BITIX	350	4000	90	L	Modo C	MPZL	MP	0	1
14/07/04	23:42	B737	UA552	FALLA	330	4000	90	L	Modo C	MPZL	MP	0	1
20/07/04	15:02	B737	UA317	BUFEO	370	4000	90	L	Info Piloto	MPZL	MP	0	1
22/07/04	05:53	-	UA308	MLO	330	-4000	90	L	Modo C	SBCW	SB	0	1
28/07/04	20:02	B763	UL780	BUXOS	310	4000	90	L	Modo C	MPZL	MP	0	1
Total							4970					4	22

Tabela 12 Classificação dos Grandes Desvios de Altitude Recebidos.

Tipo de Erro	Causa
D	Falha ao Subir/Descer quando autorizado
E	Subir/Descer sem autorização do órgão ATC
M	Desvio devido a falha de equipamento
L	Erro nas mensagens de transição entre unidades de ATC

Foram recebidos quatro erros devido ao ACAS (TCAS). Esta categoria de desvios inclui os desvios de altura causados pelos Avisos de Resolução do TCAS (Erro do Tipo H). Estes tipos de erros normalmente não envolvem números inteiros de níveis de vôo (maiores do que 300 pés e menores do que 1000 pés).

2b) Classificação dos erros para finalidade de avaliação

As causas dos grupos de erros dos tipos 1 e 2 foram re-classificadas, pelo grupo de trabalho SAM/WG, durante a Reunião de Lima. A revisão da classificação dos erros operacionais foi feita com vistas de representantes da IATA, IFALPA, EUA, OACI (México), Peru e Haiti. Desta forma, considerando os dois eventos para propósito de avaliação, tem-se, para o período de agosto/2003 a julho/2004:

- *aeronave nivelando em nível errado;*

De acordo com a Tabela 11, na análise precedente, 22 aeronaves foram consideradas nivelando em nível errado, totalizando 4970 segundos, com a média do tempo em nível errado de 0,0627 horas. Durante a nova análise de reclassificação dos dados, o Grupo de Trabalho foi informado que os LHD ocorridos na FIR Panamá tinham os tempos de duração em nível errado iguais a zero. Portanto, dos 4 970 segundos considerados anteriormente, foram descontados 810 segundos referentes aos LHD do Panamá, resultando em 4.160 segundos, conforme Tabela 12-1. Para efeito de avaliação do risco, deverão ser considerados os erros ocorridos em 12 meses, ou seja, de

agosto/2003 a julho/2004. Sendo assim, os LHD do mês de Julho de 2003 não serão computados, resultando no tempo total gasto em nível errado de 3.380 segundos. O número total de aeronaves nivelando em nível errado resultou em 11, sendo que duas delas nivelaram em nível errado (em fevereiro e maio/2004) no sentido oposto ao fluxo de tráfego. Portanto

- tempo de vôo gasto em nível errado no mesmo sentido do fluxo de tráfego $t_{mesmo}^{ne} = 3.060$ segs
- tempo de vôo gasto em nível errado no sentido oposto ao fluxo de tráfego $t_{oposto}^{ne} = 320$ segs
- tempo total gasto em nível errado $t_t^{ne} = 3.380$ segs.
- *aeronave subindo/descendo através de um nível de vôo.*

De acordo com a Tabela 11, ocorreram 4 cruzamentos de níveis sem autorização. No entanto, após a nova análise, o Grupo de Trabalho re-classificou o LHD de 1100 pés ocorrido na FIR Recife, como sem cruzamento de nível, resultando em apenas 3 cruzamentos de níveis sem autorização, sendo 2 cruzamentos no mesmo sentido e um no sentido contrário ao movimento do fluxo (Tabela 12-1).

Todos os desvios devido a efeitos meteorológicos não severos (acima de 300 pés e abaixo de 1000 pés) foram considerados na distribuição AAD.

Tabela 12-1 Revisão dos Grandes Erros Operacionais na Região CAR/SAM em 2004.

data	hora	Tipo acft	AWY	Local LHD	FL	LHD	tempo (seg)	Tipo de Erro	info	FIR	State	n ^{nc}	n ^{ne}
18/07/03	23:05	A320	UA247	BUXEX	350	-3000	120	E	piloto	S000	SO	0	1
27/07/03	08:52	A346	UL306	DIMAS	370	-4000	660	D	piloto	S000	SO	0	1
14/09/03	11:40	DC10	UG449	OTONI	350	-4000	120	L	piloto	S000	SO	0	1
03/02/04	21:30	-	UW5	-	-	-1000	20	E	nil	SBCW	SB	0	1
08/04/04	02:05	MD88	UA303	KONRI	310	4000	90	L	info piloto	SCFZ	SC	0	1
29/04/04	02:26	MD88	UA303	KONRI	310	4000	90	L	info piloto	SCFZ	SC	0	1
08/05/04	04:50	-	UW10	RESUS	350	1100	300	E	Modo C	SBRE	SB	0	1
16/06/04	18:32	-	UM788/UM792	CGR	370	-2000	90	M	Modo C	SBCW	SB	0	1
23/06/04	10:44	-	UM540	OSAMU	330	4000	180	D	Modo C	SBCW	SB	3	1
04/07/04	00:36	A346	UIR S000/SBAO	0500S/04000W	330	4000	300	L	Info Piloto	S000	SO	0	1
12/07/04	16:37	-	UA314	ETANO	310	4000	300	L	Modo C	SBCW	SB	0	1
14/07/04	07:01	B763	UL302	IREMI	350	4000	1800	L	Info Piloto	SCFZ	SC	0	1
22/07/04	05:53	-	UA308	MLO	330	-4000	90	L	Modo C	SBCW	SB	0	1
Total							4160					3	13

Os desvios devido ao ACAS (TCAS) foram classificados e tratados especificamente, de acordo com um modelo próprio. Para tal, foi construída uma distribuição constituída de desempenho típico e atípico devidos aos desvios ACAS, utilizando o mesmo modelo da forma de uma dupla exponencial da mesma maneira como foi feito para a distribuição AAD. Neste caso, os dados de desempenho atípico do NAT (Caso 3) foram substituídos pelos erros devidos ao ACAS coletados nas regiões CAR/SAM, e foi feito um novo ajuste para a função distribuição $f_{ACAS}^{AAD}(a)$. A densidade $f_{ACAS}^{AAD}(a)$ foi convoluída com a densidade $f^{ASE}(a)$ para dar uma densidade $f_{ACAS}^{TVE}(z)$ e finalmente, produzir uma estimativa da probabilidade de superposição vertical devido ao ACAS, $P_z(S_z)_{ACAS}$, que induziu os grandes erros.

2c) Determinação dos valores apropriados dos parâmetros para cada grupo de erros classificado

Os cálculos foram feitos utilizando o modelo de Reich, levando em conta o sentido do fluxo do movimento no nível onde a aeronave nivela indevidamente ou cruza sem autorização.

1) aeronave nivelando em nível errado

$$P_z^{ne}(S_z)_{mesmo} = P_z(0) \times Q_{mesmo} \quad \text{e} \quad P_z^{ne}(S_z)_{oposto} = P_z(0) \times Q_{oposto} ,$$

onde

$$Q_{mesmo} = \frac{t_{mesmo}^{ne}}{T} \quad (\text{proporção de tempo gasto em nível errado-mesmo sentido}),$$

e

$$Q_{oposto} = \frac{t_{oposto}^{ne}}{T} \quad (\text{proporção de tempo gasto em nível errado-sentido oposto}).$$

Então, a equação do risco devido ao tempo gasto em níveis incorretos pode ser reescrita da seguinte forma

$$N_{az}^{ne} = P_y(0) \frac{\lambda_x}{S_x} \left\{ \begin{array}{l} P_z^{ne}(S_z)_{mesmo} E_z(mesmo) \left[\frac{|\Delta V|}{2\lambda_x} + \frac{|y|}{2\lambda_y} + \frac{|z|}{2\lambda_z} \right] + \\ P_z^{ne}(S_z)_{oposto} E_z(oposto) \left[\frac{2|\bar{V}|}{2\lambda_x} + \frac{|y|}{2\lambda_y} + \frac{|z|}{2\lambda_z} \right] \end{array} \right\} + N_{cruz}^{ne}.$$

2) aeronave cruzando nível sem autorização

$$P_z^{nc}(S_z)_{mesmo} = \frac{n_{mesmo}^{nc} \frac{2\lambda_z}{|\dot{z}_c|}}{T} \text{ e } P_z^{nc}(S_z)_{oposto} = \frac{n_{oposto}^{nc} \frac{2\lambda_z}{|\dot{z}_c|}}{T},$$

e a equação do risco devido a níveis cruzados sem autorização;

$$N_{az}^{nc} = P_y(0) \left\{ \begin{array}{l} P_z^{nc}(S_z)_{mesmo} E_z(mesmo) \left[\frac{|\Delta V|}{2\lambda_x} + \frac{|y|}{2\lambda_y} + \frac{|z|}{2\lambda_z} \right] + \\ P_z^{nc}(S_z)_{oposto} E_z(oposto) \left[\frac{2|\bar{V}|}{2\lambda_x} + \frac{|y|}{2\lambda_y} + \frac{|z|}{2\lambda_z} \right] \end{array} \right\} + N_{cruz}^{nc}.$$

Este é o modelo adotado pela CARSAMMA , por levar em conta a ponderação dos tempos nos sentidos contrário e coincidente com o movimento de tráfego aéreo.

Os cálculos foram feitos separadamente por sub-regiões (Caribe (CAR) e América do Sul (SAM)) e para o espaço aéreo completo CAR/SAM. Os erros LHD obtidos dos relatórios de incidentes foram homogeneizados para todo o espaço aéreo. Os erros LHD para cada sub-região foram considerados proporcionalmente ao tempo total de vôo correspondente, o que resulta em 39 % dos erros LHD para sub-região CAR e 61 % para sub-região SAM (Tabela 13). A taxa de subida/descida $|\dot{z}_c|$, foi considerada como sendo a velocidade NORMAL de subida de 10 nós, ao invés de 2 nós, admitida anteriormente.

Tabela 13 Dados dos Erros Operacionais

PARÂMETRO	CAR	SAM	CAR/SAM
n^{ne}	$0,39 \times 11$	$0,61 \times 11$	<i>11</i>
n_{mesmo}^{ne}	$0,39 \times 9$	$0,61 \times 9$	<i>9</i>
n_{oposto}^{ne}	$0,39 \times 2$	$0,61 \times 2$	<i>2</i>
n_{mesmo}^{nc}	$0,39 \times 1$	$0,61 \times 1$	<i>1</i>
n_{oposto}^{nc}	$0,39 \times 2$	$0,61 \times 2$	<i>2</i>
n^{nc}	$0,39 \times 3$	$0,61 \times 3$	<i>3</i>
\bar{t}_t^{ne}	<i>0,08535 h</i>	<i>0,08535 h</i>	<i>0,08535 h</i>
\bar{t}_{mesmo}^{ne}	<i>0,0944 h</i>	<i>0,0944 h</i>	<i>0,0944 h</i>
\bar{t}_{oposto}^{ne}	<i>0,0444 h</i>	<i>0,0444 h</i>	<i>0,0444 h</i>
t_{mesmo}^{ne}	<i>19,89 min</i>	<i>31,11 min</i>	<i>51,00 min</i>
t_{oposto}^{ne}	<i>2,08 min</i>	<i>3,25 min</i>	<i>5,33 min</i>
t_t^{ne}	<i>21,97 min</i>	<i>34,36 min</i>	<i>56,33 min</i>
$\left \bar{z}_c \right $	<i>10 nós</i>	<i>10 nós</i>	<i>10 nós</i>

Na Tabela 14, abaixo, constam os parâmetros dos grupos de erros classificados de acordo com a aplicação, para as regiões do Caribe, América do Sul e região total CAR/SAM, onde: $P_z^{ne}(1000)$ é a probabilidade superposição vertical devido a aeronave nivelar em nível errado; $P_z^{nc}(1000)$ é a probabilidade de superposição vertical devido a aeronave cruzar um nível sem autorização; e $P_z^{ACAS}(1000)$ é a probabilidade de superposição vertical devido ao ACAS. Os parâmetros, α^{ne} e α^{nc} , referem-se às taxas de erros para aeronave nivelando em nível errado e cruzando um nível de vôo sem autorização, respectivamente. O produto $\alpha^{ne} \times \bar{t}^{ne}$ é a proporção de tempo de vôo total gasto em nível errado.

Tabela 14 Parâmetros dos Grupos de Erros Operacionais Classificados

PARÂMETRO	CAR	SAM	CAR/SAM
T (horas)	297.787,46	465.770,14	763.557,6
α^{ne}	$1,4406 \times 10^{-5}$	$1,4406 \times 10^{-5}$	$1,4406 \times 10^{-5}$
α_{mesmo}^{ne}	$1,1787 \times 10^{-5}$	$1,1787 \times 10^{-5}$	$1,1787 \times 10^{-5}$
α_{oposto}^{ne}	$2,6193 \times 10^{-6}$	$2,6193 \times 10^{-6}$	$2,6193 \times 10^{-6}$
α^{nc}	$3,9290 \times 10^{-6}$	$3,9290 \times 10^{-6}$	$3,9290 \times 10^{-6}$
α_{mesmo}^{nc}	$1,3097 \times 10^{-6}$	$1,3097 \times 10^{-6}$	$1,3097 \times 10^{-6}$
α_{oposto}^{nc}	$2,6193 \times 10^{-6}$	$2,6193 \times 10^{-6}$	$2,6193 \times 10^{-6}$
Q_{mesmo}	$1,2363 \times 10^{-7}$	$1,2363 \times 10^{-7}$	$1,2363 \times 10^{-7}$
Q_{oposto}	$5,8149 \times 10^{-8}$	$5,8149 \times 10^{-8}$	$5,8149 \times 10^{-8}$
$Q = \alpha^{ne} \times \bar{t}^{ne}$	$1,2296 \times 10^{-6}$	$1,2296 \times 10^{-6}$	$1,2296 \times 10^{-6}$
$P_z(0)$	0,423	0,414	0,414
$P_z^{ne}(1000)$	$1,1944 \times 10^{-6}$	$1,1688 \times 10^{-6}$	$1,1689 \times 10^{-6}$
$P_z^{ne}(1000)_{mesmo}$	$5,2295 \times 10^{-8}$	$5,1183 \times 10^{-8}$	$5,1183 \times 10^{-8}$
$P_z^{ne}(1000)_{oposto}$	$2,4597 \times 10^{-8}$	$2,4074 \times 10^{-8}$	$2,4074 \times 10^{-8}$
$P_z^{nc}(1000)$	$5,1537 \times 10^{-9}$	$5,2287 \times 10^{-9}$	$5,1994 \times 10^{-9}$
$P_z^{nc}(1000)_{mesmo}$	$1,7179 \times 10^{-9}$	$1,7429 \times 10^{-9}$	$1,7331 \times 10^{-9}$
$P_z^{nc}(1000)_{oposto}$	$3,4358 \times 10^{-9}$	$3,4858 \times 10^{-9}$	$3,4662 \times 10^{-9}$
$P_z^{ACAS}(1000)$	$6,2672 \times 10^{-9}$	$2,5072 \times 10^{-9}$	$4,0122 \times 10^{-9}$

2d) Estimação do risco de colisão total

O risco de colisão vertical é calculado com o modelo de risco de colisão de Reich associado com cada grupo de tipos de grandes erros, conforme apresentado na Tabela 15.

- N_{az}^{tec} é o risco vertical técnico;
- N_{az}^{ne} é o risco vertical devido ao nivelamento de uma aeronave em um nível errado;
- N_{az}^{nc} é o risco vertical devido à aeronave cruzar um nível de vôo sem autorização;
- N_{az}^{ACAS} é o risco vertical devido aos incidentes relacionados ao Sistema de Anticolisão em Vôo (da Aeronave); e
- N_{az} risco de colisão vertical devido a todas as causas ou risco total.

Tabela 15 Riscos de Colisão para as regiões CAR/SAM
Método CARSAMMA

Modelo de Risco	CAR	SAM	CAR/SAM	TLS
N_{az}^{Tec}	$2,8 \times 10^{-10}$	$6,9 \times 10^{-11}$	$1,5 \times 10^{-10}$	$5,0 \times 10^{-9}$
N_{az}^{ACAS}	$1,8 \times 10^{-10}$	$5,2 \times 10^{-11}$	$1,1 \times 10^{-10}$	
N_{az}^{ne}	$1,7 \times 10^{-9}$	$3,6 \times 10^{-9}$	$3,4 \times 10^{-9}$	
N_{az}^{nc}	$1,1 \times 10^{-10}$	$7,5 \times 10^{-11}$	$9,6 \times 10^{-11}$	
N_{az}^{Total}	$2,2 \times 10^{-9}$	$3,8 \times 10^{-9}$	$3,7 \times 10^{-9}$	

O método aplicado pela CARSAMMA para este tempo total de vôo do sistema, considerado mais próximo da realidade, proporciona estimativas de risco cujos valores situam-se abaixo do Nível Desejado de Segurança de $5,0 \times 10^{-9}$.

2e) Determinação da proporção máxima de tempo que uma aeronave pode gastar em um nível de vôo incorreto, 300 m (1000 pés), ou múltiplos, fora do nível de vôo autorizado, quando voando na mesma direção e sentido de um tráfego no citado nível de vôo.

A proporção de tempo que uma aeronave gasta em um nível de vôo incorreto é definida pelo produto da taxa de erro para aeronave nivelando em nível errado, α^{ne} , e o tempo médio de permanência em nível errado, \bar{t}_{ne} , ou seja, $\alpha^{ne} \times \bar{t}_{ne}$.

Admitindo o Nível de Segurança Desejado, TLS , como o valor do risco total, mantendo os valores obtidos para os riscos técnico e devido ao ACAS, a partir dos dados coletados, a proporção máxima de tempo que uma aeronave pode gastar em um nível de vôo incorreto, as taxas de erros e tolerâncias máximas são estimadas e mostradas na Tabela 16, para uma taxa de subida/descida de 10 nós.

Tabela 16 Taxas de Erro, Proporção de Tempo, Tolerâncias Máximas em Número de Cruzamentos de Nível e Tempo de Permanência em Nível Errado por Ano

Parâmetro	CAR	SAM	CAR/SAM
<i>Tempo de vôo Total no Ano (hr)²</i>	297.787,46	465.770,14	763.557,6
α_{\max}^{ne}	$4,3896 \times 10^{-6}$	$6,7782 \times 10^{-6}$	$4,9447 \times 10^{-6}$
α_{\max}^{nc}	$1,1627 \times 10^{-4}$	$1,6471 \times 10^{-4}$	$1,2205 \times 10^{-4}$
$\alpha_{\max}^{ne} \times \bar{t}^{ne}$	$3,7465 \times 10^{-7}$	$5,7852 \times 10^{-7}$	$4,3816 \times 10^{-7}$
$t_{\max}^{ne} (s / ano)$	401,64	970,04	1.160,08
$n_{\max}^{nc} (por / ano)$	35	77	93

2f) Medidas adicionais de segurança.

Conforme pode ser notado na Tabela 16, de acordo com o atual nível de tráfego para as regiões CAR/SAM, pode-se tolerar cerca de 1160 segundos por ano de aeronave nivelando em um nível errado, considerando que nenhuma aeronave cruze qualquer nível de vôo sem autorização, sem exceder o limite *TLS*. Ou, de outra forma, considerando que não exista nenhuma aeronave nivelando em nível errado, pode-se tolerar até 93 níveis cruzados sem autorização, a uma taxa de subida/descida de 10 nós, também sem exceder o limite *TLS*.

Para reduzir o risco serão necessárias medidas corretivas efetivas, no sentido de diminuir o tempo de permanência em nível errado e o número de níveis de vôo cruzados sem autorização. As medidas corretivas devem ser tomadas visando eliminar as causas específicas dos **erros de comunicação entre o órgão de controle-piloto e autorizações incorretas ou a eventos contingenciais em aeronaves.**

2g) Risco total após tomar as medidas adicionais de segurança

É aconselhável, porém não imperativo, que as ações corretivas apropriadas e viáveis resultem em valores do risco de colisão que não excedam o *TLS*, quando estimados com o modelo original por ser conservativo.

Conclusões

A frequência de passagem máxima dá uma indicação da localização, onde potencialmente, pode ocorrer o risco máximo. O pico para $N_x(\text{oposto})$ da região ocorreu na FIR Havana (MUFH), no trecho URSUS-UCA da aerovia UA301, e seu valor foi de 2,673. O segundo pico mais alto para $N_x(\text{oposto})$ ocorreu na FIR Recife, no trecho SAGAZ-LIBRA na aerovia UW58 com o valor de 2,073.

O número total de horas voadas consideradas para as análises de avaliação do risco para as regiões CAR/SAM corresponde ao total de horas de vôo das FIR Havana, Centro-América e Panamá, da região do Caribe, juntamente com as FIR Curitiba, Brasília, Recife e mais o setor Manaus da FIR Amazônica da região da América do Sul. Em resumo, a região SAM contribuiu com 61 % do total de horas de vôo e a região CAR com 39 %.

A avaliação da probabilidade de superposição lateral, $P_y(0) = 0,0459$, foi feita baseada num modelo dado por uma distribuição analítica descrita por uma função dupla exponencial por falta de dados sobre desvios laterais. Em consequência, na próxima fase de avaliação da RVSM deverá ser efetuada a supervisão deste parâmetro através da coleta dos desvios laterais, de acordo com um programa de monitoração.

Embora não tenham sido utilizados dados sobre desvios verticais integralmente obtidos das regiões CAR/SAM para determinar a função distribuição de probabilidades para TVE , as considerações cumulativas tomando os desvios típicos e atípicos obtidos da região do espaço aéreo do NAT, mais os desvios atípicos coletados nas regiões CAR/SAM, constituem uma aproximação conservativa para o cálculo da probabilidade de superposição vertical. O valor obtido está abaixo do limite estabelecido, no entanto, como medida necessária e pertinente, a verificação da probabilidade deverá ser feita através de coletas programadas dos desvios típicos e atípicos ocorridos nas regiões CAR/SAM.

Todas as proporções de TVE são satisfeitas simultaneamente, demonstrando que a especificação de desempenho de manutenção de altitude global poderá estar de

acordo, tendo em vista as ideais condições de transferência dos dados sobre desvios, fornecidos e garantidos pela agência de monitoração central (CMA) do NAT.

Os critérios MASPS não foram verificados nesta fase por falta de um programa de monitoração.

Com relação a identificação das causas da inconsistência dos erros de manutenção de altura: as causas dos desvios correspondem a turbulências atmosféricas e outros possíveis erros técnicos de voo, como falhas de piloto automático, ou ainda, a certas condições operacionais de controle de tráfego aéreo não identificadas nos relatórios de incidentes.

O risco de colisão vertical técnico foi avaliado separadamente para as regiões do Caribe, da América do Sul e para todo o espaço aéreo das regiões CAR/SAM. Todos os casos considerados, incluindo o mais conservador, estão abaixo do *TLS*. O risco técnico para a região CAR é aproximadamente 4 vezes maior do que o risco para a região SAM.

A avaliação do crescimento do risco técnico para as regiões CAR/SAM, devido ao crescimento do tráfego aéreo, foi realizada para razões de crescimento anual de: 2, 4, 6, e 8 % ao ano, até 2014. As projeções mostram que o risco técnico, até 2014, estará bem abaixo do limite *TLS* de $2,5 \times 10^{-9}$.

Os principais erros operacionais (LHD) coletados nas regiões CAR/SAM no período de julho/2003 a julho/2004, dizem respeito às falhas de comunicação entre o órgão de controle-piloto e autorizações incorretas e eventos contingenciais nas aeronaves. Mais especificamente, as causas dos erros referem-se a: falha ao subir/descer quando autorizado; subir/descer sem autorização do órgão ATC; desvio devido a falha de equipamento; e, erro em mensagens de transição entre unidades ATC.

Após a Nona Reunião/Oficina de Trabalho de Autoridades e Planejadores ATM para Implantação RVSM nas Regiões CAR/SAM, organizada pela OACI em Lima, a reclassificação dos erros operacionais para finalidade de avaliação resultou em: 11 aeronaves nivelando em nível errado, totalizando 3.380 segundos, sendo 3.060

segundos em nível errado no mesmo sentido do movimento do fluxo, e 320 segundos em sentido contrário, 3 cruzamentos de nível de vôo sem autorização (dois no mesmo sentido e um no sentido contrário); e, quatro desvios devido ao ACAS. Todos os desvios devidos a efeitos meteorológicos não severos (acima de 300 pés e abaixo de 1000 pés) continuaram sendo considerados no desempenho AAD atípico.

Os resultados para os riscos de colisão, técnico, operacional e total para as regiões CAR/SAM, apresentados na Reunião de Lima, são mostrados na Tabela 17-1.

Tabela 17-1 Riscos de Colisão Apresentados em Lima

Risco Técnico	Risco Operacional	Risco Total
$2,0 \times 10^{-10}$	$4,88 \times 10^{-8}$	$4,9 \times 10^{-8}$

Os dados e parâmetros que levaram a estes resultados, obtidos da maneira mais conservativa possível, foram analisados detalhadamente pelo grupo de trabalho SAM/WG, cujas medidas, comentários e conclusões são transcritos, abaixo, integralmente do Relatório Final (AP/ATM/9 RVSM).

3.4 *Safety assessment*

3.4.1 *The meeting was informed that the SAM/WG analysed the summary of the safety assessment and verified all the parameters.*

3.4.2 *It was verified that even using a conservative approach of considering the typical and atypical AAD from the NAT Region, added with the atypical AAD from the CARSAM Region the technical vertical collision risk is well below the TLS of 2.5×10^{-9} . Its value is 2.0×10^{-10}*

3.4.3 *Analyzing the operational collision risk, the group took note of the methodology used and verified that the biggest part of the collision risk in the CARSAM Region comes from the errors that cause deviations from the cleared flight level of 1000ft or more, having the coordination errors between ATC Units as the major responsible for the risk.*

3.4.4 *The meeting remarked that to solve the main cause of the risk it is necessary that States take effective actions to reduce the errors in transition messages between ATC Units as a matter of urgency.*

3.4.5 *Additionally, the meeting took note that the SAM/WG reviewed parameters of the calculations using more realistic data provided by the meeting. One of the*

parameters changed was the average vertical speed for the aircraft's that climb/descend without ATC clearance or due to pilot-ATC loop errors. This parameter was considered as being 10Kt, instead of the 2 Kt used in the first analysis.

3.4.6 The LHD table presented was analyzed and a deviation occurred in the Recife FIR of 1100 ft above the cleared flight level was reclassified, according to the discussions, and considered only in the risk analysis of aircraft's leveling in wrong flight level because it didn't cross any FL.

3.4.7 The meeting was informed that when establishing the time spent in incorrect flight levels for those LHD reports without that time, CARSAMMA assumed a default value of 90 seconds after analysis with experts of ATC and mathematics area, as well as experience from other Regions. Likewise, that those deviations from Panama, and considered by CARSAMMA, as not having the duration of the deviation due to an hyphen in the field for time in the LHD form was in reality 0 (zero) seconds. Considering that, the calculations related to the operational risk were reviewed and in all the 9 cases where 90 seconds appeared were replaced by to 0 seconds.

3.4.8 Another consideration was that the analysis of the LHD considered in the calculations of the operational risk has demonstrated that the great majority of the deviations conducted the aircraft to a wrong flight level but in the correct direction of the traffic flow according to the FL Cruising table except for 3 LHD. Considering that, the group analyzed the influence of those errors in a separate way, using weighting factors to take into account that fact. After the analysis a new operational and total risk was generated. The final results for those risks are expressed in the table below.

Technical Risk	Operational Risk	Total Risk
$2,0107 \times 10^{-10}$	$2,679 \times 10^{-9}$	$2,88 \times 10^{-9}$

3.4.9 The final and complete report on airspace safety assessment for the CAR/SAM Regions shall be included in the CARSAMMA web page.

3.4.10 Considering the above, the meeting concluded that:

Conclusion AP/ATM/9/9 Safety Assessment

The CAR/SAM Regions FIRs airspace has a vertical collision risk below the TLS agreed and based on that CAR/SAM States/Territories/International Organizations should continue the actions to implement the RVSM as planned.

3.5 *Considering the need to have a good picture of the operations just after the RVSM implementation, the meeting agreed the following:*

Conclusion AP/ATM/9/10

Data Collection

Brazil, COCESNA, Cuba and Panama must do a new 15 days data collection from 13 to 26 February 2005 and the data shall be sent to CARSAMMA not later than 30 March to permit the analysis to be done and presented in the first follow on monitoring meeting in 2005.

Embora o grupo de trabalho tenha analisado detalhadamente os parâmetros necessários para gerar o risco operacional, os cálculos efetuados durante a reunião em Lima ainda foram aproximados em virtude do mínimo tempo disponível para isso. A ponderação do risco de colisão devido aos cruzamentos de níveis sem autorização nos sentidos, coincidente e contrário, ao movimento do fluxo não foi considerada. Além disso, a frequência de ocorrência (α) dos grandes desvios verticais técnicos maiores do que 300 pés e menores do que 1000 pés não foi recalculada em função do novo tempo de vôo total do sistema determinado pelo grupo, mantendo o risco técnico no mesmo valor. Portanto, após a Reunião de Lima, os riscos foram recalculados novamente levando em conta todos os fatores possíveis, e conforme pode ser notado na Tabela abaixo, o risco total situa-se abaixo do limite máximo permitido ($TLS = 5,0 \times 10^{-9}$).

Tabela 17-2 Riscos de Colisão Recalculados Pós Reunião de Lima

Risco Técnico	Risco Operacional	Risco Total
$1,4538 \times 10^{-10}$	$3,589 \times 10^{-9}$	$3,7344 \times 10^{-9}$

De acordo com a nova proporção máxima de tempo que uma aeronave pode gastar em um nível de vôo incorreto, pode-se tolerar cerca de 1160 segundos por ano de aeronave nivelando em um nível errado, considerando que nenhuma aeronave cruze qualquer nível de vôo sem autorização, sem exceder o limite TLS de $5,0 \times 10^{-9}$. Ou de outra forma, considerando que não exista nenhuma aeronave nivelando em nível errado,

pode-se tolerar até 93 níveis cruzados sem autorização, a uma taxa de subida/descida de 10 nós, também sem exceder o limite *TLS*.

Recomendações

As recomendações descritas nesta seção têm como objetivo auxiliar nos esforços que deverão ser envidados nos próximos trabalhos de avaliação do risco de colisão durante a fase de monitoração pós-implementação.

Dados Sobre o Fluxo de Tráfego – Dados recebidos de vários estados não puderam ser aproveitados por diferentes razões, desde o não entendimento de como os dados devem ser transcritos nas planilhas até erros de digitação e, principalmente, inconsistência de dados. É aconselhável que antes da coleta de dados, um procedimento de treinamento de como preencher a planilha seja adotado.

Frequência de Passagem - A frequência de passagem (ou ocupação) dá indicações do fluxo de tráfego da região. Constitui um dos três principais parâmetros na estimativa do risco, sendo os outros dois a probabilidade de superposição lateral e a probabilidade de superposição vertical. Através da identificação das mais altas frequências de passagem é que se permite estabelecer as regiões com maior probabilidade de colisão entre aeronaves, e consolidá-las como as mais representativas para as análises do risco. Estas regiões devem ser cobertas por três centros de controle de área (ACC), uma condição de contorno sugerida pelo manual de implementação da RVSM /1/ para facilitar a escolha do espaço aéreo onde serão estimadas as frequências de passagens para a avaliação do risco que representará o risco na região inteira.

Dados Sobre os Desvios Verticais Técnicos – Deve ser feito um esforço de planejamento para definir a melhor metodologia de coleta de dados sobre desvios verticais técnicos.

Dados Sobre os Desvios Verticais Devidos a Erros Operacionais – A informação sobre estes tipos de eventos é obtida via ATC ou reportes do piloto. infelizmente dados importantes sobre estes desvios como, número de níveis cruzados, tempo de permanência em nível não autorizado, raramente são reportados. Como estes

desvios são conseqüências de erros ou ações emergenciais, um plano de trabalho deve ser elaborado em conjunto com o grupo de trabalho de operações do controle de tráfego aéreo explorando a atividade que lhe é atribuída de “auxiliar o grupo SAM/WG com um mecanismo de desenvolvimento para recebimento, coleta e análise das informações relacionadas aos erros operacionais”.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	44
1.1 Objetivo	44
1.2 Escopo	44
1.3 Objetivos de Segurança da RVSM	46
1.4 Objetivos Parciais - Metas	46
2 DESCRIÇÃO DO ESPAÇO AÉREO	49
2.1 Espaço Aéreo	49
2.2 Descrição das Rotas e Fluxos de Tráfego	49
2.3 Serviços de Tráfego Aéreo e Procedimentos	51
2.4 População de Aeronaves	51
2.5 Coleta de Dados	54
2.6 Número de Vôos	54
3 AVALIAÇÃO DO RISCO DE COLISÃO	57
3.1 Estimativa do Risco de Colisão Vertical Técnico	57
3.1.1 Probabilidade de Superposição Vertical	61
3.1.1.1 A Modelagem da Distribuição ASE	63
3.1.1.2 A Modelagem da Distribuição AAD	69
3.1.1.3 Distribuição TVE Resultante	73
3.1.2 Especificação de Desempenho Total de Manutenção de Altitude	76
3.1.3 Frequência de Passagem	80
3.1.4 Probabilidade de Superposição Lateral	85
3.1.5 Características e Parâmetros Operacionais das Aeronaves	87
3.1.6 Risco Vertical Técnico	90
3.1.7 Efeito do Crescimento do Tráfego	91
3.1.8 Risco de Colisão Técnico Após a Reunião de Lima	93
3.2 Avaliação do Risco de Colisão Vertical Devido a Erros Operacionais	93
3.2.1 Modelos de Risco de Colisão Vertical Devido a Erros Operacionais	97
3.2.1.1 Modelo de Risco para Aeronave Nivelando em um Nível Errado (NE)	99
3.2.1.2 Modelo de Risco para Aeronave Subindo ou Descendo através de um Nível de Vôo (SDN)	101
3.2.1.3 Modelo de Risco para Aeronave Desviando em Resposta ao ACAS (TCAS)	103
3.3 Risco Vertical Devido a Todas as Causas	104
3.3.1 Avaliação e Estimação do Impacto da RVSM no Risco Devido aos Erros Operacionais e Procedimentos Contingenciais em Vôo	107
3.3.1.1 Definição dos Erros de Acordo com as Causas	107
3.3.1.2 Classificação dos Erros para Finalidade de Avaliação	109
3.3.1.3 Determinação dos Valores Apropriados dos Parâmetros para cada Grupo de Erros Classificado	112
3.3.1.4 Estimação do Risco de Colisão Total	118

3.3.1.5 Determinação da Proporção Máxima de Tempo que uma Aeronave Pode Gastar em um Nível de Vôo Incorreto, 300 M (1000 Pés), ou Múltiplos, Fora do Nível de Vôo Autorizado, Quando Voando na Mesma Direção e Sentido de um Tráfego no Citado Nível de Vôo.	123
3.3.1.6 Medidas adicionais de segurança.	124
3.3.1.7 Risco Total Após Tomar as Medidas Adicionais de Segurança	125
4 CONCLUSÕES	126
5 RECOMENDAÇÕES	132
6 REFERÊNCIAS	134
APÊNDICE A	138
APÊNDICE B	155
APÊNDICE C	157
APÊNDICE D	168
APÊNDICE D-I	180
APÊNDICE D-II	193
APÊNDICE D-III	204
APÊNDICE D-IV	227
APÊNDICE D-V	228
APÊNDICE E	232
APÊNDICE E-I	239
APÊNDICE F	246
APÊNDICE G	273
APÊNDICE H	282
APÊNDICE H-I	292
APÊNDICE I	304
APÊNDICE J	308
APÊNDICE K	318

1 INTRODUÇÃO

Este relatório apresenta a avaliação preliminar do risco de colisão devido a perda de separação vertical entre aeronaves no espaço aéreo das Regiões do Caribe e América do Sul – CAR/SAM - pré-requisito para a implementação da separação vertical mínima reduzida (RVSM)).

A Seção 1 apresenta o escopo desse trabalho e os objetivos de segurança para aplicação da RVSM. A Seção 2 apresenta as características do espaço aéreo. A Seção 3 apresenta a avaliação do risco de colisão em comparação com o TLS recomendado pela ICAO de 5×10^{-9} acidentes por hora de voo para o risco vertical total e de $2,5 \times 10^{-9}$ acidentes por hora de voo para o risco devido aos erros somente de origem técnica. Esta seção também ilustra a influência do crescimento do tráfego aéreo no risco de colisão da região. A Seção 4 apresenta as conclusões e a Seção 5, os comentários e as recomendações.

O Apêndice A mostra detalhes da obtenção da frequência de passagem e de parâmetros dependentes dos registros de vôos coletados e o Apêndice B apresenta a estimativa da ocupação em rotas que se cruzam.

1.1 Objetivo

Fazer uma avaliação do risco de colisão devido a perda de separação vertical entre as aeronaves que operam no espaço aéreo das Regiões do Caribe e da América do Sul, entre FL 290 e FL 410, inclusive, com vistas à implementação da separação vertical mínima reduzida (RVSM).

1.2 Escopo

Este trabalho trata da avaliação do risco de colisão antes da implementação da Separação Vertical Mínima Reduzida para 300 m (ou 1000 pés) no espaço aéreo das Regiões do Caribe e da América do Sul (CAR/SAM). Esta etapa corresponde à quarta providência da estratégia de implementação do *“Manual on Implementation of a 300 m (1000 ft) Vertical Separation Minimum between FL 290 and FL410 inclusive, ICAO, Montreal, Doc 9574, 1st edition 1992, 2nd edition 2000”*.

Esta avaliação deve ser efetuada para verificar, ainda em um ambiente com separação de 2000 pés, se a RVSM pode ser implementada de acordo com os objetivos de segurança estabelecidos, até que:

- 1) tenha sido demonstrado que os requisitos de aprovação RVSM e material de orientação estejam adequados, no sentido de que, a conformidade de tais requisitos leve a um desempenho de manutenção de altitude observado consistente com a especificação de desempenho de manutenção de altitude global, que requer a satisfação simultânea das quatro exigências seguintes:
 - a) a proporção de TVE maior que 90 m (300 pés), em magnitude, deve ser menor que $2,0 \times 10^{-3}$;
 - b) a proporção de TVE maior que 150 m (500 pés), em magnitude, deve ser menor que $3,7 \times 10^{-6}$;
 - c) a proporção de TVE maior que 200 m (650 pés), em magnitude, deve ser menor que $4,7 \times 10^{-7}$;
 - d) a proporção de TVE entre 290 m e 320 m (950 e 1050 pés), em magnitude, deve ser menor que $5,3 \times 10^{-8}$;
- 2) tenham sido remediadas as causas dos erros observados que são inconsistentes com a especificação de desempenho de manutenção de altitude global;
- 3) o TLS técnico de $2,5 \times 10^{-9}$ acidentes fatais por hora de vôo da aeronave tenha sido satisfeito com um nível pré-determinado de confiança estatística;
- 4) a integridade do sistema tenha sido verificada; isto deve incluir a confirmação, com um pré-determinado nível de confiança, de que a introdução da RVSM não aumente o risco devido a erros operacionais e contingências em vôo. Isto pode requerer a implementação de medidas adicionais de segurança efetivas para reduzir o risco como resultado destes eventos;
- 5) a proporção máxima de tempo que uma aeronave gasta em um nível de vôo incorreto, 300 m (1000 pés), ou múltiplos, fora do nível de vôo autorizado, quando voando na mesma direção de um tráfego no citado nível de vôo, deve ser menor ou igual a $1,8 \times 10^{-5}$;

- 6) as medidas adicionais de segurança necessárias sejam determinadas e implementadas no sentido de satisfazer os objetivos de segurança global, caso a quantificação do nível do risco global indicar, com um pré-determinado nível de confiança, que os objetivos de segurança total serão violados num ambiente RVSM.

Os procedimentos metodológicos usados são baseados nas experiências adquiridas com a implementação da RVSM nos espaços aéreos do Atlântico Norte e Europa, relatadas nas Referências: /1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8/, bem como aqueles previstos pela OACI.

1.3 Objetivos de Segurança da RVSM

Os objetivos de segurança para um espaço aéreo onde se pretenda implementar a RVSM são:

1. objetivo de segurança para o risco técnico: o risco de uma colisão aérea na dimensão vertical dentro de um espaço aéreo operando em RVSM, devido a falhas no sistema de manutenção de altitude das aeronaves, deve satisfazer um Nível de Segurança Desejado (TLS - Target Level of Safety) de $2,5 \times 10^{-9}$ acidentes fatais por hora de voo,

2. objetivo de segurança para o risco total: o risco vertical total, dentro de um espaço aéreo operando em RVSM, resultante da perda de separação vertical devido a qualquer causa, deve satisfazer um TLS de $5,0 \times 10^{-9}$ acidentes fatais por hora de voo.

1.4 Objetivos Parciais - Metas

- 1) Demonstrar a viabilidade técnica da aplicação da RVSM nas regiões CAR/SAM.
 - a) **Verificar as condições que quantificam a especificação de desempenho total do sistema:**

- uma frequência de passagem com nenhum efeito adicional adverso no risco do que uma frequência de passagem no sentido oposto de 2,5 por hora de vôo por aeronave;

- um desvio padrão da performance de navegação lateral igual ou maior do que 0,3 NM (isto iguala a um $P_y(0)$ não maior do que 0,058 baseado nos erros representados por uma distribuição dupla exponencial),

- $\sigma_y \geq 0,3MN \rightarrow P_y(0) < 0,058$;

- uma probabilidade de superposição vertical ($P_z(1000)$) não excedente a $1,7 \times 10^{-8}$,

- $P_z(1000) \leq 1,7 \times 10^{-8}$;

b) verificar que a especificação de performance global de manutenção de altura é satisfeita, provando que as quatro especificações abaixo são satisfeitas simultaneamente:

i) $\Pr ob\{|TVE| \geq 300\} < 2,0 \times 10^{-3}$;

ii) $\Pr ob\{|TVE| \geq 500\} < 3,7 \times 10^{-6}$;

iii) $\Pr ob\{|TVE| \geq 650\} < 4,7 \times 10^{-7}$; e

iv) $\Pr ob\{950 \leq |TVE| \leq 1050\} < 5,3 \times 10^{-8}$,

c) verificar os critérios MASPS:

- a média do erro do sistema de altimetria (ASE) do grupo não deverá exceder ± 25 m (± 80 pés);

- a soma do valor absoluto da média ASE para o grupo e três desvios padrão da distribuição ASE dentro do grupo não deverá exceder 75 m (245 pés); e

- os erros de manutenção de altitude deverão ser simétricos com respeito à média de 0 m (0 pés) e o desvio padrão não deverá ser maior do que 13 m (43,7 pés) e devem ser tal que a frequência do erro decresça com o aumento da magnitude do erro a uma taxa no mínimo exponencial,

d) identificar as causas, caso existam, da inconsistência dos erros de manutenção de altura;

e) verificar se o TLS técnico de $2,5 \times 10^{-9}$ acidentes fatais por hora de vôo é satisfeito de acordo com um nível de confiança estatístico pré-determinado;

2) Avaliar e estimar o impacto da RVSM no risco devido aos erros operacionais e procedimentos de contingência;

- i. definir os tipos de erros de acordo com as causas;**
- ii. classificar os erros para finalidade de avaliação;**
- iii. determinar os valores apropriados dos parâmetros para cada grupo de erros classificado;**
- iv. determinar a probabilidade de superposição vertical para cada grupo de erros classificado; e**
- v. estimar o risco de colisão total.**

3) Reavaliar e re-estimar o risco de colisão total caso novas medidas adicionais de segurança sejam implementadas para satisfazer os objetivos de segurança global:

- i. Analisar e classificar os dados de novas coletas e**

repetir todos os passos anteriores.

2 DESCRIÇÃO DO ESPAÇO AÉREO

Esta seção descreve o espaço aéreo, os fluxos de tráfego, os serviços de tráfego aéreo (ATS), a população de aeronaves e os dados usados no estudo.

2.1 Espaço Aéreo

O espaço aéreo das regiões CAR/SAM é constituído por 39 Regiões de Informação de Voo (FIR), apresentadas na Tabela 2.1.

No estudo do espaço aéreo das Regiões CAR/SAM, não foram incluídas as FIR Houston Oceanic, Miami Oceanic, San Juan (Estados Unidos), e as FIR México e Mazatlan Oceanic (México) as quais, por acordo estabelecido anteriormente, têm seus movimentos de tráfego aéreo incluídos aos da Região NAM.

2.2 Descrição das Rotas e Fluxos de Tráfego

Nas Regiões CAR/SAM o trânsito internacional se desenvolve basicamente na direção norte/sul, na sua maioria entre os principais aeroportos e cidades das regiões.

Na região CAR, a maioria dos vôos em grandes altitudes que duram mais de 4 horas tem sua origem ou término na costa leste dos Estados Unidos, México ou América Central. Também existe um número considerável de vôos entre as regiões do Caribe, América do Sul e Europa.

Na região SAM, os vôos internacionais em grandes altitudes são um reflexo do movimento do tráfego aéreo tanto da América do Norte como da Europa.

Em toda região o sistema de rotas é complexo e dinâmico, e contém numerosos pontos de cruzamento, que aumentam a complexidade das operações.

Poucos países contam com operações domésticas que duram mais de três horas de vôo. Entretanto, muitos Estados têm uma grande quantidade de tráfego doméstico que utiliza as grandes altitudes. Também há uma quantidade de vôos internacionais, com menos de 3 horas de duração, que se utiliza da estrutura de rotas de grandes altitudes.

Nessa amostra, a maior frequência de passagem ocorreu na FIR Havana e o maior movimento de tráfego, na FIR Brasília. A estimativa de frequência de passagem foi realizada considerando três FIR adjacentes na região CAR (Havana, Centro-América

e Panamá), e três FIR adjacentes na região SAM (Brasília, Curitiba e Recife), sendo que a

Tabela 2.1 Regiões de Informação de Vôo das Regiões CAR/SAM.

Estados	FIR
Argentina	Comodoro Rivadavia, Córdoba, Ezeiza, Mendoza, Resistência
COCESNA: Belize, Costa Rica, El Salvador, Guatemala, Honduras, Nicarágua	Central American
Bolívia	La Paz
Brasil	Amazônica, Atlântico, Brasília, Curitiba, Recife
Chile	Antofagasta, Isla de Pascua, Puerto Montt, Punta Arenas, Santiago
Estados Unidos	Houston Oceanic, Miami Oceanic, San Juan
Colômbia	Barranquilla, Bogotá
Cuba	Havana
República Dominicana	Santo Domingo
Equador	Guayaquil
Guyana	Georgetown
Guyana Francesa	Rochambeau
Haiti	Port Au Prince
Jamaica	Kingston
México	México, Mazatlan Oceanic
Antilhas Holandesas	Curaçao
Panamá	Panamá
Paraguay	Assunção
Peru	Lima
Suriname	Paramaribo
Trinidad e Tobago, Granada, Barbados, St. Vicente, St. Lúcia, Martinica, Guadalupe, Dominica, Antígua, Barbuda, St. Kitts, Neves, St. Bartolomeu	Piarco
Uruguai	Montevideu
Venezuela	Maiquetia

estas foi acrescentado o movimento do setor Manaus da FIR Amazônica, devido ao grande número de cruzamentos sobre MAN. A escolha destas FIR foi baseada na recomendação do Doc. 9574 em que, pelo menos três ACC adjacentes, com os fluxos de tráfegos mais intensos ou frequências de passagens mais altas da região, tenham seus movimentos avaliados.

2.3 Serviços de Tráfego Aéreo e Procedimentos

Embora existam problemas de compatibilidade entre os sistemas, as comunicações entre os órgãos de controle das regiões CAR/SAM chegam a quase 100% e cerca de 70 % do espaço aéreo têm cobertura de comunicações diretas controlador/piloto.

Os principais fluxos de tráfego aéreo são apoiados por um sistema de auxílios terrestres e por um crescente sistema de rotas de navegação de área (RNAV), e cerca de 55 % do espaço aéreo (excluindo-se as regiões oceânicas) contam com a vigilância radar.

O procedimento de separação vertical utilizado é de 1000 pés até o FL 290 e de 2000 pés a partir de FL 290, enquanto a separação longitudinal é de 10 min., 15 min. e 20 min. Os mínimos de separação radar utilizados são de 5 MN e 10 MN.

2.4 População de Aeronaves

A população de aeronaves foi obtida a partir dos dados fornecidos pelos Estados que compõem as Regiões CAR/SAM.

Dos 200 tipos diferente de aeronaves que voaram nas regiões, entre os FL 290 e FL 410, inclusive, durante o período de coleta dos dados, a Tabela 2.2 mostra os 20 tipos com os maiores tempos de vôo. As dimensões médias foram calculadas com os dados da Tabela 2.3, ponderadas pelo tempo de vôo.

Tabela 2.2 Tipos de Aeronaves mais Comuns nas Regiões CAR/SAM entre os FL 290 e FL 410, inclusive

	Aeronave	Horas de Voo	% de horas	Comprimento (MN)	Largura (MN)	Altura (MN)
1	B763	3866,6001	13,95	0,02964363	0,02570194	0,00853132
2	A320	2919,2000	10,53	0,02028618	0,01840713	0,00634989
3	B737	2841,2000	10,25	0,01815765	0,01852793	0,00677483
4	B733	2512,2000	9,07	0,01803422	0,01559308	0,00600683
5	B732	1190,3000	4,29	0,01648451	0,01530508	0,00606169
6	A319	1185,4000	4,28	0,01827214	0,01840713	0,00634989
7	B752	1126,4000	4,06	0,02554962	0,02054536	0,00734341
8	B772	1047,3000	3,78	0,03439525	0,03288337	0,00998920
9	B738	1013,7000	3,66	0,02132829	0,01852793	0,00677483
10	B735	863,0800	3,11	0,01674406	0,01559308	0,00600683
11	MD11	852,1900	3,07	0,03326134	0,02807775	0,00946544
12	DC10	632,5700	2,28	0,02999460	0,02556695	0,00946544
13	B722	585,2000	2,11	0,03440901	0,03290045	0,00999768
14	A343	547,9900	1,98	0,03434125	0,03255940	0,00901728
15	F100	515,4500	1,86	0,01918467	0,01516199	0,00458963
16	B762	460,2600	1,66	0,02618790	0,02570194	0,00853132
17	A306 ¹	389,5500	1,41	-	-	-
18	A332 ¹	336,0600	1,21	-	-	-
19	B742	309,5700	1,12	0,03815335	0,03220302	0,01043737
20	B767	299,4200	1,08	0,03315300	0,02802400	0,00907100
	demais		15,24			
			média	0,0217555	0,0194945	0,0066167

¹ aeronave não consta na Tabela 2.3

Tabela 2.3 Dimensões de aeronaves

Aeronave	Comprimento (MN)	Largura (MN)	Altura (MN)
B737	0,01815765	0,01852793	0,00677483
A320	0,02028618	0,01840713	0,00634989
B732	0,01648451	0,01530508	0,00606169
B733	0,01803422	0,01559308	0,00600683
B763	0,02964363	0,02570194	0,00853132
F100	0,01918467	0,01516199	0,00458963
B752	0,02554962	0,02054536	0,00734341
B738	0,02132829	0,01852793	0,00677483
B735	0,01674406	0,01559308	0,00600683
A319	0,01827214	0,01840713	0,00634989
MD11	0,03326134	0,02807775	0,00946544
B722	0,03440901	0,03290045	0,00999768
E145	0,01612851	0,01082073	0,00364471
MD80	0,02435205	0,01773758	0,00512959
B762	0,02618790	0,02570194	0,00853132
B772	0,03439525	0,03288337	0,00998920
DC9	0,02198704	0,01536177	0,00475162
B767	0,03315300	0,02802400	0,00907100
DC10	0,02999460	0,02556695	0,00946544
A330	0,03434125	0,03255940	0,00908747
B742	0,03815335	0,03220302	0,01043737
A343	0,03434125	0,03255940	0,00901728
B721	0,02186285	0,01748920	0,00563715
B727	0,02521058	0,01776998	0,00559395
A340	0,04065900	0,03426000	0,00934100
DC86	0,03083200	0,03083200	0,00714400
B757	0,02942800	0,02054500	0,00734300
B747	0,03815300	0,03479500	0,01048100
A310	0,02519438	0,02370410	0,00853132
MD88	0,02430162	0,01771879	0,00485484
A321	0,02403348	0,01840713	0,00634989
B744	0,03817495	0,03477322	0,01047516

2.5 Coleta de Dados

Os dados utilizados para análise foram coletados e enviados pelos Estados das regiões CAR/SAM, e correspondem aos movimentos de tráfego aéreo nas rotas das regiões, no período de 11 de junho a 10 de julho de 2004.

Para a coleta dos dados, foi enviado aos Estados um formulário em formato de planilha Excel, contendo os seguintes campos: data; identificação do voo; tipo de aeronave; procedência; destino; fixo de entrada na FIR e/ou espaço aéreo compreendido entre FL 290 e FL 410; hora no fixo de entrada; nível de voo no fixo de entrada; aerovia no fixo de entrada, fixo de saída da FIR e/ou espaço aéreo compreendido entre FL 290 e FL 410; hora no fixo de saída; nível de voo no fixo de saída, e as modificações de rota e/ou nível de voo, se ocorridas.

Anexo ao formulário, foi também enviado um modelo de orientação de preenchimento.

Das 39 FIR das Regiões CAR/SAM, os dados de 5 FIR's estão sendo avaliados pela NAARMO. Das restantes, foram tratados os dados de movimentos de tráfego aéreo de 23 FIR's. Este tratamento permitiu a verificação e a aplicação de algumas correções em problemas de preenchimentos, tais como:

- multiplicidade de movimentos;
- preenchimento inadequado dos campos da planilha;
- nível de voo abaixo ou acima dos limites solicitados;
- horários de entrada/saída incompatíveis, etc.

Por estes motivos, alguns dados tiveram apenas um aproveitamento parcial, o que gerou uma redução do número total de movimentos de 81.938 horas descritas nas planilhas recebidas, para 34.198 horas disponibilizadas.

2.6 Número de Vãos

O número total de horas de voo considerado para estimar o risco de colisão final foi inferido em 763.557,6 horas/ ano, baseado no tempo médio de voo de 0,86667 horas para as regiões CAR/SAM, permitindo estimar o valor total de 881.024 vãos/ ano na região. Na Figura 2.1 se podem observar as contribuições percentuais para o número

total de voos. As FIR's Brasília, Havana, Recife e Curitiba contribuem com mais de 50 % do número total de vôos.

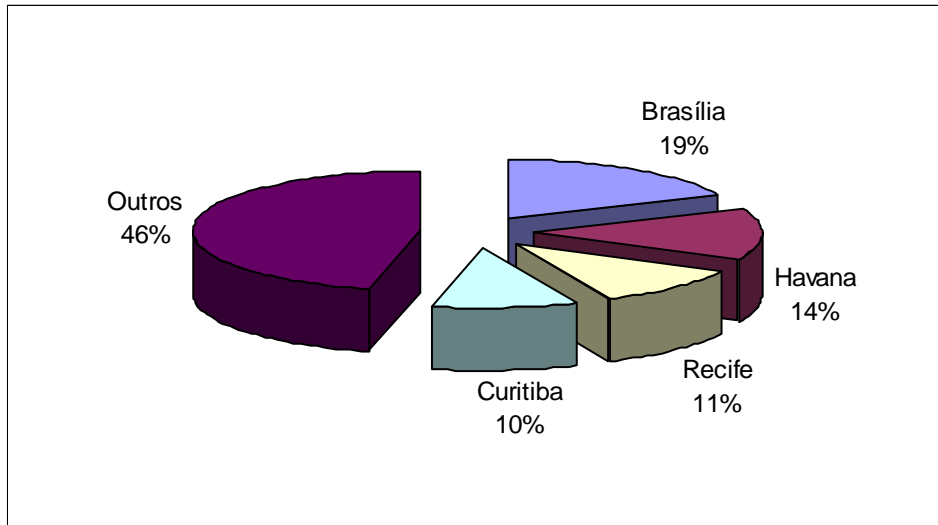


Figura 2.1 Principais Contribuições para o Número Total de Vôos por Ano, na Região.

Para a FIR Brasília, a distribuição percentual de vôos em cada dia da semana pode ser observada no gráfico abaixo (Figura 2.2).

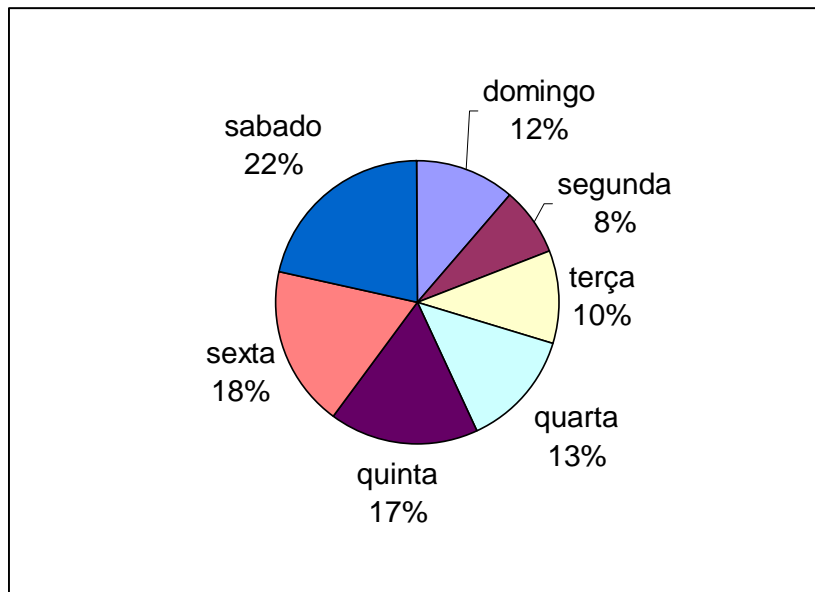


Figura 2.2 Distribuição Percentual de Vôos Durante a Semana, para a FIR Brasília.

Para a ocupação dos níveis de vôo, a distribuição percentual, para cada dia da semana pode ser verificada na Figura 2.3. Observa-se que praticamente a ocupação de níveis é a mesma em qualquer dia da semana.

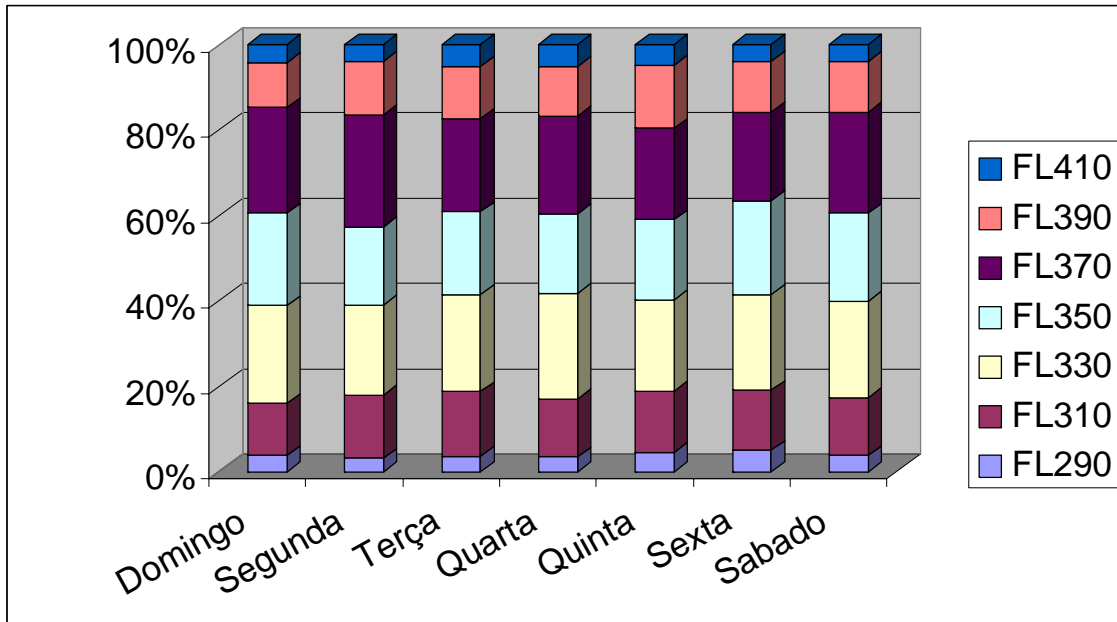


Figura 2.3 – Porcentagem de Ocupação dos Níveis de Vôo em Cada Dia da Semana.

3 AVALIAÇÃO DO RISCO DE COLISÃO

Esta seção apresenta os resultados da avaliação do risco de colisão nas regiões CAR/SAM comparados com os níveis de segurança desejados (TLS) estabelecidos na Seção 1.2.

3.1 Estimativa do Risco de Colisão Vertical Técnico

A avaliação do risco de colisão vertical técnico leva em consideração os componentes de tráfego que voam no mesmo sentido, em sentidos opostos e cruzamentos. Além disso, ela pode ser realizada com base nas seguintes causas de desvios técnicos:

- desvios normais de altitude das aeronaves com certificação MASPS, e
- condições meteorológicas adversas.

O CRM usado para avaliar o risco de colisão no sistema de rotas das Regiões CAR/SAM é o mesmo originalmente usado na determinação da viabilidade de implementação da RVSM no Atlântico Norte e Europa, Modelo de Reich/9/10/11/. Este modelo produz uma estimativa do risco médio de colisão entre aeronaves voando no sistema que deve satisfazer o nível de segurança desejado.

O modelo do risco de colisão vertical técnico, considerando os fluxos no mesmo sentido e sentido oposto, para uma aerovia sem cruzamento, é representado por:

$$N_{az} = P_z(S_z)P_y(0) \left\{ N_x(mesmo) \left[1 + \frac{\lambda_x|\bar{y}|}{\lambda_y|\Delta V|} + \frac{\lambda_x|\bar{z}|}{|\Delta V|\lambda_z} \right] + N_x(op) \left[1 + \frac{\lambda_x|\bar{y}|}{2\lambda_y|\bar{V}|} + \frac{\lambda_x|\bar{z}|}{2|\bar{V}|\lambda_z} \right] \right\}. \quad (3.1)$$

Os parâmetros individuais do modelo e suas definições são dados na Tabela 3.1.

Uma frequência de passagem no sentido oposto equivalente, N_x (equivalente), como usado na Especificação de Desempenho Global do Sistema, pode ser obtida das frequências de passagens no mesmo sentido e no sentido oposto usando a relação seguinte:

Tabela 3.1 Parâmetros do Modelo do Risco.

Parâmetro CRM	Descrição
N_{az}	Número de acidentes fatais por hora de voo devido à perda de separação vertical.
S_z	Separação vertical mínima.
$P_z(S_z)$	Probabilidade de duas aeronaves separadas nominalmente pela separação vertical mínima estarem em superposição vertical.
$P_y(0)$	Probabilidade de duas aeronaves na mesma rota estarem em superposição lateral.
λ_x	Comprimento médio da aeronave.
λ_y	Envergadura média da aeronave.
λ_z	Altura média da aeronave com trem de aterrissagem recolhido.
S_x	Separação longitudinal padrão entre duas aeronaves voando no mesmo nível.
$N_x(mesmo)$	Frequência de passagem no mesmo sentido.
$N_x(oposto)$	Frequência de passagem no sentido oposto.
$ \overline{\Delta V} $	Módulo da velocidade relativa média entre aeronaves ao longo de rotas de mesmo sentido.
$ \overline{V} $	Módulo da velocidade absoluta média das aeronaves.
$ \overline{y} $	Módulo da velocidade lateral relativa média de aeronaves nominalmente na mesma rota.
$ \overline{z} $	Módulo da velocidade vertical relativa média de um par de aeronaves que perdeu toda a separação vertical.

$$N_x(\text{equivalente}) = N_x(\text{op}) + N_x(\text{mesmo}) \frac{c_1}{c_2}, \quad (3.2)$$

onde

$$c_1 = \left[1 + \frac{\lambda_x}{\lambda_y} \frac{|\overline{y}|}{|\overline{\Delta V}|} + \frac{\lambda_x}{\lambda_z} \frac{|\overline{z}|}{|\overline{\Delta V}|} \right] \quad (3.3)$$

e

$$c_2 = \left[1 + \frac{\lambda_x}{\lambda_y} \frac{|\dot{y}|}{2|V|} + \frac{\lambda_x}{\lambda_z} \frac{|\dot{z}|}{2|V|} \right]. \quad (3.4)$$

Então, a Equação (3.1) pode ser reescrita como:

$$N_{az} = P_z(S_z)P_y(0)c_2N_x(\text{equivalente}). \quad (3.5)$$

Os parâmetros frequências de passagem, $N_x(\text{mesmo})$ e $N_x(\text{oposto})$, e as ocupações $E_z(\text{mesmo})$ e $E_z(\text{oposto})$, podem ser relacionadas da seguinte forma

$$N_x(\text{mesmo}) = \frac{\lambda_x}{S_x} E_z(\text{mesmo}) \frac{|\Delta V|}{2\lambda_x} \quad (3.5.1)$$

e

$$N_x(\text{oposto}) = \frac{\lambda_x}{S_x} E_z(\text{oposto}) \frac{|V|}{\lambda_x}. \quad (3.5.2)$$

Sendo assim, a frequência de passagem pode também ser expressa diretamente em termos das ocupações verticais do mesmo sentido e sentido oposto ao fluxo de movimento como se segue

$$N_x(\text{equivalente}) = \frac{|V|}{S_x} E_z(\text{oposto}) + \frac{|\Delta V|}{2S_x} E_z(\text{mesmo}) \frac{c_1}{c_2} \quad (3.5.3)$$

Considerando o componente de tráfego em rotas que se cruzam, um modelo /12/ para o risco técnico é mostrado em seguida (Ver Apêndice C)

$$N_{az}(\text{cruz.}) = P_z(S_z) \sum_{i=1}^n P_h(\theta_i) E(\theta_i) \left[\frac{2|\dot{h}(\theta_i)|}{\pi\lambda_h} + \frac{|\dot{z}|}{2\lambda_z} \right], \quad (3.6)$$

onde os parâmetros do modelo estão definidos na Tabela 3.2.

Tabela 3.2 Definições dos Parâmetros do Modelo do Risco Técnico em Cruzamentos de Rotas.

Parâmetros CRM	Descrição
S_z	Separação Vertical Mínima.
S_h	Separação horizontal entre aeronaves em rotas que se cruzam
$P_z(S_z)$	Probabilidade de Superposição Vertical
θ_i	Ângulo de intersecção formado pelas direções de duas rotas que se cruzam
n	Número de grupos de rotas que se cruzam com ângulos similares
$P_h(\theta_i)$	Probabilidade de superposição horizontal de duas aeronaves em níveis de vôo adjacentes de rotas que se cruzam com ângulo de intersecção θ_i
λ_h	O maior entre os valores da aeronave média: envergadura ou comprimento
λ_z	Altura média das aeronaves com o trem de pouso recolhido
$E(\theta_i)$	Ocupação gerada por aeronaves próximas em rotas que se cruzam com ângulo θ_i .
$\overline{h(\theta_i)}$	Velocidade horizontal relativa média de pares de aeronaves voando em rotas que se cruzam com ângulo θ_i .

Na amostra de dados dos grandes fluxos das Regiões CAR/SAM, foram identificados alguns trechos de rotas em cruzamento na FIR Brasília, na FIR Havana e na FIR Curitiba. Estes cruzamentos ocorreram com ângulo θ_i , variando de 10° a 135° . Foram analisados um total de 15.091 vôos, com duração média de 0,54 horas. Com os dados destes cruzamentos, foi estimado o risco de colisão em cruzamento para a região toda. A velocidade relativa média $\overline{h(\theta_i)}$ foi obtida considerando a velocidade média da região, 430 MN/h. Foi adotada uma distância horizontal, S_h , entre aeronaves, de 80 MN e λ_h de 0,02239 MN.

Combinando as Equações (3.5) e (3.6), tem-se o modelo completo para o risco de colisão vertical técnico

$$N_{AZ}^{Tec} = N_{AZ} + N_{AZ}(cruz) \quad (3.7)$$

3.1.1 Probabilidade de Superposição Vertical

A probabilidade de superposição vertical, $P_z(S_z)$, é a probabilidade de duas aeronaves nominalmente separadas pela separação mínima padrão S_z , estarem dentro de uma distância λ_z uma da outra verticalmente, isto é, em superposição vertical. Este parâmetro é provavelmente o mais difícil de estimar e um dos mais críticos dentre todos os parâmetros do CRM e pode ser calculado usando a Equação 3.8 (ver Apêndice C)

$$P_z(S_z) = \int_{-\infty}^{\infty} f(z) \int_{z-\lambda_z}^{z+\lambda_z} f(v+S_z) dv dz, \quad (3.8)$$

que pode ser aproximada por:

$$P_z(S_z) \cong 2\lambda_z C(S_z), \quad (3.9)$$

onde a integral de convolução $C(S_z)$ é dada por:

$$C(S_z) = \int_{-\infty}^{\infty} f(x)f(x+S_z) dz. \quad (3.10)$$

O valor da função pode ser estimado através de processos de cálculo numérico.

Os erros Técnicos podem ser divididos em Erros do Sistema de Altimetria (ASE) e Erros Técnicos de Vôo (FTE) que combinam para formar o Erro Vertical Total (TVE) e são definidos da seguinte forma:

ASE: a diferença entre a altitude indicada pelo mostrador do altímetro (supondo um ajuste barométrico do altímetro correto) e a altitude correspondente à pressão do ambiente não perturbado.

FTE: a diferença entre a altitude indicada pelo mostrador do altímetro que está sendo usado para controlar a aeronave e a altitude/nível de vôo designado.

TVE: a diferença geométrica vertical entre a altitude barométrica real voada por uma aeronave e sua altitude barométrica designada (nível de vôo).

$$\mathbf{TVE = ASE + FTE}$$

Na prática, não é possível medir FTE diretamente da terra, mas o Desvio de Altitude Designado (AAD) apresenta-se com um substituto efetivo. Isto é definido como se segue:

AAD: a diferença entre a altitude informada pelo Modo C e a altitude designada/nível de vôo.

A diferença entre AAD e FTE é chamada de erro de correspondência. Este erro é devido ao arredondamento da leitura do altímetro antes da transmissão pelo “transponder” da aeronave. A relação entre TVE, ASE, FTE e AAD é ilustrada na Figura 3.1, abaixo.

Entre os dois métodos usados pelo RGCSP para ajustar uma função distribuição de probabilidades (fdp) para os dados TVE, o método adotado neste trabalho é o que ajusta as funções distribuições para cada um dos componentes ASE e AAD individualmente (Apêndices D a D-II). Para o componente ASE, são feitos ajustes para cada grupo de tipos de aeronaves e a fdp resultante para ASE é obtida compondo as fdps na proporção dos vôos dos grupos de tipos de aeronaves que voam na região. A função distribuição de probabilidades resultante para TVE é obtida convoluindo as fdps ASE e AAD da seguinte forma:

$$f(z) = \int_{-\infty}^{\infty} f^{ASE}(a) f^{AAD}(z-a) da . \quad (3.11)$$

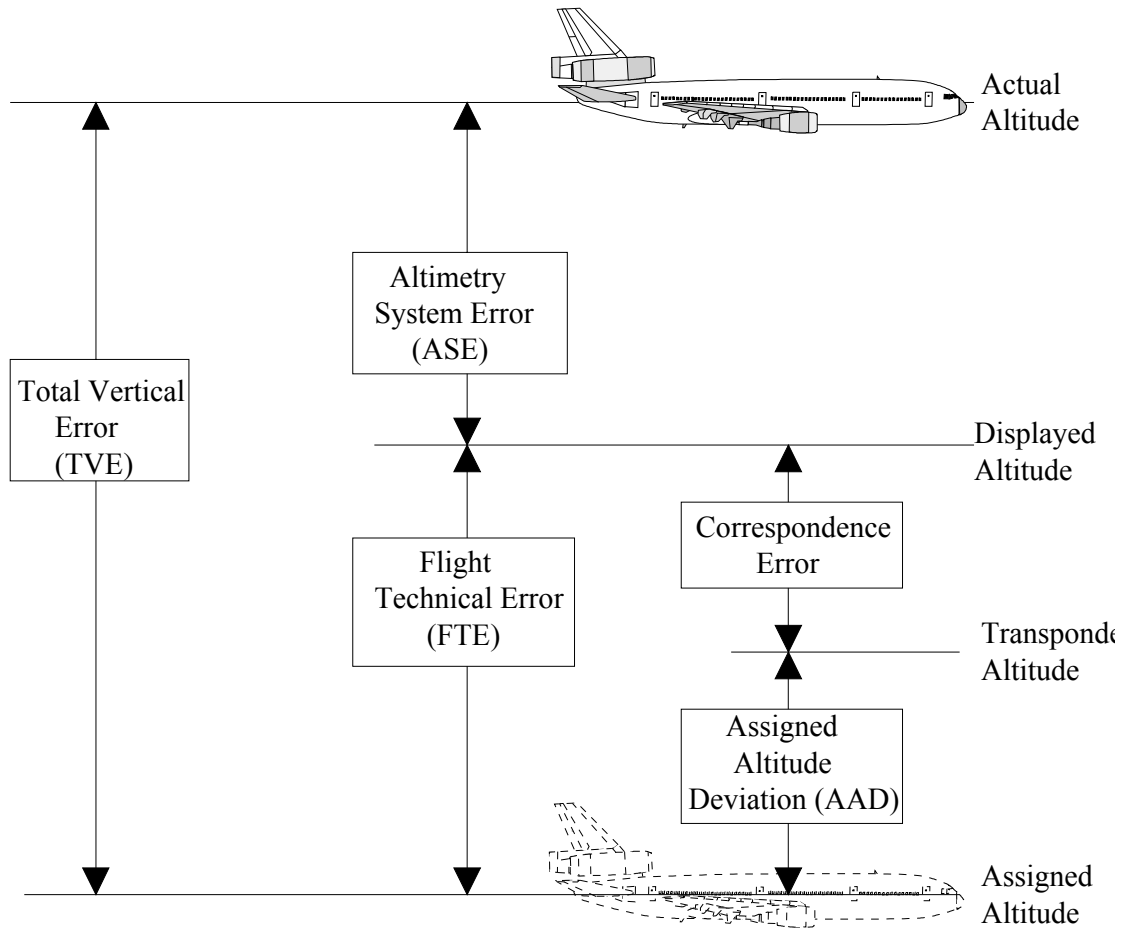


Figura 3.1 Subdivisão dos Erros de Manutenção de Altitude

3.1.1.1 A Modelagem da Distribuição ASE

Conforme já mencionado a distribuição ASE é formada pelas distribuições de cada grupo de tipos de aeronaves individuais, ou seja

$$f^{ASE}(a) = \sum_{i=1}^{n_{ig}} \beta_i f_i^{ASE}(a), \quad (3.12)$$

onde n_{ig} representa o número de diferentes grupos de tipos de aeronaves, e β_i é a proporção do tempo de vôo contribuído pelo i -ésimo grupo de aeronaves e $f_i^{ASE}(a)$ é a distribuição de probabilidades ASE das aeronaves correspondentes e $i, i = 1, \dots, n_{ig}$, onde $f_i^{ASE}(a)$ é uma composição de distribuições Gaussiana (G) e dupla exponencial (DE), denominada na Tabela 3.3 por GDE, ou seja

$$f_i^{ASE}(a) = f_{GDE}^i(a) = (1 - \alpha) \times f_G^i(a) + \alpha f_{DE}^i(a), \quad (3.13)$$

onde

- σ é o desvio padrão para uma distribuição simples, G ou DE;
- σ_1 é o desvio padrão da distribuição correspondente ao núcleo gaussiano dentro da distribuição mista, ou seja, de $(1 - \alpha) \times f_G^i(a)$; e
- σ_2 é o desvio padrão da distribuição correspondente à cauda DE dentro da distribuição mista, $f_{GDE}^i(a)$, ou seja, de $\alpha f_{DE}^i(a)$.

Os dados estatísticos (média e desvio padrão) para cada grupo de tipos foram obtidos do programa de monitoração RVSM da Europa e que constam no relatório “The EUR RVSM Safety Monitoring Report” de 2003 /4/. Veja a Tabela 3.3.

A média da função distribuição ASE global resultante é dada por

$$m\{ASE\} = \int_{-\infty}^{\infty} a f^{ASE}(a) da, \quad (3.14)$$

onde, $f^{ASE}(a)$ é dado por (3.13). E a variância é dada por

$$s^2\{ASE\} = \int_{-\infty}^{\infty} a^2 f^{ASE}(a) da - [m\{ASE\}]^2. \quad (3.15)$$

Conseqüentemente, a média e o desvio padrão da função distribuição ASE global, para as regiões CAR/SAM, são 0,9593 pés e 56,6659 pés, respectivamente.

Tabela 3.3 Desempenho ASE para os Grupos de Tipos de Aeronaves Operando nas Regiões CAR/SAM.

i	Tipo	Prop.Vôo β_i	Fonte	Fdp	Média m (pés)	$\frac{\sigma}{f_G \text{ e/ou } f_{DE}}$	σ_1 f_{GDE}	σ_2 f_{GDE}	Alfa f_{GDE}
1	DC10	5,907E-03	EUR	G	-14,8	62,7			
2	C550	3,887E-03	EUR	G	47,9	44,7			
3	ASTR	3,124E-04	EUR	G	56,2	50			
4	DC9	1,924E-04	EUR	G	-12,5	59			
5	DC86	5,605E-03	EUR	DE	-34,6	57			
6	C525	4,603E-03	EUR	DE	19,6	45			
7	DC87	6,336E-04	EUR	DE	-34,6	57			
8	FA10	3,915E-04	EUR	DE	-0,5	34,6			
9	DC8	9,593E-04	EUR	DE	-34,6	57			
10	B737	1,661E-01	EUR	GDE	12,3		42	33	0,5
11	A320	1,367E-01	EUR	GDE	40,2		49	125	0,0002
12	B733	1,225E-01	EUR	GDE	-36,9		44	40,5	0,4
13	B732	7,672E-02	EUR	GDE	3,6		35	70	0,15
14	B735	6,595E-02	EUR	GDE	-32,9		58	72	0,01
15	F100	5,687E-02	EUR	GDE	-12		42,51613	45,7315	0,122798
16	B763	5,044E-02	EUR	GDE	-52,7		50	41	0,4
17	A319	3,592E-02	EUR	GDE	40,2		49	125	0,0002
18	B752	3,119E-02	EUR	GDE	-6,0		42,5	33,5	0,55
19	B738	2,803E-02	EUR	GDE	12,3		42	33	0,5
20	MD11	2,131E-02	EUR	GDE	-11,4		54,75486	65,62169	0,040663
21	B722	2,001E-02	EUR	GDE	65,6		52	82	0,06
22	E145	1,986E-02	EUR	GDE	5,4		75	50	0,005
23	B772	1,130E-02	EUR	GDE	32,1		40,5	58,3	0,025
24	A330	9,928E-03	EUR	GDE	51,2		45	40	0,4
25	LJ35	9,528E-03	EUR	GDE	68,8		49,24465	37,54955	1,11E-10
26	B762	9,183E-03	EUR	GDE	-52,7		50	41	0,4
27	B742	7,307E-03	EUR	GDE	-32,9		58	72	0,01
28	B767	7,118E-03	EUR	GDE	-52,7		50	41	0,4
29	A30B	5,672E-03	EUR	GDE	7,6		50	115	0,002403
30	A340	5,342E-03	EUR	GDE	-2,4		60	34	0,426752
31	A306	4,729E-03	EUR	GDE	7,6		50	115	0,002403
32	B73S	4,459E-03	EUR	GDE	-36,9		44	40,5	0,4
33	B707	4,039E-03	EUR	GDE	-36,9		44	40,5	0,4
34	A310	3,697E-03	EUR	GDE	-50,7		49,73496	85	0,01
35	A321	3,485E-03	EUR	GDE	40,2		49	125	0,0002
36	C560	3,479E-03	EUR	GDE	35,2		53	68	0,2
37	H25B	3,459E-03	EUR	GDE	-7,1		70,96419	0,00001	9,99E-9
38	MD88	3,113E-03	EUR	GDE	3,2		40,5	54	0,03
39	A343	3,088E-03	EUR	GDE	-2,4		60	34	0,426752
40	B747	2,473E-03	EUR	GDE	-32,9		58	72	0,01
41	MD80	2,457E-03	EUR	GDE	3,2		40,5	54	0,03
42	BE40	2,130E-03	EUR	GDE	1,5		38	38	0,35
43	B734	2,025E-03	EUR	GDE	-36,9		44	40,5	0,4

Tabela 3.3 Desempenho ASE para os Grupos de Tipos de Aeronaves Operando nas Regiões CAR/SAM. (Continuação)

i	Tipo	Prop. Vôo β_i	Fonte	Fdp	Média m (pés)	f_G^{σ} $f_{DE}^{e/ou}$	σ_1 f_{GDE}	σ_2 f_{GDE}	Alfa f_{GDE}
44	B721	2,020E-03	EUR	GDE	65,6		52	82	0,06
45	A332	1,966E-03	EUR	GDE	51,2		45	40	0,4
46	B777	1,929E-03	EUR	GDE	10,7		17,31808	30	0,029743
47	LJ55	1,793E-03	EUR	GDE	39,6		75,31822	20,235	0,186824
48	C56X	1,764E-03	EUR	GDE	-21,4		45	40	0,4
49	C500	1,741E-03	EUR	GDE	-2,4		58	0,00001	8,32E-12
50	B744	1,645E-03	EUR	GDE	-47,9		46	62	0,012
51	B757	1,347E-03	EUR	GDE	12,3		32	41	0,085
52	CL60	1,316E-03	EUR	GDE	-2,3		52	75	0,102323
53	C650	1,295E-03	EUR	GDE	24,3		40,03448	90	0,156466
54	B727	1,093E-03	EUR	GDE	65,6		52	82	0,06
55	B703	9,928E-04	EUR	GDE	4,9		55	30	0,1
56	C750	9,687E-04	EUR	GDE	-4,2		83	0,00001	0,07
57	A342	9,164E-04	EUR	GDE	-2,4		60	34	0,426752
58	L101	4,738E-04	EUR	GDE	9,4		61,48923	94,09958	0,259891
59	LJ31	7,693E-04	EUR	GDE	9,3		46,09816	2,14338	0,018242
60	F900	7,484E-04	EUR	GDE	27,8		65	52	0,2
61	E135	6,328E-04	EUR	GDE	5,4		75	50	0,005
62	GLF4	6,144E-04	EUR	GDE	-18		54	51	0,4
63	LJ60	5,292E-04	EUR	GDE	27,7		35	50	0,45
64	B743	5,141E-04	EUR	GDE	-9,3		57,82	93,89	0,0218
65	WW24	5,071E-04	EUR	GDE	-2,1		57	60,5	0,019695
66	FA20	4,922E-04	EUR	GDE	-12,2		48	60	0,12
67	F2TH	3,123E-04	EUR	GDE	-78,6		48	62	0,15
68	FA50	2,095E-04	EUR	GDE	60,7		62	56	0,6
69	GLF5	2,126E-04	EUR	GDE	-3,5		58,55942	60,2743	0,527122
70	LJ45	1,960E-04	EUR	GDE	39,2		35	35	0,5
71	SBR1	1,898E-04	EUR	GDE	17		77	10,7528	1,31E-11
72	L29B	1,785E-04	EUR	GDE	7		20	95	0,4
73	GLF3	1,021E-04	EUR	GDE	-23,9		45	62	0,6
74	C501	9,530E-05	EUR	GDE	-2,4		58	0,00001	8,32E-12
75	A333	3,491E-05	EUR	GDE	51,2		45	40	0,4
76	GALX	7,274E-05	EUR	GDE	-2,5		62,31761	0,00001	1,31E-11
77	GLEX	6,512E-05	EUR	GDE	28,2		40	50	0,4
78	IL76	5,024E-05	EUR	GDE	50,0		81,72559	65	0,09
79	YK42	4,732E-05	EUR	GDE	45,6		1	58	1
80	MD83	4,306E-05	EUR	GDE	3,2		40,5	54	0,03
81	B773	3,364E-05	EUR	GDE	10,7		17,31808	30	0,029743
82	GLF2	2,325E-05	EUR	GDE	25,9		0,00001	93	1
83	PAYE	3,222E-05							
84	EA34	2,804E-05							
85	R99A	2,557E-05							
86	F5E	2,485E-05							
87	EU93	2,452E-05							
88	LR60	2,557E-05							
89	AC90	2,325E-05							

Tabela 3.3 Desempenho ASE para os Grupos de Tipos de Aeronaves Operando nas Regiões CAR/SAM. (Continuação)

i	Tipo	Prop.Vôo β_i	Fonte	Fdp	Média m (pés)	f_G^{σ} f_{DE}^{σ}	σ_1 f_{GDE}	σ_2 f_{GDE}	Alfa f_{GDE}
90	C141	2,303E-05							
91	C5	2,243E-05							
92	R35	2,150E-05							
93	H500	2,101E-05							
94	DA90	1,996E-05							
95	C600	1,927E-05							
96	B764	1,869E-05							
97	LR55	1,660E-05							
98	LR24	1,585E-05							
99	MD81	1,585E-05							
100	R35A	1,308E-05							
101	B73A	1,039E-05							
102	H25A	3,791E-03							
103	LJ25	9,654E-04							
104	B350	5,538E-04							
105	PRM1	5,398E-04							
106	IL62	4,693E-04							
107	M326	3,782E-04							
108	BE20	2,782E-04							
109	FA90	2,071E-04							
110	LJ24	1,980E-04							
111	B73B	1,953E-04							
112	AJ25	1,907E-04							
113	L1011	1,704E-04							
114	LR25	1,663E-04							
115	AT26	1,250E-04							
116	MU30	1,104E-04							
117	LR35	1,096E-04							
118	E140	1,063E-04							
119	R99B	9,741E-05							
120	B72Q	9,056E-05							
121	FK28	8,841E-05							
122	BE30	7,606E-05							
123	VU93	6,228E-05							
124	BE35	5,727E-05							
125	C137	5,106E-05							
126	E25A	5,069E-05							
127	F800	5,054E-05							
128	N265	4,523E-05							
129	C441	4,501E-05							
130	DA50	4,448E-05							
131	HS25	4,433E-05							
132	AE32	4,418E-05							
133	F500	4,164E-05							
134	PA42	3,594E-05							
135	F103	3,461E-05							

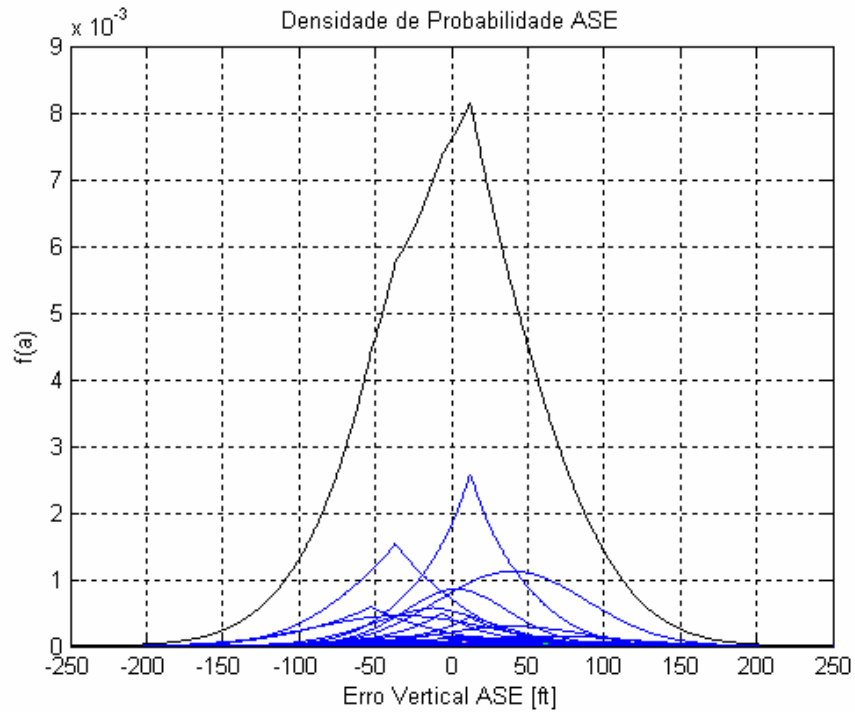


Figura 3.2 Funções Distribuição de Probabilidades ASE para os Grupos e Global para Aeronaves Voando nas Regiões CAR/SAM.

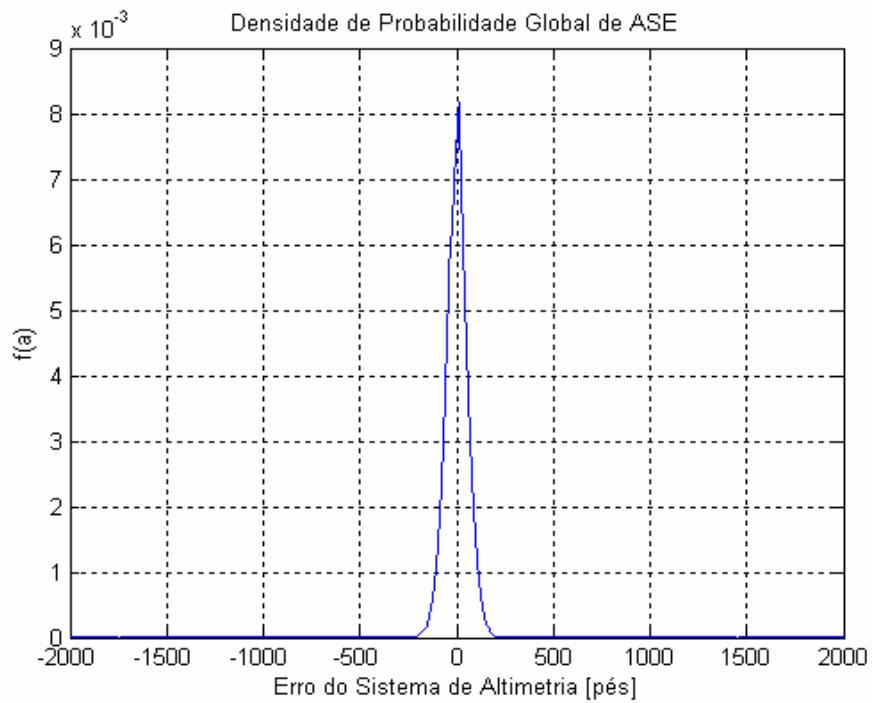


Figura 3.3 Funções Distribuição de Probabilidades Global ASE para Aeronaves Voando nas Regiões CAR/SAM (Escala Linear).

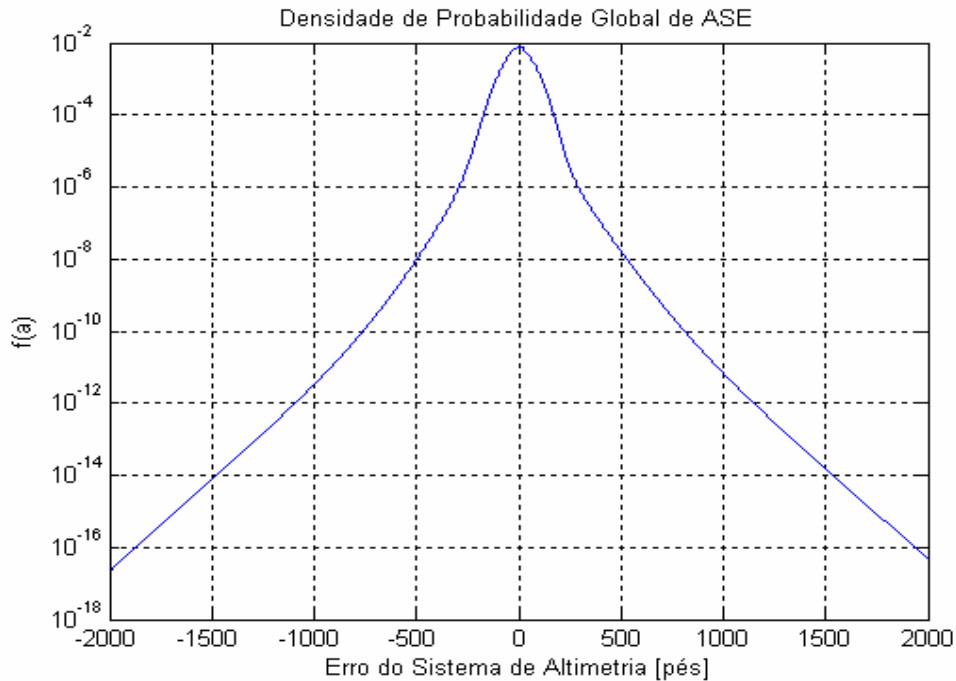


Figura 3.4 Função Distribuição de Probabilidades ASE Global das Aeronaves Voando nas Regiões CAR/SAM - (Escala Logarítmica).

As Figuras 3.3 e 3.4 mostram as funções distribuição para os grupos de tipos de aeronaves e total nas escalas linear e logarítmica, respectivamente.

3.1.1.2 A Modelagem da Distribuição AAD

A modelagem da distribuição AAD (Apêndices E – E-I) é baseada no desempenho típico e atípico do sistema de navegação de manutenção de altitude. Os dados atípicos obtidos das regiões CAR/SAM correspondem aos grandes desvios sofridos por aeronaves consideradas aprovadas para RVSM. Portanto, a função distribuição de probabilidades resultante para *TVE*, obtida através da convolução das funções distribuições ASE e AAD, foi determinada para as seguintes situações:

Caso 1 – não são consideradas as aeronaves que sofreram grandes erros no espaço aéreo do NAT, ou seja, é assumido que não houve grandes erros devidos às turbulências ou possíveis outros erros do sistema de manutenção de altitude. Esta situação é considerada para efeito de comparação simplesmente;

Caso 2 – Caso real do espaço aéreo do NAT, com os erros normais e grandes erros dentro do aceitável, cuja probabilidade de superposição vertical satisfaz a especificação de desempenho global do sistema. Nesta situação é assumido que os mesmos grandes erros sofridos pelas aeronaves que voam no NAT também ocorrem nas regiões CAR/SAM;

Caso 3 – são considerados os grandes desvios ocorridos nas regiões CAR/SAM cometidos por aeronaves consideradas aprovadas para RVSM, adicionados aos desvios normais ocorridos no espaço aéreo do NAT. Esta situação é uma aproximação que pode ser considerada como representativa para o espaço aéreo das regiões CAR/SAM; e

Caso 4 – os grandes desvios ocorridos nas regiões CAR/SAM são adicionados aos erros AAD normais e atípicos da região do NAT. Uma situação claramente conservativa que é analisada para compensar os possíveis erros que não tenham sido reportados.

Para a modelagem da distribuição dos desvios de navegação vertical foi usado um modelo composto de dois componentes /6/:

$$f^{AAD}(a) = (1 - \alpha) \times f_{typ}^{AAD}(a) + \alpha \times f_{atyp}^{AAD}(a). \quad (3.16)$$

Ambos os componentes são tomados como densidades exponenciais e a Equação (3.16) torna-se

$$f^{AAD}(a) = (1 - \alpha) \times \frac{1}{2a_1} \exp\left(-\frac{|a|}{a_1}\right) + \alpha \times \frac{1}{2a_2} \exp\left(-\frac{|a|}{a_2}\right) \quad (3.17)$$

Um modelo DDE da forma da Equação (3.17) foi, então, obtido como o melhor modelo de dados. Os valores dos parâmetros do modelo (Apêndice D-IV) são mostrados na Tabela 3.4.

Tabela 3.4 Parâmetros da Função Distribuição de Probabilidades Dupla Dupla Exponencial de AAD das Regiões CAR, SAM e CAR/SAM.

Caso	Parâmetros do Modelo DDE	Estatísticas
1	$a_1 = 6,9432150$	$\sigma_1 = 9,8192$
	$a_2 = - - - -$	$\sigma_2 = - - - -$
	$\alpha = 0,0$	
2	$a_1 = 0,15993$	$\sigma_1 = 0,2262$
	$a_2 = 48,9109$	$\sigma_2 = 69,1705$
	$\alpha = 7,09918 \times 10^{-6}$	
3	$a_1 = 0,1418$	$\sigma_1 = 0,2005$
	$a_2 = 48,7073$	$\sigma_2 = 68,8825$
	$\alpha = 2,6726 \times 10^{-5}$	
4	$a_1 = 0,1412$	$\sigma_1 = 0,1997$
	$a_2 = 48,9472$	$\sigma_2 = 69,2218$
	$\alpha = 3,3825 \times 10^{-5}$	

Os parâmetros do modelo de densidade de AAD especificados na Tabela 3.4 foram usados nesta avaliação de risco para o ambiente CAR/SAM. Estes dados foram obtidos da Região NAT e CAR/SAM.

As Figuras 3.5 e 3.6 mostram a função distribuição de probabilidades AAD total, $f^{AAD}(a)$, usando os dados da Tabela 3.4 (Caso 4), nas escalas linear e logarítmica, respectivamente. De novo, a última enfatiza a cauda da distribuição AAD.

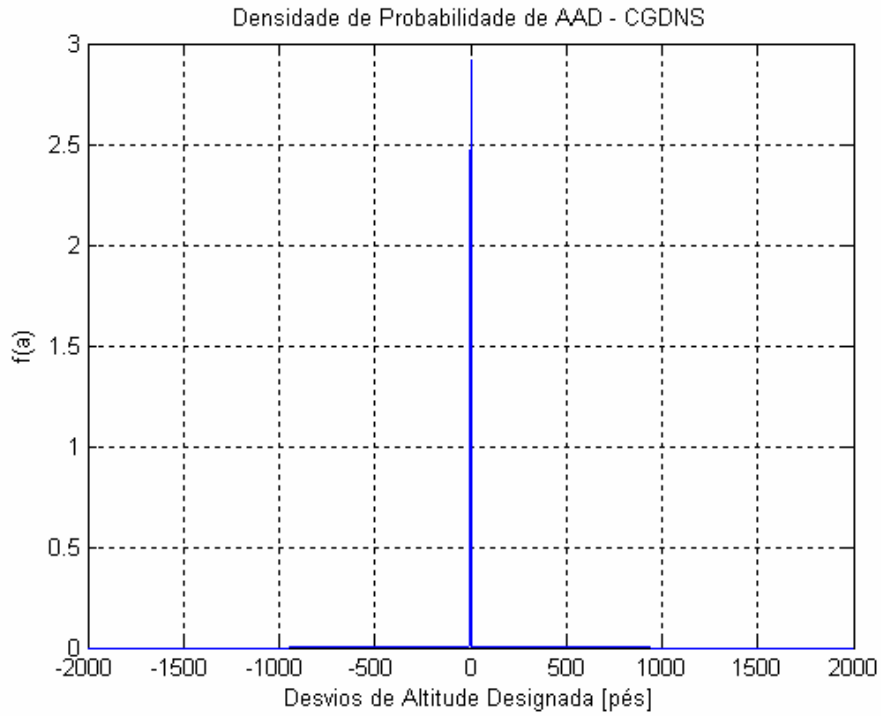


Figura 3.5 Densidade de AAD $f^{AAD}(a)$ Assumida para a População de Aeronaves das Regiões CAR/SAM (Escala Linear) (Caso 4).

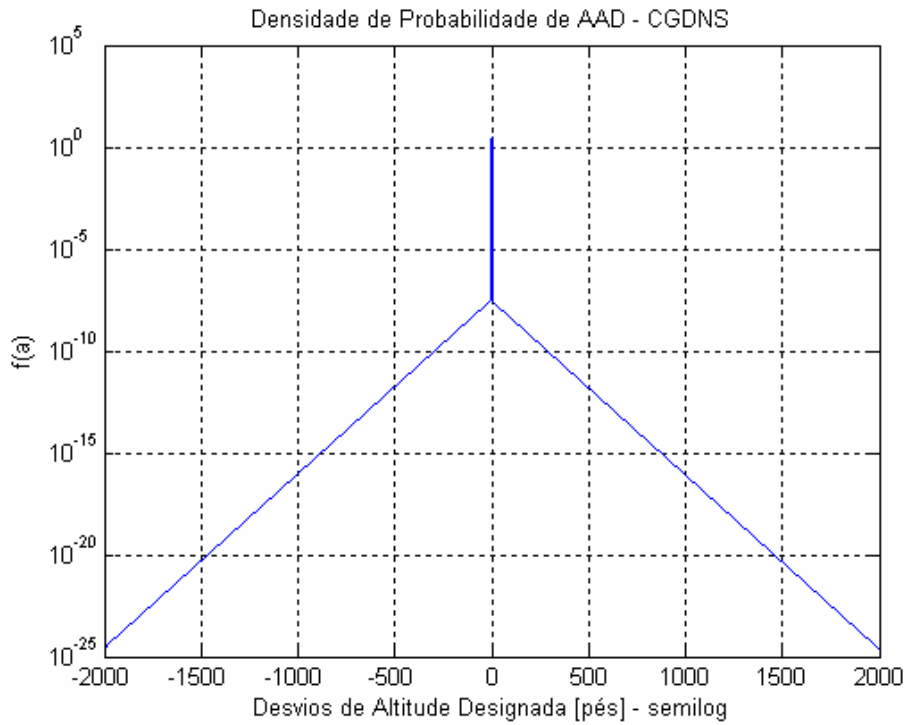


Figura 3.6 Densidades de AAD $f^{AAD}(a)$ Assumidas para a População de Aeronaves das Regiões CAR/SAM (Escala Logarítmica) (Caso 4).

3.1.1.3 Distribuição TVE Resultante

A substituição das densidades ASE e AAD das duas seções precedentes na Equação (3.11) produz a função distribuição de probabilidades $f(z)$ para as Regiões CAR/SAM, mostradas nas Figuras 3.7 e 3.8 nas escalas linear e logarítmica, respectivamente.

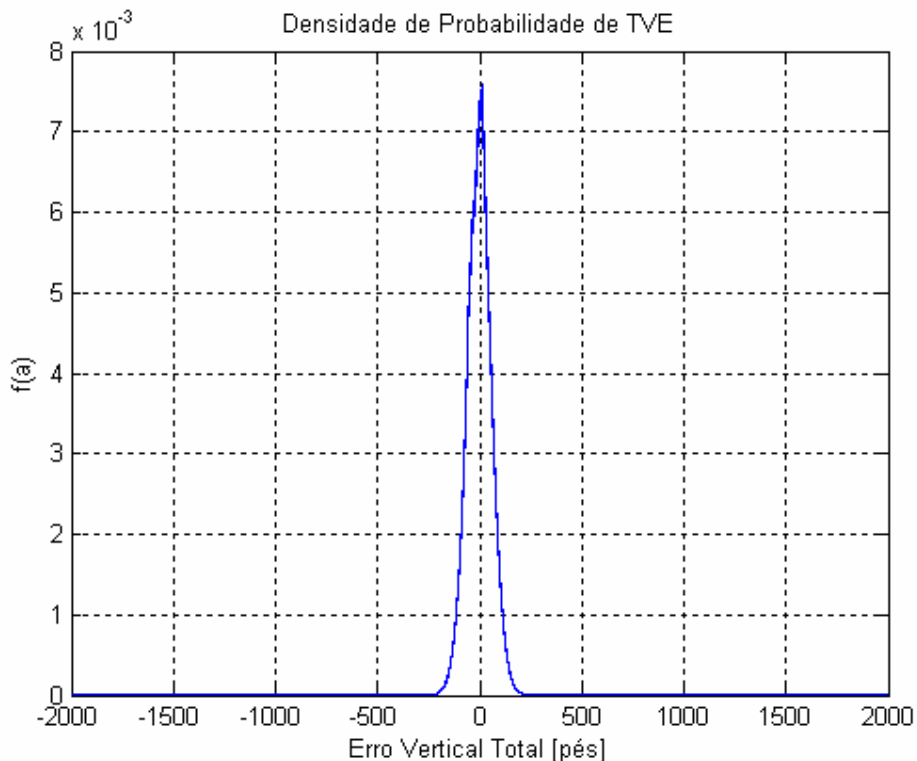


Figura 3.7 Função Distribuição $f(z)$ para a População de Aeronaves das Regiões CAR/SAM (Escala Linear).

A probabilidade de superposição vertical pode então ser calculada por meio das Equações (3.8) e (3.10) para as funções distribuições com e sem o grande desvio, devido a turbulências, para as separações mínimas de 1000 e 2000 pés. Os valores calculados são mostrados na Tabela 3.5 abaixo

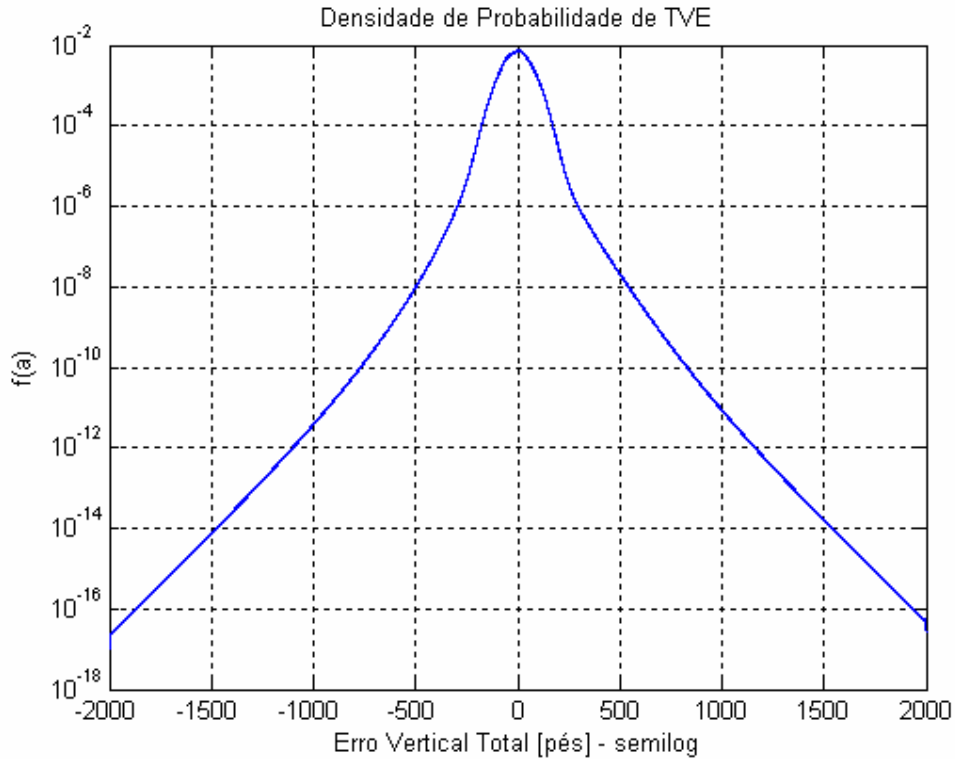


Figura 3.8 Funções Distribuições $f(z)$ para a População de Aeronaves das Regiões CAR/SAM com e sem o Grande Desvio (Escala Logarítmica).

A proporção de tempo de vôo usada no componente *ASE* do *TVE* é aquela extraída do movimento de tráfego nas regiões CAR/SAM durante o período de coleta de dados. Quatro distribuições para *TVE* foram consideradas: a primeira distribuição consistiu apenas de dados normais para o desempenho AAD típico do NAT; a segunda, considerou os dados típicos e atípicos do NAT; na terceira, os dados atípicos do NAT foram substituídos pelos grandes desvios obtidos das regiões CAR/SAM; e, na quarta foram adicionados os dados atípicos das regiões CAR/SAM aos dados típicos e atípicos da região do NAT. Os resultados das probabilidades de superposição vertical para as quatro distribuições *TVE* situam-se dentro da especificação de desempenho total, que requer que $P_z(1000)$ não exceda o valor de $1,7 \times 10^{-8}$, conforme Tabelas 3.5.1 a 3.5.3 abaixo:

Tabela 3.5.1 – Probabilidade de Superposição Vertical para as Regiões, CAR3*

Casos	Descrição	$P_z(1000)$	$P_z(0)$	$P_y(0)$
1	ASE + AAD típico do NAT	$2,2758 \times 10^{-9}$	0,3953	0,0455
2	ASE + AAD típico e atípico do NAT	$9,2662 \times 10^{-9}$	0,4182	
3	ASE + AAD típico do NAT + AAD atípico das regiões CAR/SAM	$1,1386 \times 10^{-8}$	0,4226	
4	ASE + AAD típico e atípico do NAT + AAD atípico das regiões CAR/SAM	$6,6482 \times 10^{-9}$	0,4228	

*CAR3 – Havana, Centro-América e Panamá

Tabela 3.5.2 – Probabilidade de Superposição Vertical para as Regiões SAM4*

Casos	Descrição	$P_z(1000)$	$P_z(0)$	$P_y(0)$
1	ASE + AAD típico do NAT	$8,8213 \times 10^{-10}$	0,3884	0,0462
2	ASE + AAD típico e atípico do NAT	$3,5829 \times 10^{-9}$	0,4097	
3	ASE + AAD típico do NAT + AAD atípico das regiões CAR/SAM	$4,4028 \times 10^{-9}$	0,4140	
4	ASE + AAD típico e atípico do NAT + AAD atípico das regiões CAR/SAM	$4,4399 \times 10^{-9}$	0,4142	

*SAM4 – Curitiba, Brasília, Recife e setor Manaus (FIR Amazônica)

Tabela 3.5.3 – Probabilidade de Superposição Vertical para as Regiões CAR/SAM*

Casos	Descrição	$P_z(1000)$	$P_z(0)$	$P_y(0)$
1	ASE + AAD típico do NAT	$1,4493 \times 10^{-9}$	0,3882	0,0459
2	ASE + AAD típico e atípico do NAT	$5,8951 \times 10^{-9}$	0,4098	
3	ASE + AAD típico do NAT + AAD atípico das regiões CAR/SAM	$7,2439 \times 10^{-9}$	0,4141	
4	ASE + AAD típico e atípico do NAT + AAD atípico das regiões CAR/SAM	$7,3048 \times 10^{-9}$	0,4143	

*Baseado nos dados coletados das regiões CAR3/SAM4

3.1.2 Especificação de Desempenho Total de Manutenção de Altitude

Verificação da especificação de performance global de manutenção de altura

Os dados estatísticos (desvio padrão e média) ASE para cada grupo de tipos de aeronaves foram obtidos do programa de monitoração da RVSM da Europa. A modelagem da distribuição ASE leva em conta a população de aeronaves regional, RVSM aprovadas, através das proporções de tempo de voo contribuído por cada grupo de aeronaves que voa nas regiões CAR/SAM. A modelagem da distribuição AAD é baseada no desempenho típico e atípico do sistema de navegação de manutenção de altitude. Os dados atípicos obtidos das regiões CAR/SAM correspondem aos grandes desvios sofridos por aeronaves consideradas aprovadas para RVSM. Portanto, a função

distribuição de probabilidades resultante para *TVE*, obtida através da convolução das funções distribuições *ASE* e *AAD*, foi determinada para as seguintes situações:

caso 1 – não são consideradas as aeronaves que sofreram grandes erros no espaço aéreo do NAT, ou seja, é assumido que não houve grandes erros devidos às turbulências ou possíveis outros erros do sistema de manutenção de altitude. Esta situação é considerada para efeito de comparação simplesmente;

caso 2 – Caso real do espaço aéreo do NAT, com os erros normais e grandes erros dentro do aceitável, cuja probabilidade de superposição vertical satisfaz a especificação de desempenho global do sistema. Nesta situação é assumido que os mesmos grandes erros sofridos pelas aeronaves que voam no NAT também ocorrem nas regiões CAR/SAM;

caso 3 – são considerados os grandes desvios ocorridos nas regiões CAR/SAM cometidos por aeronaves consideradas aprovadas para RVSM, adicionados aos desvios normais ocorridos no espaço aéreo do NAT. Esta situação é uma aproximação que pode ser considerada como representativa para o espaço aéreo das regiões CAR/SAM; e

caso 4 – os grandes desvios ocorridos nas regiões CAR/SAM são adicionados aos erros *AAD* normais e atípicos da região do NAT. Uma situação claramente conservativa que é analisada para compensar os possíveis erros que não tenham sido reportados.

As Tabelas de 3.6.1 a 3.6.3 mostram que todas as proporções de *TVE* são satisfeitas simultaneamente, mostrando que a especificação de desempenho de manutenção de altitude global poderá estar de acordo, dada as condições nas quais os dados sobre desvios foram obtidos do espaço aéreo NAT e das regiões CAR/SAM.

Tabela 3.6.1 – Proporção dos Erros de Manutenção de Altitude
(Havana, Centro-América e Panamá)

Caso Proporção	1	2	3	4	Limite Máximo
$Pr ob\{ TVE \geq 300\}$	$8,84 \times 10^{-5}$	$8,55 \times 10^{-5}$	$8,54 \times 10^{-5}$	$8,55 \times 10^{-5}$	$2,0 \times 10^{-3}$
$Pr ob\{ TVE \geq 500\}$	$2,32 \times 10^{-6}$	$2,27 \times 10^{-6}$	$2,27 \times 10^{-6}$	$2,27 \times 10^{-6}$	$3,7 \times 10^{-6}$
$Pr ob\{ TVE \geq 650\}$	$2,18 \times 10^{-7}$	$2,13 \times 10^{-7}$	$2,13 \times 10^{-7}$	$2,13 \times 10^{-7}$	$4,7 \times 10^{-7}$
$Pr ob\{950 \leq TVE \leq 1050\}$	$2,24 \times 10^{-9}$	$2,19 \times 10^{-9}$	$2,18 \times 10^{-9}$	$2,18 \times 10^{-9}$	$5,3 \times 10^{-8}$

Tabela 3.6.2 – Proporção dos Erros de Manutenção de Altitude
(Curitiba, Brasília, Recife e Setor Manaus (FIR Amazônica))

Caso Proporção	1	2	3	4	Limite Máximo
$Pr ob\{ TVE \geq 300\}$	$7,39 \times 10^{-5}$	$7,12 \times 10^{-5}$	$7,12 \times 10^{-5}$	$7,12 \times 10^{-5}$	$2,0 \times 10^{-3}$
$Pr ob\{ TVE \geq 500\}$	$1,37 \times 10^{-6}$	$1,34 \times 10^{-6}$	$1,34 \times 10^{-6}$	$1,34 \times 10^{-6}$	$3,7 \times 10^{-6}$
$Pr ob\{ TVE \geq 650\}$	$1,00 \times 10^{-7}$	$9,80 \times 10^{-8}$	$9,79 \times 10^{-8}$	$9,79 \times 10^{-8}$	$4,7 \times 10^{-7}$
$Pr ob\{950 \leq TVE \leq 1050\}$	$7,70 \times 10^{-10}$	$7,51 \times 10^{-10}$	$7,50 \times 10^{-10}$	$7,50 \times 10^{-10}$	$5,3 \times 10^{-8}$

Tabela 3.6.3 – Proporção dos Erros de Manutenção de Altitude
(REGIÕES CAR/SAM)

Caso Proporção	1	2	3	4	Limite Máximo
$Prob\{ TVE \geq 300\}$	$8,14 \times 10^{-5}$	$7,86 \times 10^{-5}$	$7,86 \times 10^{-5}$	$7,86 \times 10^{-5}$	$2,0 \times 10^{-3}$
$Prob\{ TVE \geq 500\}$	$1,76 \times 10^{-6}$	$1,72 \times 10^{-6}$	$1,72 \times 10^{-6}$	$1,72 \times 10^{-6}$	$3,7 \times 10^{-6}$
$Prob\{ TVE \geq 650\}$	$1,47 \times 10^{-7}$	$1,43 \times 10^{-7}$	$1,43 \times 10^{-7}$	$1,43 \times 10^{-7}$	$4,7 \times 10^{-7}$
$Prob\{950 \leq TVE \leq 1050\}$	$1,34 \times 10^{-9}$	$1,31 \times 10^{-9}$	$1,30 \times 10^{-9}$	$1,30 \times 10^{-9}$	$5,3 \times 10^{-8}$

Verificação dos critérios MASPS

Tendo em vista a origem das funções distribuições para cada grupo de tipos de aeronaves e a contribuição em proporção de tempo de voo por grupo nas regiões CAR/SAM, tem-se que:

- a média do erro do sistema de altimetria (*ASE*) do grupo não excede ± 25 m (± 80 pés);
- a soma do valor absoluto da média *ASE* para o grupo e três desvios padrão da distribuição *ASE* dentro do grupo não excede 75 m (245 pés); e
- os erros de manutenção de altitude são simétricos com respeito à média de 0 m (0 pés), o desvio padrão não é maior do que 13 m (43,7 pés) e a frequência do erro decresce com o aumento da magnitude do erro a uma taxa exponencial. (Não entram os erros devidos a condições atmosféricas severas e fatores humanos).

Identificação das causas da inconsistência dos erros de manutenção de altura:

As causas dos desvios correspondem a turbulências atmosféricas e outros possíveis erros técnicos de voo, como falhas de autopiloto, ou ainda, a certas condições operacionais de controle de tráfego aéreo não identificadas nos relatórios de incidentes.

3.1.3 Frequência de Passagem

A estimativa para a frequência de passagem foi realizada pelo método de passagem por fixos. Nesta avaliação, o resultado obtido com separação vertical de 2000 pés foi utilizado na avaliação do risco para a aplicação da RVSM. A frequência de passagem foi determinada individualmente para cada trecho de rota, para cada aerovia, para cada FIR, para três FIR adjacentes da região do Caribe e para quatro FIR adjacentes da região da América do Sul e para todo o espaço aéreo das Regiões

CAR/SAM representado pelas sete FIR (Ver apêndice A e F). O pico da frequência de passagem, de 2,673 no sentido oposto, ocorreu no trecho de rota entre os fixos URSUS e UCA da aerovia UA301 localizada na FIR Havana (MUFH). Na América do Sul o pico da frequência de passagem ocorreu na FIR Recife no trecho de rota entre os fixos SAGAZ e LIBRA da aerovia UW58, conforme pode ser observado na Tabela 3.7.1 abaixo;

Tabela 3.7.1 – Picos de Frequências de Passagem

Segmentos de Rota	Frequência de Passagem (Sentido Oposto)	Aerovia	FIR
URSUS-UCA	2,673	UA301	Havana
SAGAZ-LIBRA	2,073	UW58	Recife
TUMAR-RETAK	1,396	UA636	Haiti
FAMIP-PANDI	1,384	UZ2	Brasília
TBG-KORPU	1,318	UL780	Panamá
TANGO-VUMPI	1,242	UL795	Manaus
ESV-SISEL	1,138	UG437	Guayaquil
XAREO-ETANO	0,8326	UA314	Curitiba
KIRAP-AMIDA	0,7898	UG521a	Centro-América

Nas Tabelas 3.7.2 e 3.7.3 abaixo, são mostrados as frequências de passagem e os tempos de vôo analisados das FIR que possuem fluxos de tráfego mais intenso. A estimação da frequência de passagem para as regiões CAR/SAM torna-se mais próxima da realidade com a inclusão do setor Manaus da FIR Amazônica às três adjacentes: Curitiba, Brasília e Recife.

Tabela 3.7.2– Frequência de Passagem da Região do Caribe

FIR (ACC)	Horas de Voo	Frequência de Passagem Mesmo Sentido	Frequência de Passagem Sentido Oposto	Frequência de Passagem Equivalente
Havana	3964	0,0	1,060	1,060
Centro-América	3805	0,0	0,2276	0,2276
Panamá	3054	0,0	0,4880	0,4880
Total	10822	0,0	0,6049	0,6049

Tabela 3.7.3 – Frequência de Passagem da Região da América do Sul

FIR (ACC)	Horas de Voo	Frequência de Passagem Mesmo Sentido	Frequência de Passagem Sentido Oposto	Frequência de Passagem Equivalente
Curitiba	3561	0,0044	0,2034	0,2123
Brasília	8166	0,0389	0,3411	0,4092
Recife	3198	0,0050	0,2522	0,2645
Sub-Total	14925	0,0256	0,2813	0,3275
Manaus	1963	0,0	0,4014	0,4014
Total	16888	0,0253	0,3098	0,3557

A frequência de passagem equivalente, mostrada na Tabela 3.7.4, para as regiões CAR/SAM, não apresenta diferença significativa com a inclusão do setor FIR Manaus, no entanto é de considerável importância para a estimação do tempo total de voo (T).

Tabela 3.7.4 - Frequência de Passagem das Regiões CAR/SAM

	Frequência de passagem	
	CAR3/SAM3*	CAR3/SAM4*
Sentido Oposto	0,4898	0,4810
Mesmo Sentido	0,02558	0,0253
Equivalente	0,5362	0,5269

*CAR3 – Havana, Centro-América e Panamá; SAM3 – Curitiba, Brasília e Recife;
 SAM4 -Curitiba, Brasília, Recife e setor Manaus (FIR Amazônica).

As Figuras 3.9 a 3.14 mostram a freqüência de passagem, sentido oposto, por dia do mês e por dia da semana das regiões: CAR (FIR Havana, Centro-América e Panamá), SAM (FIR Brasília, Recife, Curitiba e Manaus) e CAR/SAM7 (região CAR e SAM).

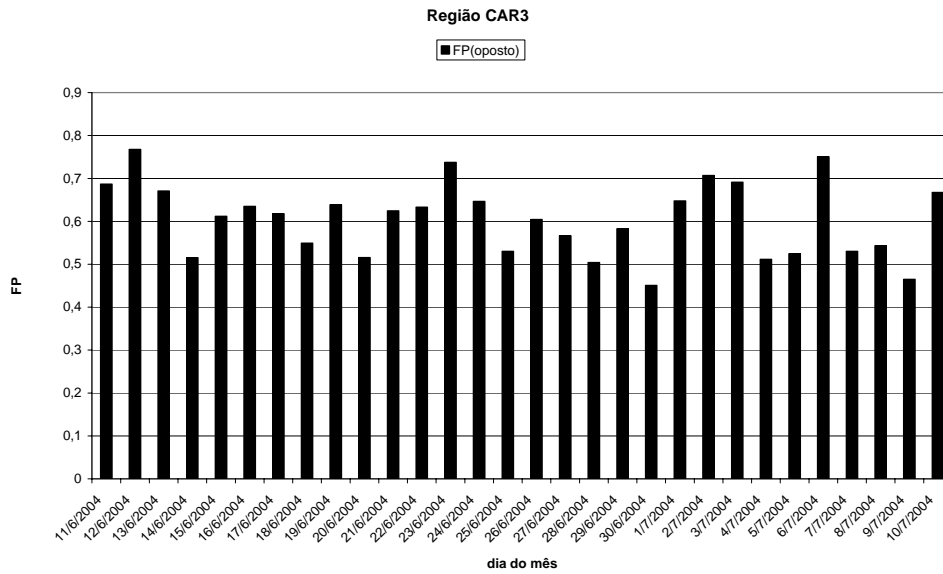


Figura 3.9 Freqüência de Passagem Sentido Oposto, por Dia do Mês, da Região CAR (3 FIR)

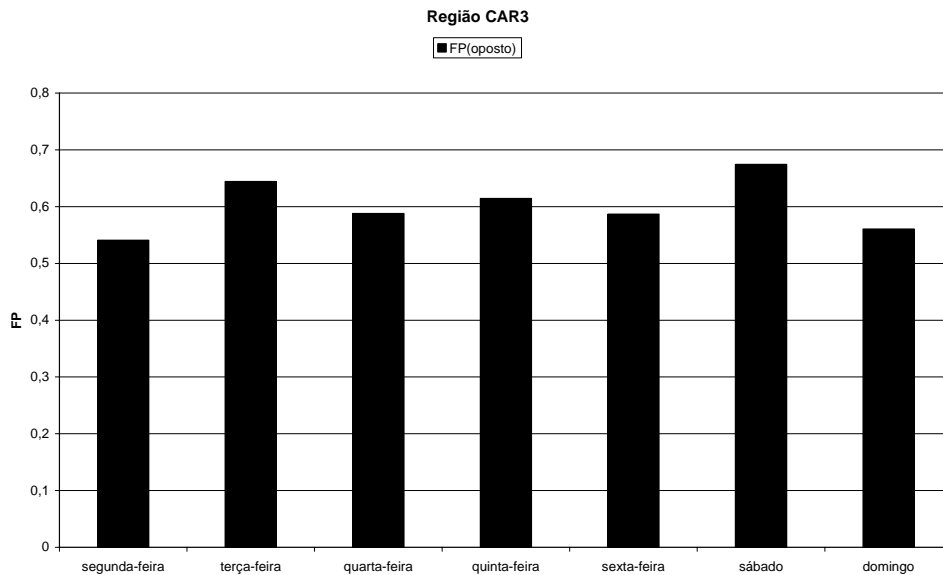


Figura 3.10 Frequência de Passagem Sentido Oposto, por Dia da Semana, da Região CAR (3 FIR)

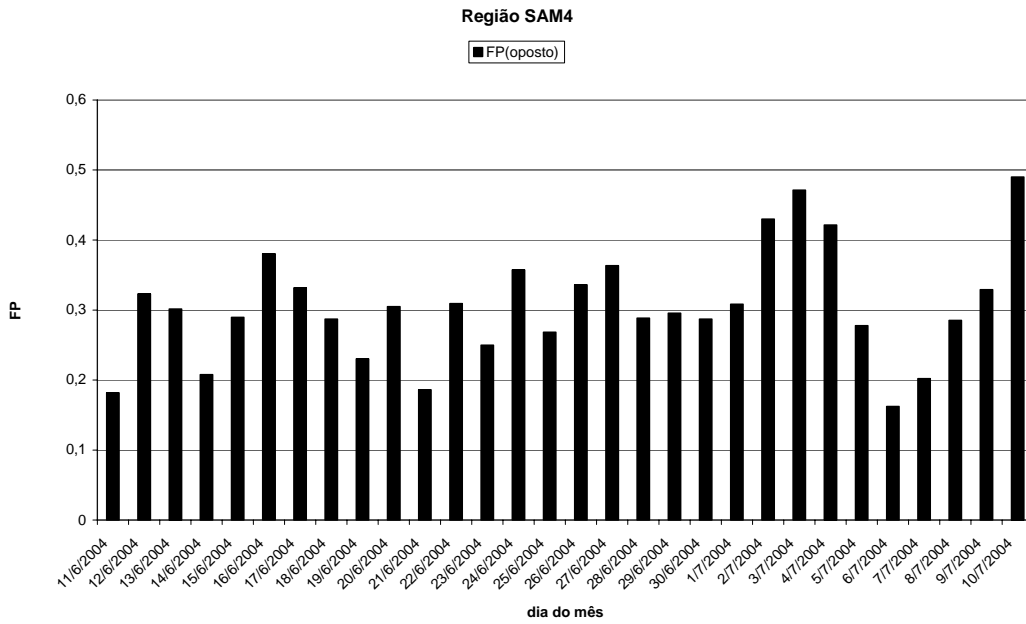


Figura 3.11 Frequência de Passagem, Sentido Oposto, por Dia do Mês, da Região SAM (4 FIR)

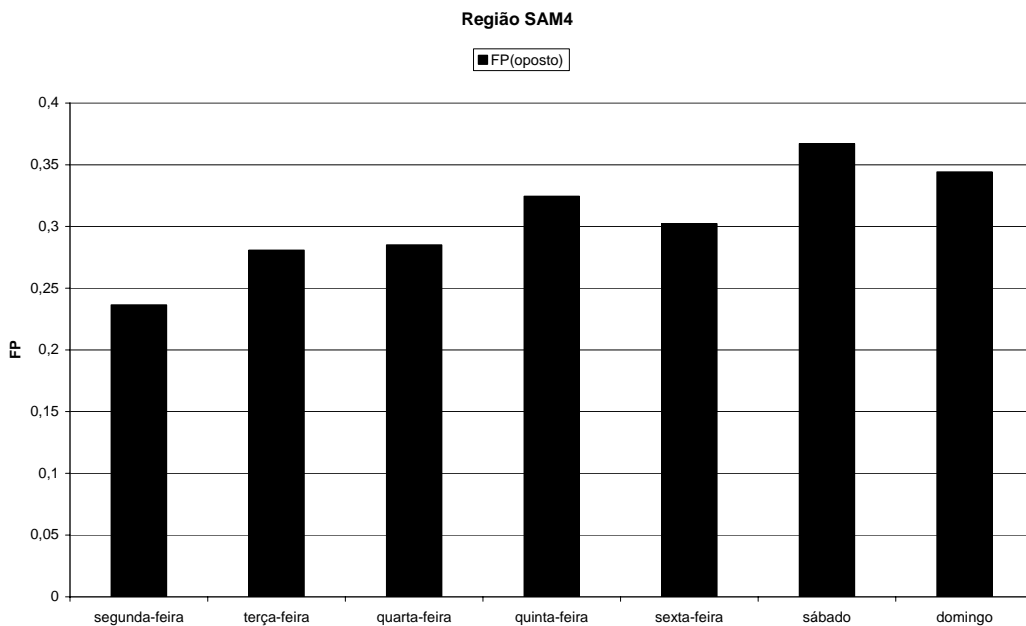


Figura 3.12 Frequência de Passagem, Sentido Oposto, por Dia da Semana, da Região SAM (4 FIR)

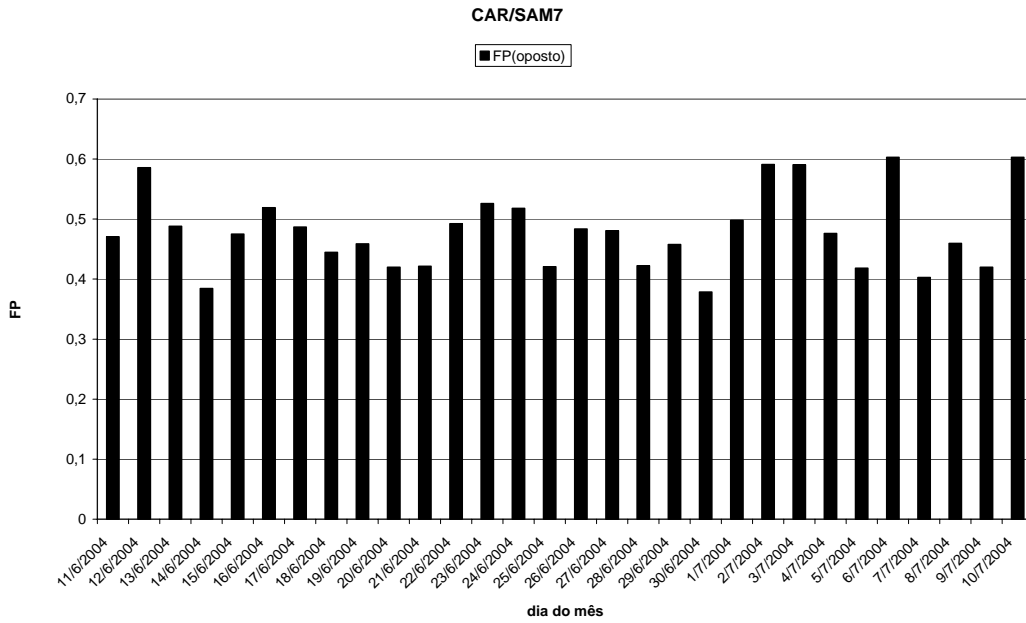


Figura 3.13 Freqüência de Passagem, Sentido Oposto, por Dia do Mês, da Região CAR/SAM (7 FIR)

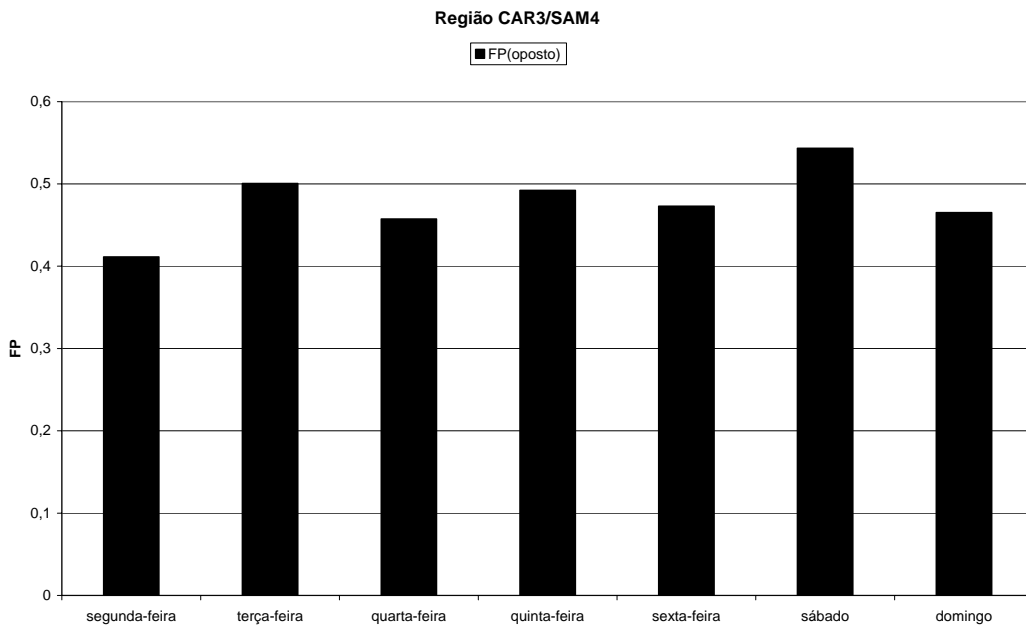


Figura 3.14 Freqüência de Passagem, Sentido Oposto, por Dia da Semana, da Região CAR/SAM (7 FIR)

3.1.4 Probabilidade de Superposição Lateral

A probabilidade de superposição lateral, $P_y(0)$, é a probabilidade de duas aeronaves, nominalmente na mesma rota, estarem dentro de uma distância lateral λ_y (envergadura média da aeronave) uma da outra. O valor deste parâmetro depende da precisão da navegação lateral das aeronaves na região. Quanto mais precisa a navegação maior a probabilidade de superposição vertical. O desvio padrão dos desvios laterais nunca deve ser subestimado e a forma da distribuição usada para modelar a região do núcleo do desempenho de navegação deve ser determinada com cuidado porque também afeta o valor de $P_y(0)$.

Para determinar $P_y(0)$ precisamente, a forma exata da distribuição dos parâmetros envolvidos precisam ser determinados otimizando o ajuste dos dados observados, isto é, através da probabilidade máxima (ver Apêndice D-III). Anteriormente foi usada uma distribuição dupla exponencial. $P_y(0)$ foi então calculada usando a seguinte equação:

$$P_y(0) = \int_{-\infty}^{\infty} f(y) \int_{y-\lambda_y}^{y+\lambda_y} f(v) dv dy, \quad (3.18)$$

para distribuições simples, isto é, determinadas diretamente. Alternativamente, pode ser aproximada por:

$$P_y(0) = 2 \lambda_y C(0), \quad (3.19)$$

onde a integral convolução $C(0)$ é dada por

$$C(0) = \int_{-\infty}^{\infty} f(y)f(y)dy. \quad (3.20)$$

Pode ser mostrado também que se os dados observados são próximos à forma dupla exponencial, uma boa aproximação pode ser obtida por

$$P_y(0) = \frac{\lambda_y}{\sqrt{2} \sigma_y}, \quad (3.21)$$

onde

σ_y = desvio padrão dos erros laterais observados.

Para a aeronave típica que voa nas Regiões CAR/SAM com envergadura (λ_y) de 0,019495 MN, usando uma aproximação dada por uma distribuição descrita por uma função dupla exponencial, foi obtido o valor de $P_y(0) = 0,0459$ (Tabela 3.7.5). Este parâmetro deverá ser monitorado após a implementação da RVSM, para verificar a sua conformidade, através da coleta dos desvios laterais e posterior determinação do desempenho de navegação lateral das aeronaves em operação nas Regiões CAR/SAM.

Tabela 3.7.5 – Probabilidade de Superposição Lateral, $P_y(0)$ e λ_y para as regiões CAR/SAM

Região	$P_y(0)$	Envergadura, λ_y
CAR3	0,0455	0,019318
CAR5**	0,0451	0,019145
SAM3	0,0451	0,019114
SAM4	0,0462	0,019608
CAR3/SAM3	0,0453	0,019199
CAR3/SAM4	0,0459	0,019495
CAR5/SAM4	0,0458	0,019414

**CAR5 – Havana, Centro-América, Panamá, Haiti e Guayaquil

3.1.5 Características e Parâmetros Operacionais das Aeronaves

As dimensões médias da aeronave usadas no CRM foram calculadas usando as dimensões reais das aeronaves (Apêndice F) que voaram no espaço aéreo das regiões CAR/SAM no período de coleta de dados (junho a julho/2004). Nesta amostragem foram identificadas mais de uma centena de diferentes tipos de aeronaves. A Tabela 3.3 apresenta todos os tipos de aeronaves que voaram na região neste período.

Na Tabela 3.8 são apresentadas as dimensões médias das aeronaves que voaram nas Regiões CAR/SAM no período da coleta de dados.

Tabela 3.8 Dimensões da Aeronave Típica para as Regiões CAR/SAM, em MN.

Aeronave	λ_x Comprimento	λ_y Largura	λ_z Altura	λ_h Diâmetro
CAR	0,0217696	0,0193178	0,0065586	0,0217696
SAM	0,0217465	0,0196077	0,006654	0,0746521
CAR/SAM	0,0217555	0,0194945	0,0066167	0,0217555

Na Tabela 3.9 são mostradas os parâmetros do modelo de risco de colisão vertical para as regiões CAR, SAM e CAR/SAM.

Tabela 3.9 - Sumário dos Parâmetros do Modelo de Risco de Colisão Vertical

Parâmetro	Espaço Aéreo		
	CARIBE	AMÉRICA DO SUL	CAR/SAM
$P_y(0)$	0,0455	0,0462	0,0459
$P_z(1000)$	$6,6482 \times 10^{-9}$	$4,4399 \times 10^{-9}$	$7,3048 \times 10^{-9}$
λ_x (MN)	0,0217696	0,0217465	0,0217555
λ_y (MN)	0,0193178	0,0196077	0,0194945
λ_z (MN)	0,0065586	0,0066540	0,0066167
λ_h (MN)	0,0217696	0,0217465	0,0217555
$ \bar{V} $ (MN / h)	469,93	442,33	453,87
$ \overline{\Delta V} $ (MN / h)	20	31,32	31,31
$ \bar{y} $ (MN / h)	20	20	20
$ \bar{z} $ (MN / h)	1,5	1,5	1,5
$N_x(\text{oposto})$	0,6049	0,3098	0,4810
$N_x(\text{mesmo})$	0,0	0,02534	0,02528
$E_z(\text{cruzamento})$	0,1038	0,3902	0,2877
S_x (MN)	80	80	80

A velocidade média $\overline{|V|}$ foi obtida a partir das velocidades das aeronaves que voaram nas regiões CAR/SAM no período da coleta de dados. Com estes dados foram obtidas as velocidades médias para cada tipo de aeronave, que foram ponderadas com o tempo de vôo para se obter a estimativa da média para a região toda. Foram considerados corretos os valores de velocidade da aeronave entre 300 e 600 nós. Aeronaves com velocidades fora desta faixa tiveram o tempo de passagem pelo fixo de saída corrigidos com base na velocidade média do mesmo tipo de aeronave, no trecho analisado.

A precisão da estimativa de $\overline{|V|}$ é, obviamente, determinada pelo tamanho da amostra e da precisão dos tempos de passagem reportados nos fixos de notificação.

Para estimar a velocidade relativa média $\overline{|\Delta V|}$, foram utilizados dados de vôos de pares de aeronaves em níveis adjacentes, no mesmo sentido, e que se encontravam na janela de tempo correspondente ao tempo de vôo do trecho em questão.

Nas regiões CAR/SAM não se têm dados para a estimativa da velocidade lateral relativa média $\overline{|\dot{y}|}$, que pode ser obtida por meio de dados fornecidos por radar. Uma estimativa deste parâmetro é dado na Referência /1/, para as regiões CAR/SAM, foi adotado o valor mais conservativo de $\overline{|\dot{y}|} = 20$ nós.

A velocidade vertical relativa, $\overline{|\dot{z}|}$, deve ser determinada para pares de aeronaves que tenham perdido totalmente a separação vertical. Na prática, isto não é observado. O valor é estimado, indiretamente, de medidas de radar de velocidades relativas de pares de aeronaves com diferentes desvios e o valor é extrapolado para a separação vertical padrão. Conforme documento de cálculo de risco de colisão da região NAT /6/, estes dados de radar foram coletados somente na Europa e para aeronaves típicas desta região. Para a análise do risco de colisão nas regiões CAR/SAM, foi utilizado $\overline{|\dot{z}|} = 1,5$ nós, mesmo valor utilizado em todas as demais regiões onde foram feitos cálculos de risco de colisão.

3.1.6 Risco Vertical Técnico

A partir das Equações (3.5) e (3.6) e dos dados das Tabelas 3.5, 3.8 e 3.9 foi feita a avaliação do risco vertical técnico para as regiões CAR/SAM. Os resultados são apresentados na Tabela 3.10.

O objetivo é verificar se o *TLS* técnico de $2,5 \times 10^{-9}$ acidentes fatais por hora de vôo é satisfeito de acordo com um nível de confiança estatístico. O risco de colisão técnico representativo do espaço aéreo da região do Caribe é avaliado considerando as três FIR adjacentes: Havana, Centro-América e Panamá. Na América do Sul o risco é avaliado nas quatro FIR adjacentes: Curitiba, Brasília, Recife e setor Manaus da FIR Amazônica. Para as regiões CAR/SAM o risco é avaliado baseado nas sete FIR mencionadas. Na Tabela 3.9 acima, são apresentados os parâmetro do Modelo de Risco de Colisão Vertical Técnico.

O risco de colisão foi avaliado separadamente para as regiões do Caribe e da América do Sul e para o espaço aéreo total, conforme mostrado na Tabela 3.10.1. Foram considerados os quatro casos especificados anteriormente na determinação da função distribuição de probabilidades para *TVE*.

Tabela 3.10.1 - Estimativas para o Risco de Colisão Vertical Técnico para as Regiões CAR/SAM

Caso	Caribe	América do Sul	CAR/SAM
1	$6,5723 \times 10^{-11}$	$1,8218 \times 10^{-11}$	$3,9946 \times 10^{-11}$
2	$2,6760 \times 10^{-10}$	$7,3995 \times 10^{-11}$	$1,6248 \times 10^{-10}$
3	$3,2882 \times 10^{-10}$	$9,0928 \times 10^{-11}$	$1,9966 \times 10^{-10}$
4	$3,3158 \times 10^{-10}$	$9,1695 \times 10^{-11}$	$2,0134 \times 10^{-10}$

3.1.7 Efeito do Crescimento do Tráfego

Considerando que os erros técnicos permaneçam estáveis, o efeito do crescimento do tráfego aéreo no risco de colisão vertical técnico pode ser avaliado com base na relação entre crescimento do tráfego e a frequência de passagem.

A evolução do risco de colisão no período de 2004 a 2014 foi estimada, para o caso mais conservador (caso 4), para razões anuais de crescimento da frequência de passagem de 2, 4, 6 e 8 %. As projeções do risco estão mostradas nas Figuras 3.15 a 3.17, abaixo. Nota-se que o risco técnico, até 2014, estará bem abaixo do limite $2,5 \times 10^{-9}$.

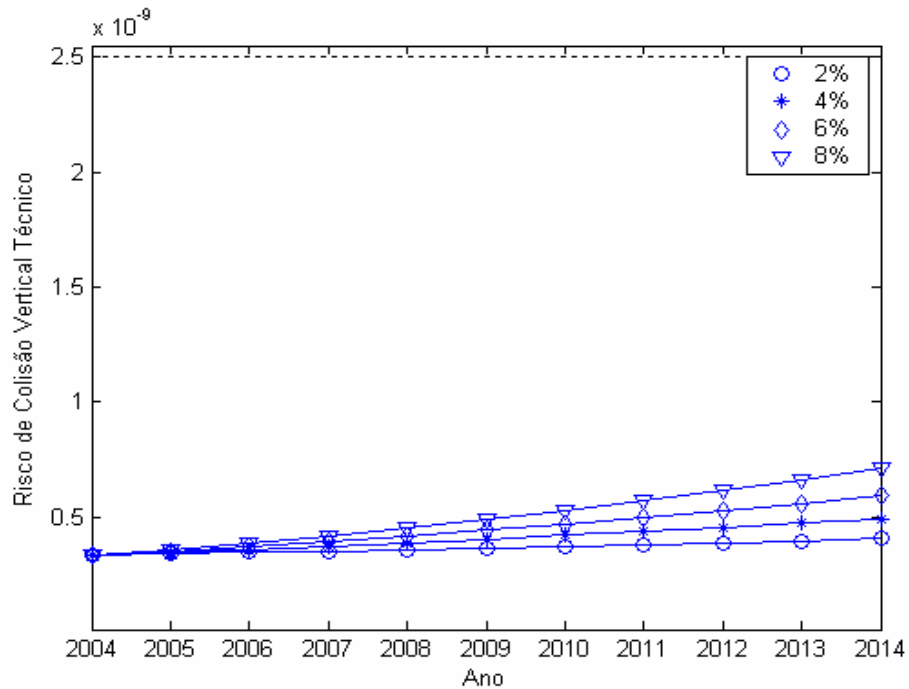


Figura 3.15 Projeção do Crescimento do Risco de Colisão Vertical Técnico (Havana, Centro-América e Panamá)

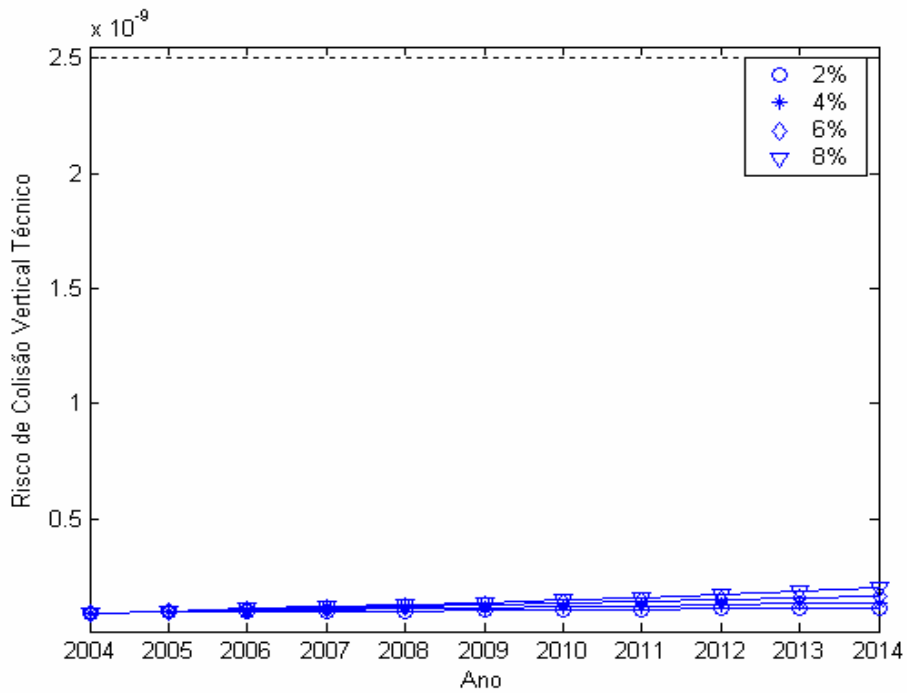


Figura 3.16 Projeção do Crescimento do Risco de Colisão Vertical Técnico (Curitiba, Brasília, Recife e Setor Manaus (FIR Amazônica))

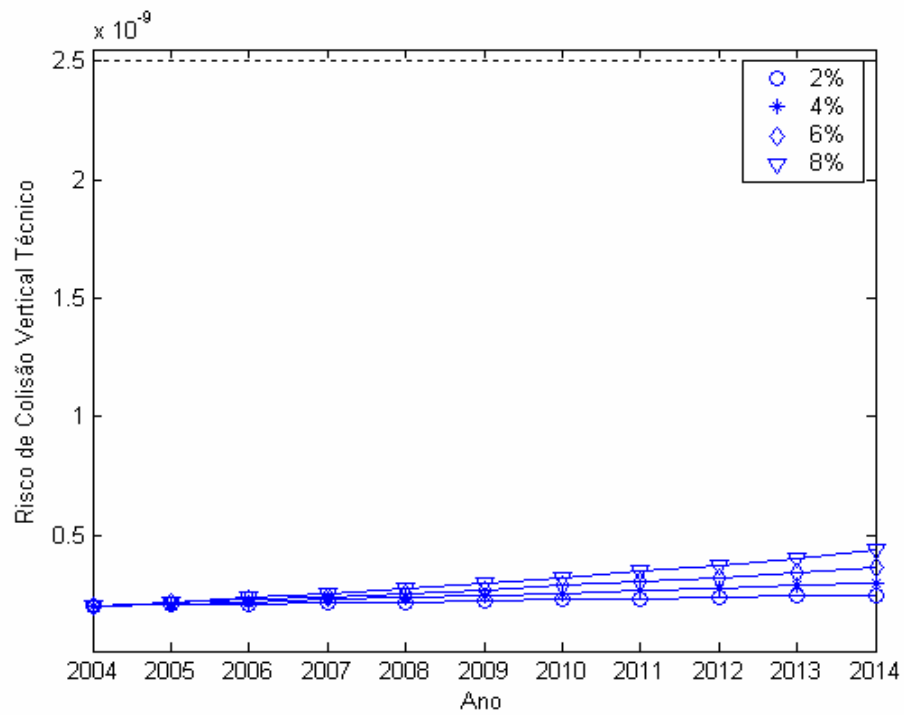


Figura 3.17 Projeção do Crescimento do Risco de Colisão Vertical Técnico – CAR/SAM

3.1.8 Risco de Colisão Técnico Após a Reunião de Lima

O número total de horas de voo do sistema considerado para as regiões CAR/SAM foi de 332.518,2 horas/ano obtido das planilhas de movimento de fluxo preenchidas corretamente. Na reunião de Lima, o grupo de trabalho decidiu por reestimar o risco de colisão baseado num tempo de voo total do sistema mais próximo da realidade. Este valor foi inferido em 763.557,6 horas de voo para as regiões CAR/SAM. O novo valor do risco técnico foi calculado apenas para o caso 4 por ser mais representativo, e apresenta-se 28 % menor do que o calculado anteriormente para as regiões CAR/SAM, conforme mostrado na Tabela 3.10-2, abaixo.

Tabela 3.10-2 - Estimativas para o Risco de Colisão Vertical Técnico para as Regiões CAR/SAM – ($T = 763.557,6$ horas/ano)

Caso	Caribe	América do Sul	CAR/SAM
4	$2,8243 \times 10^{-10}$	$6,8751 \times 10^{-11}$	$1,4538 \times 10^{-10}$

3.2 Avaliação do Risco de Colisão Vertical Devido a Erros Operacionais

De acordo com a experiência adquirida durante a implementação da RVSM no espaço aéreo do Atlântico Norte, os grandes desvios de altura coletados (Apêndice G) podem ser divididos em quatro grupos principais de tipos de erros:

- 1) *erros de comunicação entre o órgão de controle-piloto e autorizações incorretas;*
- 2) *eventos contingenciais nas aeronaves;*
- 3) *erros devidos a efeitos meteorológicos;*
- 4) *ações devido ao ACAS (Sistema de Anticolisão em Voo).*

No espaço aéreo NAT os sistemas de monitoração têm se apresentados eficientes na detecção de **erros técnicos** normais de manutenção de altura (ASE e FTE), incluindo

os grandes erros técnicos, porém inadequados para detectar os outros grandes erros não técnicos. Tais erros, identificados através de relatórios de incidentes, podem ser devidos a procedimentos operacionais, condições meteorológicas adversas ou ainda a manobras de emergência por causa de falha de motor ou de pressurização. Todos os erros maiores ou iguais a 300 pés que ocorrem no espaço aéreo NAT são arquivados como reportes de incidentes e enviados para a agência de monitoração central para análise detalhada. Para auxiliar a análise, a agência de monitoração classificou os desvios de acordo com um esquema de códigos, conforme apresentado na Tabela 3.11 abaixo.

Desta forma, a identificação por grupos de tipos de erros facilita a classificação dos erros de acordo com as causas. Esta classificação é apresentada em seguida:

(1) Erros de comunicação Piloto-ATC e autorizações incorretas - Esta categoria inclui erros onde a aeronave falha ao subir ou ao descer conforme especificado (Código D da CMA – Falha ao subir/descer conforme autorizado) ou onde a aeronave sobe ou desce sem autorização do ATC (Código E da CMA – Subir/Descer sem autorização do ATC). A categoria também inclui re-autorizações de nível de vôo do ATC que resultam em perdas de separação lateral ou longitudinal (Código G da CMA – Re-autorização de nível de vôo do ATC resultando em perda de separação lateral ou longitudinal) e entradas no espaço aéreo em um nível incorreto (Código F da CMA – Entrada no espaço aéreo MNPS em um nível incorreto).

Erros no circuito de comunicação piloto-ATC ou autorizações incorretas provavelmente resultem em aeronave voando em múltiplos inteiros de padrões de separação do seu nível correto. *Informação sobre estes tipos de eventos é obtida via ATC ou reportes do piloto. Cálculos iniciais baseados nas ocorrências reportadas de tais grandes erros verticais proporcionam contribuição importante para o risco de colisão. Conseqüentemente, o cálculo da contribuição para a probabilidade de superposição vertical devido a estes erros é muito importante;*

(2) Eventos Contingenciais em Aeronaves - Esta categoria inclui eventos contingenciais devidos a falhas de motor (código A da CMA – ação contingencial devido à falha de motor), falhas de pressurização (código B da CMA – ação contingencial devido à falha de pressurização) e eventos contingenciais devidos a outras causas (Código C da CMA – ação contingencial devido à outra causa).

Tabela 3.11 Códigos dos Desvios de Altitude.

Categoria	Descrição
1	Nível final dentro do espaço RVSM
2	Nível final acima do espaço RVSM
3	Nível final abaixo do espaço RVSM
Subcategoria	Descrição
A	Ação contingencial devido à falha de motor
B	Ação contingencial devido à falha de pressurização
C	Ação contingencial devido à outra causa
D	Falha ao Subir/Descer quando autorizado
E	Subir/Descer sem autorização do órgão ATC
F	Entrar no espaço aéreo RVSM em um nível incorreto
G	Re-autorização de nível de vôo resultando em perda de separação lateral ou longitudinal
H	Desvio devido ao ACAS (TCAS)
I	Incapacidade de a aeronave manter o nível
J	Falha do ATC ao registrar corretamente, cordenar, ou seguir através de mudanças de FL e/ou outras autorizações
K	Tripulação não mantém nível conforme autorizado
L	Falha do órgão ATC ao capturar leitura de retorno das instruções de controle, falhas para manter consciência da situação, ou falha ao resolver sinais de chamada transposta
M	Ações tomadas devido à falha mecânica ou falha de equipamento
O	Outros
W	Tempo

Ocasionalmente a aeronave é incapaz de manter seu nível correto devido a algum evento emergencial tal como uma falha de motor. Nestas situações, é freqüentemente impossível para o piloto obter autorização do ATC antes de deixar o nível autorizado. Para minimizar o risco envolvido nestas circunstâncias foram

planejados procedimentos contingenciais. Os procedimentos específicos para uso nas regiões CAR/SAM constam do Doc 7030 (“Regional Supplementary Procedures”). Eventos contingenciais podem impor um risco particularmente grande no espaço aéreo oceânico devido a falta de auxílio à navegação e comunicações diretas. Procedimentos contingenciais são planejados para minimizar estes riscos, mas é importante que sejam incluídos na análise total. Se os procedimentos acima forem seguidos o risco de colisão com outra aeronave deve ser minimizado na maioria dos cenários. Entretanto, é possível que a natureza da emergência faça com que a aeronave seja forçada a descer um ou mais níveis antes de ser capaz de desviar da rota original. É esta descida através de níveis potencialmente ocupados que contribuirá para a maior parte do risco de colisão.

Para permitir a avaliação do risco, o número de níveis transitados antes de começar o afastamento da rota deve fazer parte do relatório de contingência exigido dos pilotos;

(3) Desvios devidos a efeitos Meteorológicos - Esta categoria inclui grandes desvios de altura causados por aeronave incapaz de manter o nível devido às condições de tempo, (Código I da CMA – incapacidade da aeronave manter o nível).

Esta categoria cobre desvios devidos aos efeitos da turbulência do ar e poderia também incluir eventos raros tais como os efeitos de nuvens de poeira vulcânica. Somente situações inadvertidas devidas às circunstâncias externas são incluídas nesta categoria; os efeitos de desvios que se originam como resultado de uma ação deliberada para evitar condições adversas de tempo, etc., podem ser definidos como eventos contingenciais.

Quando uma aeronave entra numa atmosfera turbulenta, tal como no interior de sistemas de tempestades, sua capacidade de manutenção de altura pode se deteriorar consideravelmente. Isto pode resultar em excursões do nível de pressão correto que, em alguns casos, podem ser superiores a 1000 pés. Este tipo de excursão obviamente aumentará o risco de colisão e o tamanho do risco será maior com menores padrões de separação. A incidência dos desvios causados pela turbulência exigirá monitoração e análise continuada para assegurar que o risco associado com tais eventos não seja excessivo;

(4) Desvio devido ao ACAS (TCAS) - Esta categoria inclui desvios de altura causados pela “TCAS Avisos de Resolução” (Code H do CMA)

É importante, se a extensão dos desvios de altura for significativa, que o evento que leva a um RA do TCAS seja incluído no processo de avaliação do risco de colisão. Os RAs de TCAS normalmente não adicionarão qualquer risco ao sistema embora, muito ocasionalmente, o TCAS poderia induzir uma perda de separação como resultado de uma RA inapropriado. Conseqüentemente, cada evento TCAS, precisa ser considerado individualmente.

3.2.1 Modelos de Risco de Colisão Vertical Devido a Erros Operacionais

Os primeiros dois tipos gerais de causas podem envolver uma aeronave nivelando em um nível de vôo errado e/ou subindo ou descendo através de um ou mais níveis de vôo sem autorização. Conseqüentemente, eles são chamados de grandes desvios de altitude envolvendo números inteiros de níveis de vôo. Deve ser notado que a maioria dos procedimentos de situações contingenciais destina-se a controlar efetivamente o risco associado com o evento contingencial. Ocasionalmente, pode não ser possível agir completamente de acordo com os procedimentos, resultando no tipo de efeito mencionado.

Para os desvios envolvendo números inteiros de níveis de vôo, três informações importantes precisam constar nos relatórios de incidentes:

- *o número de níveis de vôo cruzados sem autorização, se houver;* somente os níveis dentro do espaço aéreo RVSM são considerados, uma vez que o TLS aplica-se somente a este tipo de ambiente;
- *a razão de subida/descida;* esta informação raramente é dada nos relatórios de incidentes. Quando ela não está disponível, são elaboradas hipóteses baseadas nas informações fornecidas pelos operadores. Estas hipóteses são apresentadas na Tabela 3.12 / 6 / abaixo; e
- *o tempo gasto em níveis de vôo não autorizados, se houver.* Também deverá estar incluído no relatório de incidentes, e se estiver deverá ser usado. Infelizmente, estes tipos de grandes desvios raramente são reportados nos relatórios. Em consequência, é necessário estimar o tempo baseado em outras informações contidas no relatório.

Tabela 3.12 Razões Assumidas de Subida/Descida para Alguns Incidentes Causados por Desvios de Altitude

Evento	Razão de Subida/Descida Assumida (nós)
Falha de motor (aeronave com 3 ou mais motores)	2
Falha de motor (aeronave de motor duplo)	5
Subida/Descida normal	20
Turbulência ou incidente de ACAS	20
Falha de pressurização	50

Desvios de altura devido ao ACAS (TCAS) usualmente não envolvem números inteiros de níveis de vôo, mas podem ser muito maiores do que os desvios de altura normais de aeronaves MASPS aprovadas. O método usado na NAT para fazer isto é descrito na publicação “**Assessments of Vertical Occupancy and Height Deviations in the NAT for the 1992/93 Monitoring Year. NAT SPG/29, Paris 2nd – 16th June 1993. WP/20 apud 6**”. Usando este método, as estimativas para os tempos gastos em níveis incorretos para os grandes desvios classificados como D, E, F, e G, são apresentados na Tabela 3.13. Outros grandes desvios normalmente não envolvem tempos gastos em níveis não autorizados, e se for o caso, esta informação é fornecida no relatório.

Tabela 3.13 Tempo Estimado em Nível Incorreto para Erros de Comunicação piloto/ATC Quando não Existe Informação Suficiente nos Relatórios sobre Grandes Desvios.

Código CMA	Tipo	Tempo Estimado em Nível Incorreto
D	Falha ao Subir/Descer quando Autorizado	15 minutos
E	Subir/Descer sem autorização do órgão ATC	55 minutos
F	Entrar no espaço aéreo RVSM em um nível incorreto	15 minutos
G	Re-autorização de nível de vôo resultando em perda de separação lateral ou longitudinal	55 minutos

Modelos de risco de colisão apropriados necessários para cada um dos casos acima considerados são descritos nas subseções abaixo. Estes modelos diferem do modelo de risco de colisão vertical técnico com respeito ao cálculo da probabilidade de superposição vertical e da velocidade vertical relativa. Como cada um dos dois primeiros tipos gerais de causas podem envolver dois tipos de eventos iniciadores de risco, os modelos de risco de colisão são apresentados primeiro para aeronave nivelando em um nível errado e em segundo para aeronave subindo/descendo através de um nível de vôo. A característica comum destes dois modelos é que funcionam com base “por evento”. Eles são então usados como blocos de construção para os modelos de risco de colisão associados com os grupos de tipos de causas: erros no circuito de comunicação piloto-ATC/autorizações incorretas; e eventos contingenciais na aeronave. As estimativas do risco vertical são examinados na Seção 3.4.

3.2.1.1 Modelo de Risco para Aeronave Nivelando em um Nível Errado (NE)

É quando uma aeronave nivela em um nível errado e mantém o vôo neste nível. Conseqüentemente, aplica-se o mesmo tipo de modelo de risco de colisão usado para aeronave em níveis de vôo adjacentes, mas com o cálculo da probabilidade de superposição vertical modificado.

Considere um par de aeronaves, onde uma delas nivelou em um nível errado. Para tal par de aeronaves, a distância vertical entre elas z_{12} reduz-se a

$$z_{12} = z_1 - z_2, \quad (3.22)$$

e a probabilidade de superposição vertical dado o evento torna-se

$$P_z(S_z;0) = \int_{-\lambda_z}^{\lambda_z} \int_{-\infty}^{\infty} f_1^{TVE}(z_1) f_2^{TVE}(z_1 - z) dz_1 dz. \quad (3.23)$$

Note que P_z tem dois argumentos: o último indica que a separação nominal real entre as duas aeronaves é zero e o primeiro indica que a separação vertical nominal pretendida é S_z . Numericamente, seu valor é igual ao do $P_z(0)$ dado pelas Equações (3.9) e (3.10), isto é

$$P_z(S_z;0) = P_z(0). \quad (3.24)$$

Quando o número de aeronaves nivelando em um nível errado durante um dado tempo calendário for n^{ne} , o tempo médio gasto no nível errado \bar{t}^{ne} e o tempo de vôo total T, a probabilidade de superposição vertical associada a este tipo de evento é

$$P_z(S_z) = \frac{P_z(S_z;0) \times n^{ne} \times \bar{t}^{ne}}{T}, \quad (3.25)$$

ou, usando a Equação (3.24),

$$P_z(S_z) = \frac{P_z(0) \times n^{ne} \times \bar{t}^{ne}}{T}. \quad (3.26)$$

O tempo de permanência médio de uma aeronave nivelando em um nível errado pode ser estimado por

$$\bar{t}^{ne} = \frac{1}{n^{ne}} \sum_{i=1}^{n^{ne}} t_i^{ne}, \quad (3.27)$$

onde, t_i^{ne} , $i = 1, \dots, n^{ne}$, representa o tempo gasto por uma aeronave em um nível errado durante o i -ésimo evento.

A Equação (3.26) pode substituir $P_z(S_z)$ nas Equações (3.5) e (3.6) do modelo de risco de colisão vertical para obter o risco vertical devido a aeronave estar nivelando em nível errado, isto é

$$N_{az}^{ne} = \frac{P_z(0) \times n^{ne} \times \bar{t}^{ne}}{T} P_y(0) c_2 N_x(\text{equivalente}) + \frac{P_z(0) \times n^{ne} \times \bar{t}^{ne}}{T} \sum_{i=1}^n P_h(\theta_i) E(\theta_i) \left[\frac{2h(\theta_i)}{\pi\lambda_h} + \frac{|z|}{2\lambda_z} \right]. \quad (3.28)$$

Exceto os parâmetros que compõem $P_z(S_z)$, os valores dos parâmetros do modelo da Equação (3.28) são os mesmos daqueles que estão sumarizados na Tabela 3.9 para o modelo de risco de colisão vertical técnico.

3.2.1.2 Modelo de Risco para Aeronave Subindo ou Descendo através de um Nível de Vôo (SDN)

De uma maneira similar à aeronave em rotas que se cruzam, os dois elementos principais de um modelo de risco de colisão para aeronave subindo ou descendo através de um nível de vôo sem autorização dependem da probabilidade das duas aeronaves estarem em superposição vertical e longitudinal conjuntas no plano vertical e da duração média de uma superposição conjunta no plano vertical. Claramente, a velocidade vertical relativa tem o seu papel à parte. Isto depende da razão de subida/descida durante o evento e determina o ângulo em que o nível de vôo é cruzado. Um modelo é descrito abaixo, aplicável para ângulos de cruzamentos de nível relativamente pequenos determinados por velocidades de subida/descida de até aproximadamente 40 nós. Verificar a Referência 6 para um modelo que pode ser usado em casos de velocidades maiores de subida/descida.

O ponto de partida para o modelo é a consideração de que a probabilidade de superposição longitudinal e vertical conjunta possa ainda ser fatorada no produto de probabilidades de superposição nas dimensões individuais. Assume-se também que durante o evento os lados das caixas representando a aeronave permanecem paralelos. Então, as diferenças referem-se ao cálculo da probabilidade de superposição vertical e ao valor da velocidade vertical relativa. Como uma das aeronaves está subindo/descendo e a outra está em vôo nivelado, a velocidade vertical relativa pode ser tomada como a razão de subida/descida da primeira aeronave.

Por evento, isto é, uma aeronave cruzando um nível de vôo, a aeronave está em superposição vertical, em média, por t_z horas de vôo, onde

$$t_z = \frac{2\lambda_z}{|\dot{z}_c|}, \quad (3.29)$$

e $|\dot{z}_c|$ representa a razão de subida/descida média.

Como, em média novamente, uma aeronave está em superposição longitudinal com outra aeronave por P_x horas por hora de vôo, o tempo em que ambas estão em superposição longitudinal e vertical por evento é tomado como o produto das duas quantidades, isto é

$$t_{xz} = \frac{2\lambda_z}{|\dot{z}_c|} P_x. \quad (3.30)$$

Dadas as considerações que fundamentam esta aproximação, o tempo de superposição longitudinal e vertical conjunta por evento pode ser convertido no número de colisões por evento por meio dos fatores de dentro das chaves na Equação (3.1) e no número de acidentes multiplicando por um fator de 2. Levando em consideração também a relação entre probabilidade de superposição longitudinal e ocupação, o número esperado de acidentes por evento devido à perda de separação vertical causado por uma aeronave cruzando um nível de vôo sem autorização pode ser escrito como

$$\begin{aligned}
 N_{az/event}^{nc} = \frac{2\lambda_z}{|\dot{z}_c|} P_y(0)c_2 \left[N_x(op) + N_x(mesmo) \frac{1 + \frac{\lambda_x}{\lambda_y} \frac{|\dot{y}|}{|\Delta V|} + \frac{\lambda_x}{\lambda_z} \frac{|\dot{z}_c|}{|\Delta V|}}{1 + \frac{\lambda_x}{\lambda_y} \frac{|\dot{y}|}{2|\dot{V}|} + \frac{\lambda_x}{\lambda_z} \frac{|\dot{z}_c|}{2|\dot{V}|}} \right] + \\
 + \frac{2\lambda_z}{|\dot{z}_c|} \sum_{i=1}^n P_h(\theta_i) E(\theta_i) \left[\frac{2h(\theta_i)}{\pi\lambda_h} + \frac{|\dot{z}_c|}{2\lambda_z} \right]
 \end{aligned} \tag{3.31}$$

Quando o número de níveis de vôo cruzados durante um dado período do tempo calendário for n^{nc} (daqui em diante chamaremos sdn de n^{nc} (nível cruzado) para facilitar a notação) e a quantidade de tempo de vôo T , o número esperado de acidentes por hora de vôo devido a perda de separação vertical causado por uma aeronave cruzando um nível de vôo sem autorização é dado por

$$N_{az}^{nc} = \frac{n^{nc}}{T} N_{az/event}^{nc} \tag{3.32}$$

ou,

$$\begin{aligned}
N_{az}^{nc} = & \frac{n^{nc}}{T} \frac{2\lambda_z}{|\dot{z}_c|} P_y(0) c_2 \left[N_x(op) + N_x(mesmo) \frac{1 + \frac{\lambda_x}{\lambda_y} \frac{|\dot{y}|}{|\Delta V|} + \frac{\lambda_x}{\lambda_z} \frac{|\dot{z}_c|}{|\Delta V|}}{1 + \frac{\lambda_x}{\lambda_y} \frac{|\dot{y}|}{2|\dot{V}|} + \frac{\lambda_x}{\lambda_z} \frac{|\dot{z}_c|}{2|\dot{V}|}} \right] + \\
& + \frac{n^{nc}}{T} \frac{2\lambda_z}{|\dot{z}_c|} \sum_{i=1}^n P_h(\theta_i) E(\theta_i) \left[\frac{2h(\theta_i)}{\pi\lambda_h} + \frac{|\dot{z}_c|}{2\lambda_z} \right].
\end{aligned} \tag{3.33}$$

Segue-se da Equação (3.33) que a probabilidade de superposição vertical associada à aeronave cruzando níveis de vôo sem autorização pode ser interpretada como

$$P_z^{nc}(S_z) = \frac{n^{nc}}{T} \frac{2\lambda_z}{|\dot{z}_c|}, \tag{3.34}$$

que é precisamente a proporção de tempo de vôo gasto em superposição longitudinal devido a esta causa particular.

3.2.1.3 Modelo de Risco para Aeronave Desviando em Resposta ao ACAS (TCAS)

Grandes desvios de altura devido ao ACAS (TCAS) usualmente não envolvem números inteiros de níveis de vôo. Do ponto de vista de modelagem, eles podem ser considerados como realizações de processos aleatórios de média zero e a modelagem deles não é diferente da modelagem dos grandes desvios de altura descrita na Seção 3.2.1.2. Então, deve ser construída uma distribuição AAD, composta de desempenho típico e desempenho atípico devido aos grandes desvios de altura induzidos por ACAS, que não envolvam números inteiros de níveis de vôo. O modelo pode ser novamente da forma de uma dupla dupla exponencial, isto é,

$$f_{ACAS}^{AAD}(a) = (1 - \alpha) \times \frac{1}{2a_1} \exp\left[-\frac{|a|}{a_1}\right] + \alpha \frac{1}{2a_2} \exp\left[-\frac{|a|}{a_2}\right]. \quad (3.35)$$

Os três parâmetros α , a_1 e a_2 podem ser estimados usando os mesmos dados do desempenho típico, mencionados na Seção 3.2.1.2, suplementados com dados de ocorrência de desvios devido ao ACAS relacionados a incidentes das Regiões CAR/SAM. Infelizmente, não havia dados disponíveis sobre o último tipo de evento. Conseqüentemente, uma consideração um tanto quanto arbitrária pode ser feita, que a densidade AAD associada aos grandes desvios de altura relacionados ao ACAS tenha os mesmos valores de parâmetros que a densidade AAD associada aos grandes desvios de altura induzidos por turbulência. Os valores dos parâmetros da última densidade são dados na Tabela 3.4.

A densidade $f_{ACAS}^{AAD}(a)$ pode ser convoluída com a densidade ASE $f^{ASE}(a)$ definida pela Equação (3.12) para dar uma densidade TVE $f_{ACAS}^{TVE}(z)$. Esta densidade pode ser usada nas Equações (3.9) e (3.10) para produzir uma estimativa de $P_z(S_z)_{ACAS}$, ou seja, da probabilidade de superposição vertical devido ao ACAS que induziu os grandes desvios de altura não envolvendo números inteiros de níveis de vôo. O risco vertical resultante então segue a Equação (3.1) (modelo de risco de colisão vertical) com $P_z(S_z) = P_z^{ACAS}(S_z)$.

3.3 Risco Vertical Devido a Todas as Causas

Considere N_{az} como representativo do risco de colisão vertical devido a todas as causas. Com o modelo discutido acima e a seção anterior, segue que

$$N_{az} = N_{az}^{ne} + N_{az}^{nc} + N_{az}^{ACAS} + N_{az}^{Tec}, \quad (3.36)$$

onde:

- N_{az}^{ne} é o risco vertical devido ao nivelamento de uma aeronave num nível errado (Equação (3.28));

- N_{az}^{nc} é o risco vertical devido à aeronave cruzar um nível de vôo sem autorização (Equação (3.33));
- N_{az}^{ACAS} é o risco vertical devido aos incidentes relacionados ao Sistema de Anticolisão em Vôo (da Aeronave) (Equação (3.7) e $P_z(S_z)_{ACAS}$); e
- N_{az}^{tec} é o risco vertical técnico (Equação (3.1)).

As Equações (3.28) e (3.33) dos modelos de risco de colisão ainda têm quatro parâmetros desconhecidos, ou sejam,

$$\alpha^{ne} = \frac{n^{ne}}{T}, \quad (3.37)$$

$$\bar{t}^{ne}, \quad (3.38)$$

$$\alpha^{nc} = \frac{n^{nc}}{T} \text{ e} \quad (3.39)$$

$$\left| \bar{z}_c \right|. \quad (3.40)$$

Caso não existam dados suficientes sobre os quatro parâmetros definidos pelas Equações (3.37) a (3.40), é possível examinar o risco como uma função de quatro parâmetros sobre intervalos adequados.

A Equação (3.36) tem sido usada para avaliar o risco vertical N_{az} em função das combinações de α^{ne} e α^{nc} e parametrizada por \bar{t}^{ne} e $\left| \bar{z}_c \right|$, ou seja,

$$N_{az} = \left[P_z(0) \alpha^{ne} \bar{t}^{ne} + 2P_z(S_z) \right] \left[P_y(0) c_2 N_x(eq) + \sum_{i=1}^n P_h(\theta_i) E(\theta_i) \left[\frac{2 \left| \bar{h}(\theta_i) \right|}{\pi \lambda_h} + \frac{\left| \bar{z} \right|}{2 \lambda_z} \right] \right] +$$

$$2\alpha^{nc} \frac{\lambda_z}{|\dot{z}_c|} P_y(0) c_2 \left[N_x(op) + N_x(mesmo) \frac{1 + \frac{\lambda_x}{\lambda_y} \cdot \frac{|\dot{y}|}{|\Delta V|} + \frac{\lambda_x}{\lambda_z} \cdot \frac{|\dot{z}_c|}{|\Delta V|}}{1 + \frac{\lambda_x}{\lambda_y} \cdot \frac{|\dot{y}|}{2|\dot{V}|} + \frac{\lambda_x}{\lambda_z} \cdot \frac{|\dot{z}_c|}{2|\dot{V}|}} \right] +$$

$$\frac{2\alpha^{nc} \lambda_z}{|\dot{z}_c|} \sum_{i=1}^n P_h(\theta_i) E(\theta_i) \left[\frac{2|\dot{h}(\theta_i)|}{\pi \lambda_h} + \frac{|\dot{z}_c|}{2\lambda_z} \right] \quad (3.41)$$

Usando os valores dos parâmetros das Tabelas 3.12 e 3.13, N_{az} pode ser expressa, para cada uma das regiões, como

Região CAR,

$$N_{az} = \alpha^{ne} \times \bar{t}^{ne} \times 1,22091 \times 10^{-2} + \alpha^{nc} \times \frac{1}{|\dot{z}_c|} \times [3,76807 \times 10^{-4} + 1,33835 \times 10^{-6} \times |\dot{z}_c|] + 5,22041 \times 10^{-10} \quad (3.42.1)$$

Região SAM,

$$N_{az} = \alpha^{ne} \times \bar{t}^{ne} \times 8,55412 \times 10^{-3} + \alpha^{nc} \times \frac{1}{|\dot{z}_c|} \times [2,71065 \times 10^{-4} + 2,5186 \times 10^{-6} \times |\dot{z}_c|] + 1,4469 \times 10^{-10} \quad (3.42.2)$$

Região CAR/SAM,

$$N_{az} = \alpha^{ne} \times \bar{t}^{ne} \times 1,14891 \times 10^{-2} + \alpha^{nc} \times \frac{1}{|\dot{z}_c|} \times [3,60513 \times 10^{-4} + 2,81855 \times 10^{-6} \times |\dot{z}_c|] + 3,1771 \times 10^{-10} \quad (3.42.3)$$

As Equações (3.42) mostram claramente que o risco vertical aumenta com as razões de erro α^{ne} , α^{nc} e com o tempo médio \bar{t}^{ne} que uma aeronave gasta nivelando em nível errado. Ela mostra também que o risco decresce quando a velocidade $|\dot{z}_c|$ com a qual um nível é atravessado aumenta.

3.3.1 Avaliação e Estimação do Impacto da RVSM no Risco Devido aos Erros Operacionais e Procedimentos Contingenciais em Vôo

Conforme a referência 6, os grandes erros identificados através dos relatórios de incidência podem ser devidos a procedimentos operacionais, condições meteorológicas adversas ou, ainda, a manobras de emergência por causa de falha de motor ou de pressurização, podem ser divididos em quatro tipos de grupos:

- 1) erros de comunicação entre o órgão de controle-piloto e autorizações incorretas (A, B, e M);*
- 2) eventos contingenciais nas aeronaves E;*
- 3) erros devidos a efeitos meteorológicos (D);*
- 4) ações devido ao ACAS (Sistema de Anticolisão em Vôo (F)).*

Estas categorias de erros permitem que as causas sejam identificadas de uma maneira mais fácil.

3.3.1.1 Definição dos Erros de Acordo com as Causas

A definição dos erros de acordo com as causas deve ser baseada na classificação sugerida pelo Doc 9574 /1/ de acordo com decisão tomada durante a Reunião de Lima (“The Ninth Meeting/Workshop of Air Traffic Management (ATM) Authorities and Planners (AP/ATM/9), Lima, 15-19 de Novembro de 2004). A Tabela 3.14 apresenta, a priori, 22 erros grandes, maiores do que 1000 pés, considerados operacionais, retirados dos relatórios enviados para a agência de monitoração regional CARSAMMA, no período de julho/2003 a julho/2004, cujos tipos e causas são descritos na Tabela 3.15, abaixo. Ainda, na Tabela 3.14, as duas últimas colunas referem-se aos números de níveis cruzados, n^{nc} , e ao número de aeronaves nivelando em nível errado, n^{ne} .

Tabela 3.14 Grandes Erros Operacionais na Região CAR/SAM em 2004.

data	hora	Tipo acft	AWY	Local LHD	FL	LHD	tempo (seg)	Tipo de Erro	info	FIR	State	n ^{nc}	n ^{ne}
27/07/03	08:52	A346	UL306	DIMAS	370	-4000	660	D	piloto	SOOO	SO	0	1
23/06/04	10:44	-	UM540	OSAMU	330	4000	180	D	Modo C	SBCW	SB	3	1
18/07/03	23:05	A320	UA247	BUXEX	350	-3000	120	E	piloto	SOOO	SO	0	1
03/02/04	21:30	-	UW5	-	-	-1000	20	E	nil	SBCW	SB	0	1
08/05/04	04:50	-	UW10	RESUS	350	1100	300	E	Modo C	SBRE	SB	1	1
16/06/04	18:32	-	UM788/UM792	CGR	370	-2000	90	M	Modo C	SBCW	SB	0	1
14/09/03	11:40	DC10	UG449	OTONI	350	-4000	120	L	piloto	SOOO	SO	0	1
02/04/04	06:58	B762	UG437	PML	310	4000	90	L	Modo C	MPZL	MP	0	1
08/04/04	02:05	MD88	UA303	KONRI	310	4000	90	L	info piloto	SCFZ	SC	0	1
08/04/04	23:36	B752	UG437	DUXUM	330	4000	90	L	info piloto	MPZL	MP	0	1
29/04/04	02:26	MD88	UA303	KONRI	310	4000	90	L	info piloto	SCFZ	SC	0	1
06/05/04	23:30	B763	UG437	DUXUM	330	4000	90	L	info piloto	MPZL	MP	0	1
10/05/04	20:14	MD80	UA317	TBG	350	-4000	90	L	Modo C	MPZL	MP	0	1
14/06/04	21:09	B763	UL780	BUXOS	310	4000	90	L	Modo C	MPZL	MP	0	1
04/07/04	00:36	A346	UIR SOOO/SBAO	0500S/04000W	330	4000	300	L	Info Piloto	SOOO	SO	0	1
12/07/04	16:37	-	UA314	ETANO	310	4000	300	L	Modo C	SBCW	SB	0	1
14/07/04	07:01	B763	UL302	IREMI	350	4000	1800	L	Info Piloto	SCFZ	SC	0	1
14/07/04	22:25	B737	UM525	BITIX	350	4000	90	L	Modo C	MPZL	MP	0	1
14/07/04	23:42	B737	UA552	FALLA	330	4000	90	L	Modo C	MPZL	MP	0	1
20/07/04	15:02	B737	UA317	BUFEO	370	4000	90	L	Info Piloto	MPZL	MP	0	1
22/07/04	05:53	-	UA308	MLO	330	-4000	90	L	Modo C	SBCW	SB	0	1
28/07/04	20:02	B763	UL780	BUXOS	310	4000	90	L	Modo C	MPZL	MP	0	1
Total							4970					4	22

Tabela 3.15 Classificação dos Grandes Desvios de Altitude Recebidos.

Tipo de Erro	Causa
D	Falha ao Subir/Descer quando autorizado
E	Subir/Descer sem autorização do órgão ATC
M	Desvio devido a falha de equipamento
L	Erro nas mensagens de transição entre unidades de ATC

Foram recebidos quatro erros devido ao ACAS (TCAS). Esta categoria de desvios inclui os desvios de altura causados pelos Avisos de Resolução do TCAS (Erro do Tipo F). Estes tipos de erros normalmente não envolvem números inteiros de níveis de vôo (maiores do que 300 pés e menores do que 1000 pés).

3.3.1.2 Classificação dos Erros para Finalidade de Avaliação

As causas dos grupos de erros dos tipos 1 e 2 foram re-classificadas, pelo grupo de trabalho SAM/WG, durante a Reunião de Lima. A revisão da classificação dos erros operacionais foi feita com vistas de representantes da IATA, IFALPA, EUA, OACI (México), Peru e Haiti. Desta forma, considerando os dois eventos para propósito de avaliação, tem-se, para o período de agosto/2003 a julho/2004:

- *aeronave nivelando em nível errado;*

De acordo com a Tabela 3.14, na análise precedente, 22 aeronaves foram consideradas nivelando em nível errado, totalizando 4970 segundos, com a média do tempo em nível errado de 0,0627 horas. Durante a nova análise de reclassificação dos dados, o Grupo de Trabalho foi informado que os LHD ocorridos na FIR Panamá tinham os tempos de duração em nível errado iguais a zero. Portanto, dos 4 970 segundos considerados anteriormente, foram descontados 810 segundos referentes aos LHD do Panamá, resultando em 4.160 segundos, conforme Tabela 3.15-1. Para efeito

de avaliação do risco, deverão ser considerados os erros ocorridos em 12 meses, ou seja, de agosto/2003 a julho/2004. Sendo assim, os LHD do mês de julho de 2003 não serão computados, resultando no tempo total gasto em nível errado de 3.380 segundos. O número total de aeronaves nivelando em nível errado resultou em 11, sendo que duas delas nivelaram em nível errado (em fevereiro e maio/2004) no sentido oposto ao fluxo de tráfego. Portanto

- tempo de vôo gasto em nível errado no mesmo sentido do fluxo de tráfego $t_{mesmo}^{ne} = 3.060$ segs
- tempo de vôo gasto em nível errado no sentido oposto ao fluxo de tráfego = $t_{oposto}^{ne} = 320$ segs
- tempo total gasto em nível errado $t_t^{ne} = 3.380$ segs.
- *aeronave subindo/descendo através de um nível de vôo.*

De acordo com a Tabela 3.14, ocorreram 4 cruzamentos de níveis sem autorização. No entanto, após a nova análise, o Grupo de Trabalho re-classificou o LHD de 1100 pés ocorrido na FIR Recife, como sem cruzamento de nível, resultando em apenas 3 cruzamentos de níveis sem autorização, sendo 2 cruzamentos no mesmo sentido e um no sentido contrário ao movimento do fluxo (Tabela 3.15-1).

Todos os desvios devido a efeitos meteorológicos não severos (acima de 300 pés e abaixo de 1000 pés) foram considerados na distribuição AAD.

Tabela 3.15-1 Revisão dos Grandes Erros Operacionais na Região CAR/SAM em 2004.

data	hora	Tipo acft	AWY	Local LHD	FL	LHD	tempo (seg)	Tipo de Erro	info	FIR	State	n ^{nc}	n ^{ne}
18/07/03	23:05	A320	UA247	BUXEX	350	-3000	120	E	piloto	S000	SO	0	1
27/07/03	08:52	A346	UL306	DIMAS	370	-4000	660	D	piloto	S000	SO	0	1
14/09/03	11:40	DC10	UG449	OTONI	350	-4000	120	L	piloto	S000	SO	0	1
03/02/04	21:30	-	UW5	-	-	-1000	20	E	nil	SBCW	SB	0	1
08/04/04	02:05	MD88	UA303	KONRI	310	4000	90	L	info piloto	SCFZ	SC	0	1
29/04/04	02:26	MD88	UA303	KONRI	310	4000	90	L	info piloto	SCFZ	SC	0	1
08/05/04	04:50	-	UW10	RESUS	350	1100	300	E	Modo C	SBRE	SB	0	1
16/06/04	18:32	-	UM788/UM792	CGR	370	-2000	90	M	Modo C	SBCW	SB	0	1
23/06/04	10:44	-	UM540	OSAMU	330	4000	180	D	Modo C	SBCW	SB	3	1
04/07/04	00:36	A346	UIR S000/SBAO	0500S/04000W	330	4000	300	L	Info Piloto	S000	SO	0	1
12/07/04	16:37	-	UA314	ETANO	310	4000	300	L	Modo C	SBCW	SB	0	1
14/07/04	07:01	B763	UL302	IREMI	350	4000	1800	L	Info Piloto	SCFZ	SC	0	1
22/07/04	05:53	-	UA308	MLO	330	-4000	90	L	Modo C	SBCW	SB	0	1
Total							4160					3	13

Os desvios devido ao ACAS (TCAS) foram classificados e tratados especificamente, de acordo com um modelo próprio. Para tal, foi construída uma distribuição constituída de desempenho típico e atípico devidos aos desvios ACAS, utilizando o mesmo modelo da forma de uma dupla exponencial da mesma maneira como foi feito para a distribuição AAD. Neste caso, os dados de desempenho atípico do NAT (Caso 3) foram substituídos pelos erros devidos ao ACAS coletados nas regiões CAR/SAM, e foi feito um novo ajuste para a função distribuição $f_{ACAS}^{AAD}(a)$. A densidade $f_{ACAS}^{AAD}(a)$ foi convoluída com a densidade $f^{ASE}(a)$ para dar uma densidade $f_{ACAS}^{TVE}(z)$ e finalmente, produzir uma estimativa da probabilidade de superposição vertical devido ao ACAS, $P_z(S_z)_{ACAS}$, que induziu os grandes erros.

3.3.1.3 Determinação dos Valores Apropriados dos Parâmetros para cada Grupo de Erros Classificado

Os cálculos foram feitos utilizando o modelo de Reich, considerando três aplicações distintas, para efeitos de comparação, descritas abaixo:

1) considerando o **modelo original conservativo**, ou seja

1.1) Aeronave nivelando em um nível errado

$$P_z^{ne}(S_z) = P_z(0) \times Q, \quad (3.43)$$

onde

$$Q = \frac{t_i^{ne}}{T} \quad (3.44)$$

(proporção de tempo total gasto em nível errado);

portanto, a equação do risco devido ao tempo gasto em níveis incorretos pode ser escrita da seguinte forma

$$N_{az}^{ne} = P_y(0)P_z^{ne}(S_z) \frac{\lambda_x}{S_x} \left\{ \begin{array}{l} E_z(\text{same}) \left[\frac{|\Delta V|}{2\lambda_x} + \frac{|y|}{2\lambda_y} + \frac{|z|}{2\lambda_z} \right] + \\ E_z(\text{opp}) \left[\frac{2|\bar{V}|}{2\lambda_x} + \frac{|y|}{2\lambda_y} + \frac{|z|}{2\lambda_z} \right] \end{array} \right\} + N_{cruz}^{ne} \quad (3.45)$$

2) Aeronave cruzando um nível sem autorização

$$P_z^{nc}(S_z) = \frac{n^{nc} \frac{2\lambda_z}{|\dot{z}_c|}}{T}, \quad (3.46)$$

e

a equação do risco devido a níveis cruzados sem autorização fica

$$N_{az}^{nc} = P_y(0)P_z^{nc}(S_z) \left\{ \begin{array}{l} E_z(\text{same}) \left[\frac{|\Delta V|}{2\lambda_x} + \frac{|y|}{2\lambda_y} + \frac{|z|}{2\lambda_z} \right] + \\ E_z(\text{opp}) \left[\frac{2|\bar{V}|}{2\lambda_x} + \frac{|y|}{2\lambda_y} + \frac{|z|}{2\lambda_z} \right] \end{array} \right\} + N_{cruz}^{nc}. \quad (3.47)$$

3) considerando a dependência do sentido do fluxo de tráfego, ou seja,

3.1) aeronave nivelando em nível errado

$$P_z^{ne}(S_z)_{mesmo} = P_z(0) \times Q_{mesmo} \quad (3.48)$$

e

$$P_z^{ne}(S_z)_{oposto} = P_z(0) \times Q_{oposto}, \quad (3.49)$$

onde

$$Q_{mesmo} = \frac{t_{mesmo}^{ne}}{T}, \quad (3.50)$$

(proporção de tempo gasto em nível errado-mesmo sentido), e

$$Q_{oposto} = \frac{t_{oposto}^{ne}}{T} \quad (3.51)$$

(proporção de tempo gasto em nível errado-sentido oposto).

Então, a equação do risco devido ao tempo gasto em níveis incorretos pode ser reescrita da seguinte forma

$$N_{az}^{ne} = P_y(0) \frac{\lambda_x}{S_x} \left\{ \begin{array}{l} P_z^{ne}(S_z)_{mesmo} E_z(mesmo) \left[\frac{|\Delta V|}{2\lambda_x} + \frac{|y|}{2\lambda_y} + \frac{|z|}{2\lambda_z} \right] + \\ P_z^{ne}(S_z)_{oposto} E_z(oposto) \left[\frac{2|\bar{V}|}{2\lambda_x} + \frac{|y|}{2\lambda_y} + \frac{|z|}{2\lambda_z} \right] \end{array} \right\} + N_{cruz}^{ne}. \quad (3.52)$$

3.2) aeronave cruzando nível sem autorização

$$P_z^{nc}(S_z)_{mesmo} = \frac{n_{mesmo}^{nc} \frac{2\lambda_z}{|\dot{z}_c|}}{T} \quad (3.53)$$

e

$$P_z^{nc}(S_z)_{oposto} = \frac{n_{oposto}^{nc} \frac{2\lambda_z}{|\dot{z}_c|}}{T}, \quad (3.54)$$

e a equação do risco devido a níveis cruzados sem autorização;

$$N_{az}^{nc} = P_y(0) \left\{ \begin{array}{l} P_z^{nc}(S_z)_{mesmo} E_z(mesmo) \left[\frac{|\Delta V|}{2\lambda_x} + \frac{|y|}{2\lambda_y} + \frac{|z|}{2\lambda_z} \right] + \\ P_z^{nc}(S_z)_{oposto} E_z(oposto) \left[\frac{2|\bar{V}|}{2\lambda_x} + \frac{|y|}{2\lambda_y} + \frac{|z|}{2\lambda_z} \right] \end{array} \right\} + N_{cruz}^{nc} ; (3.55)$$

- 4) considerando, no termo de sentido oposto da equação do risco original devido ao tempo gasto em níveis incorretos, o fator f_w , estabelecido em concordância com o conceito de “Wrong Altitude for Direction of Flight” (WAFDOF). Então

$$N_{az}^{ne} = P_y(0) P_z^{ne}(S_z) \frac{\lambda_x}{S_x} \left\{ \begin{array}{l} E_z(mesmo) \left[\frac{|\Delta V|}{2\lambda_x} + \frac{|y|}{2\lambda_y} + \frac{|z|}{2\lambda_z} \right] + \\ f_w E_z(oposto) \left[\frac{2|\bar{V}|}{2\lambda_x} + \frac{|y|}{2\lambda_y} + \frac{|z|}{2\lambda_z} \right] \end{array} \right\} + N_{cruz}^{ne} . (3.56)$$

Das maneiras descritas acima, a primeira é a mais conservativa. A segunda maneira é a adotada na CARSAMMA, por levar em conta a ponderação dos tempos nos sentidos contrário e coincidente com o movimento de tráfego aéreo. A terceira é a que foi utilizada no espaço aéreo do Pacífico Ocidental/Mar do Sul da China e no espaço aéreo NAM quando ocorrem erros do “tipo” WAFDOF.

Os cálculos foram feitos separadamente por sub-regiões (Caribe (CAR) e América do Sul (SAM)) e para o espaço aéreo completo CAR/SAM. Os erros LHD obtidos dos relatórios foram homogeneizados para todo o espaço aéreo. Os erros LHD para cada sub-região foram considerados proporcionalmente ao tempo total de vôo correspondente, o que resulta em 39 % dos erros LHD para sub-região CAR e 61 % para sub-região SAM (Tabela 3.16). A taxa de subida/descida $|\bar{z}_c|$, foi considerada como sendo a velocidade NORMAL de subida de 10 nós, ao invés de 2 nós, admitida anteriormente. O número total de horas de vôo do sistema CAR/SAM obtido das planilhas com dados de movimento consistentes é de 27.709,85 horas/mês, que

corresponde à aproximadamente 43,5 % do número total de horas de vôo do sistema (63.629,80 horas/mês)inferido para as regiões CAR/SAM.

Tabela 3.16 Dados dos Erros Operacionais

PARÂMETRO	CAR	SAM	CAR/SAM
n^{ne}	$0,39 \times 11$	$0,61 \times 11$	<i>11</i>
n_{mesmo}^{ne}	$0,39 \times 9$	$0,61 \times 9$	<i>9</i>
n_{oposto}^{ne}	$0,39 \times 2$	$0,61 \times 2$	<i>2</i>
n_{mesmo}^{nc}	$0,39 \times 1$	$0,61 \times 1$	<i>1</i>
n_{oposto}^{nc}	$0,39 \times 2$	$0,61 \times 2$	<i>2</i>
n^{nc}	$0,39 \times 3$	$0,61 \times 3$	<i>3</i>
\bar{t}_t^{ne}	<i>0,08535 h</i>	<i>0,08535 h</i>	<i>0,08535 h</i>
\bar{t}_{mesmo}^{ne}	<i>0,0944 h</i>	<i>0,0944 h</i>	<i>0,0944 h</i>
\bar{t}_{oposto}^{ne}	<i>0,0444 h</i>	<i>0,0444 h</i>	<i>0,0444 h</i>
t_{mesmo}^{ne}	<i>19,89 min</i>	<i>31,11 min</i>	<i>51,00 min</i>
t_{oposto}^{ne}	<i>2,08 min</i>	<i>3,25 min</i>	<i>5,33 min</i>
t_t^{ne}	<i>21,97 min</i>	<i>34,36 min</i>	<i>56,33 min</i>
$\left \bar{z}_c \right $	<i>10 nós</i>	<i>10 nós</i>	<i>10 nós</i>

Nas Tabelas 3.17-1 a 3.17-2, abaixo, constam os parâmetros dos grupos de erros classificados de acordo com a aplicação, para as regiões do Caribe, América do Sul e região total CAR/SAM, onde: P_z^{ne} (1000) é a probabilidade superposição vertical devido a aeronave nivelar em nível errado; P_z^{nc} (1000) é a probabilidade de superposição vertical devido a aeronave cruzar um nível sem autorização; e P_z^{ACAS} (1000) é a probabilidade de superposição vertical devido ao ACAS. Os parâmetros, α^{ne} e α^{nc} , referem-se às taxas de erros para aeronave nivelando em nível errado e cruzando um nível de vôo sem autorização, respectivamente. O produto $\alpha^{ne} \times \bar{t}^{ne}$ é a proporção de tempo de vôo total gasto em nível errado.

Tabela 3.17-1 Parâmetros dos Grupos de Erros Operacionais Classificados para Tempo de Vôo Total do Sistema de 332.518,2 horas/ano

PARÂMETRO	CAR	SAM	CAR/SAM
T (horas)	129.682,10	202.836,1	332.518,2
α^{ne}	$3,3081 \times 10^{-5}$	$3,3081 \times 10^{-5}$	$3,3081 \times 10^{-5}$
α_{mesmo}^{ne}	$2,7079 \times 10^{-5}$	$2,7079 \times 10^{-5}$	$2,7079 \times 10^{-5}$
α_{oposto}^{ne}	$6,0207 \times 10^{-6}$	$6,0207 \times 10^{-6}$	$6,0207 \times 10^{-6}$
α^{nc}	$9,0221 \times 10^{-6}$	$9,0221 \times 10^{-6}$	$9,0221 \times 10^{-6}$
α_{mesmo}^{nc}	$3,0074 \times 10^{-6}$	$3,0074 \times 10^{-6}$	$3,0074 \times 10^{-6}$
α_{oposto}^{nc}	$6,0147 \times 10^{-6}$	$6,0147 \times 10^{-6}$	$6,0147 \times 10^{-6}$
f_w	0,1818	0,1818	0,1818
Q_{oposto}	$2,6779 \times 10^{-7}$	$2,6779 \times 10^{-7}$	$2,6779 \times 10^{-7}$
$Q = \alpha^{ne} \times \bar{t}^{ne}$	$2,8235 \times 10^{-6}$	$2,8235 \times 10^{-6}$	$2,8235 \times 10^{-6}$
$P_z(0)$	0,423	0,414	0,414
$P_z^{ne}(1000)$	$1,1943 \times 10^{-6}$	$1,1689 \times 10^{-6}$	$1,1689 \times 10^{-6}$
$P_z^{ne}(1000)_{mesmo}$	$1,0808 \times 10^{-6}$	$1,0578 \times 10^{-6}$	$1,0578 \times 10^{-6}$
$P_z^{ne}(1000)_{oposto}$	$1,1328 \times 10^{-7}$	$1,1087 \times 10^{-7}$	$1,1087 \times 10^{-7}$
$P_z^{nc}(1000)$	$3,0345 \times 10^{-8}$	$1,9683 \times 10^{-8}$	$1,1939 \times 10^{-8}$
$P_z^{nc}(1000)_{mesmo}$	$1,0115 \times 10^{-8}$	$6,5610 \times 10^{-8}$	$3,9798 \times 10^{-8}$
$P_z^{nc}(1000)_{oposto}$	$2,0230 \times 10^{-8}$	$1,3122 \times 10^{-8}$	$7,9960 \times 10^{-8}$
$P_z^{ACAS}(1000)$	$6,6482 \times 10^{-9}$	$2,5867 \times 10^{-9}$	$4,2561 \times 10^{-9}$

Tabela 3.17-2 Parâmetros dos Grupos de Erros Operacionais Classificados para Tempo de Vôo Total do Sistema de 763.557,6 horas/ano

PARÂMETRO	CAR	SAM	CAR/SAM
T (horas)	297.787,46	465.770,14	763.557,6
α^{ne}	$1,4406 \times 10^{-5}$	$1,4406 \times 10^{-5}$	$1,4406 \times 10^{-5}$
α_{mesmo}^{ne}	$1,1787 \times 10^{-5}$	$1,1787 \times 10^{-5}$	$1,1787 \times 10^{-5}$
α_{oposto}^{ne}	$2,6193 \times 10^{-6}$	$2,6193 \times 10^{-6}$	$2,6193 \times 10^{-6}$
α^{nc}	$3,9290 \times 10^{-6}$	$3,9290 \times 10^{-6}$	$3,9290 \times 10^{-6}$
α_{mesmo}^{nc}	$1,3097 \times 10^{-6}$	$1,3097 \times 10^{-6}$	$1,3097 \times 10^{-6}$
α_{oposto}^{nc}	$2,6193 \times 10^{-6}$	$2,6193 \times 10^{-6}$	$2,6193 \times 10^{-6}$
f_w	0,1818	0,1818	0,1818
Q_{mesmo}	$1,2363 \times 10^{-7}$	$1,2363 \times 10^{-7}$	$1,2363 \times 10^{-7}$
Q_{oposto}	$5,8149 \times 10^{-8}$	$5,8149 \times 10^{-8}$	$5,8149 \times 10^{-8}$
$Q = \alpha^{ne} \times \bar{t}^{ne}$	$1,2296 \times 10^{-6}$	$1,2296 \times 10^{-6}$	$1,2296 \times 10^{-6}$
$P_z(0)$	0,423	0,414	0,414
$P_z^{ne}(1000)$	$1,1944 \times 10^{-6}$	$1,1688 \times 10^{-6}$	$1,1689 \times 10^{-6}$
$P_z^{ne}(1000)_{mesmo}$	$5,2295 \times 10^{-8}$	$5,1183 \times 10^{-8}$	$5,1183 \times 10^{-8}$
$P_z^{ne}(1000)_{oposto}$	$2,4597 \times 10^{-8}$	$2,4074 \times 10^{-8}$	$2,4074 \times 10^{-8}$
$P_z^{nc}(1000)$	$5,1537 \times 10^{-9}$	$5,2287 \times 10^{-9}$	$5,1994 \times 10^{-9}$
$P_z^{nc}(1000)_{mesmo}$	$1,7179 \times 10^{-9}$	$1,7429 \times 10^{-9}$	$1,7331 \times 10^{-9}$
$P_z^{nc}(1000)_{oposto}$	$3,4358 \times 10^{-9}$	$3,4858 \times 10^{-9}$	$3,4662 \times 10^{-9}$
$P_z^{ACAS}(1000)$	$6,2672 \times 10^{-9}$	$2,5072 \times 10^{-9}$	$4,0122 \times 10^{-9}$

3.3.1.4 Estimação do Risco de Colisão Total

O risco de colisão vertical é calculado com o modelo de risco de colisão de Reich associado com cada grupo de tipos de grandes erros (Apêndice H). Nas Tabelas

3.18-1 a 3.18-3, são apresentados os valores dos riscos para o Tempo de Vôo Total do Sistema de 332.518,2 horas/ano, e nas Tabelas 3.18-4 a 3.18-6 para o Tempo de 763.557,6 horas/ano.

- N_{az}^{tec} é o risco vertical técnico;
- N_{az}^{ne} é o risco vertical devido ao nivelamento de uma aeronave em um nível errado;
- N_{az}^{nc} é o risco vertical devido à aeronave cruzar um nível de vôo sem autorização;
- N_{az}^{ACAS} é o risco vertical devido aos incidentes relacionados ao Sistema de Anticolisão em Vôo (da Aeronave); e
- N_{az} risco de colisão vertical devido a todas as causas ou risco total.

Tabela 3.18-1 Riscos de Colisão para as regiões CAR/SAM

Modelo Original - ($T = 332.518,2$ horas/ano)

MODELO DE RISCO	CAR	SAM	CAR/SAM	TLS
N_{az}^{Tec}	$3,3 \times 10^{-10}$	$9,2 \times 10^{-11}$	$2,0 \times 10^{-10}$	$5,0 \times 10^{-9}$
N_{az}^{ACAS}	$1,9 \times 10^{-10}$	$5,3 \times 10^{-11}$	$1,2 \times 10^{-10}$	
N_{az}^{ne}	$34,4 \times 10^{-9}$	$24,2 \times 10^{-9}$	$32,2 \times 10^{-9}$	
N_{az}^{nc}	$3,4 \times 10^{-10}$	$2,5 \times 10^{-10}$	$3,3 \times 10^{-10}$	
N_{az}^{Total}	$35,2 \times 10^{-9}$	$24,6 \times 10^{-9}$	$32,9 \times 10^{-9}$	

O risco total para as regiões CAR/SAM é aproximadamente 6,6 vezes maior do que o Nível de Segurança Desejado (TLS), ou de 7 vezes caso a avaliação do risco das regiões CAR/SAM seja feita tomando como base os ACC adjacentes da região do Caribe, ou ainda, de 5 vezes considerando apenas os ACC adjacentes da América do Sul.

Tabela 3.18-2 Riscos de Colisão para as regiões CAR/SAM

Modelo CARSAMMA - ($T = 332.518,2 \text{ horas/ano}$)

MODELO DE RISCO	CAR	SAM	CAR/SAM	<i>TLS</i>
N_{az}^{Tec}	$3,3 \times 10^{-10}$	$9,2 \times 10^{-11}$	$2,0 \times 10^{-10}$	$5,0 \times 10^{-9}$
N_{az}^{ACAS}	$1,9 \times 10^{-10}$	$5,3 \times 10^{-11}$	$1,2 \times 10^{-10}$	
N_{az}^{ne}	$3,8 \times 10^{-9}$	$8,3 \times 10^{-9}$	$7,9 \times 10^{-9}$	
N_{az}^{nc}	$2,3 \times 10^{-10}$	$1,7 \times 10^{-10}$	$2,2 \times 10^{-10}$	
N_{az}^{Total}	$4,58 \times 10^{-9}$	$8,6 \times 10^{-9}$	$8,4 \times 10^{-9}$	

De acordo com a aplicação dos modelos de riscos, adotada pela agência de monitoração CARSAMMA, para as situações nivelando em nível errado e cruzando nível sem autorização, as estimativas para os riscos de colisão para as regiões SAM e CAR/SAM apresentam-se aproximadamente 70% acima do Nível de Segurança Desejado (*TLS*).

Tabela 3.18-3 Riscos de Colisão para as regiões CAR/SAM

Modelo WAFDOF - ($T = 332.518,2 \text{ horas/ano}$)

MODELO DE RISCO	CAR	SAM	CAR/SAM	<i>TLS</i>
N_{az}^{Tec}	$3,3 \times 10^{-10}$	$9,2 \times 10^{-11}$	$2,0 \times 10^{-10}$	$5,0 \times 10^{-9}$
N_{az}^{ACAS}	$1,9 \times 10^{-10}$	$5,3 \times 10^{-11}$	$1,2 \times 10^{-10}$	
N_{az}^{ne}	$6,8 \times 10^{-9}$	$10,0 \times 10^{-9}$	$10,5 \times 10^{-9}$	
N_{az}^{nc}	$3,4 \times 10^{-10}$	$2,5 \times 10^{-10}$	$3,3 \times 10^{-10}$	
N_{az}^{Total}	$7,4 \times 10^{-9}$	$10,4 \times 10^{-9}$	$11,1 \times 10^{-9}$	

De acordo a técnica aplicada no espaço aéreo do Sul do Mar da China, os riscos para as regiões SAM e CAR/SAM ficam comprometidos em mais de duas vezes o Nível Desejado de Segurança, enquanto que para a região CAR o *TLS* é superado em aproximadamente 48 %. Esta técnica foi aplicada aqui sem considerar qualquer aspecto restritivo inerente ao modelo WAFDOF, uma vez que, o objetivo é obter resultados para efeitos meramente comparativos.

Tabela 3.18-4 Riscos de Colisão para as Regiões CAR/SAM

Método Original - ($T = 763.557,6 \text{ horas/ano}$)

MODELO DE RISCO	CAR	SAM	CAR/SAM	<i>TLS</i>
N_{az}^{Tec}	$2,8 \times 10^{-10}$	$6,9 \times 10^{-11}$	$1,5 \times 10^{-10}$	$5,0 \times 10^{-9}$
N_{az}^{ACAS}	$1,9 \times 10^{-10}$	$5,2 \times 10^{-11}$	$1,1 \times 10^{-10}$	
N_{az}^{ne}	$14,9 \times 10^{-9}$	$10,4 \times 10^{-9}$	$13,8 \times 10^{-9}$	
N_{az}^{nc}	$1,5 \times 10^{-10}$	$1,1 \times 10^{-10}$	$1,4 \times 10^{-10}$	
N_{az}^{Total}	$15,5 \times 10^{-9}$	$10,6 \times 10^{-9}$	$14,2 \times 10^{-9}$	

De acordo com este método conservativo, o risco total para as regiões CAR/SAM é aproximadamente 3 vezes maior do que o Nível de Segurança Desejado (TLS), ou de 2 vezes caso a avaliação do risco das regiões CAR/SAM seja feita tomando como base os ACC adjacentes da região do Caribe, ou ainda, de 2,8 vezes considerando apenas os ACC adjacentes da América do Sul.

Tabela 3.18-5 Riscos de Colisão para as Regiões CAR/SAM
Método CARSAMMA - ($T = 763.557,6$ horas/ano)

MODELO DE RISCO	CAR	SAM	CAR/SAM	TLS
N_{az}^{Tec}	$2,8 \times 10^{-10}$	$6,9 \times 10^{-11}$	$1,5 \times 10^{-10}$	$5,0 \times 10^{-9}$
N_{az}^{ACAS}	$1,8 \times 10^{-10}$	$5,2 \times 10^{-11}$	$1,1 \times 10^{-10}$	
N_{az}^{ne}	$1,7 \times 10^{-9}$	$3,6 \times 10^{-9}$	$3,4 \times 10^{-9}$	
N_{az}^{nc}	$1,1 \times 10^{-10}$	$7,5 \times 10^{-11}$	$9,6 \times 10^{-11}$	
N_{az}^{Total}	$2,2 \times 10^{-9}$	$3,8 \times 10^{-9}$	$3,7 \times 10^{-9}$	

O método aplicado pela CARSAMMA para este tempo total de vôo do sistema, considerado mais próximo da realidade, proporciona estimativas de risco cujos valores situam-se abaixo do Nível Desejado de Segurança de $5,0 \times 10^{-9}$.

Tabela 3.18-6 Riscos de Colisão para as Regiões CAR/SAM
Método WAFDOF - ($T = 763.557,6 \text{ horas/ano}$)

MODELO DE RISCO	CAR	SAM	CAR/SAM	TLS
N_{az}^{Tec}	$2,8 \times 10^{-10}$	$6,9 \times 10^{-11}$	$1,5 \times 10^{-10}$	$5,0 \times 10^{-9}$
N_{az}^{ACAS}	$1,8 \times 10^{-10}$	$5,2 \times 10^{-11}$	$1,1 \times 10^{-10}$	
N_{az}^{ne}	$2,9 \times 10^{-9}$	$4,3 \times 10^{-9}$	$4,5 \times 10^{-9}$	
N_{az}^{nc}	$1,5 \times 10^{-10}$	$1,1 \times 10^{-10}$	$1,4 \times 10^{-10}$	
N_{az}^{Total}	$3,5 \times 10^{-9}$	$4,5 \times 10^{-9}$	$4,9 \times 10^{-9}$	

Este método, embora mais conservativo, ainda apresenta estimativas dos riscos para as regiões CAR/SAM abaixo do limite máximo desejado.

3.3.1.5 Determinação da Proporção Máxima de Tempo que uma Aeronave Pode Gastar em um Nível de Vôo Incorreto, 300 M (1000 Pés), ou Múltiplos, Fora do Nível de Vôo Autorizado, Quando Voando na Mesma Direção e Sentido de um Tráfego no Citado Nível de Vôo.

A proporção de tempo que uma aeronave gasta em um nível de vôo incorreto é definida pelo produto da taxa de erro para aeronave nivelando em nível errado, α^{ne} , e o tempo médio de permanência em nível errado, \bar{t}_{ne} , ou seja, $\alpha^{ne} \times \bar{t}_{ne}$.

Admitindo o Nível de Segurança Desejado, *TLS*, como o valor do risco total, mantendo os valores obtidos para os riscos técnico e devido ao ACAS, a partir dos dados coletados, a proporção máxima de tempo que uma aeronave pode gastar em um nível de vôo incorreto, as taxas de erros e tolerâncias máximas são estimadas e mostradas nas Tabelas 3.19-1 e 3.19-2, para uma taxa de subida/descida de 10 nós.

Tabela 3.19-1 Taxas de Erro, Proporção de Tempo, Tolerâncias Máximas em Número de Cruzamentos de Nível e Tempo de Permanência em Nível Errado por Ano ($T = 332.518,2 \text{ horas/ano}$).

PARÂMETRO	CAR	SAM	CAR/SAM
α_{\max}^{ne}	$4,2955 \times 10^{-6}$	$6,6492 \times 10^{-6}$	$4,8030 \times 10^{-6}$
α_{\max}^{nc}	$1,1472 \times 10^{-4}$	$1,6388 \times 10^{-4}$	$1,2044 \times 10^{-4}$
$\alpha_{\max}^{ne} \times \bar{t}^{ne}$	$3,6662 \times 10^{-7}$	$5,6751 \times 10^{-7}$	$4,0994 \times 10^{-7}$
$t_{\max}^{ne} (s / ano)$	171,40	414,02	490,72
$n_{\max}^{nc} (por / ano)$	15	33	40

Tabela 3.19-2 Taxas de Erro, Proporção de Tempo, Tolerâncias Máximas em Número de Cruzamentos de Nível e Tempo de Permanência em Nível Errado por Ano ($T = 763.557,6 \text{ horas/ano}$).

Parâmetros	CAR	SAM	CAR/SAM
<i>Tempo de vôo Total no Ano (hr)</i>	297.787,46	465.770,14	763.557,6
α_{\max}^{ne}	$4,3896 \times 10^{-6}$	$6,7782 \times 10^{-6}$	$4,9447 \times 10^{-6}$
α_{\max}^{nc}	$1,1627 \times 10^{-4}$	$1,6471 \times 10^{-4}$	$1,2205 \times 10^{-4}$
$\alpha_{\max}^{ne} \times \bar{t}^{ne}$	$3,7465 \times 10^{-7}$	$5,7852 \times 10^{-7}$	$4,3816 \times 10^{-7}$
$t_{\max}^{ne} (s / ano)$	401,64	970,04	1.160,08
$n_{\max}^{nc} (por / ano)$	35	77	93

3.3.1.6 Medidas adicionais de segurança.

Conforme pode ser notado na Tabela 3.19-2, de acordo com o atual nível de tráfego para as regiões CAR/SAM, pode-se tolerar cerca de 1160 segundos por ano de aeronave nivelando em um nível errado, considerando que nenhuma aeronave cruze

qualquer nível de voo sem autorização, sem exceder o *TLS*. Ou, de outra forma, considerando que não exista nenhuma aeronave nivelando em nível errado, pode-se tolerar até 93 níveis cruzados sem autorização, a uma taxa de subida/descida de 10 nós, também sem exceder o *TLS*.

Para reduzir o risco serão necessárias medidas corretivas efetivas, no sentido de diminuir o tempo de permanência em nível errado e o número de níveis de voo cruzados sem autorização. As medidas corretivas devem ser tomadas visando eliminar as causas específicas dos erros de comunicação entre o órgão de controle-piloto, autorizações incorretas e erros de coordenação de tráfego.

3.3.1.7 Risco Total Após Tomar as Medidas Adicionais de Segurança

É aconselhável, porém não imperativo, que as ações corretivas apropriadas e viáveis resultem em valores do risco de colisão que não excedam o *TLS*, quando estimados com o modelo original por ser conservativo.

4 CONCLUSÕES

A frequência de passagem máxima dá uma indicação da localização, onde potencialmente, pode ocorrer o risco máximo. O pico para $N_x(\text{oposto})$ da região ocorreu na FIR Havana (MUFH), no trecho URSUS-UCA da aerovia UA301, e seu valor foi de 2,673. O segundo pico mais alto para $N_x(\text{oposto})$ ocorreu na FIR Recife, no trecho SAGAZ-LIBRA na aerovia UW58 com o valor de 2,073.

O número total de horas voadas consideradas para as análises de avaliação do risco para as regiões CAR/SAM corresponde ao total de horas de vôo das FIR Havana, Centro-América e Panamá, da região do Caribe, juntamente com as FIR Curitiba, Brasília, Recife e mais o setor Manaus da FIR Amazônica da região da América do Sul. Em resumo, a região SAM contribuiu com 61% do total de horas de vôo e a região CAR com 39 %.

A avaliação da probabilidade de superposição lateral, $P_y(0) = 0,0459$, foi feita baseada num modelo dado por uma distribuição analítica descrita por uma função dupla exponencial por falta de dados sobre desvios laterais. Em consequência, na próxima fase de avaliação da RVSM deverá ser efetuada a supervisão deste parâmetro através da coleta dos desvios laterais, de acordo com um programa de monitoração.

Embora não tenham sido utilizados dados sobre desvios verticais integralmente obtidos das regiões CAR/SAM, para determinar a função distribuição de probabilidades para TVE , as considerações cumulativas tomando os desvios típicos e atípicos obtidos da região do espaço aéreo do NAT, mais os desvios atípicos coletados nas regiões CAR/SAM, constituem uma aproximação conservativa para o cálculo da probabilidade de superposição vertical. O valor obtido está abaixo do limite estabelecido, no entanto, como medida necessária e pertinente, a verificação da probabilidade deverá ser feita através de coletas programadas dos desvios típicos e atípicos ocorridos nas regiões CAR/SAM.

Todas as proporções de *TVE* são satisfeitas simultaneamente, demonstrando que a especificação de desempenho de manutenção de altitude global poderá estar de acordo, tendo em vista as ideais condições de transferência dos dados sobre desvios, fornecidos e garantidos pela agência de monitoração central (CMA) do NAT.

Os critérios MASPS não foram verificados nesta fase por falta de um programa de monitoração.

Com relação a identificação das causas da inconsistência dos erros de manutenção de altura: as causas dos desvios correspondem a turbulências atmosféricas e outros possíveis erros técnicos de vôo, como falhas de piloto automático, ou ainda, a certas condições operacionais de controle de tráfego aéreo não identificadas nos relatórios de LHD.

O risco de colisão vertical técnico foi avaliado separadamente para as regiões do Caribe, da América do Sul e para todo o espaço aéreo das regiões CAR/SAM. Todos os casos considerados, incluindo o mais conservador, estão abaixo do *TLS*. O risco técnico para a região CAR é aproximadamente 4 vezes maior do que o risco para a região SAM.

A avaliação do crescimento do risco técnico para as regiões CAR/SAM, devido ao crescimento do tráfego aéreo, foi realizada para razões de crescimento anual de: 2, 4, 6, e 8 % ao ano, até 2014. As projeções mostram que o risco técnico, até 2014, estará bem abaixo do limite *TLS* de $2,5 \times 10^{-9}$.

Os principais erros operacionais (LHD) coletados nas regiões CAR/SAM no período de julho/2003 a julho/2004, dizem respeito às falhas de comunicação entre o órgão de controle-piloto, autorizações incorretas e erros na coordenação de tráfego. Mais especificamente, as causas dos erros referem-se a: falha ao subir/descer quando autorizado; subir/descer sem autorização do órgão ATC; desvio devido a falha de equipamento; e, erro em mensagens de coordenação entre unidades ATC.

Após a Nona Reunião/Oficina de Trabalho de Autoridades e Planejadores ATM para Implantação RVSM nas Regiões CAR/SAM, organizada pela OACI em Lima, a reclassificação dos erros operacionais para finalidade de avaliação resultou em: 11

aeronaves nivelando em nível errado, totalizando 3.380 segundos, sendo 3.060 segundos em nível errado no mesmo sentido do movimento do fluxo, e 320 segundos em sentido contrário, 3 cruzamentos de nível de vôo sem autorização (dois no mesmo sentido e um no sentido contrário); e, quatro desvios devido ao ACAS. Todos os desvios devidos a efeitos meteorológicos não severos (acima de 300 pés e abaixo de 1000 pés) continuaram sendo considerados no desempenho AAD atípico.

Os resultados para os riscos de colisão, técnico, operacional e total para as regiões CAR/SAM, apresentados na Reunião de Lima, são mostrados na Tabela 4-1.

Tabela 4-1 Riscos de Colisão Apresentados em Lima

Risco Técnico	Risco Operacional	Risco Total
$2,0 \times 10^{-10}$	$4,88 \times 10^{-8}$	$4,9 \times 10^{-8}$

Os dados e parâmetros que levaram a estes resultados, obtidos da maneira mais conservativa possível conforme Apêndice J (nos Apêndices I e K, constam resultados complementares para fins de estudos somente), foram analisados detalhadamente pelo grupo de trabalho SAM, cujas medidas, comentários e conclusões são transcritos, abaixo, integralmente do Relatório Final (AP/ATM/9 RVSM).

3.4 *Safety assessment*

3.4.3 *The meeting was informed that the SAM/WG analysed the summary of the safety assessment and verified all the parameters.*

3.4.4 *It was verified that even using a conservative approach of considering the typical and atypical AAD from the NAT Region, added with the atypical AAD from the CAR-SAM Region the technical vertical collision risk is well below the TLS of 2.5×10^{-9} . Its value is 2.0×10^{-10}*

3.4.3 *Analyzing the operational collision risk, the group took note of the methodology used and verified that the biggest part of the collision risk in the CAR/SAM Region comes from the errors that cause deviations from the cleared flight level of 1000ft or more, having the coordination errors between ATC Units as the major responsible for the risk.*

3.4.5 *The meeting remarked that to solve the main cause of the risk it is necessary that States take effective actions to reduce the errors in transition messages between ATC Units as a matter of urgency.*

- 3.4.5 Additionally, the meeting took note that the SAM/WG reviewed parameters of the calculations using more realistic data provided by the meeting. One of the parameters changed was the average vertical speed for the aircraft's that climb/descend without ATC clearance or due to pilot-ATC loop errors. This parameter was considered as being 10Kt, instead of the 2 Kt used in the first analysis.
- 3.4.6 The LHD table presented was analyzed and a deviation occurred in the Recife FIR of 1100 ft above the cleared flight level was reclassified, according to the discussions, and considered only in the risk analysis of aircraft's leveling in wrong flight level because it didn't cross any FL.
- 3.4.7 The meeting was informed that when establishing the time spent in incorrect flight levels for those LHD reports without that time, CARSAMMA assumed a default value of 90 seconds after analysis with experts of ATC and mathematics area, as well as experience from other Regions. Likewise, that those deviations from Panama, and considered by CARSAMMA, as not having the duration of the deviation due to an hyphen in the field for time in the LHD form was in reality 0 (zero) seconds. Considering that, the calculations related to the operational risk were reviewed and in all the 9 cases where 90 seconds appeared were replaced by to 0 seconds.
- 3.4.8 Another consideration was that the analysis of the LHD considered in the calculations of the operational risk has demonstrated that the great majority of the deviations conducted the aircraft to a wrong flight level but in the correct direction of the traffic flow according to the FL Cruising table except for 3 LHD. Considering that, the group analyzed the influence of those errors in a separate way, using weighting factors to take into account that fact. After the analysis a new operational and total risk was generated. The final results for those risks are expressed in the table below.

Technical Risk	Operational Risk	Total Risk
$2,0107 \times 10^{-10}$	$2,679 \times 10^{-9}$	$2,88 \times 10^{-9}$

3.4.9 The final and complete report on airspace safety assessment for the CAR/SAM Regions shall be included in the CARSAMMA web page.

3.4.11 Considering the above, the meeting concluded that:

Conclusion AP/ATM/9/9

Safety Assessment

The CAR/SAM Regions FIRs airspace has a vertical collision risk below the TLS agreed and based on that CAR/SAM States/Territories/International Organizations should continue the actions to implement the RVSM as planned.

3.5 *Considering the need to have a good picture of the operations just after the RVSM implementation, the meeting agreed the following:*

Conclusion AP/ATM/9/10

Data Collection

Brazil, COCESNA, Cuba and Panama must do a new 15 days data collection from 13 to 26 February 2005 and the data shall be sent to CARSAMMA not later than 30 March to permit the analysis to be done and presented in the first follow on monitoring meeting in 2005.

Embora o grupo de trabalho tenha analisado detalhadamente os parâmetros necessários para gerar o risco operacional, os cálculos efetuados durante a reunião em Lima ainda foram aproximados em virtude do mínimo tempo disponível para isso. A ponderação do risco de colisão devido aos cruzamentos de níveis sem autorização nos sentidos, coincidente e contrário, ao movimento do fluxo não foi considerada. Além disso, a frequência de ocorrência (α) dos grandes desvios verticais técnicos maiores do que 300 pés e menores do que 1000 pés não foi recalculada em função do novo tempo de voo total do sistema determinado pelo grupo, mantendo o risco técnico no mesmo valor. Portanto, após a Reunião de Lima, os riscos foram recalculados novamente levando em conta todos os fatores possíveis, e conforme pode ser notado na Tabela 4.2, o risco total situa-se abaixo do limite máximo permitido ($TLS = 5.0 \times 10^{-9}$).

Tabela 4-2 Riscos de Colisão Recalculados Pós Reunião de Lima

Risco Técnico	Risco Operacional	Risco Total
$1,4538 \times 10^{-10}$	$3,589 \times 10^{-9}$	$3,7344 \times 10^{-9}$

De acordo com a nova proporção máxima de tempo que uma aeronave pode gastar em um nível de voo incorreto, pode-se tolerar cerca de 1160 segundos por ano de aeronave nivelando em um nível errado, considerando que nenhuma aeronave cruze

qualquer nível de vôo sem autorização, sem exceder o *TLS* de $5,0 \times 10^{-9}$. Ou de outra forma, considerando que não exista nenhuma aeronave nivelando em nível errado, pode-se tolerar até 93 níveis cruzados sem autorização, a uma taxa de subida/descida de 10 nós, também sem exceder o limite *TLS*.

5 RECOMENDAÇÕES

As recomendações descritas nesta seção têm como objetivo auxiliar nos esforços que deverão ser envidados nos próximos trabalhos de avaliação do risco de colisão durante a fase de monitoração pós-implementação.

Dados Sobre o Fluxo de Tráfego – Dados recebidos de vários Estados não puderam ser aproveitados por diferentes razões, desde o não entendimento de como os dados devem ser transcritos nas planilhas até erros de digitação e, principalmente, inconsistência de dados. É aconselhável que antes da coleta de dados, um procedimento de treinamento de como preencher a planilha seja adotado.

Frequência de Passagem - A frequência de passagem (ou ocupação) dá indicações do fluxo de tráfego da região. Constitui um dos três principais parâmetros na estimativa do risco, sendo os outros dois a probabilidade de superposição lateral e a probabilidade de superposição vertical. Através da identificação das mais altas frequências de passagem é que se permite estabelecer as regiões com maior probabilidade de colisão entre aeronaves, e consolidá-las como as mais representativas para as análises do risco. Estas regiões devem ser representadas por três centros de controle de área (ACC) adjacentes, uma condição de contorno sugerida pelo manual de implementação da RVSM /1/ para facilitar a escolha do espaço aéreo onde serão estimadas as frequências de passagens para a avaliação do risco que representará o risco na região inteira.

Dados Sobre os Desvios Verticais Técnicos – Deve ser feito um esforço de planejamento para definir a melhor metodologia de coleta de dados sobre desvios verticais técnicos.

Dados Sobre os Desvios Verticais Devidos a Erros Operacionais – A informação sobre estes tipos de eventos é obtida via atc ou reportes do piloto. Infelizmente dados importantes sobre estes desvios como, número de níveis cruzados, tempo de permanência em nível não autorizado, raramente são reportados. Como estes desvios são conseqüências de erros ou ações emergenciais, um plano de trabalho deve ser elaborado em conjunto com o grupo de trabalho de operações do controle de tráfego

aéreo explorando a atividade que lhe é atribuída de “auxiliar o grupo SAM com um mecanismo de desenvolvimento para coletam, recebimento e análise das informações relacionadas aos erros operacionais”.

6 REFERÊNCIAS

1. Manual on Implementation of a 300 m (1000 ft) Vertical Separation Minimum Between FL290 and FL410 Inclusive, ICAO, Montreal, Doc 9574, 1st edition 1992, 2nd edition 2000.
2. The Guidance Material on the Implementation of a 300 M (1000 Ft) Vertical Separation Minimum (VSM) between FL290 and FL410 Inclusive for Application in the Airspace of the Caribbean and South American Regions. Draft CAR/SAM Guidance Version.3, 06-05-2003
3. Risk Assessment of RNP10 and RVSM in the South Atlantic Flight Identification Regions, ARINC, Annapolis, MD, USA, May 2001.
4. The EUR Safety Monitoring Report 2003. EUROCONTROL, Edition 1.1, 2003.
5. Review of the General Concept of Separation Panel, Report of the Sixth Meeting, ICAO, Montreal, December 1988.
6. NAT SPG Mathematicians Working Group, Risk Assessment and System Performance Monitoring for the Verification and Operation of a 300 m (1000 ft) Vertical Separation Minimum in the Minimum Navigation Performance Specifications Airspace of the North Atlantic Region, Supplement to Nat Doc 002, Draft version 2.0, 12th March 1996.
7. The EUR RVSM Pre-Implementation Safety Case, RVSM 691, Version 2.0, August 2001
8. The EUR RVSM Pos-Implementation Safety Case, RVSM A1190, Version 1.0, January 2003
9. P.G. Reich, Analysis of Long-Range Air Traffic Systems: Separation Standards, Part I, Journal of Navigation (UK), Vol. 19, No. 115, pp. 88 – 98 *apud* Risk Assessment of RNP10 and RVSM in the South Atlantic Flight Identification Regions – ARINC, 2551 Riva Road, Annapolis, MD, 21401-7465, USA.
10. P.G. Reich, Analysis of Long-Range Air Traffic Systems: Separation Standards, Part II, Journal of Navigation (UK), Vol. 19, No. 116, pp. 169 – 193 *apud* Risk Assessment of RNP10 and RVSM in the South Atlantic Flight

Identification Regions – ARINC, 2551 Riva Road, Annapolis, MD, 21401-7465, USA.

11. P.G. Reich, Analysis of Long-Range Air Traffic Systems: Separation Standards, Part III, Journal of Navigation (UK), Vol. 19, No. 117, pp. 331 – 347 *apud* Risk Assessment of RNP10 and RVSM in the South Atlantic Flight Identification Regions – ARINC, 2551 Riva Road, Annapolis, MD, 21401-7465, USA
12. “An Update to the Summary of the Western Pacific/South China Sea Reduced Vertical Separation Minimum (RVSM) Safety Assessment”, The Fourteenth Meeting of the ICAO RVSM Implementation Task Force, Bangkok, 30-31, May 2002.
13. Manual on Airspace Planning Methodology for the Determination of Separation Minima, Doc 9689-AN/953, ICAO, Montreal, First Edition – 1998.

Lista de Acrônimos

AAD – Assigned Altitude Deviation
ACAS – Airborne Collision Avoidance System
ACC – Area Control Center
AFCS – Aircraft Flight Control Systems
ASE – Altimetry System Error
ATC – Air Traffic Control
ATS – Air Traffic Service
CAR/SAM – Caribbean/South America Region
CARSAMMA – Caribbean/South America Region Monitoring Agency
CFL – Cleared Flight Level
CRM – Collision Risk Model
CTA/IEAv – Centro Técnico Aeroespacial/Instituto de Estudos Avançados
DE – Double Exponential
DDE – Double-Double Exponential
EUR – European Region
FIR – Flight Information Region(s)
FL – Flight Level
FLAS - Flight Level Allocation System
FMS – Flight Management System
FP – Passing Frequency
FTE – Flight Technical Error
G – Gaussian
GDE – Gaussian + Double Exponential
HDG – Heading
HF – High Frequency
MASPS – Minimum Aircraft System Performance Specification
MNPS – Minimum Navigation Performance Specifications
NAM – North American Region
NAARMO – North American Approvals Registry and Monitoring Organization
NAT – North Atlantic Region
NM – Nautical Mile
NOPAC – North Pacific

RGCSPP – Review of General Concept of Separation Panel
RA – Resolution Advisory (generated by TCAS)
RNAV – Area Navigation
RNP – Required Navigation Performance
RVSM – Reduced Vertical Separation Minimum of 300m (1000 ft)
SAT – South Atlantic
TCAS – Traffic Alert Collision Avoidance System
TLS – Target Level of Safety
TVE – Total Vertical Error
WG – Working Group
VHF – Very High Frequency
UL – Upper Level

APÊNDICE A

FREQÜÊNCIA DE PASSAGEM

A Referência “**Manual on Implementation of a 300 m (1000 ft) Vertical Separation Minimum between FL 290 and FL 410 Inclusive**” (ICAO-Doc. 9574, 2th edition, 2001) estabelece em seu Apêndice A parágrafo 3.8 a base para estimar a frequência de passagem (N_x) no mesmo sentido e sentido oposto. Para as regiões CAR/SAM, este parâmetro foi estimado em trechos de rotas do fluxo de tráfego aéreo da amostra coletada, após a reestruturação do espaço aéreo, entre 11 de junho e 10 de julho de 2004. Os vôos foram organizados por nível de vôo, entre FL 290 e 410, inclusive, e foram identificados e contados, separadamente, os pares de aeronaves voando em níveis adjacentes, no mesmo sentido ou em sentido oposto, que geraram passagens. Para se obter a $N_x(mesmo)$ e $N_x(oposto)$, o número total de pares no mesmo sentido, ou em sentido oposto, foi multiplicado por dois e dividido pelo número total de horas de vôo considerado na análise.

A avaliação preliminar da introdução da RVSM nas regiões CAR/SAM foi baseada nos grandes fluxos da região. Nesta avaliação foram obtidas as frequências de passagem do grande fluxo e foram identificadas as regiões onde ocorreram os picos. O pico para $N_x(oposto)$ ocorreu na FIR Havana (MUFH) e seu valor foi 2,869. O pico para $N_x(mesmo)$ ocorreu na FIR Brasília (SBBS) e seu valor foi 0,1256.

A partir desta identificação o Doc. 9574 recomenda a avaliação destes parâmetros em ACCs adjacentes que incluam o pico. Considerando que as regiões CAR/SAM são extensas, abrangendo áreas continentais e oceânicas; que o pico para a $N_x(oposto)$ ocorreu em área oceânica; que a FIR Brasília apresenta valores relativamente alto para $N_x(oposto)$ e $N_x(mesmo)$ e que ela é uma área continental, nesta fase de verificação, os esforços nos cálculos das frequências de passagens foram concentrados nos ACCs em torno das regiões onde ocorreram os picos identificados na avaliação preliminar. Assim, os dados das FIR: Brasília, Curitiba, Recife e o setor Manaus da FIR Amazônica (região SAM) foram processados para ser possível analisar trechos de rotas onde houve movimento de aeronaves. O mesmo procedimento foi feito para as FIR: Havana, Centro-América e Panamá da região Caribenha (região CAR).

Então, nesta fase de verificação, os trechos de rotas analisados foram definidos pelos fixos de notificação da estrutura de rotas vigente à época da coleta da amostra de dados de vôo. Os tempos nestes fixos foram obtidos por interpolação dos tempos reportados nas planilhas fornecidas pelos Estados que pertencem a região CAR/SAM. Neste caso, considerou-se que a velocidade da aeronave era constante em todo o trajeto entre os fixos reportados na planilha fornecida.

Tabela A.1 Picos da Frequência de Passagem no Mesmo Sentido em Trechos do Grande Fluxo Aéreo das Regiões CAR/SAM, etapa preliminar.

Segmento de Rota	N_x (mesmo)	FIR
SBSP-SBRJ	0,1256	Brasilia
SBGL-SBGR	0,1242	Brasilia
URSUS-TOTON	0,0057	Havana
CAR	0,0034	
SAM	0,0387	
CAR/SAM	0,0320	

Tabela A.2 Picos da Frequência de Passagem no Sentido Oposto em Trechos do Grande Fluxo das Regiões CAR/SAM, etapa preliminar.

Segmento de Rota	N_x (oposto)	FIR
MPTO-KMIA	2,8685	Havana
SBRF-SBSV	1,7205	SBRE
SBBR-SBBH	1,0259	Brasília
CAR	2,3668	
SAM	0,9205	
CAR/SAM	1,333	

As Tabelas A.1 e A.2 mostram as estimativas dos picos da frequência de passagem, N_x (mesmo) e N_x (oposto), obtidas na fase preliminar da introdução da RVSM nas regiões CAR/SAM (amostra coletada em 2003). Também são apresentados os valores para a região, considerando as FIR adjacentes mencionadas anteriormente.

As Tabelas A.3 e A.4 mostram as estimativas dos picos da frequência de passagem, N_x (mesmo) e N_x (oposto), obtidas na fase verificação da introdução da RVSM nas regiões CAR/SAM (amostra coletada entre 11 de junho e 10 de julho de 2004).

Tabela A.3 Picos da Frequência de Passagem no Mesmo Sentido em Segmentos de Rotas das Regiões CAR/SAM, Etapa de Verificação.

Segmento de Rota	N_x (mesmo)	Aerovia	FIR
AFTER-ENTER	0,5967	UM654	Brasília
HAMBU-CARDO	0,1072	UN741	Recife
ANISE-SAT	0,2644	UM540	Curitiba

Tabela A.4 Picos da Frequência de Passagem no Sentido Oposto em Segmentos de Rotas das Regiões CAR/SAM, Etapa de Verificação.

Segmento de Rota	N_x (oposto)	Aerovia	FIR
URSUS-UCA	2,673	UA301	Havana
SAGAZ-LIBRA	2,073	UW58	Recife
TUMAR-RETAK	1,396	UA636	Haiti
FAMIP-PANDI	1,384	UZ2	Brasília
TBG-KORPU	1,318	UL780	Panamá
TANGO-VUMPI	1,242	UL795	Manaus
ESV-SISEL	1,138	UG437	Guayaquil
XAREO-ETANO	0,8326	UA314	Curitiba
KIRAP-AMIDA	0,7898	UG521a	Centro-

			América
--	--	--	---------

As estimativas para as frequências de passagens obtidas nesta etapa de verificação confirmaram as estimativas obtidas na fase preliminar, definindo a FIR Havana como a que apresenta a maior frequência de passagem no sentido oposto, 2,673. A análise por trecho de rota também resultou em uma estimativa importante deste parâmetro na FIR Recife, 2,073.

As Tabelas A.5 e A.6 detalham as estimativas de N_x (mesmo) e N_x (oposto), obtidas nas FIR adjacentes as FIR Havana e Recife onde ocorreram os picos das regiões oceânica e continental, respectivamente. Também são apresentados os valores para as regiões, considerando as FIR adjacentes mencionadas anteriormente e o tempo de voo analisado.

Tabela A.5– Frequência de Passagem Para o Caribe (CAR)

FIR (ACC)	Horas de Voo	N_x (mesmo)	N_x (oposto)
Havana	3964	0,0	1,060
Centro-América	3805	0,0	0,2276
Panamá	3054	0,0	0,4880
Total	10822	0,0	0,6049

Tabela A.6 – Frequência de Passagem Para a América do Sul (SAM)

FIR (ACC)	Horas de Voo	N_x (mesmo)	N_x (oposto)
Curitiba	3561	0,0044	0,2034
Brasília	8166	0,0389	0,3411
Recife	3198	0,0050	0,2522
Sub-Total	14925	0,0256	0,2813
Manaus	1963	0,0	0,4014
Total	16888	0,0253	0,3098

A Tabela A.7 apresenta as estimativas de N_x (mesmo) e N_x (oposto) considerando todas as FIR adjacentes as FIR Havana e Recife. Os valores apresentados nesta tabela são considerados representativos para a avaliação do risco de colisão nas Regiões CAR/SAM.

Tabela A.7 - Frequência de Passagem Representativa das Regiões CAR/SAM

N_x	CAR/SAM3*	CAR/SAM4*
Oposto	0,4898	0,4810
Mesmo	0,0256	0,0253

(*) CAR – Havana, Centro-América e Panamá; SAM3 – Curitiba, Brasília e Recife; SAM4 -Curitiba, Brasília, Recife e setor Manaus (FIR Amazônica).

A Tabela A.8 detalha as estimativas de N_x (mesmo) e N_x (oposto) em todas as FIR da amostra de dados de vôo coletada entre 11 de junho e 10 de julho e 2004. Os resultados para as FIR (em negrito) não consideradas para compor o risco da região CAR/SAM foram avaliados considerando somente as três rotas mais movimentadas da amostra. Este procedimento foi utilizado por falta de se ter, em meio eletrônico, a estrutura de rotas destas FIR. Então, nestes casos, os resultados foram obtidos com um número pequeno de movimento aéreo e não são representativos da FIR.

As Figuras A.1 a A.17 mostram a frequência de passagem N_x (oposto), diária, nas FIR das Regiões CAR/SAM obtidas da amostra. As FIR EZEIZA, MENDOZA, RESISTÊNCIA e URUGUAI não têm eventos de frequência de passagem, sentido oposto. O período de coleta da amostra, 11 de junho a 10 de julho, é o início do inverno no Hemisfério Sul. A distribuição não é uniforme, havendo picos em algumas FIR. Algum efeito sazonal pode ter contribuído para alguns picos visto o início de férias de inverno em alguns Estados.

Tabela A.8 Frequência de Passagem em FIR das Regiões CAR/SAM

State/FIR	Tempo de Vôo [h]	N _x (mesmo)	N _x (oposto)	Trecho de Máxima Freq. Pass	Rota	N _x (oposto) máxima
Brasília	8166	0,0389	0,3411	FAMIP-PANDI	UZ2	1,384
Curitiba	3561	0,0044	0,2034	XAREO-ETANO	UA314	0,833
Recife	3198	0,0050	0,2522	SAGAZ-LIBRA	UW58	2,073
Manaus*	1963	0,0	0,4014	REPIL-ASUMI	UL795	1,651
Belém*	1123	0,0	0,1472	TIR-AKNIB	UL776	0,715
Porto Velho*	1190	0,0	0,2377	LET-NEGRA	UA301	0,903
Havana	3964	0,0	1,060	URSUS-UCA	UA301	2,673
Panamá	3054	0,0	0,4880	TBG-KORPU	UL780	1,318
Centro-América	3805	0,0	0,2276	ERBOR-AUR	UA552o	0,893
Guayaquil	783	0,0	0,7328	ESV-SISEL	UG437	1,138
Chile	584	0,0	0,3224	IQQ-ARI	UW200	0,322
La Paz	554	0,0	0,1878	ELAKA-ASUVO	UL417	0,196
Port au Prince	530	0,0	1,0370	TUMAR-RETAK	UA636	1,396
Georgetown	97	0,0	0,3099	TIM-KOXAM	UA312	0,771
Colômbia	316	0,0	0,4172	BUXOS-UGUPI	UL780	0,493
Maiquetia	627	0,0	0,4846	HENRY-DABAN	UA550	1,186
Ezeiza	44	0,0	0,0	----	---	0,0
Mendoza	247	0,0	0,0	----	---	0,0
Resistência	18	0,0	0,0	----	---	0,0
Asunção	96	0,0	0,1874	EGEKO-KUBIR	UL793	1,763
Montevidéu	279	0,0072	0,0	DALGO-DUR	UL714	0,025

(*) Atualmente são setores da FIR Amazônica

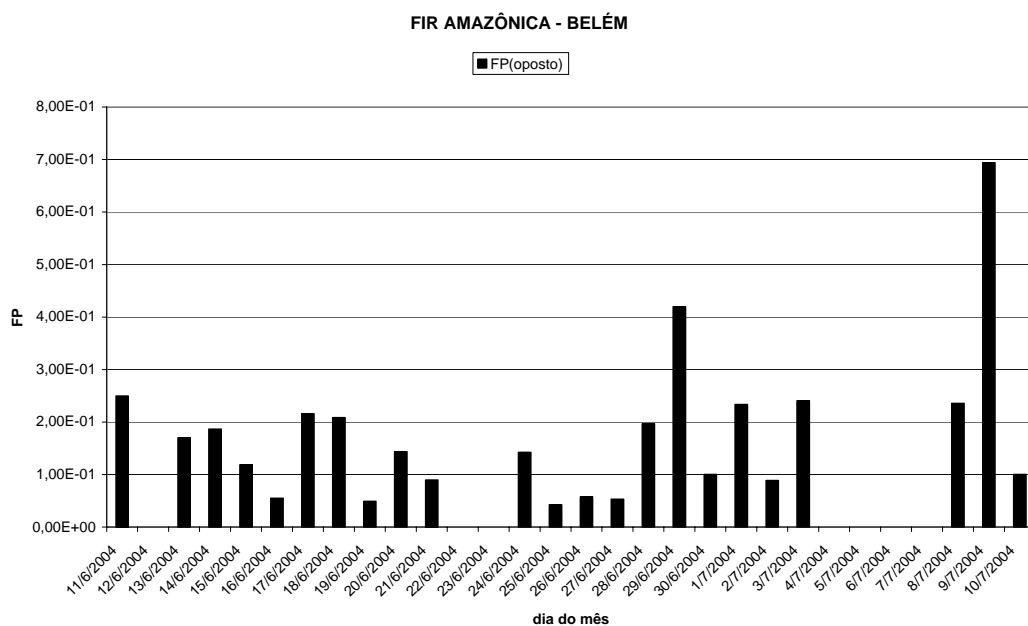


Figura A.1. Frequência de Passagem, Sentido Oposto, por Dia do Mês da FIR AMAZÔNICA – BELÉM.

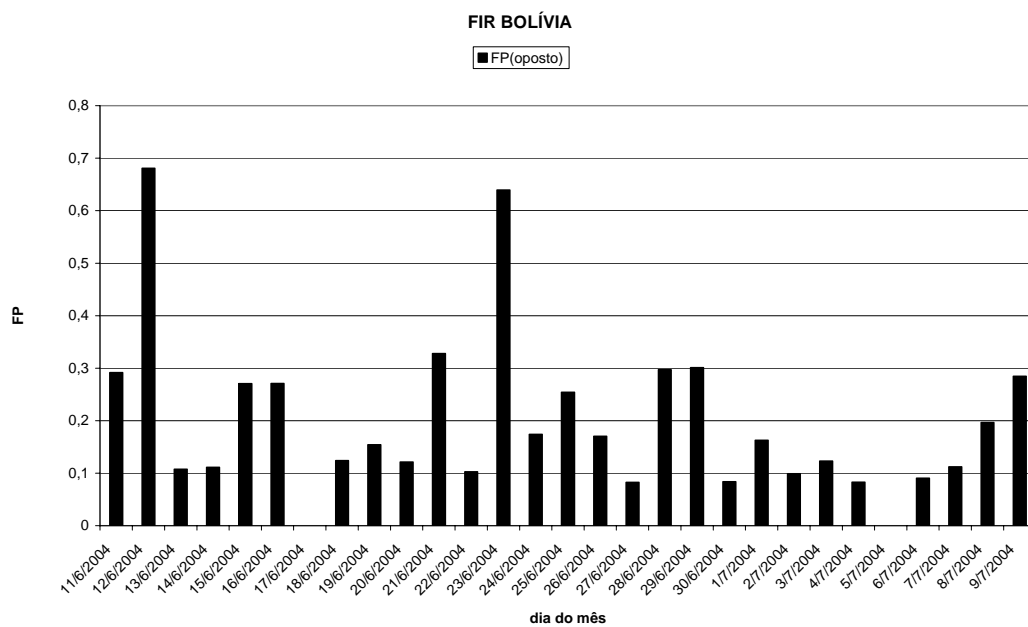


Figura A.2. Frequência de Passagem, Sentido Oposto, por Dia do Mês na FIR LA PAZ.

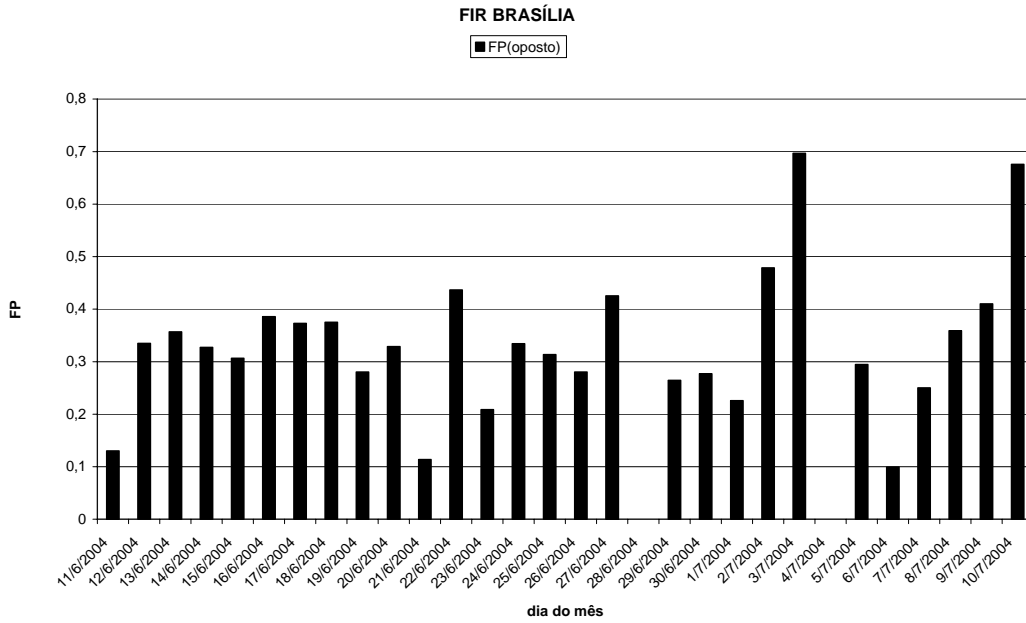


Figura A.3. Frequência de Passagem, Sentido Oposto, por Dia do Mês da FIR BRASÍLIA.

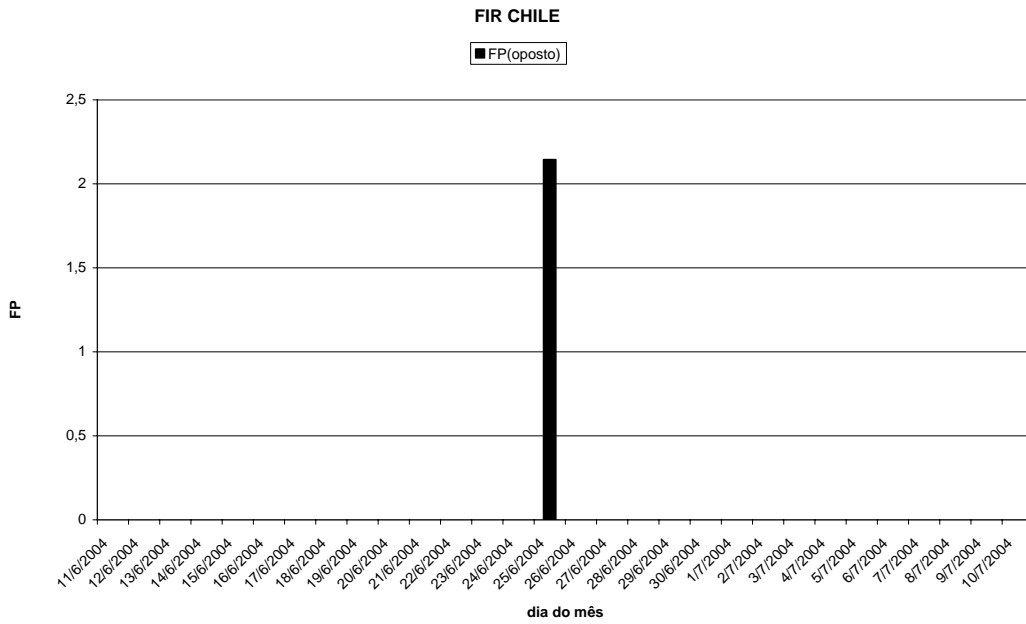


Figura A.4. Frequência de Passagem, Sentido Oposto, por Dia do Mês no CHILE.

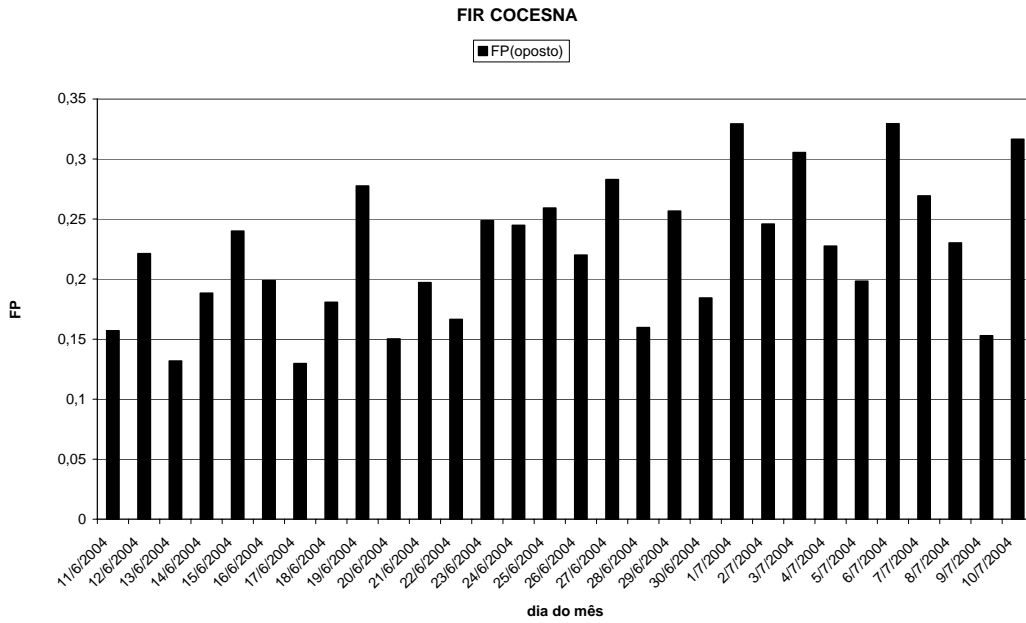


Figura A.5. Freqüência de Passagem, Sentido Oposto, por Dia do Mês da FIR CENTRO-AMÉRICA.

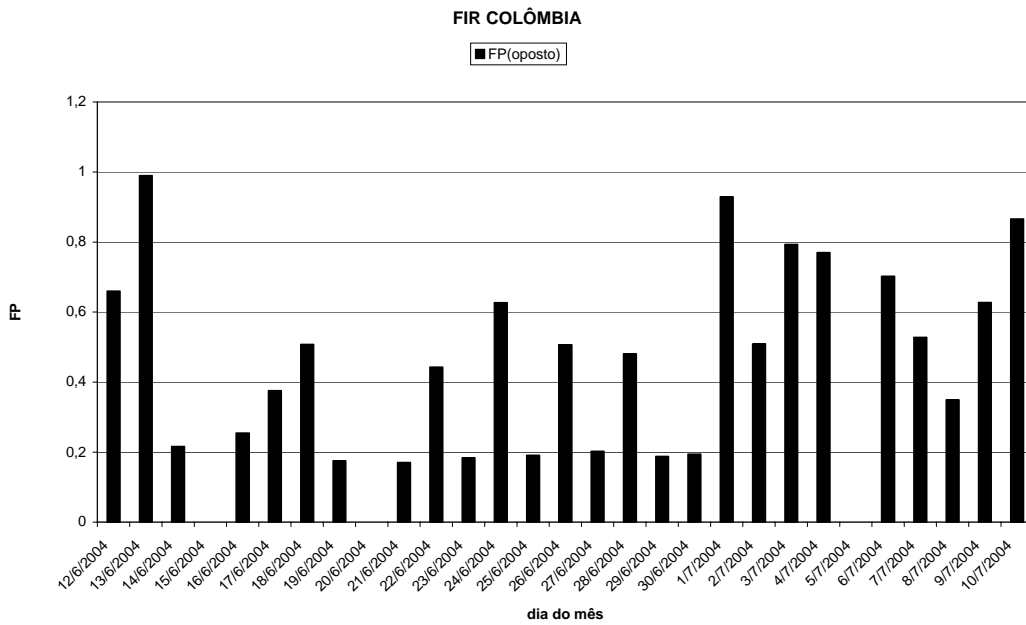


Figura A.6. Freqüência de Passagem, Sentido Oposto, por Dia do Mês na COLÔMBIA.

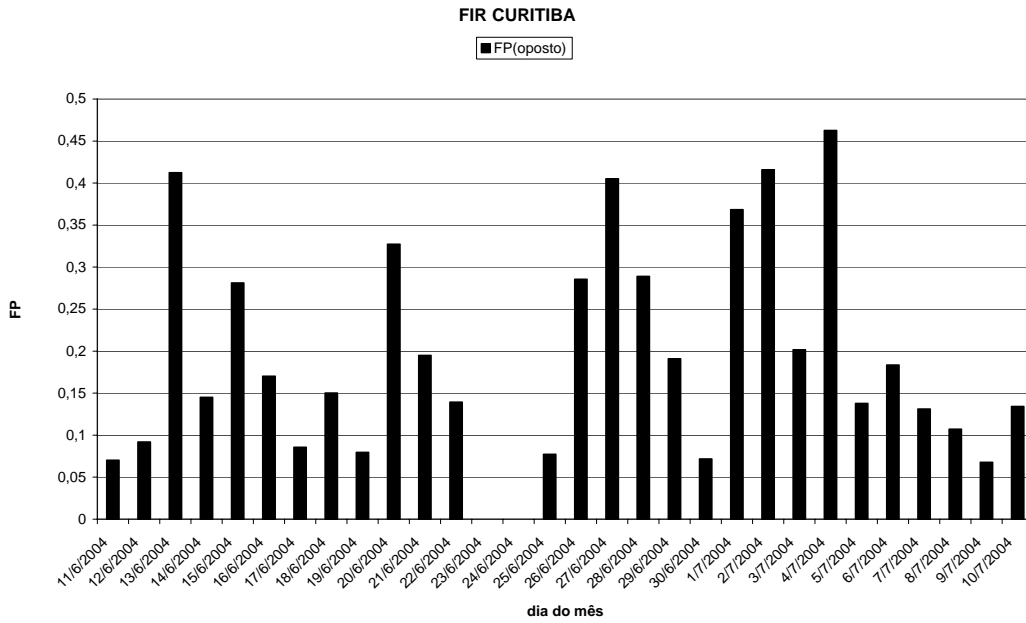


Figura A.7. Frequência de Passagem, Sentido Oposto, por Dia do Mês da FIR CURITIBA.

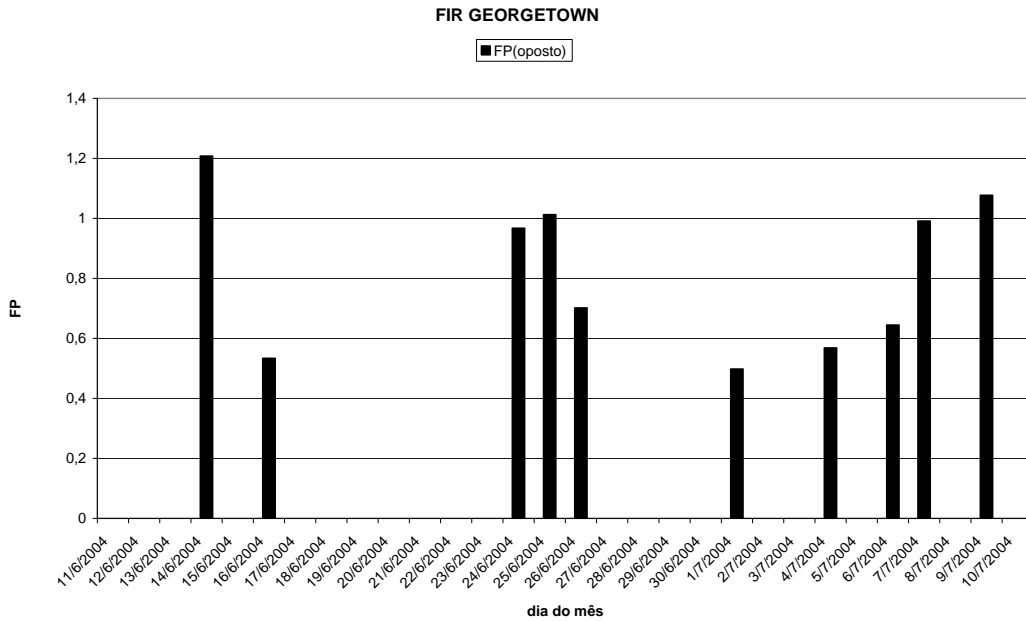


Figura A.8. Frequência de Passagem, Sentido Oposto, por Dia do Mês da FIR GEORGETOWN.

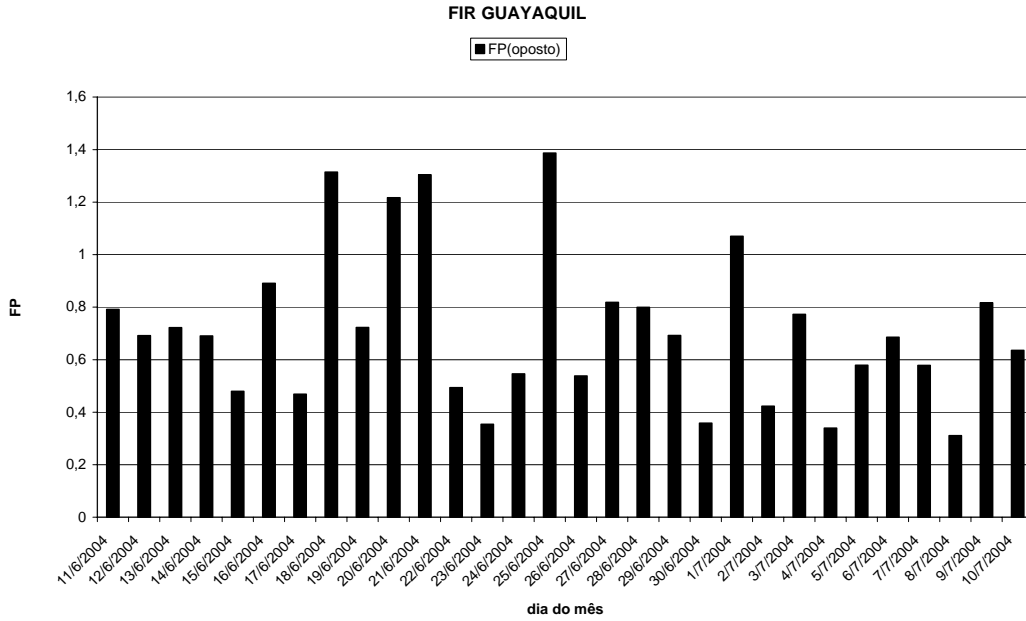


Figura A.9. Freqüência de Passagem, Sentido Oposto, por Dia do Mês da FIR GUAYAQUIL.

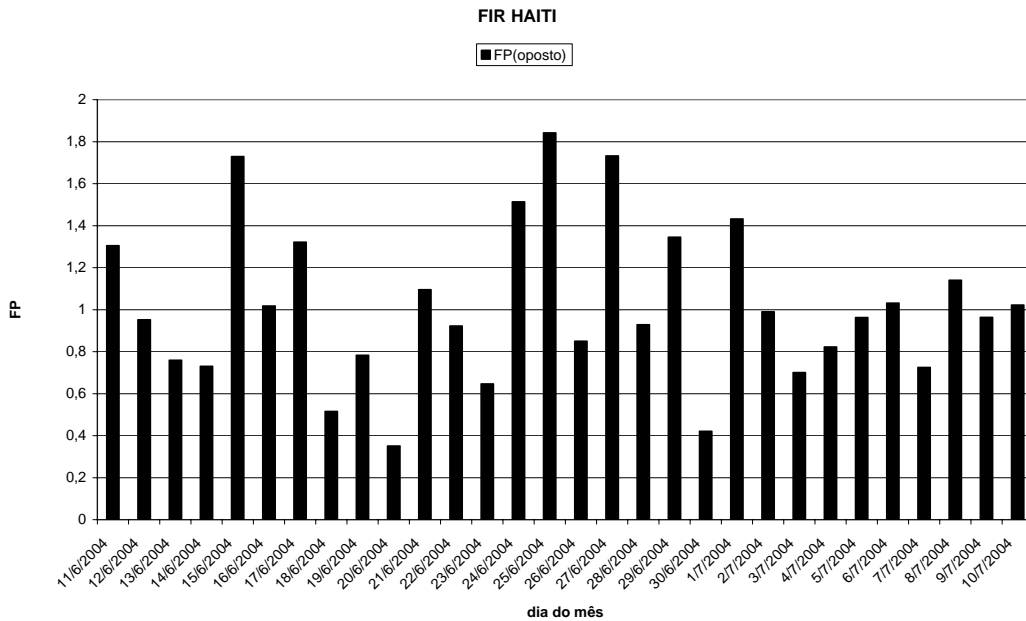


Figura A.10. Freqüência de Passagem, Sentido Oposto, por Dia do Mês na FIR PORT AU PRINCE.

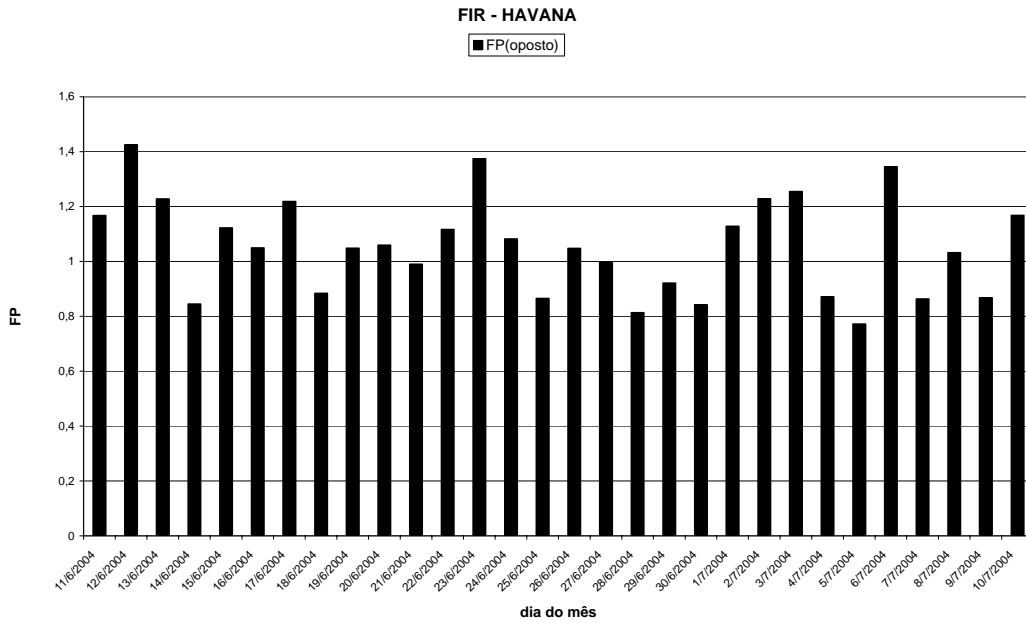


Figura A.11. Frequência de Passagem, Sentido Oposto, por Dia do Mês da FIR HAVANA.

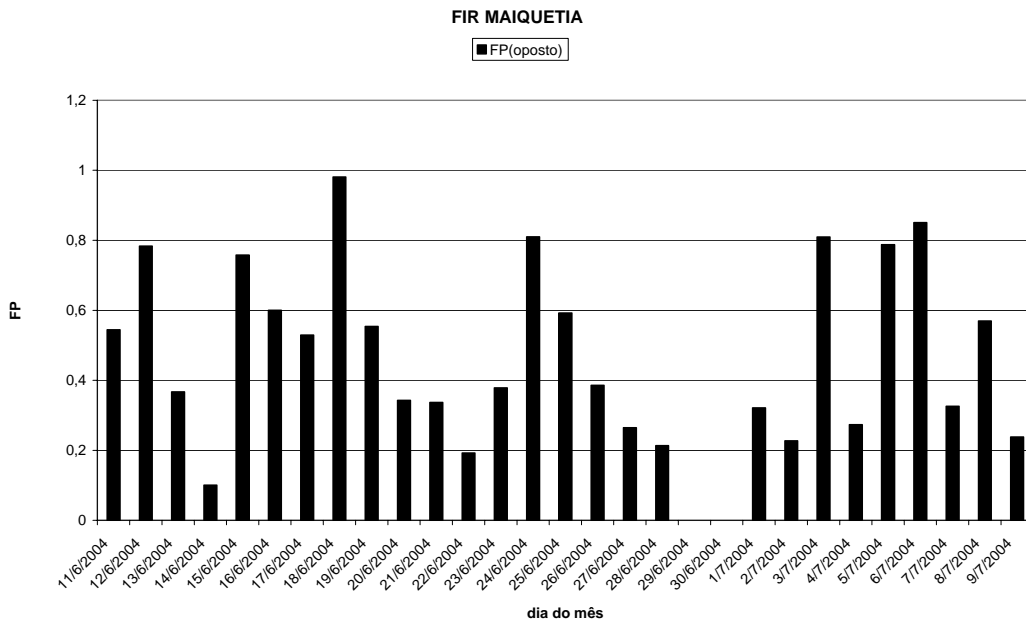


Figura A.12. Frequência de Passagem, Sentido Oposto, por Dia do Mês da FIR MAIQUETIA.

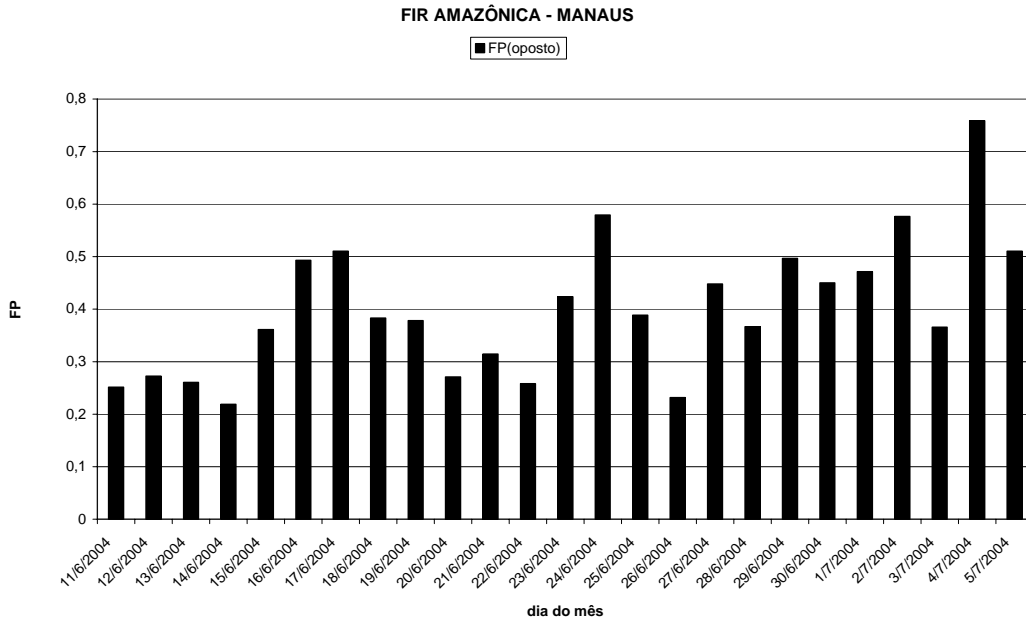


Figura A.13. Frequência de Passagem, Sentido Oposto, por Dia do Mês da FIR AMAZÔNICA – MANAUS.

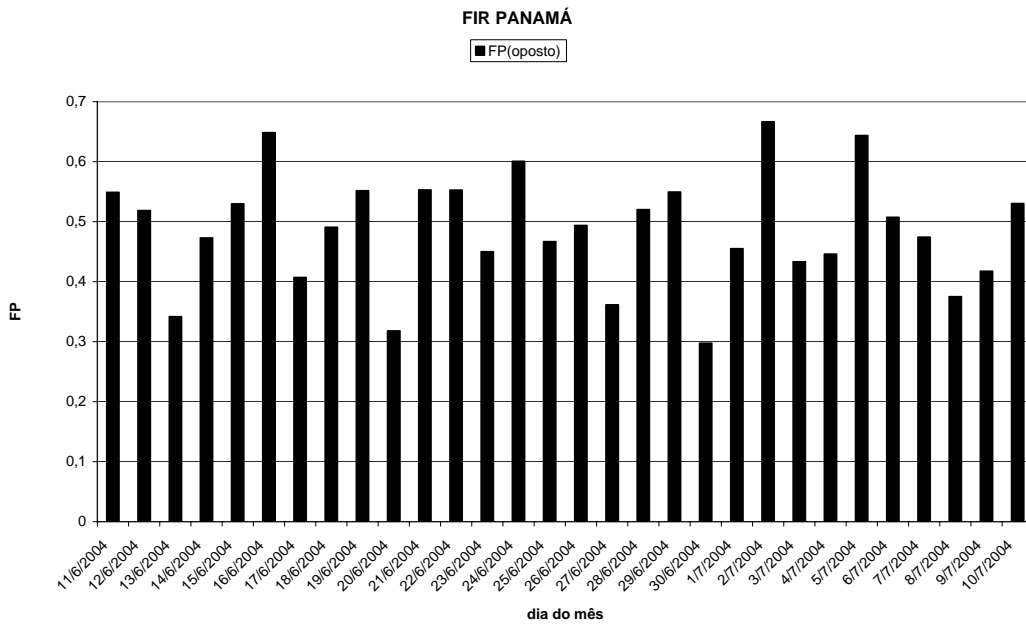


Figura A.14. Frequência de Passagem, Sentido Oposto, por Dia do Mês da FIR PANAMÁ.

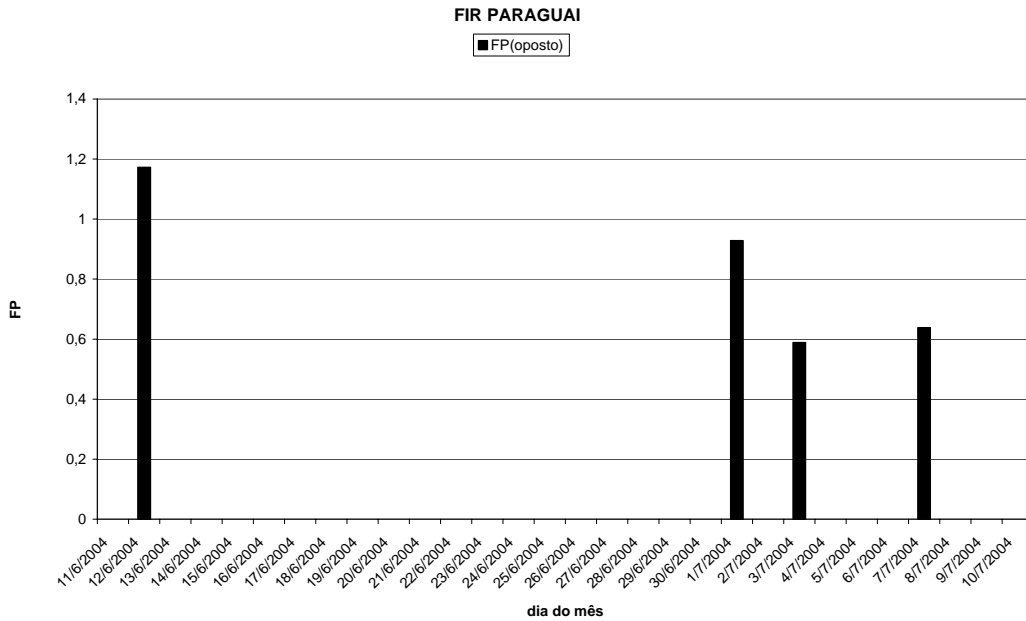


Figura A.15. Frequência de Passagem, Sentido Oposto, por Dia do Mês da FIR ASUNÇÃO.

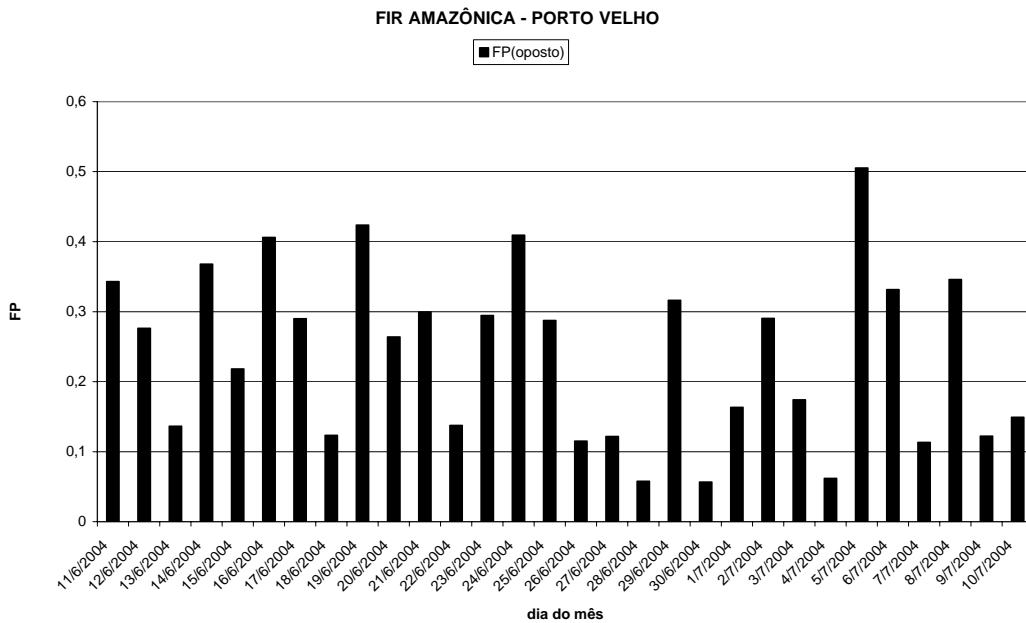


Figura A.16. Frequência de Passagem, Sentido Oposto, por Dia do Mês da FIR AMAZÔNICA – PORTO VELHO.

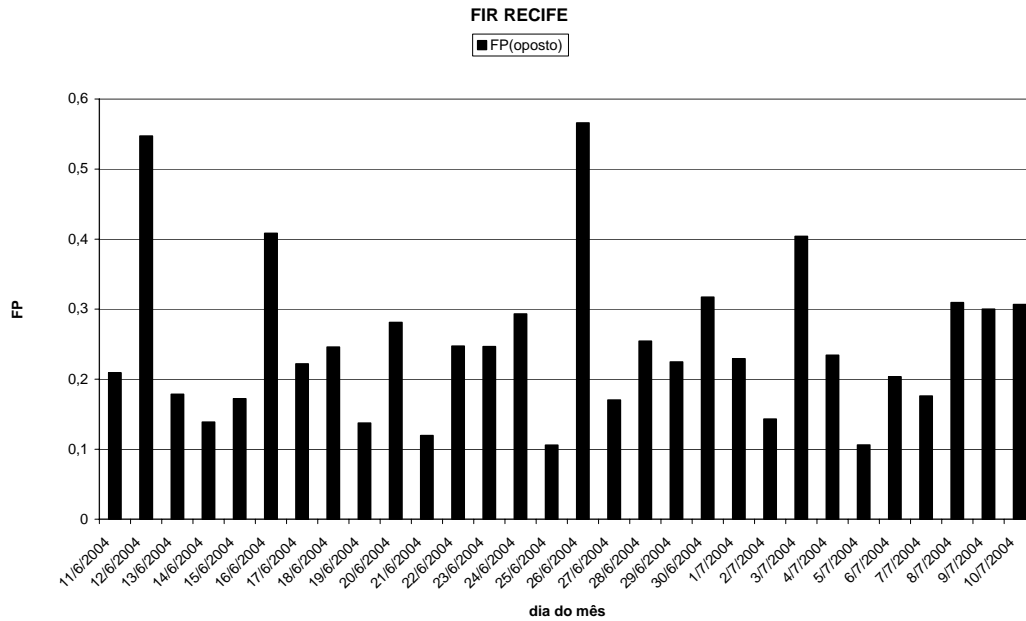


Figura A.17. Frequência de Passagem, Sentido Oposto, por Dia do Mês da FIR RECIFE.

A.1 Simulação do Crescimento da Frequência de Passagem

É conhecido que o tráfego aéreo cresce a uma determinada razão anual (r). Este crescimento pode, ou não, alterar a frequência de passagem se o aumento do tráfego ocorrer, também, nos horários que originam ultrapassagens. Por exemplo, considerando que uma rota apresenta um determinado padrão de vôo, picos e horas menos densas de tráfego aéreo durante o dia, geram uma determinada N_x ; se o aumento do tráfego aéreo ocorre durante as horas de pico, com grande probabilidade esta frequência se alterará. Já se o aumento de tráfego ocorre durante as horas de menor movimento ela pode não se alterar.

Assim sendo, para se estimar a influência do crescimento do tráfego aéreo no risco de colisão nas regiões CAR/SAM, foi admitido que: o crescimento da frequência de passagem tem uma dependência linear com o crescimento do tráfego aéreo; que a frota de aeronaves da região mantém seu padrão de vôo (velocidades). Deste modo:

$$N_x\text{-futura} = N_x\text{-atual}(1 + r)^p \quad (\text{A.1})$$

onde N_x -futura é a estimativa para frequência de passagem futura, N_x -atual é a frequência de passagem atual, ano 2004, r é a razão de crescimento anual do tráfego aéreo e p (anos) é a quantidade de anos, no futuro, considerado.

A simulação do crescimento do tráfego aéreo considerou razões anuais de: 2, 4, 6 e 8 % ao ano em um horizonte de 10 anos, até 2014. As Figuras A.18 e A.19 mostram a evolução das frequências de passagens, tendo como base os valores estimados para a CAR/SAM, N_x (oposto) = 0,4898 e N_x (mesmo) = 0,0256, usando a amostra coletada entre 10 de junho a 11 de julho de 2004. Como pode ser visto, N_x (oposto) > 2,5 não é alcançada até 2014, com estas taxas de crescimento de tráfego aéreo e se confirmarem as hipóteses assumidas.

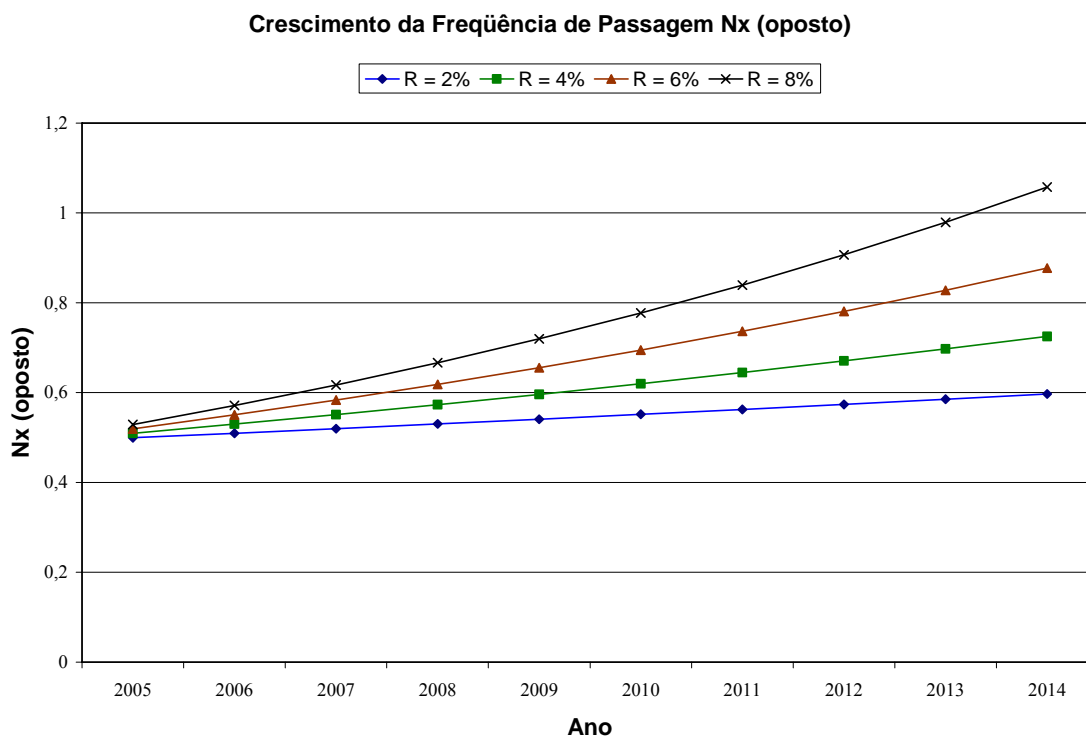


Figura A.18. Frequência de passagem no sentido oposto dependente da taxa de crescimento anual, em um horizonte de 10 anos

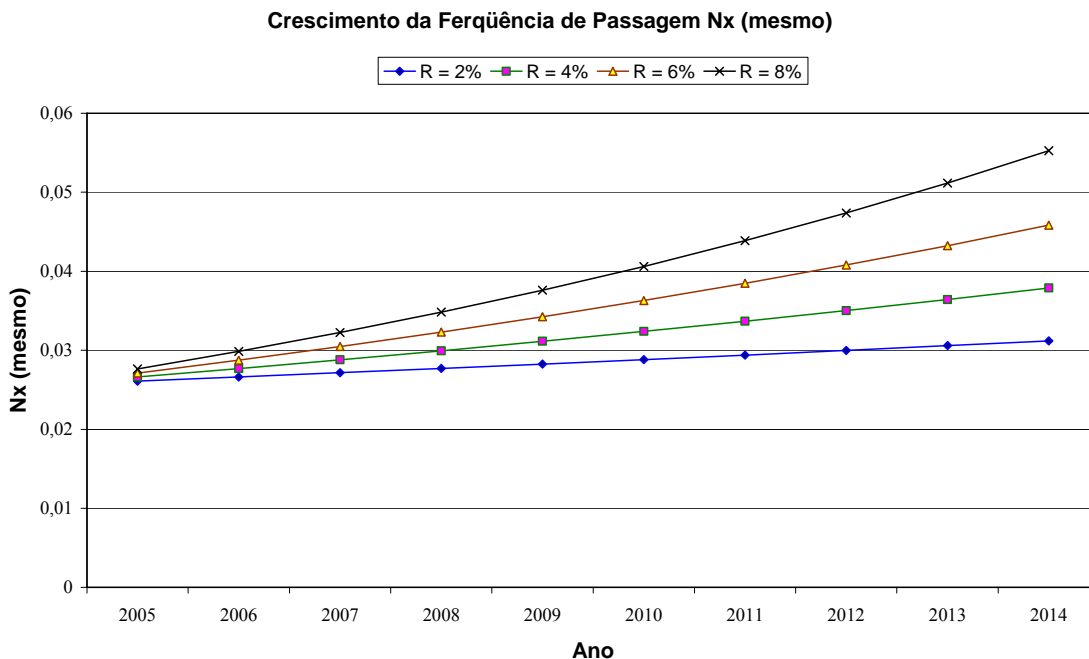


Figura A.19. Frequência de passagem no mesmo sentido dependente da taxa de crescimento anual, em um horizonte de 10 anos

A.2 Comentário Final sobre a Frequência de Passagem

A frequência de passagem é um dos parâmetros mais importantes do modelo de risco de colisão. O uso de planilhas de tempo reportado em fixos de notificação para esta estimativa requer que os dados registrados tenham boa confiabilidade.

A qualidade destes dados está diretamente ligada ao treinamento e motivação do pessoal envolvido na sua coleta. As regiões CAR/SAM, embora seja na sua maior parte área continental, não está equipada com dispositivos que permitam um registro automatizado destes dados na sua totalidade. Assim sendo, os dados para a estimativa da frequência de passagem devem continuar a ser fornecidos no formato de planilha que, normalmente, é preenchida manualmente. Este tipo de registro apresenta uma série de problemas devido ao preenchimento manual. A CARSAMMA deve desenvolver um trabalho de conscientização e treinamento do pessoal envolvido nestas coletas de maneira a diminuir os problemas e aumentar a confiabilidade nos dados recebidos. Na próxima fase da introdução da RVSM, fase de Monitoração, a separação vertical entre aeronaves já será de 1000 pés e os valores para o risco obtidos nesta fase de Verificação devem ser reavaliados com novos dados coletados.

APÊNDICE B

OCUPAÇÃO EM CRUZAMENTO

O modelo de risco de colisão /B1/ usado nas regiões CAR/SAM para a avaliação do risco entre rotas que se cruzam tem como parâmetro a ocupação (“occupancy”), $E(\theta)$, em vez da frequência de passagem. Este parâmetro é uma medida do número de aeronaves em níveis de vôo adjacentes, que estão dentro de uma distância determinada de uma aeronave típica que está no ponto de cruzamento.

A quantificação deste parâmetro é feita com o mesmo procedimento especificado no caso da frequência de passagem. Isto é, os vôos foram organizados por nível de vôo, entre FL 290 e 410, inclusive, foram contadas as aeronaves, voando em níveis adjacentes das rotas que se cruzam com ângulo θ e que estavam próximas, dentro de uma janela de tempo, de uma aeronave que estava no ponto de cruzamento.

O modelo de risco em cruzamento usado nas regiões CAR/SAM está baseado em estrutura de grupos de ângulos de cruzamento, com espaçamento de 5 graus. Por exemplo, todos os ângulos entre 10° e $14,9^\circ$ são considerados como sendo 10° . Assim, o intervalo de ângulos adotado na região abrange o intervalo $5^\circ \rightarrow 175^\circ$. Então, para se obter $E(\theta_i)$ o número total de pares contados, em cada grupo de ângulo i , foi multiplicado por dois e dividido pelo número total de aeronaves considerado.

A proximidade entre pares de aeronaves em rotas que se cruzam depende do ângulo de cruzamento. Para que não se exclua nenhuma aeronave próxima, é preciso definir uma janela de tempo para a avaliação, que depende do ângulo θ . Considerando que as velocidades das aeronaves que estão próximas nas rotas que se cruzam são iguais, uma fórmula para a janela de tempo é dada em seguida:

$$\Delta t_{\max} = \frac{S_h \sqrt{2(1 - \cos(\theta_i))}}{V \sin(\theta_i)} \quad (\text{B.1})$$

onde Δt_{\max} é o tempo máximo para o qual não se excluirá aeronaves próximas nas rotas que se cruzam com ângulo θ_i , S_h é distância horizontal entre as aeronaves e V é velocidade média. Nas regiões CAR/SAM foi avaliado que uma janela de tempo de 30

minutos é suficiente para esta estimativa. Na avaliação atual, foram usados $S_h = 80$ MN e $V = 450$ MN/h.

Com estes dados foi estimado o número de pares de aeronaves próximas, dependendo do ângulo θ_i , nas rotas das FIR: Havana, Panamá e Centro América da região do Caribe, e nas FIR: Brasília, Curitiba, Recife e setor Manaus da FIR Amazônica, da América do Sul, como representativas dos cruzamentos nas regiões CAR/SAM. O resultado está mostrado na Tabela B.1.

Tabela B.1. Número de pares, $K(\theta_i)$, de aeronaves próximas nos cruzamentos nas regiões CAR/SAM, em função do ângulo de cruzamento

Ângulo	$K(\theta_i)$,	Ângulo	$K(\theta_i)$,
5°	29	95°	29
10°	79	100°	83
15°	1	105°	59
20°	66	110°	160
25°	117	115°	202
30°	122	120°	112
35°	67	125°	34
40°	69	130°	25
45°	66	135°	35
50°	18	140°	19
55°	58	145°	44
60°	80	150°	50
65°	323	155°	197
70°	36	160°	303
75°		165°	151
80°	4	170°	21
85°	37	175°	36
90°	29		
Total	--	--	2843

Referências

B1. BRIAN COLAMOSCA, “ Development of Collision Risk Model (CRM) for Aircraft-pairs Traveling on Oceanic Crossing-routes at Adjacent Flight Levels with Application to the South China Sea Reduced Vertical Separation Minimum (RVSM)”, presented at the CARSAMMA Internal RVSM Working Group Meeting, São José dos Campos, São Paulo, Brazil, July, 2003.

APÊNDICE C

RISCO DE COLISÃO EM CRUZAMENTO

Para avaliar o risco de colisão de aeronaves em cruzamento de rotas, primeiramente, é preciso definir o que este termo significa no caso de tráfego aéreo. A referência 1 estabelece no seu Capítulo 5 (“Separation Methods and Mínima”) uma maneira quantitativa de se definir este termo. A Figura 1 ilustra esta definição, ou seja, todas as rotas que cruzam com ângulos nos intervalos 45° a 135° e 225° a 315° , são consideradas rotas em cruzamento. Também, rotas que cruzam com ângulos nos intervalos 0° a 45° e 315° a 360° são consideradas rotas com o mesmo sentido de vôo; e rotas que cruzam com ângulos no intervalo 135° a 225° são rotas com sentido oposto de vôo.

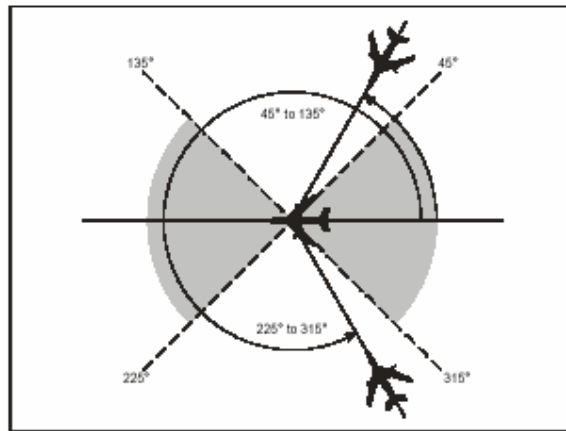


Figura 1 Definição de rotas em cruzamento de acordo com a Referência 1

A referência [2] mostra que na Europa a definição de rotas em cruzamento é mais abrangente. Neste documento está estabelecido que no espaço aéreo Europeu, para a aplicação da RVSM, são consideradas rotas em cruzamento aquelas que se encontram com ângulos nos intervalos 5° a 175° e 185° a 355° . Neste caso, as rotas no mesmo sentido são aquelas nos intervalos 0° a 5° e 355° a 360° , e no sentido oposto, no intervalo 175° a 180° (Tab F2 Appendix F).

Do ponto de vista de ângulo, a definição usada na Europa parece ser mais adequada visto que as definições do sentido de vôo: mesmo sentido e sentido oposto, ficam mais próximas da realidade.

Na análise para a introdução RVSM o cruzamento no mesmo nível de vôo não é considerado. Neste caso, o controlador de tráfego aéreo deve prover a separação horizontal adequada entre as aeronaves que estão no mesmo nível.

Para o estudo do risco de colisão em cruzamento a geometria da aeronave é modelada por cilindro com raio igual a maior dimensão da aeronave típica e altura igual à altura da aeronave típica. Assumindo que a velocidade relativa dos aviões é constante durante a superposição horizontal ou vertical e definindo:

$|\overline{h(\theta)}|$ = velocidade relativa horizontal média durante a superposição horizontal para pares de aeronaves em rotas que se cruzam com ângulo θ ,

$|\overline{z}|$ = velocidade relativa vertical média durante a superposição vertical de aeronaves,

λ_h = raio do cilindro que representa a aeronave, maior dimensão da aeronave típica,

λ_z = altura da aeronave típica,

S_z = separação vertical padrão entre os níveis de vôo,

$P_h(\theta)$ = probabilidade de superposição horizontal,

$P_z(S_z)$ = probabilidade de superposição vertical,

$E_z(\theta)$ = ocupação entre rotas que se cruzam com ângulo θ ,

um modelo /3/ para o risco de colisão no cruzamento, número de acidentes por hora de vôo, é dado por:

$$N_{az}(cruz.) = E_z(\theta)P_h(\theta)P_z(S_z) \left(\frac{2|\overline{h(\theta)}|}{\pi\lambda_h} + \frac{|\overline{z}|}{2\lambda_z} \right). \quad (1)$$

Uma estimativa para a ocupação $E_z(\theta)$, entre níveis verticais adjacentes, pode ser feita definindo-se:

N = número de aeronaves nas rotas em cruzamento durante o período de tempo analisados,

$K(\theta)$ = número de pares de aeronave nas rotas em cruzamento com ângulo θ ,

t_F = duração média dos vôos nas rotas em cruzamento, e

$t_{Sh}(\theta)$ = duração média da proximidade entre aeronaves nas rotas em cruzamento com ângulo θ distantes, horizontalmente, de um valor S_h .

Neste caso, a ocupação é expressa por

$$E_z(\theta) = 2 \frac{t_{Sh}(\theta)K(\theta)}{t_F N} = \frac{t_{Sh}(\theta)}{t_F} \frac{2K(\theta)}{N}. \quad (2)$$

O segundo termo do lado direito da Equação (2) é a expressão clássica para se estimar a ocupação por meio do tempo de passagem em fixos de notificação. Dependendo do comprimento das rotas o tempo de proximidade t_{Sh} pode ser maior que o tempo de vôo médio t_F nas rotas em cruzamento. Assim, esta fórmula deve ser aplicada com as condições seguintes

$$E_z(\theta) = \begin{cases} \frac{t_{Sh}(\theta)}{t_F} \frac{2K(\theta)}{N} & \text{para } t_{Sh}(\theta) < t_F \\ \frac{2K(\theta)}{N} & \text{para } t_{Sh}(\theta) \geq t_F \end{cases}, \quad (3)$$

onde,

$$t_{sh}(\theta) = \frac{\pi S_h}{2|h(\theta)|}, \quad (4)$$

e S_h é a separação horizontal entre aeronaves que estão voando no mesmo nível em rotas que se cruzam.

Então:

$$N_{az}(cruz.) = \begin{cases} P_h(\theta)P_z(S_z) \frac{\pi S_h}{2|h(\theta)|} \frac{1}{t_F} \frac{2K(\theta)}{N} \left(\frac{2|h(\theta)|}{\pi\lambda_h} + \frac{|z|}{2\lambda_z} \right) & \text{para } \frac{\pi S_h}{2|h(\theta)|} < t_F \quad (5a) \\ P_h(\theta)P_z(S_z) \frac{2K(\theta)}{N} \left(\frac{2|h(\theta)|}{\pi\lambda_h} + \frac{|z|}{2\lambda_z} \right) & \text{para } \frac{\pi S_h}{2|h(\theta)|} \geq t_F \quad (5b) \end{cases}$$

Uma expressão para $P_h(\theta)$ [3] pode ser obtida considerando a geometria no cruzamento das rotas mostrada na Figura 2 e descrita em seguida. Dado duas aeronaves, A e B, voando em rotas que se cruzam com ângulo (θ) , em níveis adjacentes i e $i-1$, separados verticalmente de S_z . A origem do sistema de coordenadas (x,y) , no plano horizontal, é o ponto de cruzamento. O eixo x coincide com a rota da aeronave A, que está na origem $(0,0)$, voando no sentido positivo. O ângulo θ é medido a partir do eixo x no, sentido anti-horário. A aeronave B está em uma posição (U_x, U_y) , voando para a origem. Seja U a variável que designa a distância horizontal entre as duas aeronaves, tal que a distância U_h está dentro da área de proximidade dado por $S_h = \sqrt{S_x^2 + S_y^2}$. Considerando as variáveis que representam as posições longitudinais e laterais independentes e aleatórias, então, matematicamente, $P_h(\theta)$ pode ser expressa por:

$$P_h(\theta) = \frac{h(U)\pi\lambda_h^2}{\int_{-S_h}^{S_h} \int_{-\sqrt{S_h^2-x^2}}^{\sqrt{S_h^2-x^2}} h(U) dx dy}, \quad (6)$$

onde, $h(U)$ é uma função densidade de superposição horizontal, bi-dimensional, para as aeronaves em níveis de vôo adjacentes em rotas em cruzamento com ângulo (θ) , separadas pela distância horizontal (U_x, U_y) . Esta última função é dada, na sua forma matricial, por:

$$h(U) = \frac{1}{2\pi\sqrt{\det(M)}} e^{-\frac{1}{2}U^T M^{-1}U}, \quad (7)$$

onde, $\det(M)$, é o determinante da matriz de covariância M das duas aeronaves e U é a matriz posição da aeronave B, dada por:

$$U = \begin{pmatrix} U_x \\ U_y \end{pmatrix}. \quad (8)$$

A função $h(U)$ foi obtida considerando uma aproximação conservativa para a distribuição longitudinal das aeronaves ao longo da rota. Para cada uma das aeronaves, foi considerado que a posição ao longo da rota e os desvios laterais, relativos às suas posições nominais, são regidos por distribuições normais. Então, para a distribuição normal da posição longitudinal, foi assumido que a sua variância é igual à variância da distribuição uniforme com limites dado pela separação horizontal S_h . Para a distribuição normal dos desvios laterais a variância vale σ_{rc}^2 . Fazendo a rotação das coordenadas da aeronave B no sistema (u,w), para expressar a sua posição no sistema (x,y) da aeronave A, obtêm-se a matriz de covariância M , dada por:

$$M = \begin{pmatrix} \left(1 + \cos^2 \theta\right) \frac{S_h^2}{6} + \frac{\sigma_{rc}^2}{2} \operatorname{sen}^2 \theta & \operatorname{sen} \theta \cos \theta \left(\frac{S_h^2}{6} - \frac{\sigma_{rc}^2}{2} \right) \\ \operatorname{sen} \theta \cos \theta \left(\frac{S_h^2}{6} - \frac{\sigma_{rc}^2}{2} \right) & \operatorname{sen}^2 \theta \frac{S_h^2}{6} + \frac{\sigma_{rc}^2}{2} \left(1 + \cos^2 \theta\right) \end{pmatrix}. \quad (9)$$

Dado que a distribuição normal tem seu valor máximo no ponto médio, que na geometria adotada é o ponto de cruzamento, e que uma aeronave em um nível vertical adjacente pode cruzar uma interseção de rotas com qualquer distância aleatória; então $h(U)$ pode ser avaliada somente no ponto (0,0), ou seja, para separação horizontal nula. Neste caso a expressão conservativa para a probabilidade de superposição horizontal é dada por:

$$P_h(\theta) = \frac{h(0)\pi\lambda_h^2}{\int_{-S_h}^{S_h} \int_{-\sqrt{S_h^2-x^2}}^{\sqrt{S_h^2-x^2}} h(U) dx dy}. \quad (10)$$

Esta aproximação é usada para qualquer proximidade entre os pares de aeronaves nas rotas em cruzamento.

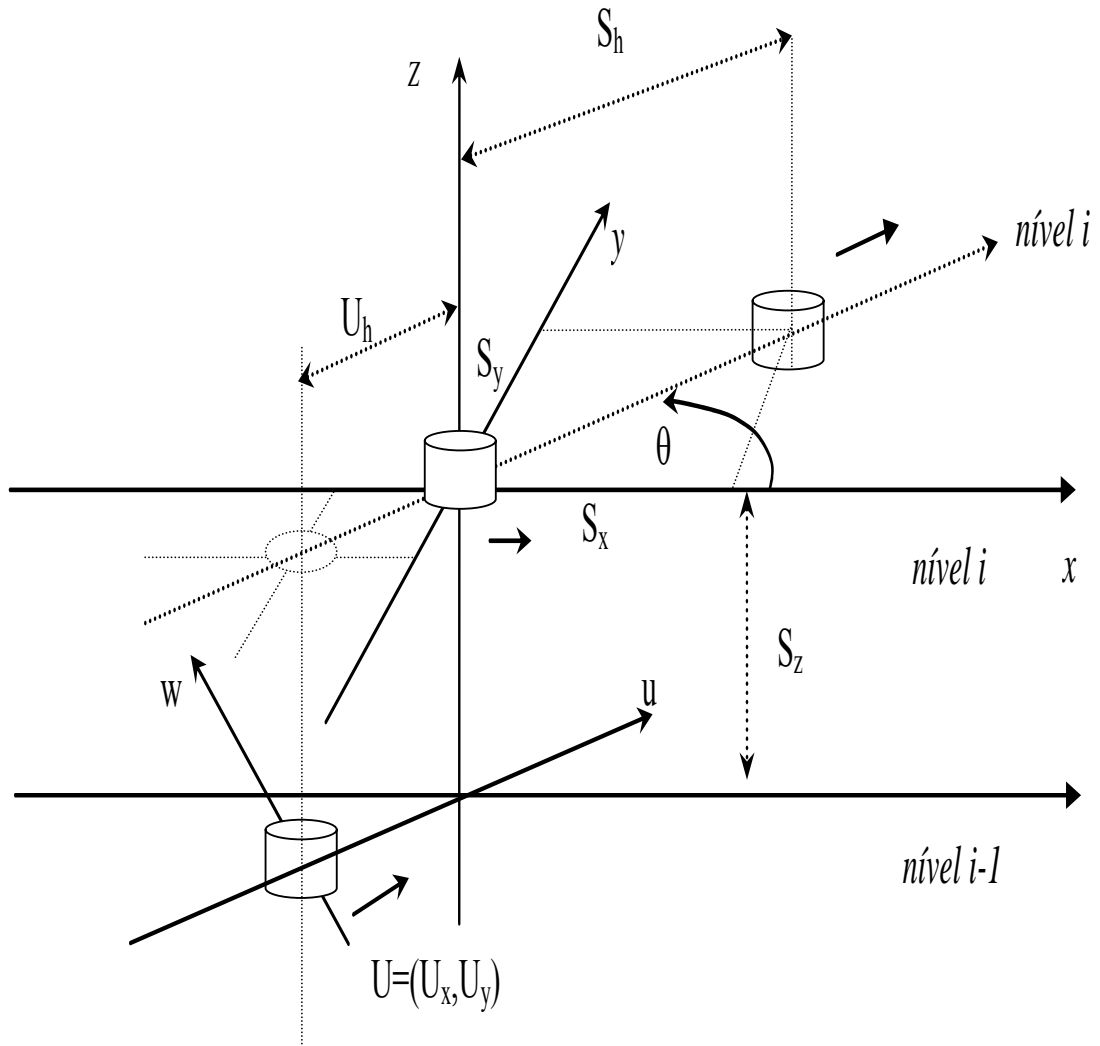


Figura 2. Geometria das rotas em cruzamento

Aplicação ao Espaço Aéreo das Regiões CAR/SAM

O espaço aéreo das regiões CAR/SAM é constituído de rotas que se cruzam em diversos ângulos. Para conservantismo dos resultados, nesta fase de verificação, foi adotado que o espectro angular de interesse é aquele compreendido entre 5° e 175° , como na Europa. Para fins de cálculo, os ângulos foram agrupados em múltiplos de 5° . Por exemplo, todos os ângulos no intervalo $20,0^\circ$ a $24,9^\circ$ foram aqui considerados com sendo 20° .

A separação longitudinal é 80 NM que corresponde a, aproximadamente, 10 minutos de voo. Este foi o valor adotado para a separação (S_h) horizontal entre aeronaves em rotas que se cruzam.

As aeronaves modernas têm uma capacidade de voar com boa precisão lateral. Aeronaves com capacidade de navegação por GPS, como aquelas que voam no mar da China, podem ter um desvio padrão, para os desvios laterais, menor que aquele estabelecido no Doc 9574 [4]. Nesta região, recentemente, foi calculado $\sigma_{rc}^2 = (0,25)^2$

[3]. Para as regiões CAR/SAM foi adotado o valor estabelecido no Doc 9574, ou seja, $\sigma_{rc}^2 = (0,30)^2$.

Dadas estas definições, pode ser calculada a probabilidade de superposição horizontal para as regiões CAR/SAM, em função do ângulo de cruzamento. Para isto foi elaborado um programa computacional usando o sistema MatLab 6.1. O denominador da Equação 10 foi obtido por integração numérica.

Os resultados estão mostrados na Tabela 1, para dois conjuntos de FIR. O primeiro conjunto considera 6 FIR, sendo 3 FIR do Caribe: Havana, Centro-América e Panamá, e 3 FIR da região da América do Sul: Brasília, Curitiba e Recife. O segundo conjunto é o primeiro conjunto acrescido do setor Manaus da FIR Amazônica. Como pode ser visto, esta probabilidade decresce fortemente nos ângulos iniciais e, depois, mais lentamente, até 90°. Uma propriedade interessante de $P_h(\theta)$ é que $P_h(90^\circ + \theta) = P_h(90^\circ - \theta)$ e $P_h(\theta) = P_h(\theta + 180^\circ)$ em $(U_x, U_y) = (0,0)$, o que elimina a necessidade de calcular $P_h(\theta)$ fora do intervalo 0° a 90°.

Tabela 1. Probabilidade de superposição horizontal para as regiões CAR/SAM, $S_h = 80$ (MN)

Ângulo de cruzamento das rotas	$P_h(\theta)$ (6 FIR) $\lambda_h = 0,02140$ (MN)	$P_h(\theta)$ (7 FIR) $\lambda_h = 0,02176$ (MN)
0°	1,777E-05*	1,807E-05
5°	2,619E-06	2,663E-06
10°	1,325E-06	1,347E-06
15°	8,891E-07	9,04E-07
20°	6,722E-07	6,835E-07
25°	5,431E-07	5,522E-07
30°	4,581E-07	4,658E-07
35°	3,984E-07	4,050E-07
40°	3,545E-07	3,604E-07
45°	3,212E-07	3,266E-07
50°	2,956E-07	3,005E-07
55°	2,755E-07	2,801E-07
60°	2,598E-07	2,641E-07
65°	2,475E-07	2,516E-07
70°	2,381E-07	2,421E-07
75°	2,312E-07	2,350E-07
80°	2,264E-07	2,302E-07
85°	2,236E-07	2,274E-07
90°	2,227E-07	2,264E-07

(*) Leia-se $1,777 \times 10^{-5}$

Outra questão é a janela de tempo que deve ser usada para avaliar a ocupação em torno do ponto de cruzamento. Esta janela deve ser tal que, todos os pares próximos dentro da distância horizontal S_h , sejam contados. Assim, considerando duas aeronaves voando em rotas que se cruzam com ângulo θ e velocidades v_A e v_B , as equações paramétricas que regem a diferença entre as posições horizontais das aeronaves que estão se aproximando do cruzamento são dadas por:

$$\begin{aligned} U_x(t) &= v_B(t - \Delta t) \cos(\theta) - v_A t, \\ U_y(t) &= v_B(t - \Delta t) \text{sen}(\theta), \end{aligned} \quad (11)$$

onde $U_x(t)$ e $U_y(t)$ são as diferenças entre as posições das duas aeronaves no tempo t , e Δt é a diferença entre os tempos com que as aeronaves A e B passam pelo ponto de cruzamento. A distância S_h entre as aeronaves é dada por:

$$S_h^2 = U_x^2(t) + U_y^2(t). \quad (12)$$

Assumindo que em $t = 0$ a aeronave A passa pelo ponto de cruzamento, pode ser demonstrado /3/ que o valor Δt_{\max} que satisfaz o valor t_s tal que a Equação (12) seja satisfeita, é dado por:

$$\Delta t_{\max} = \pm \sqrt{\frac{(v_A^2 + v_B^2 - 2v_A v_B \cos \theta) S_h^2}{(v_A^2 v_B^2 \text{sen}^2 \theta)}}. \quad (13)$$

Se $v_A = v_B = V$, velocidade média das rotas em cruzamento, a equação anterior é simplificada para:

$$\Delta t_{\max} = \pm \frac{S_h \sqrt{2(1 - \cos \theta)}}{V \text{sen} \theta}. \quad (14)$$

Da mesma forma, se $v_A = V - \Delta V$ e $v_B = V + \Delta V$, onde ΔV representa o intervalo de variação da velocidade dentro do espaço aéreo, tal que a velocidade média das aeronaves permaneça a mesma, a equação para Δt_{\max} reduz para:

$$\Delta t_{\max} = \pm \frac{S_h \sqrt{2} \sqrt{(V^2 + \Delta V^2) - \cos \theta (V^2 - \Delta V^2)}}{(V^2 - \Delta V^2) \text{sen} \theta}. \quad (15)$$

O valor de $\pm \Delta t_{\max}$ é a janela de tempo que deve ser usada na avaliação da ocupação, pelo método de passagem no fixo de cruzamento, para que sejam contados todos os pares de aeronaves próximas, em níveis verticais adjacentes, dentro da distância horizontal S_h .

No Caribe, a velocidade média estimada da amostra de dados coletada no período de 11 junho a 10 julho de 2004 é cerca de 470 MN/h. Já para a região da América do Sul esta estimativa é cerca de 440 (MN/h). Para a região CAR/SAM toda, esta estimativa é de 450 NM/h. Portanto, adotando uma velocidade média de 450 MN/h e uma diferença entre velocidades de cerca de 40 MN/h, tem-se um intervalo de velocidade que abrange as velocidades obtidas em vários subespaços do espaço aéreo das Regiões CAR/SAM. Usando o valor de $S_h = 80$ MN para a separação horizontal entre as aeronaves em rotas que se cruzam, pode ser avaliada a janela de tempo necessária para a estimativa da ocupação, $E_z(\theta)$, nestas regiões.

A Figura 3 apresenta valores para a janela de tempo em função do ângulo de cruzamento, obtidos com as Equações (14) e (15), velocidade média de $V = 450$ MN/h e uma diferença entre as velocidades de $\Delta V = 40$ MN/h em torno da velocidade média.

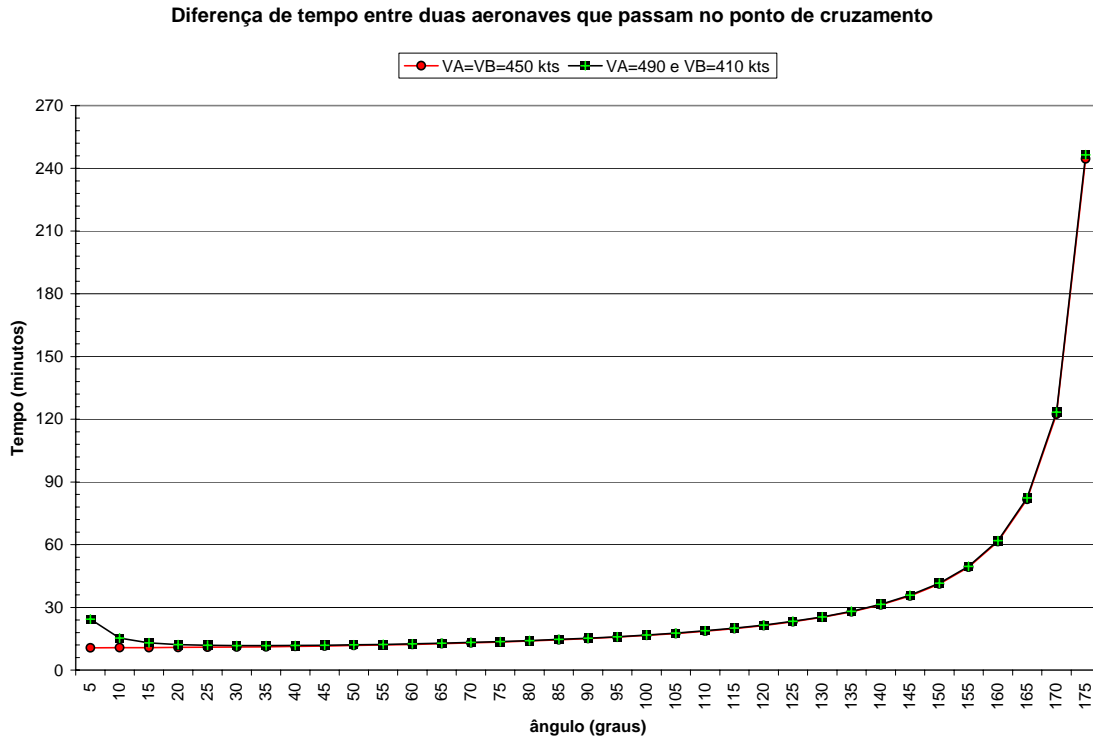


Figura 3. Diferença de tempo com que duas aeronaves, em níveis verticais adjacentes, passam no ponto de cruzamento

A Figura 3 mostra que uma janela de tempo de +/- 15 minutos, seria suficiente para avaliar a ocupação nas rotas em cruzamento com ângulos no intervalo de 15° a 90°. A partir deste último ângulo, o tempo cresce lentamente até 140° e, depois, rapidamente, chegando a cerca de 4 horas em 175°. Porém, esta janela de tempo deve ser ainda comparada com o tempo médio de voo (t_F) nas rotas das regiões CAR/SAM, visto que uma aeronave não pode estar mais próxima de outra em um tempo maior do que ela voa nas rotas. O tempo t_F foi avaliado usando a amostra coletada em 2004 e enviada para a agência CARSAMMA. Neste caso, não foi considerado nenhum tratamento dos dados e o tempo médio de voo nas rotas foi, grosseiramente, estimado dividindo-se o tempo total de voo da amostra pelo número total de vôos. Para a região do Caribe, considerando as FIR: Havana, Centro-América e Panamá, o valor é $t_F = 22.119/27.973 = 0,79$ h. Para a região da América do Sul, considerando as FIR: Brasília, Curitiba, Recife e setor Manaus da FIR Amazônica, $t_F = 38.974/48.533 = 0,80$ h. E, para as Regiões CAR/SAM, considerando as FIR mencionadas como representativas, $t_F = 61.094/76.506 = 0,80$ h. Como pode ser visto, estes valores são menores que uma hora. Assim, adotou-se para t_F , o valor conservativo de uma hora. Uma janela de tempo de +/- 30 minutos cobre este tempo, e este foi o valor adotado para a estimativa da ocupação em cruzamentos de rotas nas Regiões CAR/SAM.

Tabela 2. Número de pares, $K(\theta_i)$, próximos de cruzamentos nas Regiões CAR/SAM, em função do ângulo de cruzamento

Ângulo	América do Sul ⁽¹⁾	Caribe ⁽²⁾	CAR/SAM ⁽³⁾	CAR/SAM ⁽⁴⁾
5°	29		29	29
10°	2	77	79	79
15°	1		1	1
20°	66		50	66
25°	117		102	117
30°	2	120	122	122
35°	67		67	67
40°	69		69	69
45°	4	62	64	66
50°	13	5	13	18
55°	58		58	58
60°	76	4	76	80
65°	323		323	323
70°	36		36	36
75°				
80°	4		4	4
85°	37		37	37
90°	28	1	28	29
95°	29		29	29
100°	83		73	83
105°	59		59	59
110°	138	22	138	160
115°	152	55	152	202
120°	112		112	112
125°	34		34	34
130°	25		25	25
135°	35		35	35
140°	19		19	19
145°	44		44	44
150°	50		36	50
155°	197		197	197
160°	303		303	303
165°	130	21	130	151
170°	21		21	21
175°	36		36	36
Total	2476	367	2785	2843
Número de vôos	12691	7069	18921	19760

(1) Brasília, Curitiba, Recife, Manaus (FIR Amazônica); (2) Havana, Panamá

(3) Brasília, Curitiba, Recife, Havana, Panamá;

(4) Brasília, Curitiba, Recife, Manaus (FIR Amazônica), Havana, Panamá

O procedimento usado para a identificação dos pares que estão próximos, nos pontos de cruzamento e em níveis adjacentes foi o do tempo de passagem no fixo de cruzamento. Isto é, foram contados todos os pares formados usando a janela de tempo de +/- 30 minutos, em cada ponto de cruzamento, em todos os grupos de ângulos de 5° a 175°. A ocupação foi obtida multiplicando-se o número de pares por 2 e dividindo-se o

valor obtido pelo número total de vôos considerado. Os pares próximos, obtidos com este procedimento e usando a amostra coletada entre 11 de junho e 10 de julho de 2004, estão mostrados na Tabela 2.

Para obter o risco de colisão, em cruzamentos de rotas, nas Regiões CAR/SAM foi usada a forma mais conservativa da Equação (5). Ou seja, o uso da Equação (5a) ou (5b) está condicionado ao tempo de proximidade t_{sh} ser maior ou menor que t_F . Como:

$$\frac{\pi S_h}{2|h(\theta)|} t_F < 1 \quad \text{para} \quad \frac{\pi S_h}{2|h(\theta)|} < t_F \quad (16)$$

segue que o resultado da Equação (5a) < (5b), ou:

$$P_h(\theta)P_z(S_z) \frac{\pi S_h}{2|h(\theta)|} t_F \frac{2K(\theta)}{N} \left(\frac{2|h(\theta)|}{\pi\lambda_h} + \frac{|z|}{2\lambda_z} \right) < P_h(\theta)P_z(S_z) \frac{2K(\theta)}{N} \left(\frac{2|h(\theta)|}{\pi\lambda_h} + \frac{|z|}{2\lambda_z} \right) \quad (17)$$

Então, a equação, mais conservativa, usada nas regiões CAR/SAM, no modelo de grupo de ângulos, fica dada por:

$$N_{az}(cruz.) = \sum_{i=\text{ângulo}} P_h(\theta_i)P_z(S_z) \frac{2K(\theta_i)}{N} \left(\frac{2|h(\theta_i)|}{\pi\lambda_h} + \frac{|z|}{2\lambda_z} \right), \quad \theta_i = 5^\circ, 10^\circ, \dots, 175^\circ. \quad (18)$$

As estimativas para o risco de colisão em cruzamentos nas Regiões CAR/SAM, usando a amostra coletada entre 11 de junho e 10 de julho de 2004, estão mostradas na Tabela 3.

Tabela 3. Risco de colisão em cruzamentos nas Regiões CAR/SAM

FIR	$N_{az}(cruz.)$ ($\theta_i = 5^\circ \rightarrow 175^\circ$)	$N_{az}(cruz.)$ ($\theta_i = 45^\circ \rightarrow 135^\circ$)
CAR/SAM ⁽¹⁾	$1,240 \times 10^{-11}$	$3,203 \times 10^{-12}$
CAR/SAM ⁽²⁾	$1,153 \times 10^{-11}$	$2,966 \times 10^{-12}$

(1) 6 FIR (Brasília, Curitiba, Recife, Havana, Panamá e Centro-América;

(2) 7 FIR (Brasília, Curitiba, Recife, Amazônica (Manaus), Havana, Panamá e Centro-América.

Os valores da velocidade relativa $|h(\theta_i)| = V\sqrt{2(1 - \cos(\theta_i))}$ foram obtidos usando a velocidade média (V) do espaço de interesse. A probabilidade de superposição vertical $P_z(1000)$ usada foi a do caso mais conservativo (Caso 4). Para fins de comparação, também foi obtido o risco para o conjunto de ângulos entre 45° e 135° , que o Doc 4444.14ed define para considerar o cruzamento de rotas.

Os valores apresentados na Tabela 3 mostram que a utilização de um intervalo de ângulos maior ($5^{\circ} \rightarrow 175^{\circ}$) resulta em uma estimativa para o risco de colisão em cruzamento que é, aproximadamente, quatro vezes maior que a obtida quando se utiliza o intervalo recomendado no Doc 4444 ($45^{\circ} \rightarrow 135^{\circ}$). Portanto, neste caso, a estimativa realizada para as Regiões CAR/SAM é mais conservativa.

REFERÊNCIAS

- 1- Procedures for Air Navigation Services: Air Traffic Management, ICAO, Doc. 4444, 14^a edition, 2001.
- 2- The EUR RVSM Pre-Implementation Safety Case, Version 2.0, EUROCONTROL, RVSM691, 2001.
- 3- BRIAN COLAMOSCA, “ Development of Collision Risk Model (CRM) for Aircraft-pairs Traveling on Oceanic Crossing-routes at Adjacent Flight Levels with Application to the South China Sea Reduced Vertical Separation Minimum (RVSM)”, presented at the CARSAMMA Internal RVSM Working Meeting, São José dos Campos, São Paulo, Brazil, July, 2003.
- 4- Manual on Implementation of a 300 m (1000 ft) Vertical Separation Minimum Between FL 290 and FL 410 Inclusive, ICAO-Doc. 9574, 2th edition, 2001

APÊNDICE D

PROBABILIDADES DE SUPERPOSIÇÃO VERTICAL

Convolução - A operação de convolução aplicada a seqüências ou funções é fundamental em análises. Origina-se quando se faz a multiplicação de duas séries de potência ou integrais de Laplace (ou Fourier). A maioria das transformadas integrais clássicas envolve integrais que definem convoluções. Para os autores do livro “The Convolution Transforms escrito por I.I. Hirschman and D.V. Widder, 1955, Princeton, New Jersey” a convolução vem da generalização da transformação de Laplace.

Quando é aplicada às funções distribuição, $F_1(x)$ e $F_2(x)$ de duas variáveis aleatórias, a convolução delas é definida como¹

$$F(x) = \int_{-\infty}^{\infty} F_2(x-t) dF_1(t) = \int_{-\infty}^{\infty} F_1(x-t) dF_2(t) \quad (1)$$

que pode ser representada pela operação

$$F_2 \# F_1(x) = F_2(x) \# F_1(x) = F_1 \# F_2(x) = F_1(x) \# F_2(x) = F(x) \quad (2)$$

conhecida como **convolução de Stieltjes**² de duas funções. Portanto, se as variáveis são independentes $F(x)$ é a função distribuição da soma delas e, neste sentido, a expressão “soma de variáveis aleatórias” deve ser entendida como convolução.

TEOREMA. Se $F_1(x)$ e $F_2(x)$ são funções distribuição com médias e variâncias m_{F_1}, m_{F_2} e V_{F_1}, V_{F_2} , respectivamente, então $F_1(x) \# F_2(x)$ tem média e variância $m_{F_1} + m_{F_2}$ e $V_{F_1} + V_{F_2}$, respectivamente.

A convolução de duas funções de frequência $\alpha(t)$ e $\beta(t)$, denotada por $\alpha * \beta(t)$ ou $\alpha(t) * \beta(t)$, é a integral

$$\alpha * \beta(t) = \alpha(t) * \beta(t) = \int_{-\infty}^{\infty} \alpha(t-u) \beta(u) du \quad (3)$$

conhecida como convolução de Lebesgue.

A convolução de duas funções de frequência é uma função de frequência. As operações $\#$ e $*$ são associativas e comutativas.

Corolário. Se $\alpha(t)$ e $\beta(t)$, são funções de frequência com médias e variâncias m_α, m_β e V_α, V_β , respectivamente, então $\alpha(t) * \beta(t)$ tem média e variância $m_\alpha + m_\beta$ e $V_\alpha + V_\beta$, respectivamente.

Aplicação 1: Probabilidade de Superposição Vertical, $P_z(S_z)$.

$$F(z) = \int_{-\infty}^{\infty} F_2[z - (S_z + z_1)] \frac{dF_1(S_z + z_1)}{d(z_1)} dz_1 \quad (8)$$

Como pode ser notado, a Equação (8) é a convolução de Lebesgue, $F_2 * F_1'(z)$. A seguir fazendo

$$f^{z_{12}}(z) = F(z) \quad ; \quad f_2^{TVE}[z - (S_z + z_1)] = F_2[z - (S_z + z_1)] \quad ; \quad f_1^{TVE}(z_1) = \frac{dF_1(S_z + z_1)}{dz_1} \quad e$$

aplicando a propriedade comutativa da convolução tem-se

$$f^{z_{12}}(z) = \int_{-\infty}^{\infty} f_2^{TVE}[z - (S_z + z_1)] f_1^{TVE}(z_1) dz_1 = \int_{-\infty}^{\infty} f_1^{TVE}(z_1) f_2^{TVE}[z - (S_z + z_1)] dz_1, \quad (9)$$

que é a função distribuição de probabilidades da distância entre as aeronaves.

Substituindo a Equação (9) na equação, $P_z(S_z) = \int_{-\lambda_z}^{\lambda_z} f^{z_{12}}(z) dz$, que define a probabilidade de superposição vertical, tem-se

$$P_z(S_z) = \int_{-\lambda_z}^{\lambda_z} \int_{-\infty}^{\infty} f_1^{TVE}(z_1) f_2^{TVE}[z - (S_z + z_1)] dz_1 dz, \quad (10)$$

que na prática, pode ser aproximada por

$$P_z(S_z) \approx 2\lambda_z \int_{-\infty}^{\infty} f_1^{TVE}(z_1) f_2^{TVE}(S_{z_1} + z_1) dz_1, \quad (10a)$$

ou

$$P_z(S_z) \approx 2\lambda_z f^{z_{12}}(0) \quad (11)$$

A função distribuição de probabilidades, $f^{TVE}(z)$, por sua vez, pode ser obtida conforme se segue

$$TVE = ASE + FTE, \quad (12)$$

onde TVE é resultante de uma soma de variáveis aleatórias, com

$ASE =$ *Altitude de pressão real voada – altitude indicada no instrumento, e*

$FTE =$ *altitude indicada no instrumento – altitude autorizada.*

Como os dois componentes de TVE são considerados estatisticamente independentes, pode-se aplicar a operação de convolução, $f^{ASE} * f^{FTE}(z)$, resultando em

$$f^{TVE}(z) = \int_{-\infty}^{\infty} f^{ASE}(a) f^{FTE}(z - a) da, \quad (13)$$

que é a função distribuição de probabilidades da soma das respectivas variáveis aleatórias (*ASE* e *FTE*). Na prática, é difícil determinar *FTE*, e a alternativa é aproximar por *AAD* (*desvio de altura designada*).

$AAD = \text{altitude "informada pelo tranponder"} - \text{altitude autorizada}$,

e a Equação (13) pode ser aproximada por

$$f^{TVE}(z) = \int_{-\infty}^{\infty} f^{ASE}(a) f^{AAD}(z-a) da \quad (14)$$

Modelagem da Distribuição ASE.

$$f^{ASE}(a) = \sum_{i=1}^{n_{ig}} \beta_i f_i^{ASE}(a) \quad (14a)$$

Modelagem da Distribuição AAD.

$$f^{AAD}(a) = (1-\alpha) \times f_{typ}^{AAD}(a) + \alpha \times f_{atyp}^{AAD}(a). \quad (14b)$$

As duas funções componentes são consideradas exponenciais. Então,

$$f^{AAD}(a) = (1-\alpha) \times \frac{1}{2a_1} \exp\left(-\frac{|a|}{a_1}\right) + \alpha \times \frac{1}{2a_2} \exp\left(-\frac{|a|}{a_2}\right) \quad (14c)$$

Table 0-1. Parameters of Double Double Exponential AAD Densities for the NAT

Data set	DDE model parameters	Statistics
Canadian mode C and large height deviations	$a_1 = 22.3$ $a_2 = 216.8$ $\alpha = 3.8 \times 10^{-6}$	$\sigma_1 = 31.5$ $\sigma_2 = 306.6$
Canadian mode C and large height deviations after removing one 6-minute 1200ft deviation	$a_1 = 22.3$ $a_2 = 123.9$ $\alpha = 1.1 \times 10^{-5}$	$\sigma_1 = 31.5$ $\sigma_2 = 175.2$

Distribuição dos desvios TVE

(Vide Equação (14))

Aplicação 2: Probabilidade de Superposição Lateral, $P_y(0)$.

A probabilidade de superposição lateral para aeronaves voando nominalmente em níveis adjacentes de uma mesma rota, $P_y(0)$, é definida por

$$P_y(0) = \int_{-\lambda_y}^{\lambda_y} f^{y_{12}}(y) dy \quad (16)$$

onde $f^{y_{12}}(y)$ é a distribuição de probabilidades da distância lateral y_{12} entre duas aeronaves com desvios lateral y_1 e y_2 , nominalmente na mesma rota, ou seja

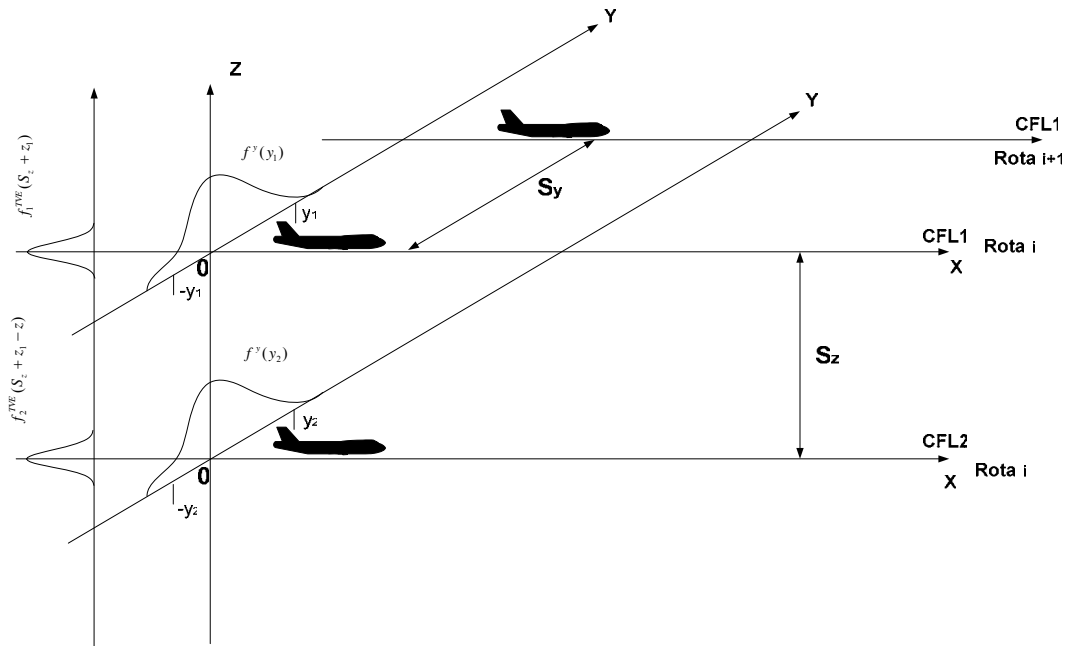


Figura 2 – Esquema de Aeronaves em Níveis Adjacentes de uma Rota.

$$y = y_1 - y_2 \quad (17)$$

ou

$$y_2 = y_1 - y \quad (18)$$

Considerando que os desvios y_1 e y_2 das aeronaves 1 e 2, respectivamente, são independentes e que possuem a mesma função distribuição de probabilidades, $f^Y(y_1)$, e aplicando a operação de convolução, $f^Y * f^Y(y)$, tem-se

$$f^{y_{12}}(y) = \int_{-\infty}^{\infty} f^Y(y_1) f^Y(y_1 - y) dy_1 \quad (19)$$

Lembrando que o comprimento médio das aeronaves é dado por λ_y e substituindo a Equação (19) dentro da Equação (16) tem-se

$$P_y(0) = \int_{-\lambda_y}^{\lambda_y} \int_{-\infty}^{\infty} f^Y(y_1) f^Y(y_1 - y) dy_1 dy, \quad (20)$$

que na prática, pode ser aproximada por

$$P_y(0) \approx 2\lambda_y \int_{-\infty}^{\infty} f^Y(y_1) f^Y(y_1) dy_1 \quad (21)$$

ou

$$P_y(0) \approx 2\lambda_y f^{Y_{12}}(0). \quad (22)$$

A função distribuição de probabilidades dos desvios de navegação lateral, $f^Y(y_1)$, necessária para o cálculo de $P_y(0)$ é dada por

$$f^Y(y_1) = (1 - \alpha) \times f_{Norm}^Y(y_1) + \alpha \times f_{Gross}^Y(y_1), \quad (23)$$

conforme aproximação “overall basis”, caso não exista disponibilidade dos desvios laterais. Considera-se $\alpha = 0$ na Equação (23), porque os erros grosseiros não contribuem de maneira conservativa para o cálculo do risco de colisão vertical, portanto

$$f^Y(y_1) = f_{Norm}^Y(y_1) = \frac{1}{2a_1} \exp\left(-\frac{|y_1|}{a_1}\right), \quad (24)$$

e, então,

$$P_y(0) \approx \frac{2\lambda_y}{(2a_1)^2} \int_{-\infty}^{\infty} \exp\left(-\frac{|y_1|}{a_1}\right) \exp\left(-\frac{|y_1|}{a_1}\right) dy_1, \quad (25)$$

e seguindo os mesmos procedimentos de integração para calcular $P_y(S_y)$, tem-se

$$P_y(0) \approx \frac{\lambda_y}{2a_1}. \quad (26)$$

Aplicação 3: Probabilidade de Superposição Lateral, $P_y(S_y)$.

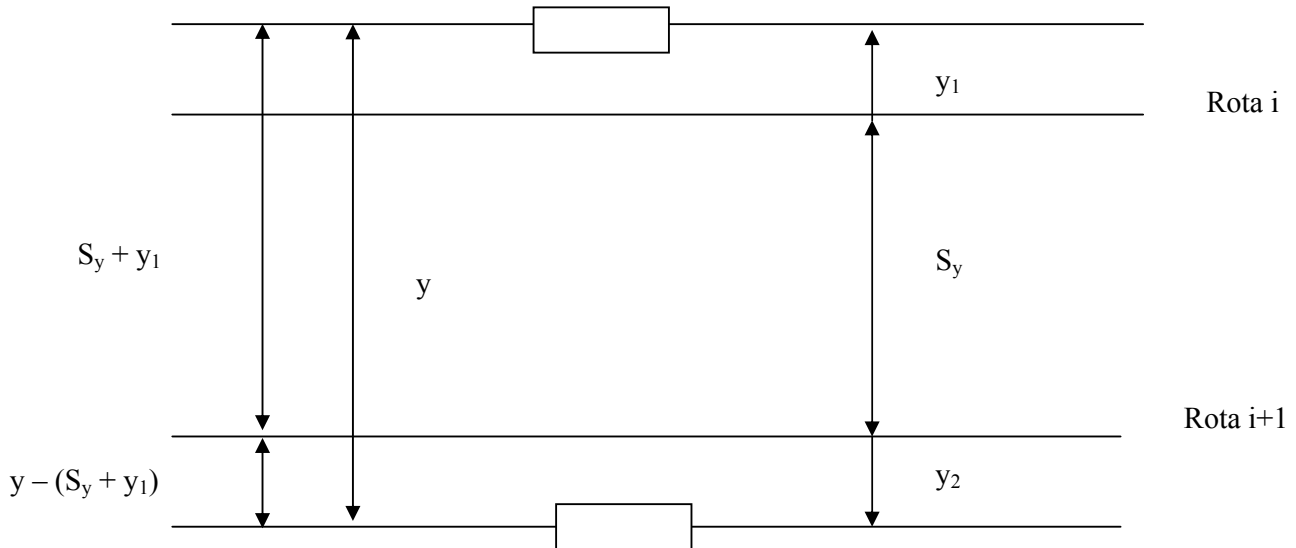


Figura 3 – Esquema de Duas Aeronaves em Rotas Adjacentes e Mesmo Nível

A probabilidade de superposição lateral entre aeronaves voando nominalmente em rotas adjacentes separadas por S_y é definida por

$$P_y(S_y) = \int_{-\lambda_y}^{\lambda_y} f^{y_{12}}(y) dy. \quad (27)$$

A função, $f^{y_{12}}(y)$, é a função distribuição de probabilidades da distância lateral y entre duas aeronaves com desvios de navegação lateral y_1 e y_2 . Da Figura 3, tem-se

$$y = (S_y + y_1) + [y - (S_y + y_1)]. \quad (28)$$

Considerando que os desvios laterais das duas aeronaves são independentes e têm a mesma função distribuição de probabilidades, $F(S_y + y_1)$, pode-se aplicar a convolução de Stieltjes, $F \# F(y)$, para obter

$$F(y) = \int_{-\infty}^{\infty} F[y - (S_y + y_1)] dF(S_y + y_1), \quad (29)$$

onde

$$\frac{dF(S_y + y_1)}{dy_1} = \frac{dF(S_y + y_1)}{d(S_y + y_1)} \frac{d(S_y + y_1)}{dy_1}, \quad (30)$$

ou

$$dF(S_y + y_1) = \frac{dF(S_y + y_1)}{d(S_y + y_1)} dy_1. \quad (31)$$

Substituindo a Equação (31) dentro da Equação (29), tem-se

$$F(y) = \int_{-\infty}^{\infty} F[y - (S_y + y_1)] \frac{dF(S_y + y_1)}{dy_1} dy, \quad (32)$$

que é a convolução de Lebesgue, $F * F'(y)$. A seguir, fazendo

$$f^{y_{12}}(y) = F(y) \quad ; \quad f^Y[y - (S_y + y_1)] = F([y - (S_y + y_1)]) \quad \text{e} \quad f^Y(y_1) = \frac{dF(S_y + y_1)}{dy_1},$$

tem-se

$$f^{y_{12}}(y) = \int_{-\infty}^{\infty} f^Y[y - (S_y + y_1)] f^Y(y_1) dy_1 = \int_{-\infty}^{\infty} f^Y(y_1) f^Y[y - (S_y + y_1)] dy_1. \quad (33)$$

Substituindo a Equação (33) dentro da Equação (27), tem-se

$$P_y(S_y) = \int_{-\lambda_y}^{\lambda_y} \int_{-\infty}^{\infty} f^Y(y_1) f^Y[y - (S_y + y_1)] dy_1 dy, \quad (34)$$

que na prática, pode ser aproximada por

$$P_y(S_y) \approx 2\lambda_y \int_{-\infty}^{\infty} f^Y(y_1) f^Y(S_y + y_1) dy_1 \quad (35)$$

ou

$$P_y(S_y) \approx 2\lambda_y f^{y_{12}}(0). \quad (36)$$

A função distribuição de probabilidades, $f^Y(y_1)$, dos desvios de navegação lateral depende, principalmente, da capacidade de navegação da aeronave conforme especificada pelo tipo de RNP do espaço aéreo. No entanto, isto não determina completamente a função distribuição $f^Y(y_1)$, visto que podem ocorrer alguns erros raros, os erros de navegação não nominais ou grosseiros, os quais, não são cobertos pelo

tipo de RNP e que potencialmente podem ter efeito significativo no risco de colisão do espaço aéreo. Em consequência, a natureza dos erros de navegação lateral e o impacto que causa na modelagem das distribuições precisam ser seriamente “ponderadas”.

Na falta de dados, considerar a aproximação “overall basis”.

$$f^Y(y_1) = (1 - \alpha) \times f_{norm}^Y(y_1) + \alpha \times f_{gross}^Y(y_1), \quad (37)$$

considerando as funções componentes da forma exponencial, tem-se,

$$f^Y(y_1) = (1 - \alpha) \times \frac{1}{2 \times 3.338} \exp\left[-\frac{|y_1|}{3.338}\right] + \alpha \times \frac{1}{2a_2} \exp\left[-\frac{|y_1|}{a_2}\right], \quad (38)$$

após as considerações próprias da aproximação, tem-se, finalmente a equação da probabilidade de superposição lateral

$$P_y(S_y) \approx 2\lambda_y \left[\left(\frac{1 - \alpha}{2a_1} \right)^2 (a_1 + S_y) \exp\left[-\frac{|S_y|}{a_1}\right] + \left(\frac{\alpha}{2a_2} \right)^2 (a_2 + S_y) \exp\left[-\frac{|S_y|}{a_2}\right] + \frac{\alpha(1 - \alpha)}{2} \left\{ \left(\frac{\exp\left[-\frac{|S_y|}{a_1}\right] + \exp\left[-\frac{|S_y|}{a_2}\right]}{a_1 + a_2} \right) + \left(\frac{\exp\left[-\frac{|S_y|}{a_1}\right] - \exp\left[-\frac{|S_y|}{a_2}\right]}{a_1 - a_2} \right) \right\} \right] \quad (39)$$

Onde os valores de α e a_2 serão determinados baseados nos estudos feitos para o espaço aéreo SAT e NAT, e uma vez tendo $P_y(S_y)$, juntamente com os outros parâmetros necessários, pode-se calcular o risco de colisão lateral

$$N_{ay} = P_y(S_y) P_z(0) \frac{\lambda_x}{S_x} \left[E_y(same) \left\{ \frac{|\Delta V|}{2\lambda_x} + \frac{|\dot{y}|}{2\lambda_y} + \frac{|\dot{z}|}{2\lambda_z} \right\} + E_y(opp) \left\{ \frac{2|\bar{V}|}{2\lambda_x} + \frac{|\dot{y}|}{2\lambda_y} + \frac{|\dot{z}|}{2\lambda_z} \right\} \right] \quad (40)$$

Aplicação 4: Probabilidade de Superposição Vertical, $P_z(0)$.

A probabilidade de superposição vertical de aeronaves voando no mesmo nível e em rotas lateralmente adjacentes, separadas por S_y , é definida por

$$P_z(0) = \int_{-\lambda_z}^{\lambda_z} f^{z_{12}}(z) dz \quad (41)$$

onde, λ_z representa a altura média das aeronaves e $f^{z_{12}}(z)$ representa a função distribuição de probabilidades da distância vertical entre duas aeronaves com desvios de altura z_1 e z_2 , nominalmente no mesmo nível. O esquema representativo da Figura abaixo mostra que,

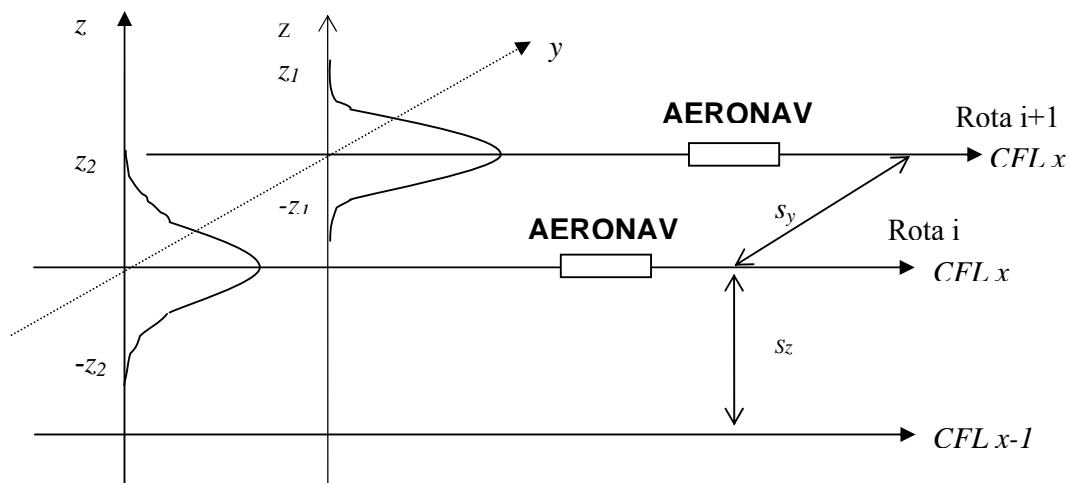


Figura 4 – Esquema dos Desvios Verticais de Duas Aeronaves em Rotas Adjacentes

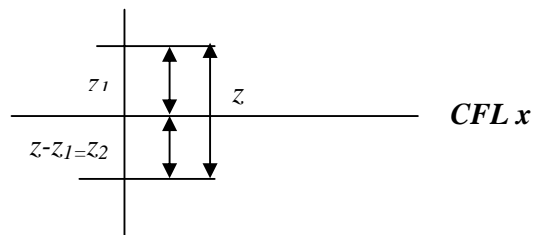


Figura 4a: Representação da Distância Entre as Aeronaves no Plano zx

$$z = z_1 + (z - z_1). \quad (42)$$

Assumindo que os desvios das duas aeronaves são independentes e com a mesma distribuição de probabilidades, $f^{TVE}(z)$, podemos obter a função distribuição de probabilidades, $f^{z_{12}}(z)$, através da convolução de $f^{TVE}(z)$ com ela mesma, ou seja,

$$f^{TVE} * f^{TVE}(z) = f^{z_{12}}(z) = \int_{-\infty}^{\infty} f^{TVE}(z_1) f^{TVE}(z - z_1) dz_1. \quad (43)$$

Substituindo a Equação (43) dentro da Equação (41), tem-se

$$P_z(0) = \int_{-\lambda_z}^{\lambda_z} \int_{-\infty}^{\infty} f^{TVE}(z_1) f^{TVE}(z - z_1) dz_1 dz, \quad (44)$$

que na prática, pode ser aproximada por

$$P_z(0) \approx 2\lambda_z \int_{-\infty}^{\infty} f^{TVE}(z_1) f^{TVE}(z_1) dz_1, \quad (44)$$

ou

$$P_z(0) \approx 2\lambda_z f^{z^{12}}(0). \quad (45)$$

Então, é necessário obter a função distribuição de probabilidades, $f^{TVE}(z_1)$, dos desvios de manutenção de altura da aeronave para calcular $P_z(0)$. O desempenho de manutenção de altura da população de aeronaves depende se cada aeronave realmente possui certificação MASPS. O maior valor de $P_z(0)$ significa o melhor desempenho de manutenção de altura. A certificação MASPS coloca restrições nas distribuições componentes ASE e FTE/AAD de TVE. Portanto,

$$f^{TVE}(z_1) = \int_{-\infty}^{\infty} f^{ASE}(a) f^{AAD}(z_1 - a) da, \quad (46)$$

e, só para relembrar como $f^{TVE}(z_1)$ foi obtido para o espaço aéreo SAT,

$$f^{ASE}(a) = \sum_{i=1}^{n_{ig}} \beta_i f_i^{ASE}(a), \quad (47)$$

onde n_{ig} representa o número de diferentes grupos de tipos de aeronaves, e β_i é a proporção do tempo de vôo contribuído pelo i -ésimo grupo de aeronaves e $f_i^{ASE}(a)$ é a distribuição de probabilidades ASE das aeronaves correspondentes e $i, i = 1, \dots, n_{ig}$. cuja média é dada por

$$m\{ASE\} = \sum_{i=1}^{n_{ig}} \beta_i m_i \quad (48)$$

Onde m_i denota a média ASE do i -ésimo tipo de aeronave. O desvio padrão da distribuição resultante $f^{ASE}(a)$ é dado por

$$s^2\{ASE\} = \sum_{i=1}^{n_{ig}} \beta_i s_i^2 + \sum_{i=1}^{n_{ig}} \beta_i m_i^2 - (m\{ASE\})^2, \quad (49)$$

onde s_i denota o desvio padrão ASE do i –ésimo tipo de aeronave

A distribuição AAD foi subdividida em duas partes: desempenho AAD típico e desempenho AAD atípico. A parte típica da distribuição refere-se aos desvios que devem ser obtidos do processo de monitoração de altura como parte do programa de implementação do RVSM.

Seguindo a mesma linha de modelagem das distribuições componentes de AAD do NAT e EUROPA, e também, em conformidade com a modelagem da distribuição dos desvios de navegação lateral para estas mesmas regiões, foi usado um modelo composto constituído de dois componentes:

$$f^{AAD}(a) = (1 - \alpha) \times f_{tip}^{AAD}(a) + \alpha \times f_{atip}^{AAD}(a) \quad (50)$$

As duas distribuições componentes podem ser tomadas como funções exponenciais e, a Equação (50), torna-se

$$f^{AAD}(a) = (1 - \alpha) \times \frac{1}{2} \exp\left(-\frac{|a|}{a_1}\right) + \alpha \times \exp\left(-\frac{|a|}{a_2}\right). \quad (51)$$

APÊNDICE D-I

CONSIDERAÇÕES SOBRE OS DESVIOS VERTICAIS AAD: DA PLANILHA ATÉ O HISTOGRAMA.

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo esclarecer os procedimentos relativos à fase preparatória do ajuste das funções distribuição para os desvios verticais AAD. Trata-se do tratamento dos dados, coletados através do Modo C e apresentados em planilha pelo pessoal ATC, até a construção do histograma. O foco principal do trabalho é harmonizar o mútuo entendimento do processo entre as equipes de coleta de dados (ATC), de análise de dados (Grupo de Matemática) e de supervisão (CARSAMMA).

1 INTRODUÇÃO

1 A análise de dados consiste em desenvolver medidas para o erro vertical total (*TVE*), desvio de altitude designado (*AAD*), erro do sistema de altimetria (*ASE*) e examinar o desempenho de navegação aberrante de aeronaves individuais. Através dessa análise é possível determinar se o desempenho aberrante está relacionado a uma aeronave individual ou a um tipo de aeronave dentro de uma classe particular de aeronaves ou ao método de operação da aeronave. Objetivo principal da análise é prover a base para remediar as causas dos erros que são inconsistentes com a especificação de desempenho de manutenção de altitude global¹

2 Os erros técnicos de manutenção de altura podem ser divididos em Erros do Sistema de Altimetria (*ASE*) e Erros Técnicos de Vôo (*FTE*)² que podem ser substituídos pelos Erros de Altitude Designada (*AAD*), que combinam para formar o Erro Vertical Total (*TVE*), da seguinte forma;

$$TVE = ASE + FTE$$

3 A relação entre *TVE*, *ASE*, *FTE* e *AAD* é ilustrada na Figura 1, abaixo.

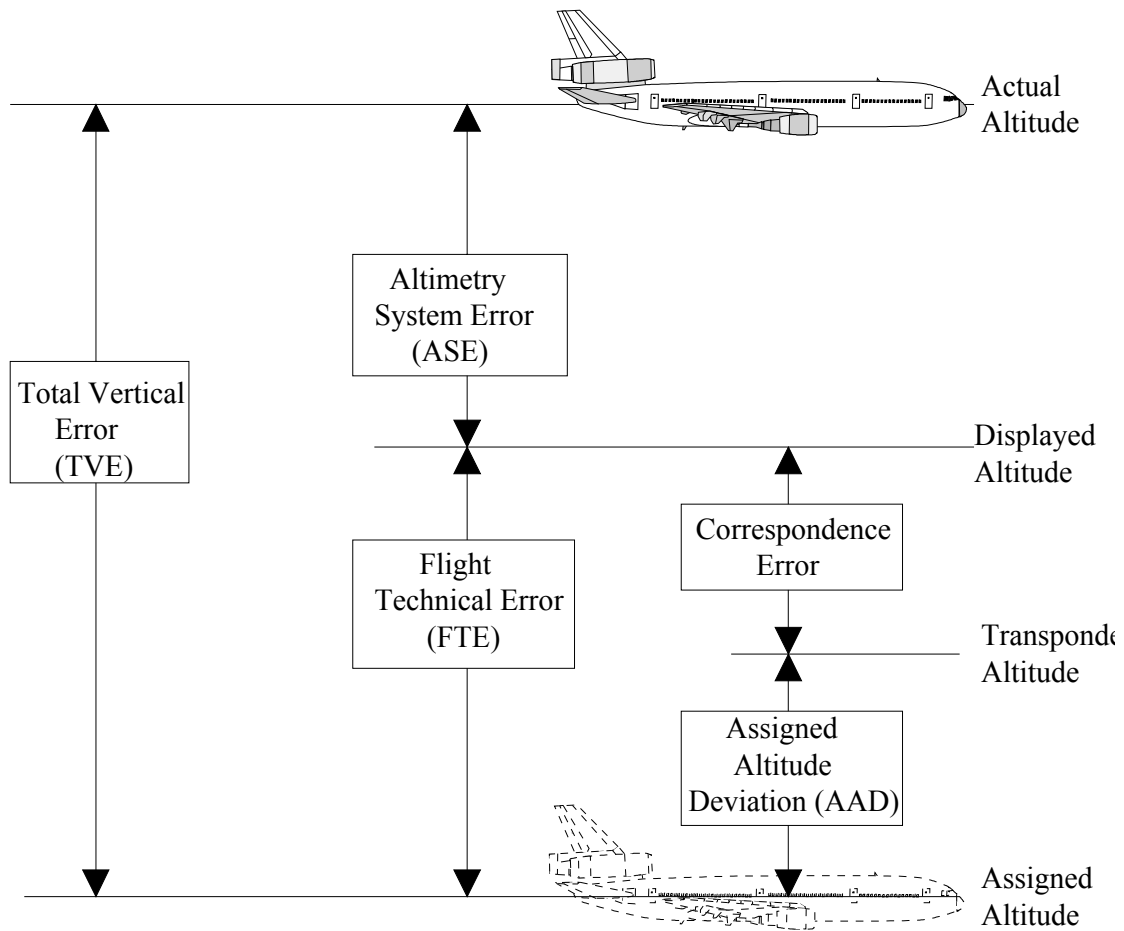


Figura 1 Subdivisão dos Erros de Manutenção de Altitude

4 Os erros Técnicos podem ser definidos da seguinte forma:

ASE: A diferença entre a altitude indicada pelo mostrador do altímetro (supondo um ajuste barométrico do altímetro correto) e a altitude de pressão correspondente a um ambiente não perturbado.

FTE: A diferença entre a altitude indicada pelo mostrador do altímetro que está sendo usado para controlar a aeronave e a altitude/nível de voo designado.

TVE: A diferença geométrica vertical entre a altitude barométrica real voada por uma aeronave e sua altitude barométrica designada (nível de voo).

5 Na prática, não é possível medir FTE diretamente da terra, mas o Desvio de Altitude Designado (AAD) apresenta-se com um substituto efetivo. Isto é definido como se segue:

AAD: A diferença entre a altitude informada pelo Modo C e a altitude designada/nível de vôo.

6 A diferença entre *AAD* e *FTE* é chamada de erro de correspondência. Este erro é devido ao arredondamento da leitura do altímetro antes da transmissão pelo “transponder” da aeronave.

7 O enfoque principal deste trabalho específico é o desenvolvimento dos procedimentos para preparação dos dados *AAD* desde o término da coleta até a construção do histograma final. Os estudos são baseados nas amostras sobre desvios verticais *AAD* obtidos do Centro de Controle de Área Brasília. Estudos análogos deverão ser feitos para desvios *ASE* e *TVE* individualmente.

8 Os Desvios de Altitude Designada (*AAD*) – são indicados pelos dados do Modo C dos radares secundários. Para detalhes das análises completas dos dados *AAD* incluindo a metodologia de coleta de dados, a referência “Evaluation of Assigned Altitude Deviation from Results of Vertical Separation Program, Data Collection Activities, 1983-1986, FAA Technical Center, January 1987”, deve ser consultada.

2 CAUSAS DOS GRANDES DESVIOS *AAD*

9 Entenda-se por grande desvio (“rogue” ou aberrante) todo e qualquer desvio superior a 300 pés. Após as análises dos dados, todos os potenciais motivos de grandes desvios *AAD* devem ser especificados, independentemente de caber ou não uma ação corretiva.

9 2.1 Erro Incontrolável: qualquer erro que não permite ações corretivas.

2.1.1 Possíveis Causas

- ✓ Manutenção instável no Nível de Vôo Autorizado;

- ✓ Saída do e retorno ao nível de vôo autorizado (tempo total do evento $\leq 30\text{secs}$);
- ✓ Saída “Sistemática” do nível de vôo autorizado (tempo total do evento $> 30\text{secs}$);
- ✓ “Overshoot ou undershoot” de Altitude de Transição;
- ✓ Erro de curto período após transição;
- ✓ Erro de longo período após transição;
- ✓ Erro de curta duração antes da transição;
- ✓ Efeitos de ondas de montanha;
- ✓ Condições de tempo generalizadas;
- ✓ “Realinhamento” da aeronave;
- ✓ Vôo manual.

10 2.2 Erro Controlável: todo erro que permite possíveis ações corretivas, tais como mudanças nos procedimentos operacionais do “cockpit” ou nas práticas de controle de tráfego aéreo;

2.2.1 Possíveis Causas

- ✓ Desvio *AAD* devido a “Overshoot” de altitude intencional
- ✓ Desvios *AAD* devido a Erros Excepcionais

3 DESEMPENHO DE MANUTENÇÃO DE ALTITUDE

11 Os fatores que degradam o desempenho de manutenção de altitude e que podem ser controlados através dos sistemas da aeronave são relacionados à medição da altitude e manutenção da altitude.

12 3.1 Capacidade do Sistema de Manutenção de Altitude

13 A manutenção de altitude é baseada em procedimentos manuais ou automáticos. Vôos conduzidos por sistemas de manutenção de altitude automático permitem uma proporção de grandes erros *AAD* muito menor do que para vôos com manutenção de altitude manual. A alta proporção de grandes desvios pode afetar o risco desfavoravelmente, portanto, a melhor maneira de obter controle preciso da altitude é através de manutenção automática de altitude. Conseqüentemente, as especificações da capacidade de manutenção de altitude foram desenvolvidas tal que um meio de manter automaticamente a altitude designada deve ser obrigatório em condições operacionais e meteorológicas normais. Como resultado, o desenvolvimento das especificações para a capacidade de manutenção de altitude concentrou-se somente nas características de

projeto e de resultados de coletas de dados relacionados aos sistemas automáticos.

Então, na composição da distribuição $f^{AAD}(z)$,

$$f^{AAD}(z) = (1 - \alpha)f_1(z) + \alpha f_2(z),$$

a distribuição do núcleo, $(1 - \alpha)f_1(z)$, representa a caracterização estatística do desempenho típico dos sistemas de manutenção de altitude automáticos em condições meteorológicas e operacionais normais, para proposições de desenvolvimento das especificações de capacidade de manutenção de altura.

3.2 Capacidade do Sistema de Altimetria

14 Esta subseção diz respeito à distribuição ASE (não será tratada neste “paper” porque exige um estudo detalhado à parte). Pode-se adiantar que, alguns dos grandes erros ASE estão fortemente associados à calibração das aeronaves ou desempenho de equipamento ou a ambos. As causas destes grandes erros são investigadas no sentido de melhorá-los para definir as especificações da capacidade de manutenção de altura.

4. DADOS DA PLANILHA

15 A planilha será analisada visando os desvios verticais, sendo assim, da mesma forma que foi feito para os desvios laterais, além das informações diretas as planilhas devem permitir que outras adicionais sejam induzidas e/ou verificadas através de cruzamentos de informações com uma base de dados. Novamente, tomando como referência os dados da planilha 60_GLO1765, as seguintes informações deverão ser lidas, induzidas e/ou “checadas”:

IDENTIFICAÇÃO DA COLETA: 60_GLO1765
DATA DA COLETA: 11/05/2004
IDENTIFICAÇÃO DA AERONAVE: B737
ORIGEM: SBRF
DESTINO: SBFL
CLASSIFICAÇÃO POR TIPO: B737
IDENTIFICAÇÃO DA AEROVIA: UW60
NÍVEL AUTORIZADO (CFL): 390
TEMPO DE RETORNO DA INFORMAÇÃO: 10 SEGUNDOS
DURAÇÃO TOTAL DA COLETA: 37,30 MINUTOS
RADAR: SÍNTESE

IDENTIFICAÇÃO DO TRECHO DE ROTA: NUQ/RESFO
IDENTIFICAÇÃO DO RUMO NO FIXO: NUQ
INÍCIO DA COLETA: NO TRECHO NUQ/RESFO: 20:35:24
TÉRMINO DA COLETA NO TRECHO NUQ/RESFO: 21:12:42

IDENTIFICAÇÃO DO TRECHO DE ROTA RESFO/RALEI
IDENTIFICAÇÃO DO RUMO NO FIXO: RESFO
INÍCIO DA COLETA NO TRECHO RESFO/RALEI: 21:12:44
TÉRMINO DA COLETA NO TRECHO RESFO/RALEI: 21:15:14

```

*****
IDENTIFICAÇÃO DO TRECHO DE ROTA RALEI/PROFE
IDENTIFICAÇÃO DO RUMO NO FIXO: RALEI
INÍCIO DA COLETA NO TRECHO RALEI/PROFE:          21:15:24
TÉRMINO DA COLETA NO TRECHO RALEI/PROFE:         21:18:14
*****
IDENTIFICAÇÃO DO TRECHO DE ROTA PROFE/2042SO43
IDENTIFICAÇÃO DO RUMO NO FIXO: PROFE
INÍCIO DA COLETA DO TRECHO PROFE/2042SO43:       21:18:24
TÉRMINO DA COLETA NO TRECHO 2042SO43/PONGA:     21:28:34
*****
IDENTIFICAÇÃO DO TRECHO DE ROTA 2042SO43/PONGA
IDENTIFICAÇÃO DO RUMO NO FIXO: 2042S043
INÍCIO DA COLETA NO TRECHO 2042SO43/PONGA:      21:28:44
TÉRMINO DA COLETA NO TRECHO 2042SO43/PONGA:    21:32:24
*****
IDENTIFICAÇÃO DO TRECHO DE ROTA PONGA/BBC
IDENTIFICAÇÃO DO RUMO NO FIXO: PONGA
INÍCIO DA COLETA NO TRECHO PONGA/BBC:           21:32:34
TÉRMINO DA COLETA NO TRECHO PONGA/BBC:         21:35:34
*****

```

4.1 Identificação do Intervalo de Vôo de Cruzeiro

16 Os desvios considerados serão somente os que ocorrerem durante o tempo em que a aeronave estiver em vôo nivelado. Para determinar e analisar a incidência e duração destes desvios de aeronaves de seus níveis designados é necessário identificar o intervalo de vôo de cruzeiro e, para isso, é necessário estabelecer um critério.

17 Com o intuito de distinguir os efeitos de nivelamento e de saída do nível de vôo designado (CFL) na distribuição dos erros, cada seção de vôo de nível de cruzeiro pode ser dividido em três partes conforme mostrado na Figura 2 abaixo.

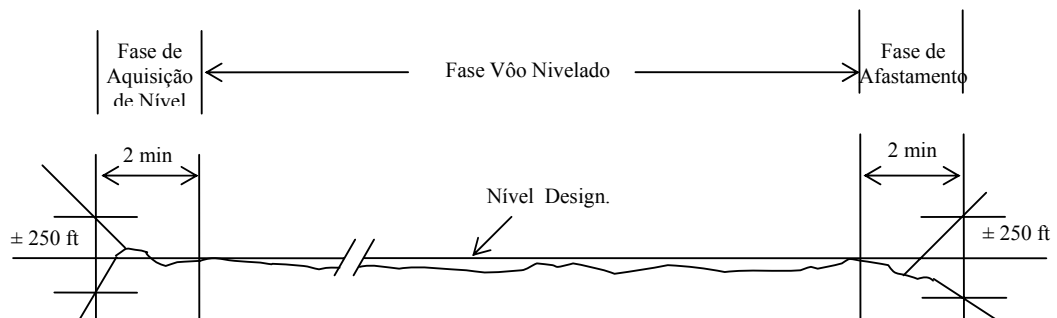


Figura 2 Subdivisão do Vôo de Cruzeiro para Efeito de Análise

A fase de aquisição de nível corresponde ao período de tempo de 2 minutos após a aeronave atingir a altitude próxima de ± 250 pés do nível autorizado.

A fase de afastamento corresponde ao período de 2 minutos que precede o momento em que a aeronave se afasta permanentemente de 250 pés do nível autorizado.

A fase Vôo Nivelado corresponde ao período de tempo entre a fase de aquisição e de afastamento.

18 Neste trabalho o intervalo de vôo de cruzeiro é assumido como sendo a soma dos três períodos que corresponde ao período do segmento de vôo de nível de cruzeiro, conforme pode ser observado no esquema da Figura 2. No entanto, para efeito de análise pura, as duas fases de aquisição e de afastamento poderão ser consideradas separadamente na distribuição dos desvios. A consideração de um período de tempo de vôo de cruzeiro maior do que o período em que a aeronave voa propriamente nivelada, permite determinar com mais propriedade as possíveis causas (mau funcionamento do sistema, condições meteorológicas, etc.) dos desvios aberrantes.

5 ANÁLISE PRELIMINAR DOS DADOS DA PLANILHA

19 A cada desvio vertical é associado um retorno do Modo C que acontece a cada dez segundos. Os desvios são dados em números inteiros de pés na escala correspondente a identificação dos níveis de vôo autorizados, tal que, o intervalo (290, 410) contém os principais erros. Por exemplo, se no tempo t_1 , o Modo C retorna o valor de 291, significa que a altitude da aeronave é de 29 100 pés e, se o nível autorizado para esta aeronave for FL 290 o desvio correspondente é de $29\ 100 - 29\ 000 = 100$ pés. O próximo retorno acontecerá no tempo $t_1 + 10$ segs.

20 Após análise de todas as planilhas relativas às aeronaves rastreadas, as principais informações esperadas são:

- frequência dos desvios $AAD \leq 300$ pés por classe (comercial, geral e militar), tipo de aeronave e nível autorizado;

- frequência dos desvios $AAD > 300$ pés por classe (comercial, geral e militar), tipo de aeronave e nível autorizado;
- duração dos desvios correspondentes em tabelas separadas para “rogues” e não “rogues”;
- desvios aberrantes por região do espaço aéreo e sazonal;
- causas dos desvios $AAD > 300$ pés, por região e sazonal;
- causa para cada tipo de desvio aberrante, tipo e classe de aeronaves;
- contribuição de tempo dos desvios aberrantes por tipo e classe de aeronaves;
- total de aeronaves rastreadas e quantificação das causas por classe de aeronaves;
- resumo dos parâmetros estatísticos para os desvios AAD ;
- parâmetros estatísticos para todos os tipos de aeronaves por nível para o espaço aéreo total.

21 Estas informações deverão ser armazenadas num banco de dados apropriado da agência de monitoração regional (CARSAMMA) e atualizadas periodicamente.

6 CONSTRUÇÃO DO HISTOGRAMA

22 A construção do histograma segue o mesmo procedimento elaborado para os desvios laterais; o intervalo de classe será de 100 pés, compatível com o retorno do Modo C. Os dados para a construção do histograma final somam a contribuição de cada aeronave.

23 A Tabela 1, abaixo, corresponde aos dados relativos à aeronave B-737 para tomar como exemplo a mesma planilha considerada como referência nos estudos dos desvios laterais.

Tabela 1 Desvios Verticais do Nível Autorizado para a Aeronave B-737.

CFL	A/C	Níveis de Vôo															
		-700	-600	-500	-400	-300	-200	-100	0	100	200	300	400	500	600	700	Total
290	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
310	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

330	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
350	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
370	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
390	2	0	0	0	0	0	0	0	349	0	0	0	0	0	0	0	349
410	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	2	0	0	0	0	0	0	0	349	0	0	0	0	0	0	0	349

24 A Figura 3, abaixo, é o histograma correspondente para a aeronave B-737, lembrando que foram levados em consideração todos os vôos da aeronave na amostra.

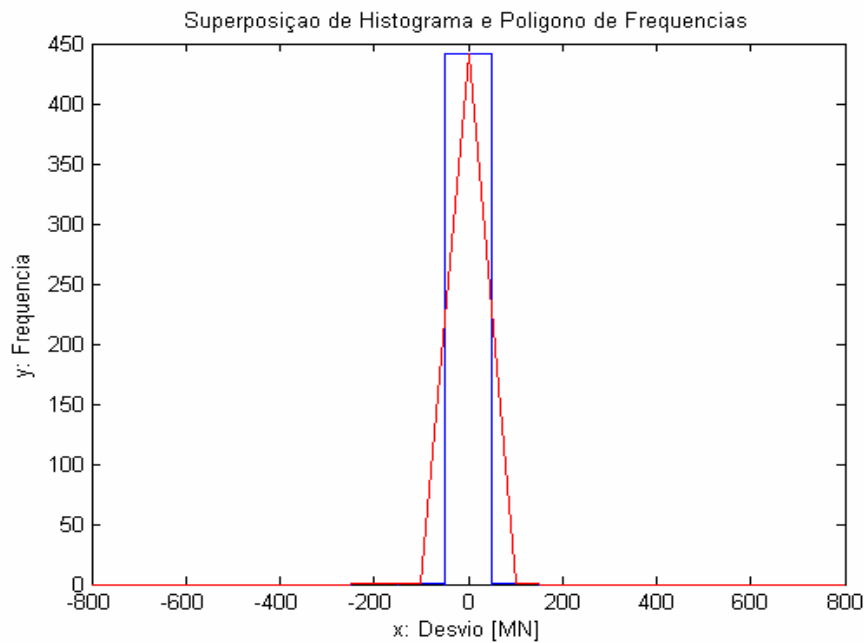


Figura 3 Histograma dos Desvios Verticais do Nível Autorizado - Aeronave B-737.

Tabela 2 Estatísticas dos Desvios Verticais por Tipo de Aeronave, Nível de Vôo e Total

Tipo de A/C	Níveis de Vôo Autorizados							Total	A/C
	290	310	330	350	370	390	410		
	Um Sig	Um Sig	Um Sig	Um Sig	Um Sig	Um Sig	Um Sig	Um Sig	
A346	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1
	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	

B737	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2
	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
B735	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1
	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
C525	0.0	0.0	0.0	0.0	2.0	0.0	-2.6	-0.8	2
	0.0	0.0	0.0	0.0	39.0	0.0	20.8	29.5	
H25B	0.0	-1.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-1.2	1
	0.0	15.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	15.4	
F100	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1
	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
A320	0.0	0.0	0.0	0.0	-2.4	0.0	0.0	-2.2	3
	0.0	6.7	0.0	0.0	20.0	0.0	0.0	20.8	
A319	0.0	0.0	0.0	-0.9	0.0	0.0	0.0	-0.9	1
	0.0	0.0	0.0	9.2	0.0	0.0	0.0	9.2	
A332	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1
	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
B733	-3.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.4	2
	17.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.0	
B732	0.0	0.0	0.0	-18.2	0.0	0.0	0.0	-18.2 38.6	1
	0.0	0.0	0.0	8.6	0.0	0.0	0.0		
MD11	-12.5	0.0	0.0	0.0	0.0	-3.1	0.0	-3.7	2
	33.1	0.0	0.0	0.0	0.0	17.4	0.0	18.8	
Total	-7.0	-0.5	0.0	-0.7	-0.8	-1.6	-0.8	-0.9	18
	25.5	11.6	0.0	8.3	28.8	12.7	11.6	14.0	

25 Os desvios podem ser armazenados nos bancos de dados da Agência de Monitoração Regional por classe, tipo de aeronave e nível de vôo, bem como os parâmetros estatísticos conforme mostrados na Tabela 2 acima.

26 A Tabela 3 apresenta os desvios verticais dos níveis autorizados para todas as aeronaves e em todos os níveis.

Tabela 3 Desvios Verticais dos Níveis Autorizados para todas as Aeronaves

Desvios (MN)	Ponto Médio	Níveis de Vôo							Total
		290	310	330	350	370	390	410	
A/C		2	3	2	3	3	3	2	18
-750.00 a -650.00	-700.00	0	0	0	0	0	0	0	0
-650.00 a -550.00	-600.00	0	0	0	0	0	0	0	0
-550.00 a -450.00	-500.00	0	0	0	0	0	0	0	0
-450.00 a -350.00	-400.00	0	0	0	0	0	0	0	0
-350.00 a -250.00	-300.00	0	0	0	0	0	0	0	0
-250.00 a -150.00	-200.00	0	1	0	0	4	0	2	7
-150.00 a -50.00	-100.00	4	1	0	4	3	12	2	26
-50.00 a 50.00	0.00	53	441	549	576	385	722	741	3467
50.00 a 150.00	100.00	0	1	0	0	2	0	0	3
150.00 a 250.00	200.00	0	0	0	0	3	0	0	3
250.00 a 350.00	300.00	0	0	0	0	0	0	0	0
350.00 a 450.00	400.00	0	0	0	0	0	0	0	0
450.00 a 550.00	500.00	0	0	0	0	0	0	0	0
550.00 a 650.00	600.00	0	0	0	0	0	0	0	0
650.00 a 750.00	700.00	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	-	57	444	549	580	397	734	745	3506

O histograma correspondente à Tabela 3 é mostrado na Figura 4.

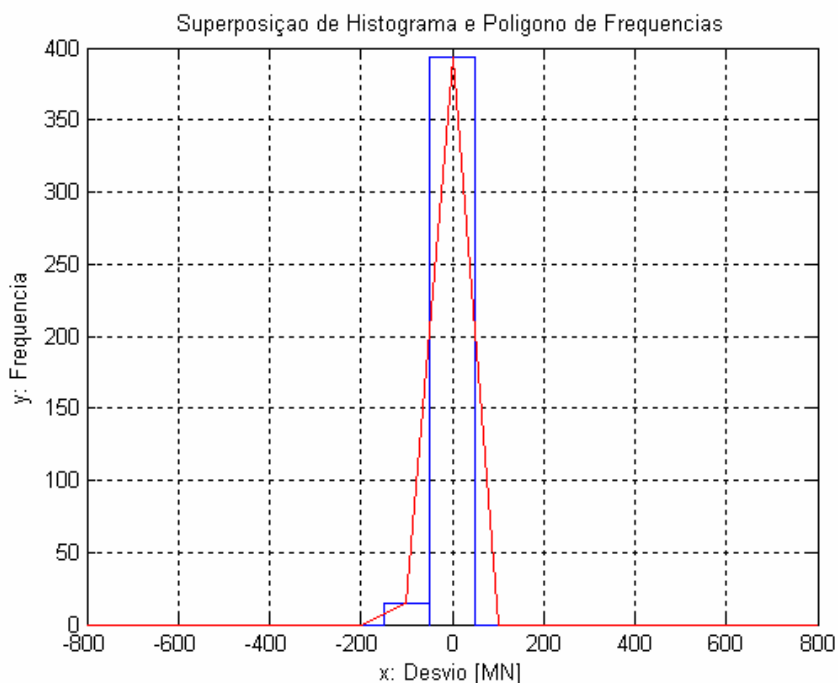


Figura 4 Histograma dos Desvios Verticais dos Níveis Autorizados para todas as Aeronaves.

7 CONCLUSÃO

O conhecimento de todos os erros aberrantes e suas respectivas causas é de fundamental importância para que a Agência de Monitoração Regional possa tomar as medidas corretivas se necessárias.

8 REFERÊNCIAS

1. Manual on Implementation of a 300 m (1000 ft) Vertical Separation Minimum Between FL 290 and FL 410 Inclusive, ICAO, Montreal, Doc 9574, 1st edition 1992, 2nd edition 2000.
2. Review of the General Concept of Separation Panel, Sixth Meeting, Montreal, 28 November - 15 December 1988, Doc 9536, RGCSP/6, Vol. 2.

APÊNDICE D-II

CONSIDERAÇÕES SOBRE OS DESVIOS VERTICAIS AAD E ASE: DOS HISTOGRAMAS AOS CÁLCULOS DAS PROBABILIDADES.

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo esclarecer os procedimentos relativos à fase preparatória do ajuste das funções distribuição para os desvios verticais AAD. Trata-se dos procedimentos para o ajuste das funções a partir do histograma até o ajuste final considerando a metodologia mais adequada utilizada por especialistas de outros Estados. O foco principal do trabalho é harmonizar o mútuo entendimento do processo entre as equipes de coleta de dados (ATC), de análise de dados (Grupo de Matemática) e de supervisão (CARSAMMA).

1 INTRODUÇÃO

1 APROXIMAÇÃO PARA ESTIMAR A PROBABILIDADE DE SUPERPOSIÇÃO VERTICAL - $P_z(1.000)$

Nos Estados Unidos

A probabilidade de superposição vertical $P_z(1.000)$ é um dos parâmetros mais difíceis de estimar dentro do modelo do risco de colisão. Requer a coleta de uma grande quantidade de dados de manutenção de altura com o objetivo de acumular informação sobre a proporção temporal dos desvios da aeronave da altitude designada por uma dada quantidade z . Devido a aeronave manter a altitude muito bem, a ocorrência dos erros que contribuiriam para a possibilidade de duas aeronaves perderem a separação vertical de 1 000 pés (isto é, erros de 500 pés ou mais) é um evento raro. A ocorrência pouco freqüente de erros relativamente grandes leva à necessidade de um modelo matemático que resuma os dados de manutenção de altura observados e que possa ser usado para extrapolar dados para outras regiões onde pouco ou nenhum dado está disponível.

A freqüência dos erros de manutenção de altura da aeronave, ou *TVE*, foi obtida diretamente das medidas dos radares de precisão ou indiretamente através da soma dos dois erros componentes, *AAD* e *ASE*. As vantagens de construir *TVE* a partir de seus componentes tornaram-se aparente quando:

- 1) a estrutura total de cada componente exibiu características significativamente diferentes, e
- 2) quando o componente *AAD* (o qual foi estimado a partir de um conjunto de dados muito maior do que o foi para *TVE* por ter sido coletado antes, durante e após as medidas baseadas nos radares de precisão) exibiu erros não encontrados no subconjunto *AAD* obtido somente durante as medidas diretas baseadas nos radares de precisão.

O processo de estimação para os dois erros componentes *AAD* e *ASE* consistiu de seis passos:

- 1) resumir os erros em uma tabela de frequência ou conjunto de tabelas de frequência adequado para a modelagem por distribuições analíticas;
- 2) escolher uma família apropriada de distribuições de probabilidades analíticas;
- 3) selecionar um membro particular da família de distribuições;
- 4) estimar os valores dos parâmetros;
- 5) avaliar a qualidade do modelo resultante relativo aos dados empíricos;
- 6) modificar o modelo de modo que a amostra tendenciosa de coleção de dados seja removida.

As funções distribuições de probabilidade *ASE* e *AAD* estimadas foram então combinadas para formar uma distribuição dos erros de manutenção de altura a partir da qual a frequência de *TVE* dentro de intervalos de 10 pés foi estimada. Assumindo um padrão de separação nominal de 1 000 pés, a probabilidade de duas aeronaves em níveis de vôo adjacentes, cada uma tendo *TVEs* dentro do mesmo intervalo de 10 pés, foi calculada usando um procedimento estatístico chamado convolução. Este procedimento requer que os erros de manutenção de altura de cada aeronave sejam independentes. A probabilidade de superposição vertical, $P_z(1.000)$, foi calculada somando as estimativas de probabilidade com valor médio de 1 000 pés sobre um intervalo simétrico em torno de 0 pés e de um comprimento igual a duas vezes a altura de uma aeronave típica do sistema.

Resumo das Tabelas *AAD* e *ASE*

A amostra total de dados *AAD* de 11 atividades de coletas de dados consistiu de 6.259 rastreios de aeronaves. Cada altitude de Modo C “transponded” da aeronave foi registrada para um segmento de 30 a 45 minutos envolvendo um rastreamento de altura geométrica do radar de precisão de 4 minutos (a partir do qual *ASE* foi calculado). Sempre que uma aeronave era observada em mais de um nível de vôo, seu rastreamento era dividido em dois segmentos de nível de vôo. Os dados *AAD* contêm 7.341 segmentos de nível de vôo. Devido à modelagem inicial ter indicado que os dados *AAD* em Gander e Newfoundland eram de sítios de diferentes estruturas das dos dados *AAD* coletados em outros sítios continentais dos Estados Unidos, não foram usados no processo de estimação do modelo. Isto reduziu o

número de segmentos de nível de vôo para 6.673, o qual foi considerado suficiente para prover uma estimativa conservativa para o número de amostras *AAD* independentes.

Estes dados foram divididos em quatro categorias usando uma combinação das condições operacionais e ambientes meteorológicos (operações de verão, de inverno, fluxos orográficos e operações oceânicas). O propósito foi o de verificar as diferenças em desempenho sob estas condições, para isso foram construídas as tabelas de frequência e histogramas dos dados *AAD* coletados em cada categoria. Cada tabela e histograma consistiram das proporções de tempo dentro dos intervalos de classe de 100 pés com o intervalo centrado em 0 pés. Esta estrutura foi escolhida com o objetivo de corresponder aos dados de altitude do Modo C medidos.

1.2.1 Histogramas ASE

A amostra total dos dados ASE dos 11 sítios de coletas de dados consistiu de 3.453 rastreios de aeronaves. Para cada rastreio cerca de 240 valores (o equivalente a um rastreio de 4 minutos a uma taxa de 1 segundo) de ASE foram computados. Devido a uma grande parte de ASE para cada aeronave ser considerada repetitiva (por exemplo, erro de fonte estática sob condições de vôo nivelado), o número de aeronaves simples foi considerado uma estimativa conservativa do número de observações ASE independentes. Foram 1.949 rastreios de aeronaves únicas na amostra dos Estados Unidos.

Além das repetições esperadas devido a aeronaves únicas, foi observado que os valores ASE médios de magnitudes similares foram agrupados por tipo de aeronave e algumas vezes por série dentro de um tipo. Isto não foi surpresa, porque os erros de fontes estáticas e suas curvas de calibração correspondentes para cada tipo de aeronave são usualmente determinados a partir de uma aeronave protótipo. Conseqüentemente, estes dados foram divididos em 103 tabelas de frequência – uma para cada tipo de aeronave. Estas tabelas foram usadas para construir os histogramas ASE representando a proporção de erros dentro de intervalos de classe de 10 pés de largura com o retângulo central centralizado em 0 pés.

2 FAMÍLIA DAS FUNÇÕES DISTRIBUIÇÃO DE PROBABILIDADES CANDIDATAS A MODELAR OS DADOS ASE e AAD

Usando estimativas de *TVE* derivadas de dados coletados anteriormente e também usando experiências prévias com ajustes de distribuições para dados *AAD* (Referência 1), uma família de distribuições consistindo de uma mistura ponderada de distribuições exponenciais foram consideradas como candidatas para ajuste de dados *AAD* e *ASE*.

A mistura das funções distribuição de probabilidades é dada por

$$f(z) = \sum_{i=1}^N \alpha_i f_i(\phi_i, \beta_i, \mu_i, z) \quad (2.1)$$

onde,

$$f(\phi, \beta, \mu, z) = \frac{1}{\phi \times \Gamma(\delta) \times 2^\delta} e^{-\frac{1}{2} \left| \frac{z-\mu}{\phi} \right|^{1+\beta}} \quad (2.1a)$$

e

$$\delta = \left[1 + \left(\frac{1+\beta}{2} \right) \right] \quad (2.1b)$$

α_i - parâmetros da mistura;

ϕ_i - parâmetros de dispersão (amplitude);

μ_i - parâmetros de localização;

N - número de funções distribuição de probabilidades na mistura;

i - índice da mistura;

Γ - Função Gama.

A variável z (desvio) e os parâmetros de localização, de forma e de dispersão variam dentro dos intervalos:

$$-\infty < z < \infty$$

$$-\infty < \mu < \infty$$

$$-1 < \beta < 1,5$$

$$0 < \phi < \infty$$

As distribuições exponenciais individuais $f_i(z)$ na mistura podem variar de desde uma função aproximadamente um pouco mais pronunciada em pico do que uma Primeira de Laplace ($\beta = 1,0$) ou Dupla Exponencial passando por uma Gaussiana ($\beta = 0,0$) até uma forma uniforme à medida que β se aproxime de -1 . Maiores detalhes são apresentados nas Referências 2 e 3.

As freqüências das observações dos desvios *AAD* menores em magnitude são bem caracterizadas por formas de funções distribuições que se aproximam da Dupla Exponencial.

As observações restantes maiores do que 300 pés, as caudas das tabelas de freqüências empíricas, em se tratando de dados *AAD*, exigiram o uso de uma segunda distribuição de potência exponencial. Os desvios padrão das distribuições das caudas mostraram se superiores em 4 a 6 vezes aos desvios correspondentes do núcleo.

Devido a estas observações maiores do que 300 pés ocorridas com muito menos freqüência do que as observações menores do que 300 pés, forma da distribuição escolhida para representar a porção da cauda de *AAD* foi mais sensível à dimensão da amostra. Precavendo-se contra a escolha de uma forma que pudesse subestimar a freqüência dos erros maiores do que 300 pés, um estudo simulativo foi feito (Referência 4).

Na consideração do número estimado de amostras *AAD* independentes, os resultados das investigações baseadas na simulação indicaram que uma mistura de uma potência exponencial e uma distribuição Dupla Exponencial (DE) pareceu ser uma escolha prudente para os dados *AAD* agregados bem como para os subconjuntos de dados de verão, inverno e das categorias de fluxo orográficos. Uma simples potência exponencial foi escolhida para os dados *AAD* associados com operações oceânicas por causa da dimensão da amostra ser muito pequena para ser considerada como mistura.

O procedimento usado misturou as distribuições do núcleo e da cauda com o objetivo de produzir uma função distribuição de probabilidades representando *AAD* que incluísse um fator de ponderação (um número entre 0,0 e 1,0) no processo de estimação. Se este fator for representado por α com $f_1(z)$ e $f_2(z)$ sendo as funções distribuições do núcleo e da cauda, respectivamente, ambas com médias iguais a zero, a distribuição total pode ser escrita como

$$f_{AAD}(z) = (1 - \alpha)f_1(\phi_1, \beta_1, 0.0, z) + \alpha f_2(\phi_2, 1.0, 0.0, z) \quad (2.2)$$

ou

$$f_{AAD}(z) = (1 - \alpha) \times \frac{1}{\phi_1 \times \Gamma(\delta) \times 2^\delta} \times e^{-\frac{1}{2|\phi_1|} \frac{z^2}{1+\beta_1}} + \alpha \times \frac{1}{2 \times \phi_2} \times e^{-\frac{1}{2|\phi_1|}}, \quad (2.2a)$$

onde os parâmetros estimados do núcleo são ϕ_1 e β_1 e o parâmetro estimado da cauda é ϕ_2 , lembrando que $\Gamma(2) = 1/2$.

2.1 ASE

O ASE exibiu uma estrutura de erro que foi fortemente influenciada por uma grande variedade de tipos de aeronaves voada sobre os Estados Unidos. O modelo de distribuição total escolhido para resumir ASE consistiu de uma mistura de 103 funções distribuição de probabilidades do tipo potência exponencial, uma para cada tipo de aeronave e dentro de certos tipos e série.

Os parâmetros da mistura usados para combinar estas distribuições numa forma de distribuição ASE total não foram estimados a partir dos dados; ao invés disso, um esforço independente foi conduzido. Foi feito um censo de oito dias das operações da frota de aeronaves dos Estados Unidos acima de 29.000 pés, através da “Central Flow Computer Facility”. Foi computada a proporção de tempo de cada tipo de aeronave que estava dentro do espaço aéreo durante o período completo de oito dias. Estes valores são apresentados para as aeronaves do tipo comercial, aviação geral e militar juntamente com a porcentagem observada dentro do esforço de coleta de dados ASE para todas as atividades bem como a porcentagem de rastreios de aeronaves usadas para calcular os valores paramétricos. As proporções obtidas do censo de oito dias foram consideradas como representativas das proporções do tempo de vôo total acima do nível 290, calculadas por tipo de aeronaves e foram usadas para definir os pesos p_i individuais ASE para cada distribuição para cada tipo de aeronave. Matematicamente,

$$f^{ASE}(z) = \frac{\sum_{i=0}^n p_i f(\phi_i, \beta_i, \mu_i, z)}{\sum_{i=0}^n p_i}, \quad (2.3)$$

onde

- p_i - a proporção temporal para aeronave do tipo i observada em vôo de nível sobre os Estados Unidos acima de 29.000 pés;
- ϕ_i - parâmetro de dispersão para aeronave do tipo i ;
- β_i - parâmetro de forma para aeronave do tipo i ;
- μ_i - parâmetro de localização central para aeronave do tipo i ;
- n - número de tipos de aeronaves na amostra ASE.

3 TÉCNICAS DE ESTIMAÇÃO DOS PARÂMETROS

O Método da Máxima Verossimilhança (indicação, probabilidade, indício, plausibilidade, sinalização) foi usado para determinar qual membro da família das distribuições de potência exponencial combinadas ajusta melhor os dados AAD e ASE. Este método seleciona o conjunto de parâmetros para uma dada forma de distribuição (por exemplo, uma dupla exponencial) a qual maximiza um critério quantitativo chamado de Função de Verossimilhança, ou seja, a Máxima Verossimilhança estima o conjunto de parâmetros que dá o melhor ajuste para a forma de distribuição escolhida. A aproximação para ajustar ASE e AAD consistiu em aplicar o método sucessivamente usando diferentes membros da família de potencia exponencial como distribuições

candidatas. O melhor ajuste foi atribuído à forma da distribuição que permitiu o máximo valor da Função de Verossimilhança.

4 AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS DA MODELAGEM

O desempenho de navegação vertical observado indica que a aeronave mantém-se na posição vertical designada, razoavelmente bem, na maior parte do tempo. Em consequência, o valor de $P_z(1.000)$ será fortemente influenciado pela frequência na qual os erros dentro do intervalo de 1000 pés ocorrem. Então, na avaliação dos valores de $P_z(1.000)$, é necessário confiar que os ajustes dos dados de desvios das aeronaves individuais são apropriados. Os exemplos observados de grandes erros são esparsos dentro dos dados e o ajuste da forma distribucional deve ser cuidadosamente avaliado para verificar se parece correta.

A aproximação da Máxima Verossimilhança leva diretamente a um método de definição dos limites de variação dos parâmetros estimados e requer uma estimativa do número de observações independentes. Estes limites podem ser definidos como aqueles valores dos parâmetros para os quais o ajuste é significativamente pior (talvez uma probabilidade de rejeição de 95%) do que o ajuste ótimo. A estimativa conservativa para o número de observações *AAD* e *ASE* foram assumidas como sendo 6.673 e 1.949, respectivamente. Através do uso destes limites, os limites superior e inferior para probabilidade de superposição vertical podem ser dados. Este limite superior dá uma indicação da incerteza associada à estimativa da probabilidade de superposição, e também dá evidência de que a probabilidade de superposição vertical está abaixo deste valor.

5 APLICAÇÃO AO SISTEMA EXISTENTE (dos EUA em 1982)

5.1 Ajuste *AAD*

Os modelos de distribuição foram estimados para os dados *AAD* para cada uma das categorias e para as categorias, verão, inverno e fluxos orográficos combinados. As representações de histogramas para cada um destes modelos são apresentadas nas Figuras de 5.1 a 5.5 da Referência 5. Cada Figura contém uma legenda no canto superior direito que mostra os parâmetros estimados do modelo e desvios padrão para a parte do núcleo (σ_1), para a parte da cauda (σ_2) e para o núcleo e cauda combinados (σ total). As categorias verão, inverno e fluxo orográfico têm os parâmetros de forma do núcleo (β_1) maior do que um, indicando que a forma do núcleo é mais aguda (“empicada”) do que uma dupla exponencial e que uma grande parte dos valores *AAD* estavam em ou próximos de zero. O parâmetro de forma da categoria oceânica, $\beta = 0,64$, indica que a forma está entre a Gaussiana e a Dupla Exponencial e que os valores *AAD* não estão tão proximamente agrupados em torno de zero como as outras categorias. Os desvios padrão do núcleo para todas as categorias estão proximamente agrupados e variam de um baixo valor de 43 pés para categoria inverno a um alto valor de 46 pés para as categorias verão e oceânica. Isto dá a impressão que o desempenho nominal *AAD* não é fortemente influenciado por qualquer destas categorias, embora o menor valor de β para a categoria oceânica indique uma mudança na estrutura. Os parâmetros combinados são muito pequenos variando de 0,009 para o verão a 0,004 para ambas as categorias inverno e fluxo orográfico e para um valor de zero para a categoria oceânica (sem combinação).

Os desvios padrão das caudas (uma proporção direta do parâmetro da cauda, β_2) variam de um baixo valor de 213 pés para o verão a um valor alto de 342 pés para a categoria inverno.

A natureza similar dos modelos de distribuição das categorias inverno, verão e fluxo orográfico indicaram que a combinação destes dados poderia prover uma representação apropriada de AAD em e acima de 29.000 pés sobre a parte continental dos Estados Unidos. A distribuição combinada, mostrada na Figura 5-5 da Referência 5, tem parâmetros que são um balanço favorável dos parâmetros de cada uma das categorias individuais.

5.2 Ajuste ASE

O ajuste dos dados ASE observados para as formas de distribuição foram através de duas fases antes de uma aproximação final desenvolvida. Inicialmente, o ASE total para cada tipo de aeronave observada mais de duas vezes durante as atividades de coleta de dados foi ajustado usando um modelo exponencial generalizado da forma apresentada na Equação (2.1) com $N=1$ (isto é, uma única função distribuição de probabilidades). Análises dos resultados mostraram uma grande variação nos parâmetros de forma, β , dos ajustes resultantes. Isto levou a suspeita de que os parâmetros estimados a partir do ajuste de ASE dos tipos de aeronaves para as quais poucos rastreios tiveram sido coletados poderiam estar provendo informações enganosas a respeito da natureza real da distribuição da população ASE correspondente devido à insuficiência de evidência empírica. Estas suspeitas foram confirmadas através de estudos de simulação.

Na segunda fase do ajuste de ASE total, ajustes foram tentados para o erro do sistema de altimetria total de um tipo de aeronave somente se pelo menos 100 rastreios estivessem disponíveis na coleta de dados. Por outro dado, o ASE total dos tipos de aeronaves foi assumido seguir uma distribuição Gaussiana com a média e o desvio padrão estimados pelo método da máxima verossimilhança. Esta decisão restringiu as atividades do ajuste para somente oito das 103 combinações de séries-tipos de aeronaves durante as atividades de coleta de dados observados.

Os ajustes resultantes daquelas relativamente poucas aeronaves foram examinados num sentido estatístico para julgar o conteúdo informacional dos parâmetros estimados como descritores das distribuições da população ASE correspondente. Um teste da razão de verossimilhança foi efetuado para cada ajuste, comparando a exponencial generalizada identificada para o ajuste dos mesmos dados por uma distribuição Gaussiana. Usando um nível de significância de 95 por cento, o objetivo do teste foi o de determinar se a distribuição ajustada poderia prover uma caracterização melhor da distribuição observada do que a correspondente Gaussiana. O ajuste para o ASE total de todas exceto três combinações de tipos de aeronaves falharam em evidenciar uma diferença estatisticamente significativa da Gaussiana. Posteriormente, combinações ponderadas de duas Gaussianas foram ajustadas para oito distribuições empíricas. Em cada caso, o ajuste foi então comparado por meio da razão de verossimilhança à distribuição Gaussiana envolvida na comparação inicial com o ajuste da distribuição exponencial generalizada. Novamente, as mesmas três combinações de séries-tipo foram significativamente diferentes das correspondentes distribuições Gaussianas únicas. Ainda depois, cada uma foi identificada como tendo um ajuste melhor do que a correspondente exponencial generalizada. O valor da verossimilhança das distribuições Gaussianas combinadas foi maior.

Os modelos de distribuição para as 103 combinações de tipos ou séries-tipos de aeronaves (100 densidades Gaussianas individuais e 3 densidades Gaussianas combinadas) foram combinados usando as porcentagens apresentadas na amostra de oito dias dos EUA para produzir a distribuição ASE total. A apresentação do histograma deste modelo é mostrada na Figura 5-6 da Referência 5. A distribuição tem uma média de -12.8 pés e um desvio padrão de 95.6 pés. As freqüências de maiores magnitudes ASE associadas com esta distribuição são maiores do que com uma distribuição Gaussiana tendo parâmetros com valores idênticos.

Finalmente, os parâmetros da distribuição para o modelo AAD combinado, Figura 5-5 da Referência 5, foram usados em conjunto com a mistura de distribuição ASE Figura 5-6 da mesma Referência para gerar uma tabela de freqüência para TVE. Uma representação de histograma deste processo é mostrada na Figura 5-7 da Referência 5. Tem um valor médio de -12,8 pés (a soma das médias de AAD e ASE) e um desvio padrão de 105,4 pés (a raiz quadrada da soma dos quadrados dos desvios padrão de AAD e ASE).

6 ESTIMATIVA DA PROBABILIDADE DE SUPERPOSIÇÃO VERTICAL

Estimativas para $P_z(1.000)$ foram feitas usando distribuições ajustadas para os dados AAD somente, dados ASE somente e para os dados ASE e AAD combinados.

6.1 AAD somente ($TVE = AAD$)

Os resultados para os dados AAD total e por categoria são listados na Tabela 5-6 (Referência 5). Além do valor estimado de $P_z(1.000)$, a tabela também lista estimativas de $P_z(0)$. O valor de $P_z(0)$ é de interesse porque representa a probabilidade de duas aeronaves designadas para o mesmo nível estarem na mesma altura geométrica. Os dados de $P_{95}(1.000)$ são baseados no limite de confiança superior de 95 por cento dos parâmetros de distribuição e representa um valor cuidadoso para o valor verdadeiro de $P_z(1.000)$ dado os dados AAD observados.

Tabela 5-6 (Referência 5)

PROBABILIDADES DE SUPERPOSIÇÃO VERTICAL ESTIMADAS PARA VÁRIAS CATEGORIAS DE DADOS AAD			
Categoria	$P_z(0)$	$P_z(1.000)$	$P_{95}(1.000)$
Verão	0,64	$0,8 \times 10^{-6}$	$2,2 \times 10^{-4}$
Inverno	0,65	$0,6 \times 10^{-6}$	$8,8 \times 10^{-5}$
Fluxo Orográfico	0,66	$1,1 \times 10^{-6}$	$2,7 \times 10^{-4}$
Oceânico	0,59	-	-
<i>Verão, Inverno, Fluxo Orográfico combinados</i>	0,65	$1,8 \times 10^{-6}$	$6,0 \times 10^{-5}$

As entradas para as operações oceânicas na Tabela 5-6, debaixo das colunas $P_z(1.000)$ e $P_{95}(1.000)$, indicam que os grandes valores dos dados AAD foram muito esparsos para

esta categoria de modo que não foi possível fazer uma estimativa confiável da probabilidade de superposição vertical para um padrão de separação de 1.000 pés. É importante notar que as diferenças nos valores de $P_z(1.000)$ para as categorias apresentadas na tabela são insignificantes quando comparadas com o valor total da última linha da tabela. Pode-se inferir dos resultados da tabela que o *AAD* pode ser resumido no total.

6.2 *ASE* somente ($TVE = ASE$)

Valores similares foram obtidos para a distribuição *ASE* combinada apresentada na Figura 5-6 da Referência 5. As probabilidades estimadas para $P_z(0)$ e $P_z(1.000)$ foram 0,32 e $6,4 \times 10^{-7}$, respectivamente.

6.3 *ASE* e *AAD* convoluídos ($TVE = ASE + AAD$)

Conforme discutido anteriormente, estimativas de *TVE* usando dados tomados somente dos radares pareceu atenuar a frequência de ocorrência dos exemplos maiores de *TVE* por causa da influência de *AAD* no erro vertical total não ter sido levado em consideração. Usando apenas estimativas de *TVE* de 4 minutos poderia em consequência ter em potencial a subestimação de $P_z(1.000)$. No sentido de refletir mais adequadamente a influência de *TVE* em $P_z(1.000)$, as distribuições ajustadas de *ASE* e *AAD* foram convoluídas produzindo uma tabela de frequência de *TVE* com intervalos de classe de 10 pés (Figura 5-7 da Referência 5). A tabela de frequência resultante foi convoluída com ela mesma, empregando separações nominais de 0,0 e 1.000 pés, para produzir estimativas de $P_z(0) = 0,29$ e $P_z(1.000) = 3,6 \times 10^{-6}$, respectivamente. A altura da aeronave usada foi de 50 pés.

REFERÊNCIAS

1. Reduction and Analysis of Mode C Altitude Data collected at High Altitudes over the Continental United States, DOT/FAA/EM-82.9, March 1982.
2. Robert, Rigolizzo, "Preliminary Efforts to Find Statistical Distributions Representing Total Vertical Error and Assigned Altitude Deviation". DOT/FAA/CT-TN87/30, July 1987.
3. Box, G., and G. Tiao, Bayesian Inference in Statistical Analysis, Addison-Wesley Publishing Company, 1973, p. 156-158.
4. The Results of a Simulation Study conducted to Examine the Appropriate Distribution Mixture for Assigned Altitude Deviations.
5. Review of the General Concept of Separation Panel, Sixth Meeting, Montreal, 28 November - 15 December 1988, Doc 9536, RGCSP/6, Vol. 2.

APÊNDICE D-III

CONSIDERAÇÕES SOBRE OS DESVIOS LATERAIS: DA PLANILHA ATÉ O HISTOGRAMA.

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo esclarecer os procedimentos relativos à fase preparatória do ajuste das funções distribuição para os desvios laterais. Trata-se do tratamento dos dados, coletados através do Modo C e apresentados em planilha pelo pessoal do ATC, até a construção do histograma. O foco principal do trabalho é harmonizar o mútuo entendimento do processo entre as equipes de coleta de dados (ATC), de análise de dados (Grupo de Matemática) e de supervisão (CARSAMMA).

1. INTRODUÇÃO

1 A determinação da função distribuição de probabilidades, $f^Y(y_1)$, é um dos objetivos da fase de verificação pré-implementação¹ da separação vertical mínima reduzida (RVSM), com a finalidade de verificar a probabilidade de superposição lateral, $P_y(0)$. Esta probabilidade não se baseia nos desvios laterais de navegação devidos a todas as causas possíveis, mas sim, somente nos desvios considerados “normais” que quantificam a acurácia de desempenho de navegação típico classificados pela RNP10² com o título geral de Erro Total do Sistema de Navegação (TSE).

Conforme especificado pela RNP, o TSE é uma combinação dos seguintes fatores:

- a) erro do sistema de navegação;

- b) erro de computação do sistema RNAV;
- c) erro do sistema de “display”; e
- d) erro técnico de vôo (FTE).

2 Ainda de acordo com a RNP, o erro técnico de vôo (FTE) refere-se à precisão com que a aeronave é controlada e é muito difícil de ser completamente caracterizado; depende dos seguintes modos de direcionamento da aeronave:

- 1) FTE manual – associado a modos manuais que variam muito com as condições do vento e experiência, sobrecarga de trabalho, fadiga e motivação do piloto;
- 2) FTE acoplado – quando o sistema RNAV é acoplado ao AFCS ou diretor de vôo. Isto pode constituir uma fonte adicional de erro; e
- 3) FTE de RNAV.

3 Nas previsões de FTE sugeridas acima, não estão incluídos os erros crassos de procedimentos que podem ser classificados como erros humanos grosseiros ou negligência que leva o piloto a se extraviar significativamente da rota planejada. A classificação dos erros que caracteriza o TSE facilita a identificação das causas dos desvios laterais para que as respectivas providências corretivas sejam tomadas.

4 Na fase preliminar a função distribuição escolhida foi uma dupla exponencial, $f_{norm}^y(y_1)$, com média zero, por ser mais conservativa do que outras distribuições em relação à ocorrência de possíveis desvios maiores do que os permitidos, ou seja,

$$f_{norm}^y(y_1) = \frac{1}{2a_1} e^{-\frac{|y_1|}{a_1}}, \quad \text{onde } a_1 \text{ é o parâmetro de escala.}$$

5 Neste trabalho vamos analisar os procedimentos envolvidos no processo de análise dos dados da planilha até a construção do histograma que será utilizado para ajustar a função distribuição de probabilidades. A estimativa do parâmetro de escala a_1 será apresentada após a determinação dos parâmetros estatísticos num trabalho

subseqüente que englobará os procedimentos da análise de dados do histograma até o ajuste da distribuição.

2. DADOS DA PLANILHA

6 Além das informações diretas, as planilhas devem permitir que outras adicionais sejam induzidas e/ou verificadas através de cruzamentos de informações com uma base de dados. Tomando como referência os dados da planilha 60_GLO1765, as seguintes informações deverão ser lidas, induzidas e/ou “checadas”:

IDENTIFICAÇÃO DA COLETA: 60_GLO1765
DATA DA COLETA: 11/05/2004
IDENTIFICAÇÃO DA AERONAVE: B737
ORIGEM: SBRF
DESTINO: SBFL
CLASSIFICAÇÃO POR TIPO: B737
IDENTIFICAÇÃO DA AEROVIA: UW60
NÍVEL AUTORIZADO (CFL): 390
TEMPO DE RETORNO DA INFORMAÇÃO: 10 SEGUNDOS
DURAÇÃO TOTAL DA COLETA: 37,30 MINUTOS
RADAR: SÍNTESE

IDENTIFICAÇÃO DO TRECHO DE ROTA: NUQ/RESFO
IDENTIFICAÇÃO DO RUMO NO FIXO: NUQ
INÍCIO DA COLETA: NO TRECHO NUQ/RESFO: 20:35:24
TÉRMINO DA COLETA NO TRECHO NUQ/RESFO: 21:12:42

IDENTIFICAÇÃO DO TRECHO DE ROTA RESFO/RALEI
IDENTIFICAÇÃO DO RUMO NO FIXO: RESFO
INÍCIO DA COLETA NO TRECHO RESFO/RALEI: 21:12:44
TÉRMINO DA COLETA NO TRECHO RESFO/RALEI: 21:15:14

IDENTIFICAÇÃO DO TRECHO DE ROTA RALEI/PROFE
IDENTIFICAÇÃO DO RUMO NO FIXO: RALEI
INÍCIO DA COLETA NO TRECHO RALEI/PROFE: 21:15:24
TÉRMINO DA COLETA NO TRECHO RALEI/PROFE: 21:18:14

IDENTIFICAÇÃO DO TRECHO DE ROTA PROFE/2042SO43
IDENTIFICAÇÃO DO RUMO NO FIXO: PROFE
INÍCIO DA COLETA DO TRECHO PROFE/2042SO43: 21:18:24
TÉRMINO DA COLETA NO TRECHO 2042SO43/PONGA: 21:28:34

IDENTIFICAÇÃO DO TRECHO DE ROTA 2042SO43/PONGA
IDENTIFICAÇÃO DO RUMO NO FIXO: 2042S043
INÍCIO DA COLETA NO TRECHO 2042SO43/PONGA: 21:28:44

TÉRMINO DA COLETA NO TRECHO 2042SO43/PONGA: 21:32:24

 IDENTIFICAÇÃO DO TRECHO DE ROTA PONGA/BBC
 IDENTIFICAÇÃO DO RUMO NO FIXO: PONGA
 INÍCIO DA COLETA NO TRECHO PONGA/BBC: 21:32:34
 INÍCIO DA COLETA NO TRECHO PONGA/BBC: 21:35:34

3. ANÁLISE PRELIMINAR DOS DADOS

7 Uma primeira visualização dos desvios verticais de toda a aerovia UW60 em função do tempo é mostrada na Figura 1, abaixo. Esta figura e todas as outras similares são construídas baseadas na seguinte consideração: cada desvio lateral é associado a um retorno do Modo c que acontece a cada dez segundos. Desta figura identifica-se que a aeronave tende a se direcionar a partir do tempo de 1000 segundos após a coleta de dados e se mantém direcionada ao longo de todos os trechos da aerovia UW60 durante a maior parte do tempo.

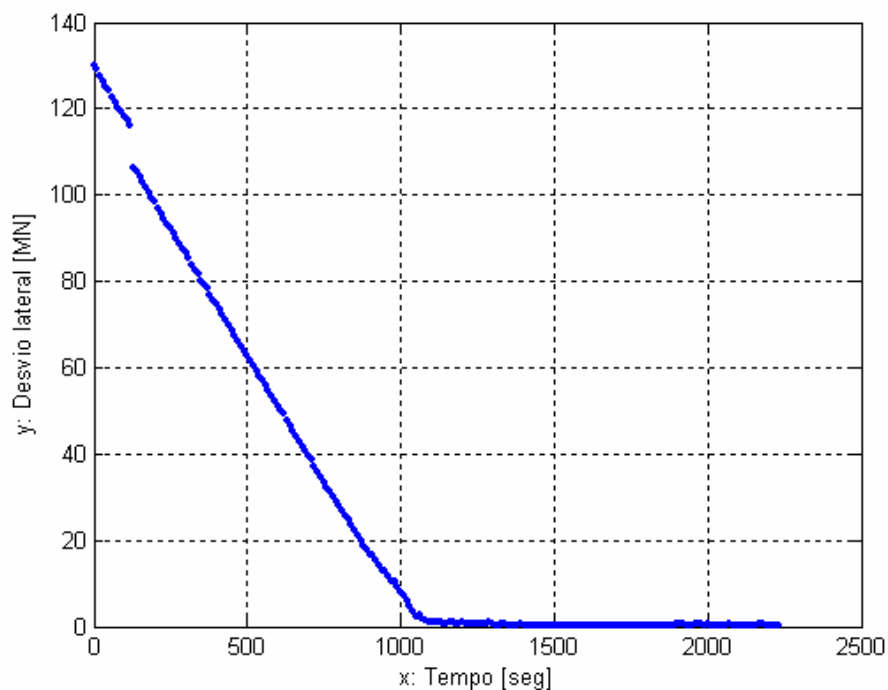


Figura 1 – Desvio x Tempo Total de Coleta de Dados – Aeronave B737

3.1 Definição do Tempo Inicial da Manutenção de Rumo

8 A princípio, adotou-se, arbitrariamente, o intervalo de desvio absoluto de 2 MN com o intuito de determinar o tempo inicial da manutenção da direção, a partir do qual, os desvios são considerados somente durante o vôo de cruzeiro (ver Figura 2). O tempo inicial é considerado a partir de um certo tempo (que deve ser definido pelo pessoal da área, aqui foi considerado 2 minutos arbitrariamente) em que a aeronave se aproxima do seu rumo real de uma distância menor ou igual a 2 MN.

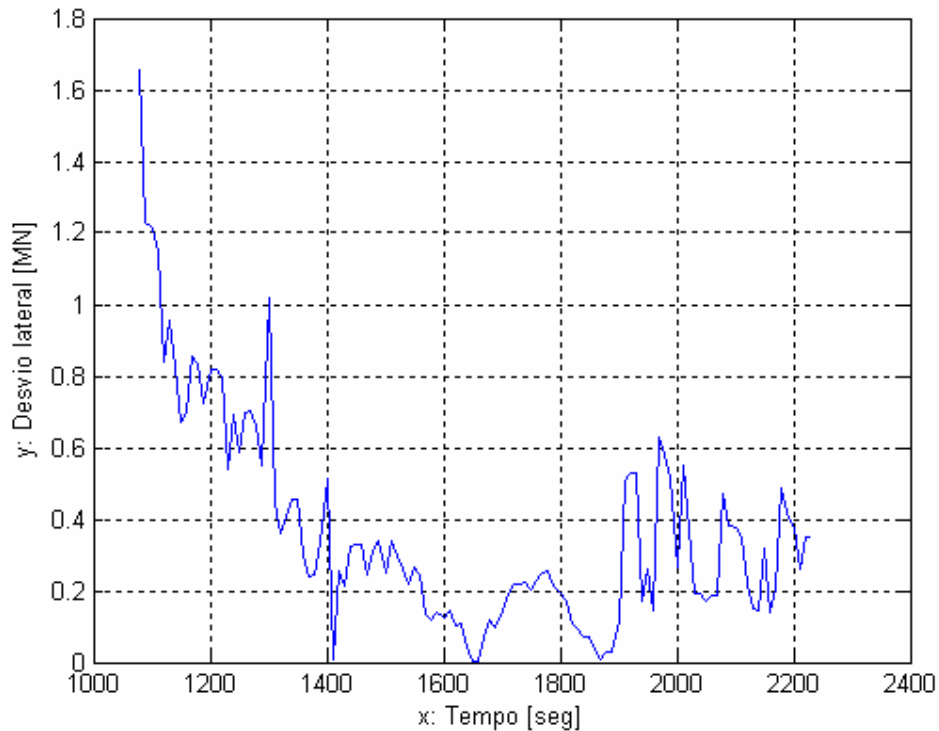


Figura 2 - Desvio x Tempo (vôo de cruzeiro – desvios < 2 MN) – A/C B737

3.1 Definição do Tempo Final da Manutenção de Rumo.

9 O tempo final de manutenção de vôo pode ser identificado de maneira análoga; a diferença consiste em recuar o tempo até o ponto em que a aeronave começou a se afastar do rumo real de uma distância superior a 2 MN. Este critério exige uma varredura prévia dos dados e deve levar em consideração o comprimento do trecho, a posição da aeronave no trecho e o ângulo de saída do rumo real. Isto deve ser feito para verificar se aeronave está se afastando para outra rota ou simplesmente sofrendo um desvio. Este critério pode ser adotado para segmentos de rotas consecutivos simultaneamente desde que o nível e o rumo sejam os mesmos.

3.3 Verificação do Rumo Real

10 Uma vez definido o tempo inicial e final da manutenção de rumo do trecho de rota (ou trechos de rotas), procede-se à verificação do rumo real. Com base nos desvios laterais entre o intervalo de tempo determinado, estima-se o rumo médio da aeronave conforme pode ser observado na Figura 3, abaixo.

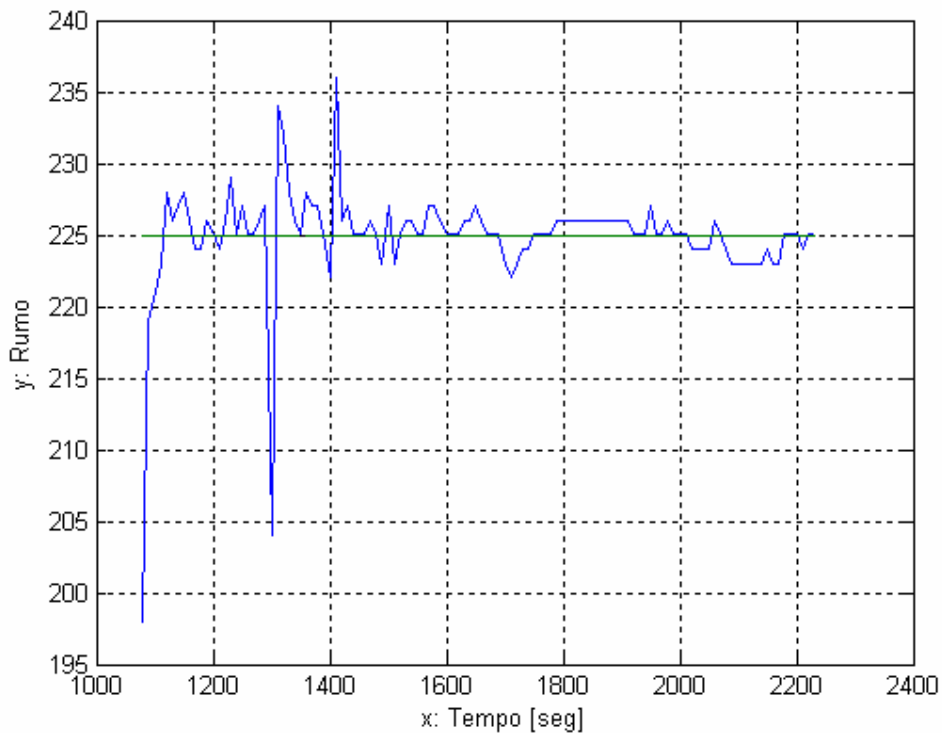


Figura 3 - Rumo x Tempo para o Trecho de Rota Considerado – A/C B737

11 Para esta amostra, a aeronave encontra-se no rumo real de 225^0 . Assumindo que a aeronave está com o rumo sustentado dentro de $\pm 2^0$, então, caso o rumo designado esteja dentro do intervalo (223,227), a aeronave pode ser considerada com rumo sustentado e direcionada corretamente. Caso contrário deve-se fazer um refinamento da identificação do rumo. Se a diferença entre a identificação real e a designada for muito grande deve-se procurar por informações adicionais no centro de controle responsável pela coleta de dados, ou simplesmente informar o ocorrido. Com relação a cada desvio absoluto maior que 2 MN que ocorrer durante o voo nivelado, deve-se comunicar o ACC responsável pela coleta de dados para verificar se trata de um desvio autorizado ou não. Caso não seja um desvio autorizado, a informação deve ser cruzada com o banco de dados cujas informações são coletadas de relatórios de incidentes para identificar a causa possível. Em resumo, se o desvio não for confirmado como autorizado e a causa não definida, então o desvio deverá ser considerado como de desempenho lateral.

4. CONSTRUÇÃO DO HISTOGRAMA

12 A primeira grande questão é com respeito ao mais adequado intervalo de classe que deve ser considerado. O valor mais apropriado é obtido depois de algumas iterações usando um critério que será adotado no próximo trabalho “Análise dos Dados Laterais: do Histograma ao Ajuste” Vamos primeiramente, usando como referência a aeronave B737, mostrar onde queremos chegar e depois como se proceder para atingir o objetivo proposto neste trabalho que é a construção do histograma para todos os voos e tipos de aeronaves. A Tabela 1 mostra os desvios laterais por nível de voo para a aeronave B737 e os correspondentes parâmetros estatísticos preliminares dos dados desta aeronave.

13 O primeiro passo após a identificação do período de tempo em que a aeronave está em voo nivelado, para cada trecho da rota, é construir o polígono de frequência baseado num intervalo de classe suposto como sendo apropriado.

Tabela 1 – Desvios Laterais da Rota Autorizada por Nível de Voo para Aeronave B-737
(Desvios em MN)

Desvio (MN)	Ponto Médio	Níveis de Vôo Autorizado							Total
		290	310	330	350	370	390	410	
Num. Vôos		0	0	0	0	0	2	0	2
-2.66 a -2.34	-2.50	0	0	0	0	0	0	0	0
-2.34 a -2.03	-2.19	0	0	0	0	0	0	0	0
-2.03 a -1.72	-1.88	0	0	0	0	0	1	0	1
-1.72 a -1.41	-1.56	0	0	0	0	0	3	0	3
-1.41 a -1.09	-1.25	0	0	0	0	0	3	0	3
-1.09 a -0.78	-0.94	0	0	0	0	0	5	0	5
-0.78 a -0.47	-0.63	0	0	0	0	0	3	0	3
-0.47 a -0.16	-0.31	0	0	0	0	0	50	0	50
-0.16 a 0.16	0.00	0	0	0	0	0	30	0	30
0.16 a 0.47	0.31	0	0	0	0	0	99	0	99
0.47 a 0.78	0.63	0	0	0	0	0	33	0	33
0.78 a 1.09	0.94	0	0	0	0	0	7	0	7
1.09 a 1.41	1.25	0	0	0	0	0	0	0	0
1.41 a 1.72	1.56	0	0	0	0	0	0	0	0
1.72 a 2.03	1.88	0	0	0	0	0	0	0	0
2.03 a 2.34	2.19	0	0	0	0	0	0	0	0
2.34 a 2.66	2.50	0	0	0	0	0	0	0	0
Total		0	0	0	0	0	234	0	234

$nu = 234$ (número de desvios utilizados); $db = 0.110$ (média dos desvios)

$s = 0.471$ (desvio padrão dos desvios)

A Figura 4, abaixo, mostra o polígono de frequência para os desvios menores que duas milhas náuticas, considerando 12 intervalos de classe. Esta figura dá uma idéia generalizada da forma e simetria da distribuição baseada tão somente nos dados disponíveis de dois vôos.

14 O segundo passo é a construção do histograma considerando a frequência de ocorrência dos desvios sofridos pela aeronave, nos trechos e níveis considerados, cujos valores serão armazenados para contribuir na construção do histograma final para a

classe de tipos de aeronaves a que pertence. Nota-se que o retângulo deve ser construído tal que o ponto médio dos menores desvios coincida com zero.

15 A Figura 5 mostra o histograma desejado considerando todos os trechos de rotas da aerovia UW60, resta-nos definir o intervalo de classe mais adequado possível. Isto será feito depois dos primeiros ajustes da função distribuição de probabilidades final.

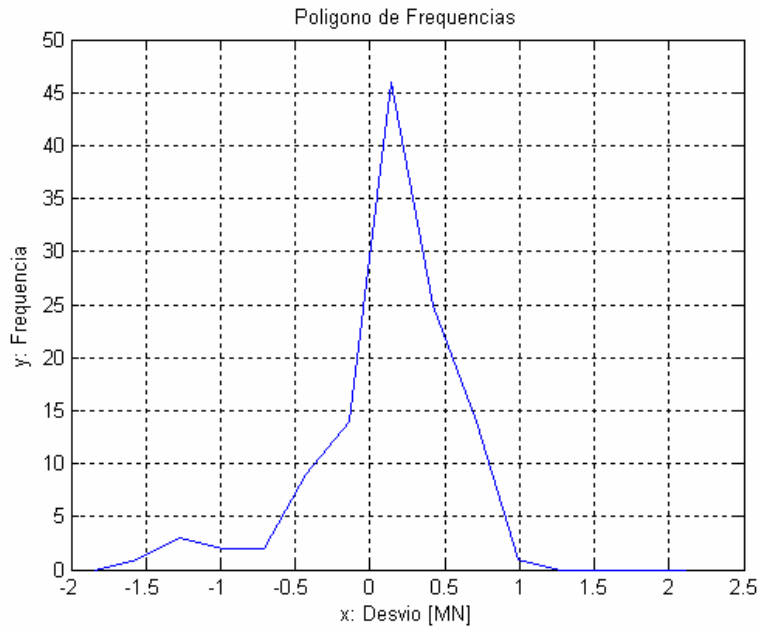


Figura 4 – Polígono de Freqüência Considerando 12 Intervalos de Classe

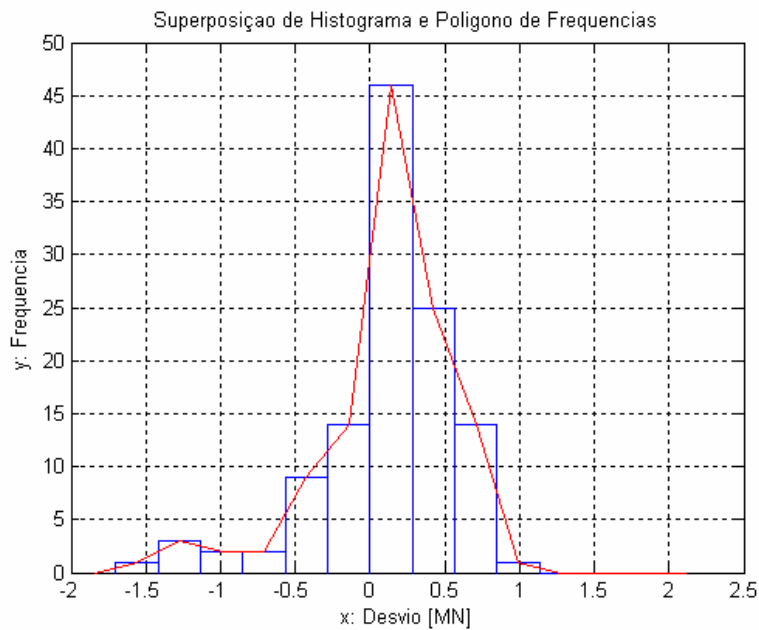


Figura 5 - Superposição do Polígono de Freqüências e Histograma, com 12 classes.

5.0 ANÁLISE SUPERFICIAL PARA DIFERENTES INTERVALOS DE CLASSE

16 As Figuras 6 até 9 dão uma idéia da importância da determinação do intervalo de classe mais apropriado para a construção do histograma e, conseqüentemente, do ajuste da distribuição. Um intervalo de classe excessivamente grande pode superestimar os valores dos parâmetros estatísticos e levar a estimativas não realísticas da probabilidade de superposição, $P_y(0)$, e, em conseqüência, ao risco de colisão vertical. Na verdade, a decisão pelo melhor intervalo só poderá ser feita depois de uma minuciosa análise dos resíduos após os ajustes.

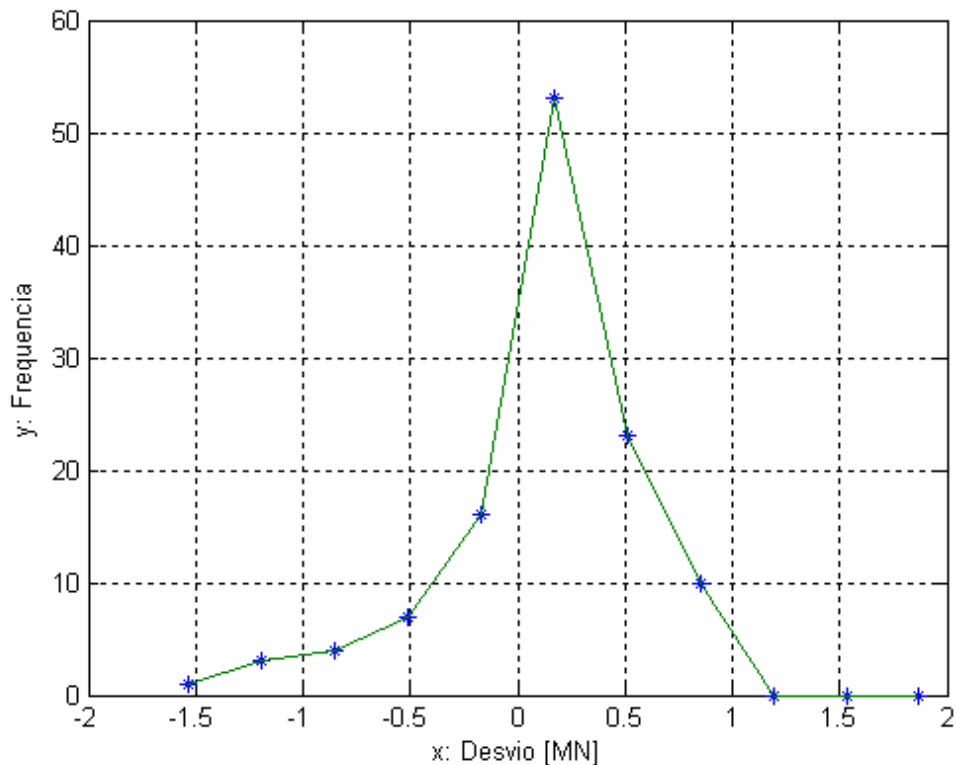


Figura 6 – Polígono de Freqüência Considerando 10 Intervalos de classe

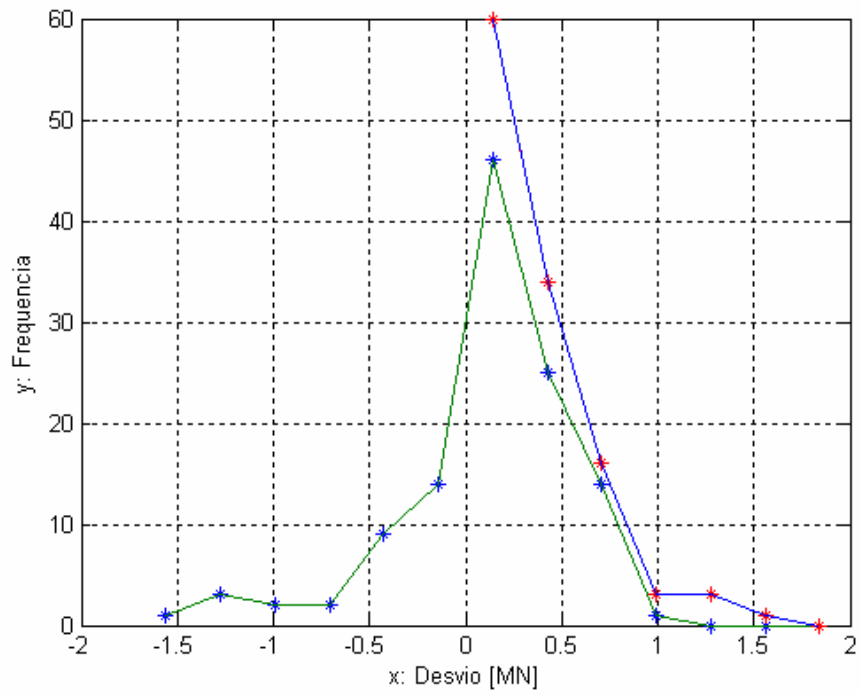


Figura 7 - Gráfico com 12 Classes e com Desvios Absolutos.

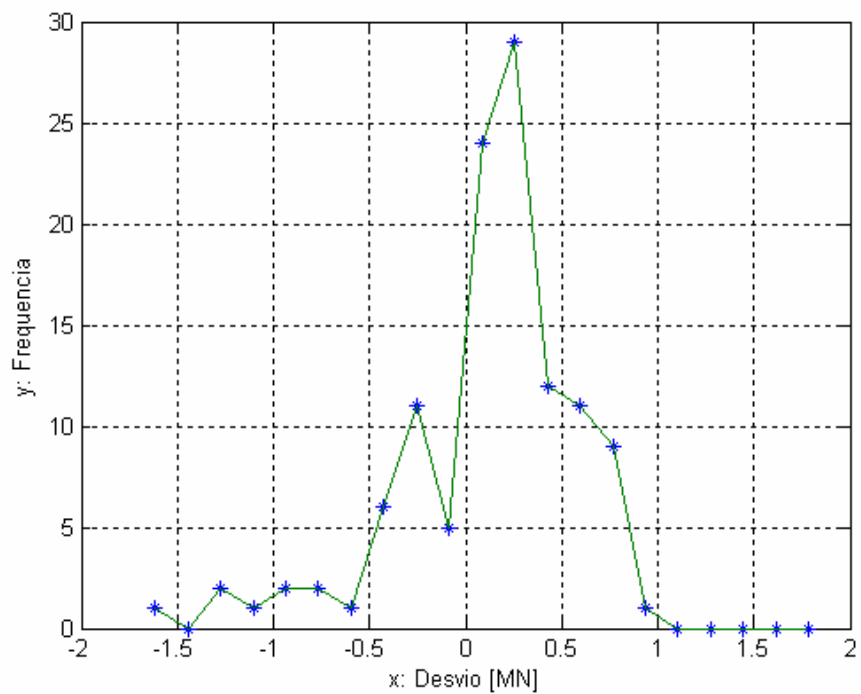


Figura 8 – Polígono de Frequência considerando 20 intervalos de classe.

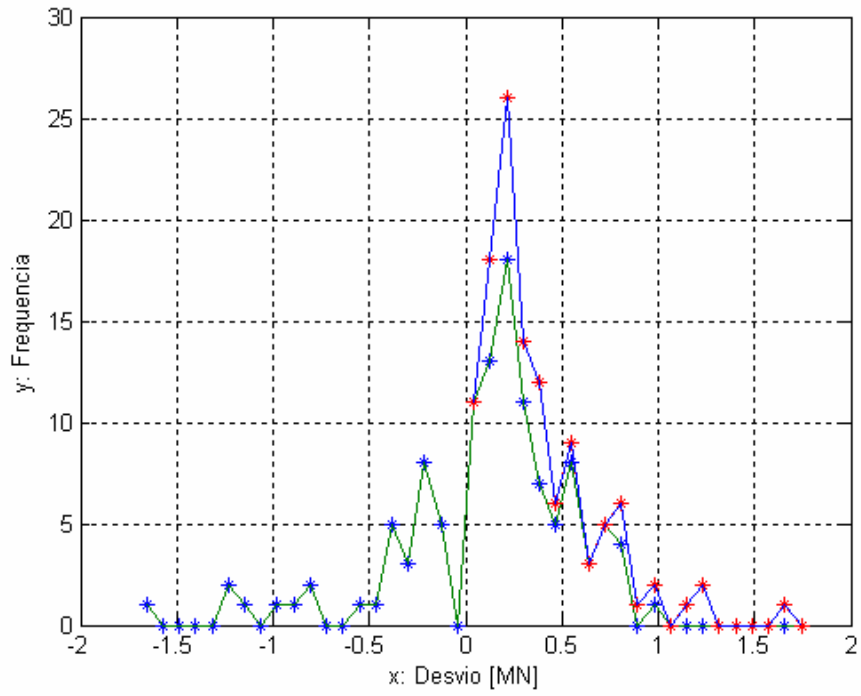


Figura 8 – Pol. Freq. dos desvios Relat. e Absols.(Azul-Pontos Vermelhos) –40 Classes

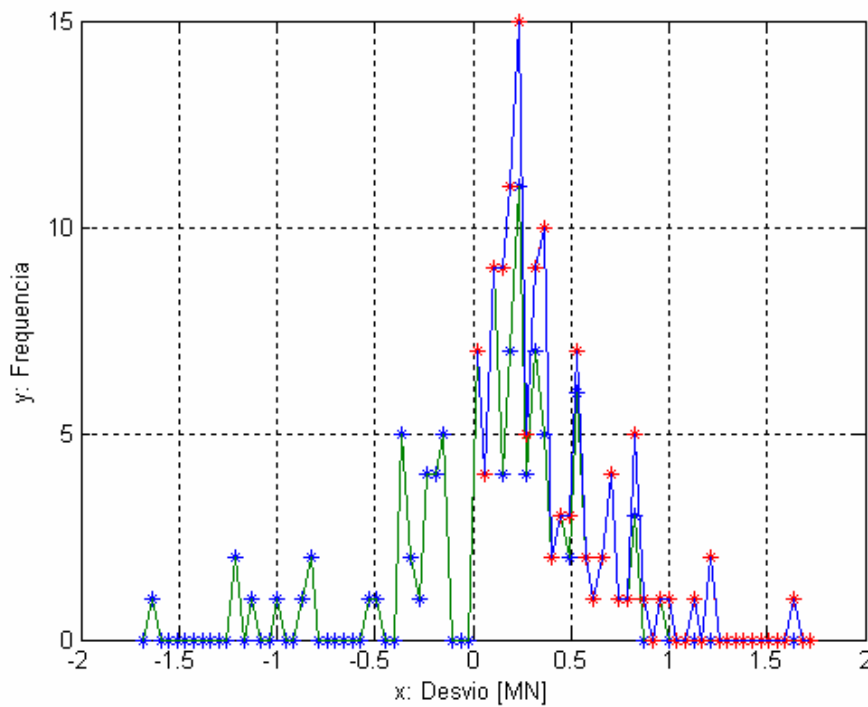


Figura 9 – Pol. Freq. dos Desvios Relat. e Absols.(Azul-Pontos Vermelhos) –80 Classes

6.0 HISTOGRAMA FINAL

17 Após análise de todas as planilhas de todos os vôos considerados na região nas aerovias específicas, a seguinte tabela é construída:

Tabela 2 – Desvios Laterais das Rotas Autorizadas por Nível de Vôo
(Desvios em MN)

Desvios(MN)	Ponto Médio	Níveis de Vôo Autorizado							
		290	310	330	350	370	390	410	Total
A/C	-	2	3	2	3	3	3	2	18
-2.66 a -2.34	-2.50	0	0	0	0	0	0	0	0
-2.34 a -2.03	-2.19	0	0	2	0	0	0	0	2
-2.03 a -1.72	-1.88	0	20	3	1	7	13	0	44
-1.72 a -1.41	-1.56	0	37	6	1	3	4	2	53
-1.41 a -1.09	-1.25	0	12	10	9	5	4	2	42
-1.09 a -0.78	-0.94	0	15	16	5	9	15	13	73
-0.78 a -0.47	-0.63	1	53	23	9	39	9	105	239
-0.47 a -0.16	-0.31	36	26	70	87	39	51	193	502
-0.16 a 0.16	0.00	23	35	97	153	34	31	173	546
0.16 a 0.47	0.31	4	36	83	144	57	109	208	641
0.47 a 0.78	0.63	1	68	16	27	27	40	48	227
0.78 a 1.09	0.94	0	30	9	16	21	13	27	116
1.09 a 1.41	1.25	0	19	6	4	3	2	4	38
1.41 a 1.72	1.56	0	26	6	1	2	3	0	38
1.72 a 2.03	1.88	0	4	7	0	2	9	1	23
2.03 a 2.34	2.19	0	0	3	0	0	0	0	3
2.34 a 2.66	2.50	0	0	3	0	0	0	0	3
Total		65	381	360	457	248	303	776	2590

nt = 4142 (numero total de desvios manipulados)

nu = 2590 (numero de desvios utilizados)

pu = 62.530 % (porcentagem de desvios utilizados)

db = 0.007 (media dos desvio)

s = 0.647 (desvio padrão dos desvios)

Tabela 3 - Estatísticas dos Desvios Laterais por Aeronave por Nível de Vôo.

Tipo de A/C	Níveis de Vôo Autorizados								A/C
	290	310	330	350	370	390	410	Total	
	Um* Sig	Um Sig	Um Sig	Um Sig	Um Sig	Um Sig	Um Sig	Um Sig	
A346	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	1
	0.00	0.00	0.68	0.00	0.00	0.00	0.00	0.68	
B737	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.11	0.00	0.11	2
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.47	0.00	0.47	
B735	0.00	0.00	0.00	0.04	0.00	0.00	0.00	0.04	1
	0.00	0.00	0.00	0.42	0.00	0.00	0.00	0.42	
C525	0.00	0.00	0.00	0.00	0.06	0.00	-0.00	0.02	2
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.66	0.00	0.38	0.49	
H25B	0.00	0.12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.12	1
	0.00	0.54	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.54	
F100	0.00	0.00	-0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.04	1
	0.00	0.00	1.11	0.00	0.00	0.00	0.00	1.11	
A320	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.09	0.00	0.00	-0.09	3
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.71	0.00	0.00	0.71	
A319	0.00	0.00	0.00	0.10	0.00	0.00	0.00	0.10	1
	0.00	0.00	0.00	0.42	0.00	0.00	0.00	0.42	
A332	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.03	-0.03	1
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.47	0.47	
B733	-0.29	-0.11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.13	2
	0.11	1.16	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.09	
B732	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
MD11	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.02	0.00	-0.01	2
	0.20	0.00	0.00	0.00	0.00	1.25	0.00	1.06	
Total	-0.15	-0.03	0.01	0.07	-0.02	0.08	-0.02	0.01	18
	0.27	1.00	0.72	0.43	0.69	0.73	0.44	0.65	

*Um – média; Sig – Desvio Padrão

6.1 Polígono de Frequência Final

18 A Figura 10 apresenta o polígono de frequência dos desvios relativos para todas as aeronaves rastreadas em todos os níveis considerando 17 intervalos de classe de aproximadamente 0,3 MN.

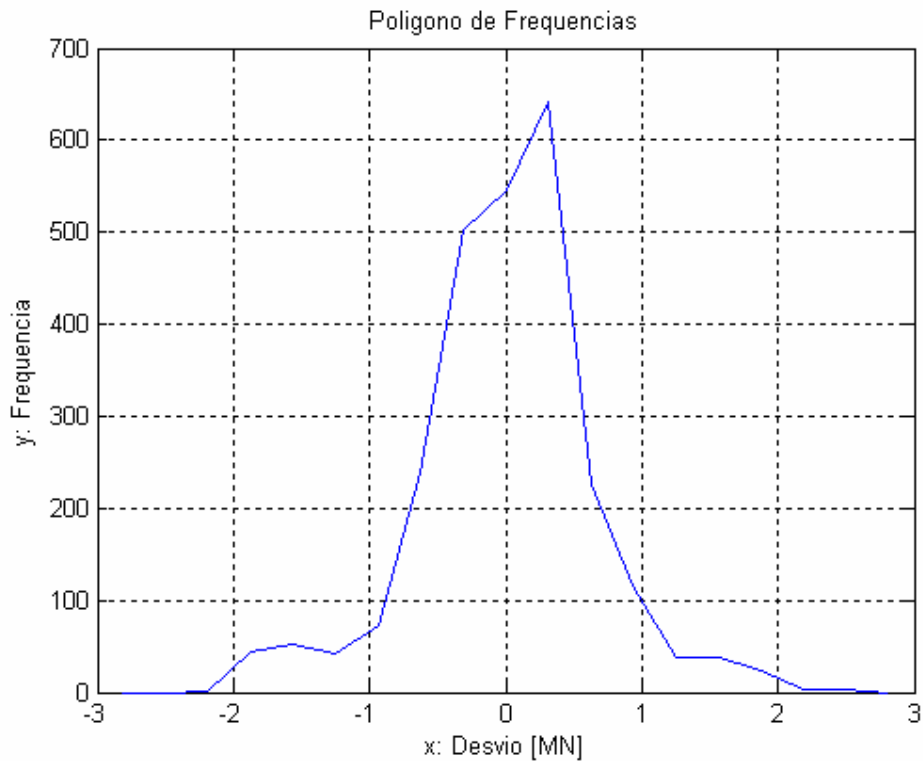


Figura 10 – Pol. Freq. dos Desvios Relat. – 17 Ints. Classe de $\approx 0,31$ MN

6.2 Histograma Final

19 A Figura 11 apresenta o histograma final superpondo-se ao polígono de frequência correspondente, representando todos os trechos de rotas de todas as aerovias contidas na amostra apresentada.

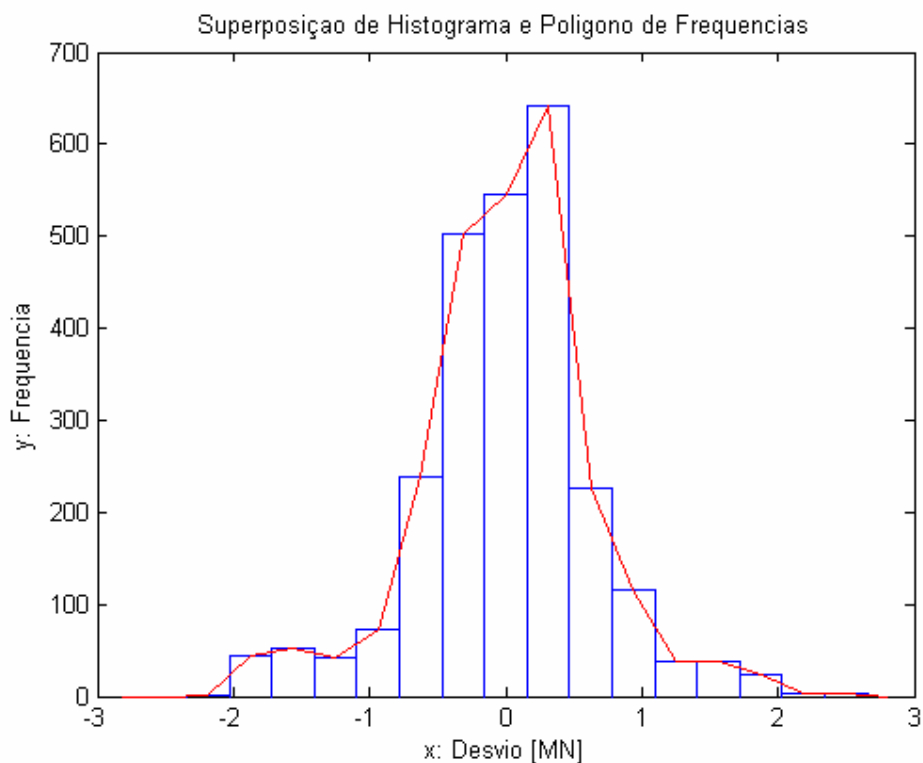


Figura 11 - Superposição do Polígono de Frequências e Histograma Final, com 17 classes.

6.3 CONCLUSÕES

20 O objetivo principal deste trabalho é definir os critérios para análise dos dados sobre desvios laterais. As informações detalhadas retiradas e/ou inferidas das planilhas podem ajudar na identificação das causas dos desvios. As informações para cada aeronave devem ser armazenadas em um banco de dados e os desvios classificados por grupos de tipos de erros e por grupos de tipos de aeronaves.

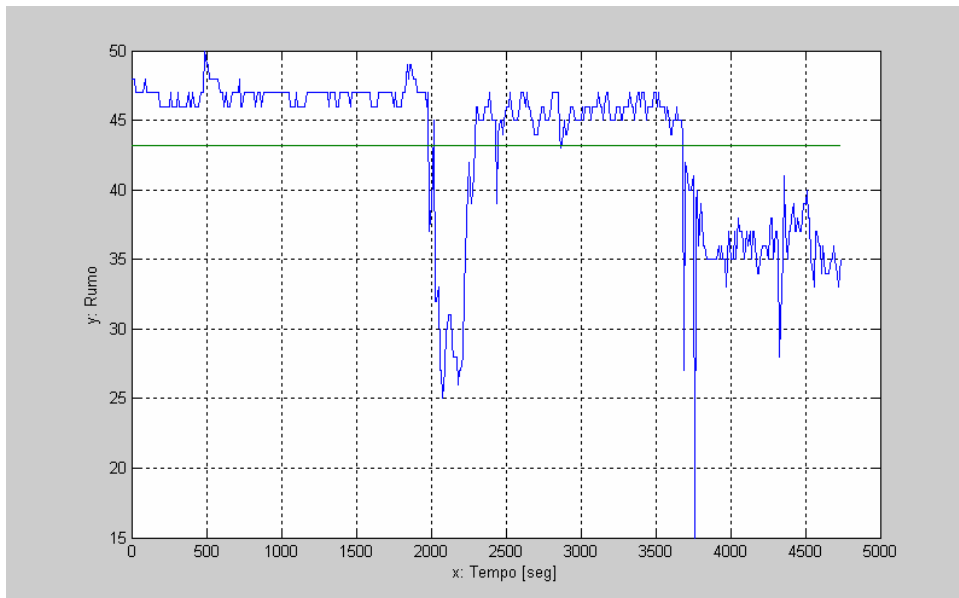
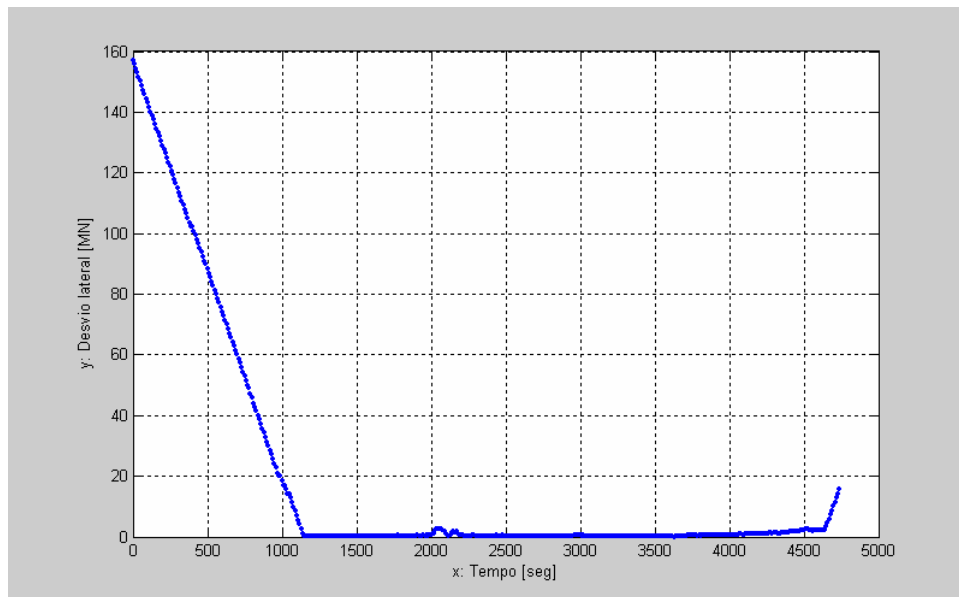
7 REFERÊNCIAS

3. Manual on Implementation of a 300 m (1000 ft) Vertical Separation Minimum Between FL 290 and FL 410 Inclusive, ICAO, Montreal, Doc 9574, 1st edition 1992, 2nd edition 2000.

4. Manual on Required Navigation Performance (RNP), ICAO, DOC 9613-AN/937, Second Edition, 1999.

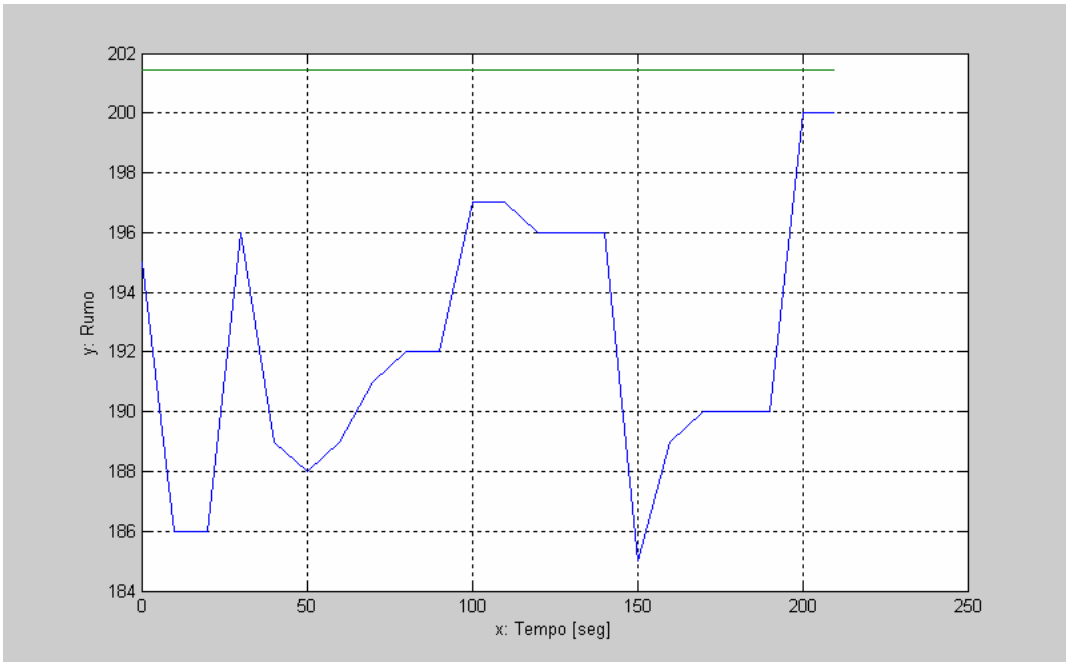
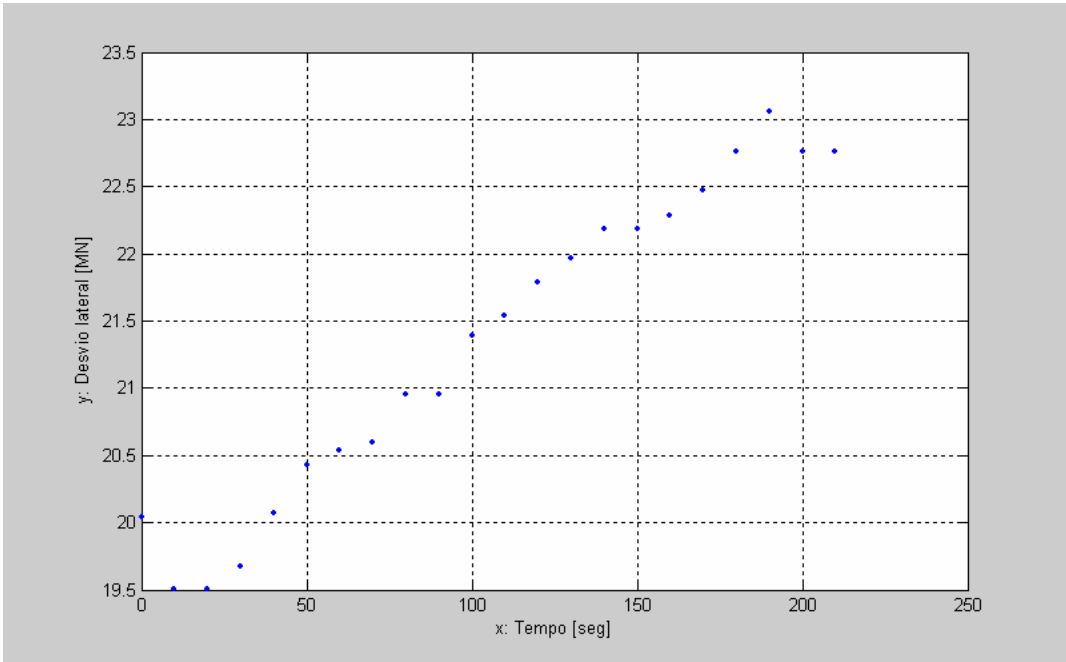
Gráficos de todas as Rotas

Rota: 11/05/2004 DLH527 A346 SAEZ EDDF 330 UA314 ETANO/MRC

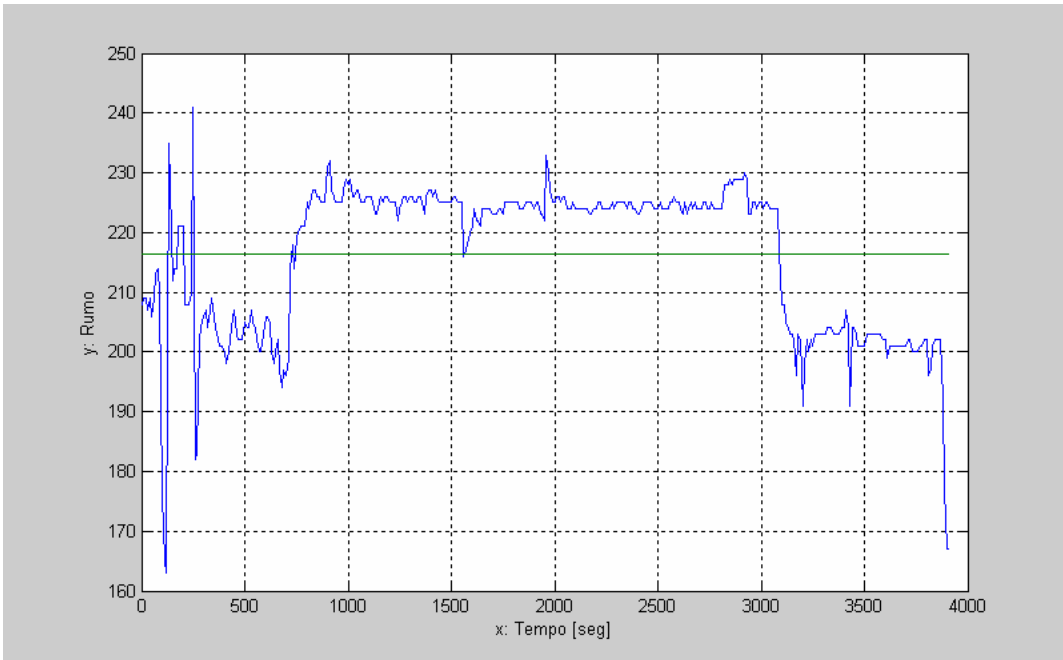
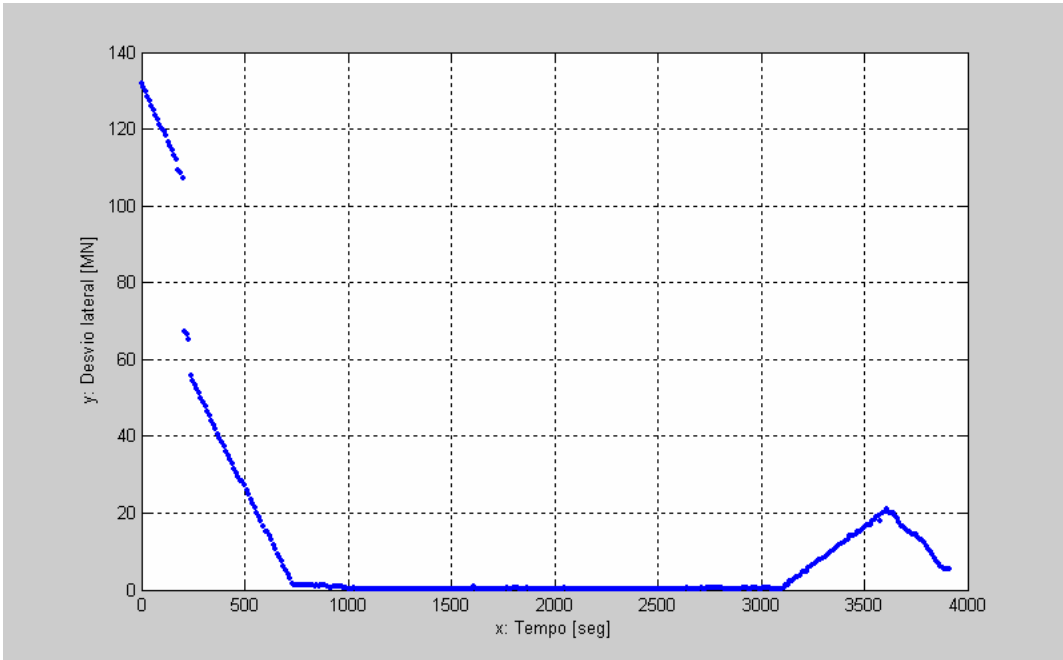


*** Trecho de Rota : MRC/PCX ***

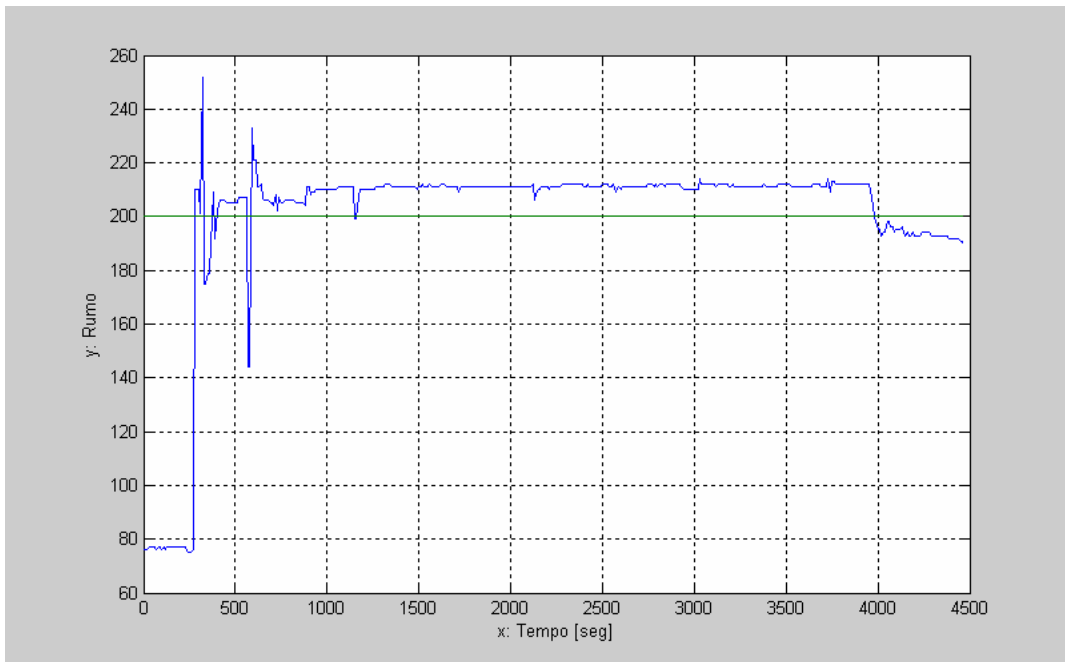
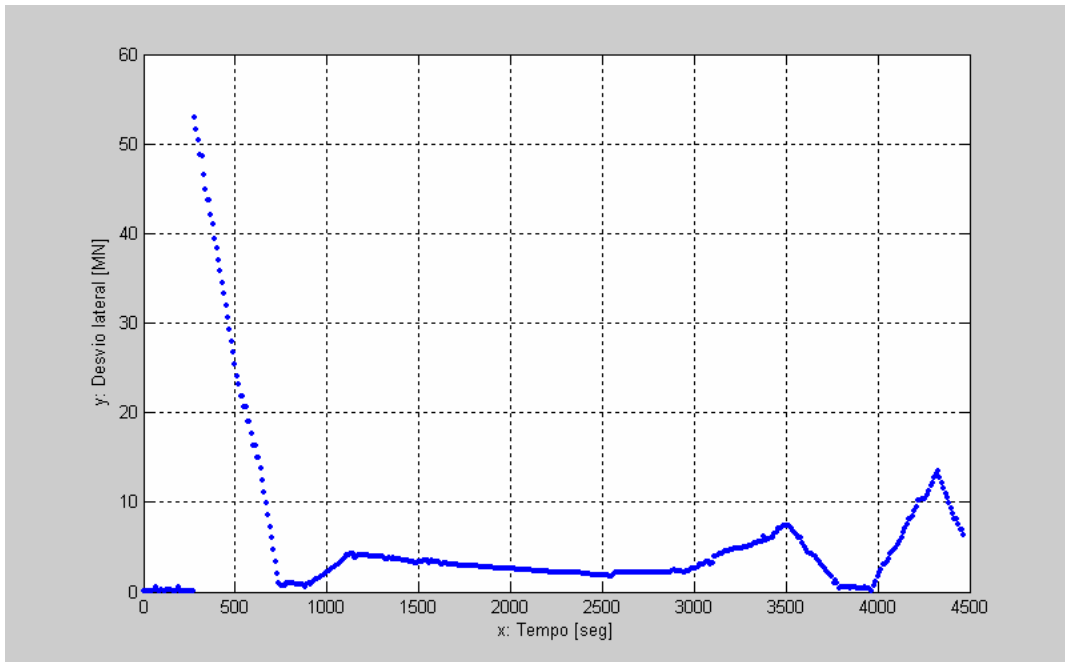
Rota: 11/05/2004 VSP4283 B732 SBTE SBBR 350 UZ5 PAROL/TITO



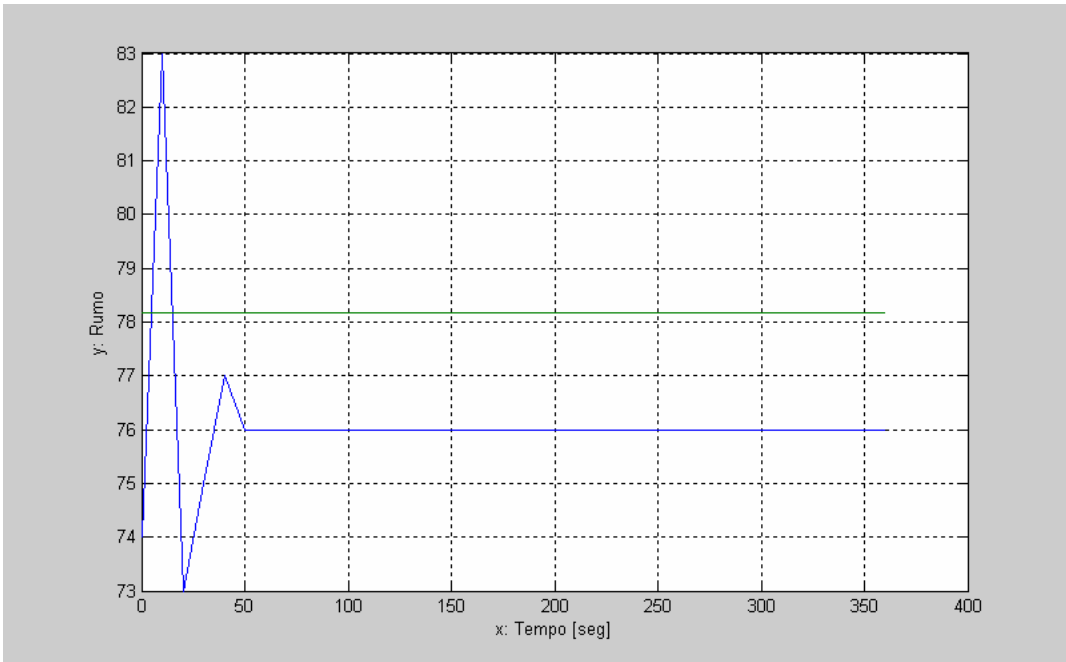
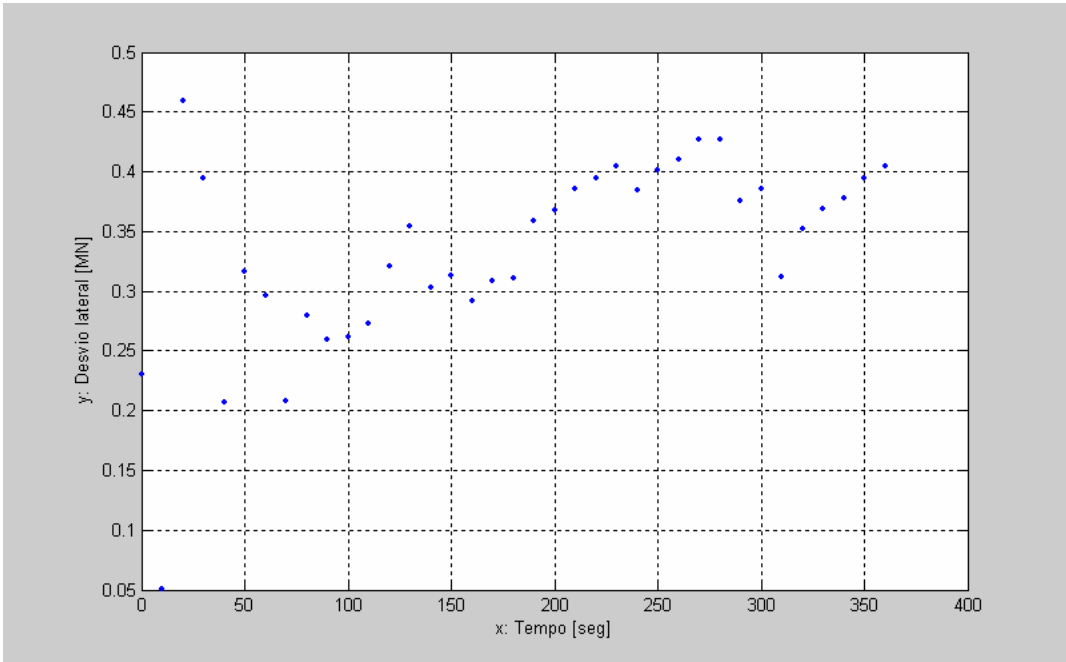
Rota: 13/05/2004 VRG2335 B735 SBSV SBGL 350 UW60 NUQ/RESFO



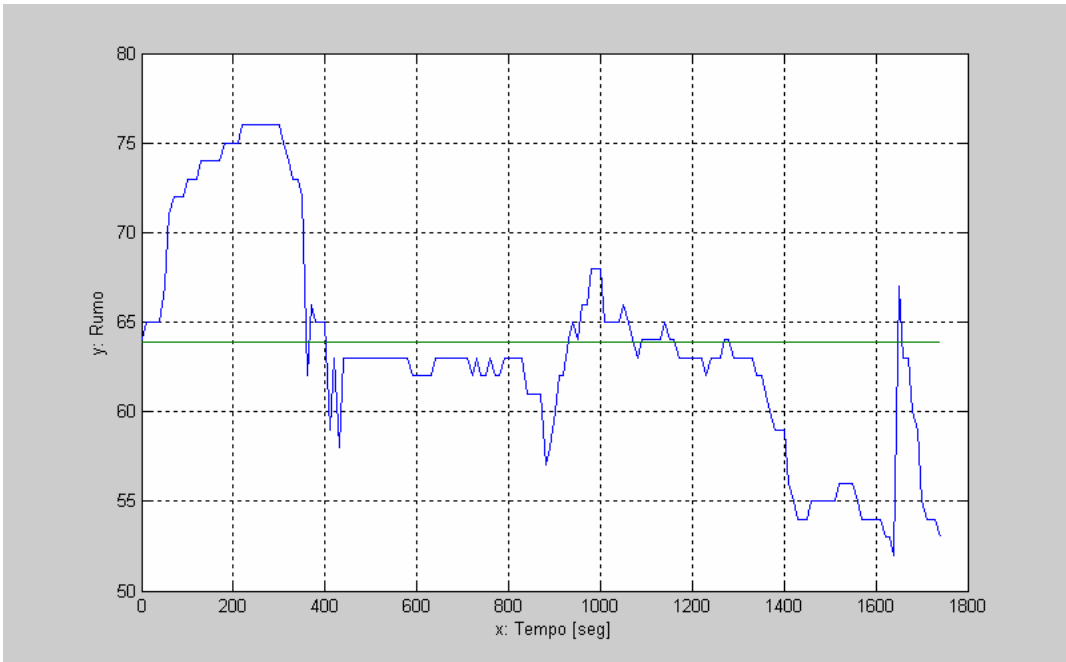
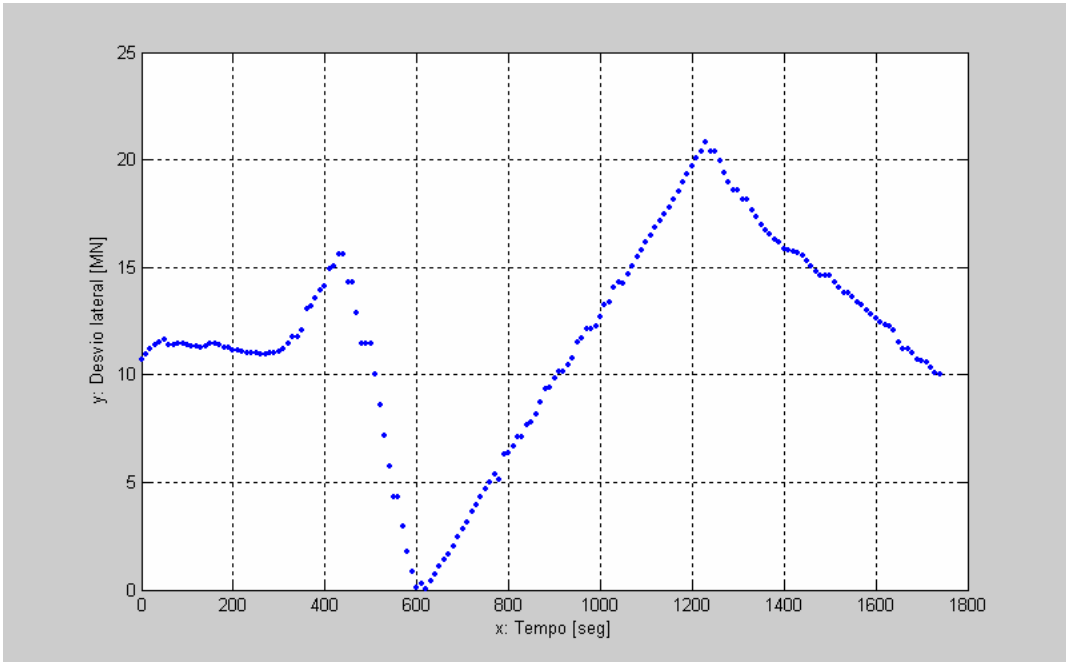
Rota: 13/05/2004 VRG2375 MD11 SBGR SBGL 290 UW62 SJC/PERES



Rota: 13/05/2004 VRG2427 B733 SBSP SBRJ 290 UW63 LOPES/COSME



Rota: 11/05/2004 TAM3134 A320 SBSP SBVT 310 Nao_Registrada LOPES/COSME



APÊNDICE D-IV

ESTIMATIVA PELA MÁXIMA VEROSSIMILHANÇA

Sejam X_1, X_2, \dots, X_n n observações independentes. A função distribuição conjunta das n variáveis aleatórias é dada por:

$$L(X | \theta) = f(x_1 | \theta) f(x_2 | \theta) \cdots f(x_n | \theta) \quad (1)$$

A estimativa do parâmetro θ , pelo método da máxima verossimilhança, será dado pelas raízes de:

$$L'(X | \theta) = \frac{\partial L(X | \theta)}{\partial \theta} = 0 \quad (2)$$

A condição suficiente para que cada um desses valores estacionários sejam um máximo local é

$$L''(X | \theta) < 0. \quad (3)$$

O maior deles é a estimativa de máxima verossimilhança.

Na prática, toma-se o logaritmo de (1)

$$\ln L = \sum_{i=1}^n \ln f(x_i | \theta) \quad \text{e} \quad \frac{\partial}{\partial \theta} \ln L = \frac{L'}{L}, \quad \text{para } L > 0 \quad (4)$$

Procura-se, então, a solução de:

$$(\ln L)' = 0 \quad \text{tal que} \quad (\ln L)'' < 0. \quad (5)$$

(Continua na referência: Pedro Valls – mae 1999 – estimadores de máxima verossimilhança)

APÊNDICE D-V

Estimativa de Parâmetros Populacionais Pelo Método da Máxima Verossimilhança

INTRODUÇÃO

PARÂMETROS DA DISTRIBUIÇÃO NORMAL

Seja uma amostra aleatória tirada de uma população normal: X_1, X_2, \dots, X_n . A função distribuição conjunta das n variáveis aleatórias é dada por:

$$L(\mu, \sigma; X_1, X_2, \dots, X_n) = \prod_{i=1}^n \left[\frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\left(\frac{x_i - \mu}{\sigma\sqrt{2}}\right)^2} \right] \quad (2.1)$$

A função definida em (2.1) é chamada função de verossimilhança da distribuição normal. A melhor estimativa dos parâmetros populacionais é dada no ponto de máximo de (2.1). Isto é obtido pela derivação de (2.1) em relação a cada parâmetro e igualando-se as derivadas a zero. Com isso se obtém duas equações com duas incógnitas. Prova-se que a solução deste sistema fornece a solução correspondente ao máximo da função (2.1) ou seja a solução de máxima verossimilhança.

Entretanto, derivar a Equação (2.1) não é coisa fácil. Por outro lado, o logaritmo natural da função produz outra função cujo máximo coincide com o máximo de (2.1). Então, tomando-se o logaritmo neperiano de (2.1), resulta:

$$\ln[L(\mu, \sigma; X_1, X_2, \dots, X_n)] = \sum_{i=1}^n \ln \left[\frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\left(\frac{x_i - \mu}{\sigma\sqrt{2}}\right)^2} \right] \quad (2.2)$$

Usando as propriedades do logaritmo, a Equação (2.2) pode ser escrita:

$$\ln[L(\mu, \sigma; X_1, X_2, \dots, X_n)] = \quad (2.3)$$

$$= \sum_{i=1}^n [\ln(1) - \ln \sigma - \ln(\sqrt{2\pi}) - \frac{(x_i - \mu)^2}{2\sigma^2}] = -n \ln \sigma - n \ln(\sqrt{2\pi}) - \frac{1}{2\sigma^2} \sum_{i=1}^n (x_i - \mu)^2$$

Derivando-se (2.3) em relação a μ , resulta:

$$\frac{\partial \ln L}{\partial \mu} = -\frac{1}{2\sigma^2} \sum_{i=1}^n 2[x_i - \mu](-1) = 0 \Rightarrow \mu = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (2.4)$$

Derivando-se (2.3) em relação a σ , resulta:

$$\frac{\partial \ln L}{\partial \sigma} = -\frac{n}{\sigma} - \frac{(-2)}{2\sigma^3} \sum_{i=1}^n [x_i - \mu]^2 = 0 \Rightarrow \sigma^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [x_i - \mu]^2 \quad (2.5)$$

A solução simultânea das equações não lineares (2.4), e (2.5) fornecem os parâmetros populacionais estimados pelo método da verossimilhança.

PARÂMETROS DA DISTRIBUIÇÃO DUPLA EXPONENCIAL

Seja uma amostra aleatória tirada de uma população com distribuição Dupla Exponencial: X_1, X_2, \dots, X_n . A função distribuição conjunta das n variáveis aleatórias é dada por:

$$L(\alpha, \beta; X_1, X_2, \dots, X_n) = \prod_{i=1}^n \left[\frac{1}{2\beta} e^{-\left(\frac{|x_i - \alpha|}{\beta}\right)} \right] = \left(\frac{1}{2\beta} \right)^n e^{-\sum_{i=1}^n \frac{|x_i - \alpha|}{\beta}} \quad (3.1)$$

A função definida em (1) é chamada função de verossimilhança da distribuição dupla exponencial. A melhor estimativa dos parâmetros populacionais é dada no ponto de máximo de (1). Isto é obtido pela derivação de (1) em relação a cada parâmetro e igualando-se as derivadas a zero. Com isso se obtém duas equações com duas incógnitas. Prova-se que a solução deste sistema fornece a solução correspondente ao máximo da função (1) ou seja a solução de máxima verossimilhança.

Entretanto, derivar a Equação (1) não é coisa fácil. Por outro lado, o logaritmo natural da função produz outra função cujo máximo coincide com o máximo de (3.1). Então, tomando-se o logaritmo neperiano de (1), resulta:

$$\ln[L(\alpha, \beta; X_1, X_2, \dots, X_n)] = -n \ln(2\beta) - \frac{1}{\beta} \sum_{i=1}^n |x_i - \alpha| \quad (3.2)$$

Por inspeção, a função (3.2) tem seu máximo para $\sum_{i=1}^n |x_i - \alpha|$ mínimo. E isto pode ser provado que ocorre quando $\alpha = \tilde{x}$ ou seja quando α for igual a mediana da amostra.

O máximo de (3.2) em relação a β é obtido derivando-se esta função em relação a β e igualando-se a zero.

$$\frac{\partial \ln L}{\partial \beta} = -n \frac{2}{2\beta} + \frac{1}{\beta^2} \sum_{i=1}^n |x_i - \alpha| = 0 \Rightarrow \beta = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |x_i - \alpha| = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |x_i - \tilde{x}| \quad (3.3)$$

A Equação (3.3) e $\alpha = \tilde{x}$ fornecem os parâmetros populacionais estimados pelo método da verossimilhança.

PARÂMETROS DA DISTRIBUIÇÃO MISTA NORMAL-DUPLA EXPONENCIAL

Seja uma amostra aleatória tirada de uma população gaussiana dupla exponencial: X_1, X_2, \dots, X_n . A função distribuição conjunta das n variáveis aleatórias é dada por:

$$L(\alpha, \sigma, a; X_1, X_2, \dots, X_n) = \prod_{i=1}^n \left[\frac{(1-\alpha)}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\left(\frac{x_i}{\sigma\sqrt{2}}\right)^2} + \frac{\alpha}{2a} e^{-\left(\frac{|x_i|}{a}\right)} \right] \quad (4.1)$$

A função definida em (4.1) é chamada função de verossimilhança da distribuição mista Gaussiana Dupla Exponencial. A melhor estimativa dos parâmetros populacionais é dada no ponto de máximo de (4.1). Isto é obtido pela derivação de (4.1) em relação a cada parâmetro e igualando-se as derivadas a zero. Com isso se obtém três equações com três incógnitas. Prova-se que a solução deste sistema fornece a solução correspondente ao máximo da função (4.1) ou seja a solução de máxima verossimilhança.

Entretanto, derivar a Equação (1) não é coisa fácil. Por outro lado, o logaritmo natural da função produz outra função cujo máximo coincide com o máximo de (4.1). Então, tomando-se o logaritmo neperiano de (4.1), resulta:

$$\ln[L(\alpha, \sigma, a; X_1, X_2, \dots, X_n)] = \sum_{i=1}^n \ln \left[\frac{(1-\alpha)}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\left(\frac{x_i}{\sigma\sqrt{2}}\right)^2} + \frac{\alpha}{2a} e^{-\left(\frac{|x_i|}{a}\right)} \right] \quad (4.2)$$

Derivando-se (4.2) em relação a α , a σ e a a resulta:

$$\frac{\partial \ln L}{\partial \alpha} = \sum_{i=1}^n \frac{\frac{-1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\left(\frac{x_i}{\sigma\sqrt{2}}\right)^2} + \frac{1}{2a} e^{-\left(\frac{|x_i|}{a}\right)}}{\frac{(1-\alpha)}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\left(\frac{x_i}{\sigma\sqrt{2}}\right)^2} + \frac{\alpha}{2a} e^{-\left(\frac{|x_i|}{a}\right)}} \quad (4.3)$$

$$\frac{\partial \ln L}{\partial \sigma} = \sum_{i=1}^n \frac{\frac{-(1-\alpha)}{\sigma^2\sqrt{2\pi}} e^{-\left(\frac{x_i}{\sigma\sqrt{2}}\right)^2} + \frac{(1-\alpha)}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\left(\frac{x_i}{\sigma\sqrt{2}}\right)^2} \times \frac{2x_i^2}{2\sigma^3}}{\frac{(1-\alpha)}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\left(\frac{x_i}{\sigma\sqrt{2}}\right)^2} + \frac{\alpha}{2a} e^{-\left(\frac{|x_i|}{a}\right)}} \quad (4.4)$$

$$\frac{\partial \ln L}{\partial a} = \sum_{i=1}^n \frac{\frac{-\alpha}{2a^2} e^{-\left(\frac{|x_i|}{a}\right)} + \frac{\alpha}{2a} e^{-\left(\frac{|x_i|}{a}\right)} \times \frac{|x_i|}{a^2}}{\frac{(1-\alpha)}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\left(\frac{x_i}{\sigma\sqrt{2}}\right)^2} + \frac{\alpha}{2a} e^{-\left(\frac{|x_i|}{a}\right)}} \quad (4.5)$$

Igualando-se as Equações (4.3), (4.4) e (4.5) a zero, após alguma manipulação algébrica resulta, respectivamente:

$$\alpha = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{e^{-\left(\frac{|x_i|}{a}\right)}}{\frac{(1-\alpha)2a}{\alpha\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\left(\frac{x_i}{\sigma\sqrt{2}}\right)^2} + e^{-\left(\frac{|x_i|}{a}\right)}}}{\sum_{i=1}^n \frac{e^{-\left(\frac{x_i}{\sigma\sqrt{2}}\right)^2}}{(1-\alpha)e^{-\left(\frac{x_i}{\sigma\sqrt{2}}\right)^2} + \frac{\alpha\sigma\sqrt{2\pi}}{2a} e^{-\left(\frac{|x_i|}{a}\right)}}} \quad (4.6)$$

$$\sigma = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{x_i^2 e^{-\left(\frac{x_i}{\sigma\sqrt{2}}\right)^2}}{(1-\alpha)e^{-\left(\frac{x_i}{\sigma\sqrt{2}}\right)^2} + \frac{\alpha\sigma\sqrt{2\pi}}{2a} e^{-\left(\frac{|x_i|}{a}\right)}}{2a}}{\sum_{i=1}^n \frac{e^{-\left(\frac{x_i}{\sigma\sqrt{2}}\right)^2}}{\frac{(1-\alpha)}{\sigma} e^{-\left(\frac{x_i}{\sigma\sqrt{2}}\right)^2} + \frac{\alpha\sqrt{2\pi}}{2a} e^{-\left(\frac{|x_i|}{a}\right)}}} \quad (4.7)$$

$$a = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{|x_i| e^{-\left(\frac{|x_i|}{a}\right)}}{\frac{(1-\alpha)}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\left(\frac{x_i}{\sigma\sqrt{2}}\right)^2} + \frac{\alpha}{2a} e^{-\left(\frac{|x_i|}{a}\right)}}}{\sum_{i=1}^n \frac{e^{-\left(\frac{|x_i|}{a}\right)}}{\frac{(1-\alpha)}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\left(\frac{x_i}{\sigma\sqrt{2}}\right)^2} + \frac{\alpha}{2a} e^{-\left(\frac{|x_i|}{a}\right)}}} \quad (4.8)$$

A solução simultânea das Equações não lineares (4.6), (4.7) e (4.8) fornecem os parâmetros populacionais estimados pelo método da verossimilhança.

APÊNDICE E

Ajustes dos Dados AAD para Região CAR/SAM

21/10/2004

Resumo

Este documento registra os resultados do Ajuste dos dados AAD por distribuições DE e DDE através do Método da Máxima Verossimilhança. Os dados considerados aqui são os dados recebidos: DALEAUG1, DALEAUG2, DALEAUG3 reunidos em 2001 classes. No final está também o ajuste DDE para os desvios TCAS.

Tempo total usado foi: (29023.63085938 horas/mês – Car/sam9) $1,25382085 \times 10^9$ segundos no ano.

I. Cálculo dos parâmetros da Distribuição dos Desvios AAD de 2004, via ajuste pelo Método da Máxima Verossimilhança.

1. Distribuição de AAD considerada nesta seção é a distribuição Dupla Exponencial com média zero, DE:

$$f_{DE}^{AAD}(z) = \frac{e^{-\left(\frac{|z|}{a_1}\right)}}{2a_1} \quad (1)$$

O parâmetro a_1 para a Equação (1), foi obtido usando o programa MLE, os dados sem grandes desvios e o resultado foi:

$$a_1 = 6,9432150$$

2. Distribuição de AAD considerada nesta seção é a distribuição Dupla Exponencial Dupla, DDE:

$$f_2^{AAD}(z) = (1 - \alpha) f_{DE1}^{AAD}(z) + \alpha f_{DE2}^{AAD}(z) \quad (2)$$

Onde,

$$f_{DE1}^{AAD}(z) = \frac{e^{-\left(\frac{|z|}{a_1}\right)}}{2a_1}, \quad f_{DE2}^{AAD}(z) = \frac{e^{-\left(\frac{|z|}{a_2}\right)}}{2a_2} \quad \text{e} \quad \alpha = \frac{\sum_{i=1}^n t_i}{T}$$

Tabela 1 Grandes desvios AAD na Região CAR/SAM.

data	hora	Tipo acft	AWY	Local LHD	FL	LHD	tempo min	temp o seg	causa	info	FIR	State
01/01/04	09:42	F5	UA302	2758S/04848W	330	-400	-	90	não info(H)	nil	SBCW	SB
01/01/04	09:42	F5	UA302	2758S/04848W	330	300	-	90	não info(H)	nil	SBCW	SB
01/01/04	10:51	-	SBLO-SWKC	-	-	300	-	90	não info(E)	nil	SBCW	SB
01/01/04	10:51	-	SBLO-SWKC	-	390	500	-	90	não info(E)	nil	SBCW	SB
01/01/04	11:47	-	SBBH-SBPA	2401S/04738W	350	300	-	90	não info(E)	nil	SBCW	SB
-	19:56	HS25A	SP DCT CAKE	270827S/	310	-900	-	90	turbulência(D)	nil	SBCW	SB
03/02/04	21:59	FA20	UW13	VGH	330	400	7	-	não info(E)	Modo C	SBBS	SB
03/02/04	21:30	HS25A	UW5	MORLU	350	300	-	90	não info(E)	Modo C	SBCW	SB
05/02/04	17:20	C550	UW6	CTB	290	-300	12	-	ind. falsa altitude(E)	nil	SBCW	SB
16/02/04	21:32	-	UA314	ACJ	390	-500	2	-	não info(E)	Modo C	SBRE	SB
17/02/04	19:17	-	UW10	RDL270 MCO 106NM	350	300	4	-	não info(E)	Modo C	SBRE	SB
17/02/04	19:20	-	UW10	TROVA	370	300	1	30	não info(E)	Modo C	SBRE	SB
17/02/04	19:30	-	UB678	MACAO	350	-300	1	-	não info(E)	Modo C	SBBS	SB
17/02/04	21:40	-	UB678	CISKO	350	-300	5	-	não info(E)	Modo C	SBRE	SB
18/02/04	00:19	HS25A	UA314	RIQUE	330	300	6	-	não info(E)	Modo C	SBBS	SB
18/02/04	13:35	B722	UZ7	RDL225 FLZ 114NM	310	-500	55	-	não info(H)	Modo C	SBRE	SB
18/02/04	-	-	UW24	CTB	350	-500	-	90	falha radar(E)	nil	SBCW	SB
20/02/04	23:43	-	-	TAIS	350	300	-	90	ind. falsa altitude(E)	Modo C	SBBS	SB
21/02/04	13:50	-	UW10	BAG	310	-500	30	-	ind. falsa altitude(E)	Modo C	SBBS	SB
22/02/04	23:00	-	UW55	RDL200 BRS 148NM	310	-500	-	90	ind. falsa altitude(E)	Modo C	SBBS	SB
23/02/04	00:09	EA32	UB50	40NM SSW MITOL	350	-500	-	90	turbulência(D)	Modo C	MHTG	MH
23/02/04	23:00	LR25	-	OMIRO	290	-500	-	90	turbulência(D)	Modo C	MHTG	MH
24/02/-4	18:32	C650	UB678	SAGAZ	390	500	4	-	não info(E)	Modo C	SBBS	SB
-	18:42	C650	UTA	210212S/0453508W	350	300	6	-	ind. falsa altitude(E)	Modo C	SBBS	SB
01/03/04	10:56	C525	UB678	ASALA	390	400	2	-	desconhecido(E)	Modo C	SBRE	SB
03/03/04	13:50	-	UW9	NEFAR	330	-300	2	-	não info(E)	Modo C	SBBS	SB
13/03/04	07:00	B742	UL206	0712S03128W	330	500	1	30	desconhecido(E)	Modo C	SBRE	SB
16/03/04	13:55	-	UZ6	131837S/0501654W	330	400	-	90	desconhecido(E)	Modo C	SBBS	SB

22/03/04	13:35	-	URG/DCT/FNP	2755S/05230W	330	500	-	90	não info(E)	nil	SBCW	SB
22/03/04	22:50	C525	POR/RDE	262943S/0483608W	410	500	1	30	não info(E)	nil	SBCW	SB
23/03/04	19:47	HS25B	UA315	OTAGA	310	300	2	-	desconhecido(E)	Modo C	SBBS	SB
25/03/04	15:25	C525	UB678	LIBRA	330	300	7	-	desconhecido(E)	Modo C	SBRE	SB
25/03/04	20:20	HS25B	UW55	175444S/0480309W	330	400	-	90	desconhecido(E)	Modo C	SBBS	SB
29/03/04	19:57	LR35	UA314	IRUCE	390	500	5	-	desconhecido(E)	Modo C	SBBS	SB
30/03/04	02:25	B732	UA317	KUNOS	310	500	25	-	(E)	-	SBBS	SB
-	04:06	B703	UTA	QUILT	330	300	6	-	desconhecido(E)	Modo C	SBBS	SB
08/04/04		M326	UA317	ACNEL	290	-400	-	90	não info(E)	Modo C	SBBS	SB
15/04/04	11:05	HS25A	UA312	MONTE	330	400	-	90	não info(E)	Modo C	SBBS	SB
18/04/04	11:50	F5	UA302	2639S/04722W	290	700	10	-	acft s/pil autom.(E)	nil	SBCW	SB
19/04/04	15:30	BE30	-	115 NM S SELEK	310	300	-	90	não info(E)	nil	MHTG	MH
01/05/04		-	UA302	FNP	350	400	30	-	não info(E)	nil	SBCW	SB
-	17:28	-	UA309	POR	350	500	11	-	acft s/sist. aut. Nav(E)	nil	SBCW	SB
08/05/04	12:15	B737	UW10	BOLAS	350	400	5	-	não info(E)	Modo C	SBRE	SB
08/05/04	13:50	B763	UL780	-	330	-300	1	30	falha equip/(E)	nil	SPIM	SP
13/05/04	23:30	B737	UZ5	NELSO	310	-1000	1	30	falha SSR(E)	Modo C	SBRE	SB
14/05/04	20:28	HS25A	UA312	CREPI	310	300	8		não info(E)	Modo C	SBRE	SB
16/05/04	20:03	TU54	UB767	PZA	290	300	40	-	turbulência(D)	Modo C	MHTG	MH
18/05/04	23:21	B732	UZ5	NELSO	350	400	-	90	não info(E)	Modo C	SBRE	SB
19/05/04	21:03	HS25A	UW13	BHZ	330	500	3	-	não info(E)	Modo C	SBRE	SB
21/05/04	22:00	C130	-	-	310	400	60	-	falta calibração(H)	Modo C	SBCW	SB
-	07:44	-	UB678	CNF	350/370	-300	24	-	não info(E)	Modo C	SBBS	SB
24/05/04	10:55	B757	UA317	TUKOR	350	-500	27	-	turbulência(D)	Modo C	MHTG	MH
06/06/04	01:34	B727	UG436	34NM W ANAPO	390	-400	-	90	turbulência(D)	Modo C	MHTG	MH
06/06/04	14:00	YK42	UR630	BISTO	290	300	32	-	turbulência(D)	Modo C	MHTG	MH
12/06/04	20:43	B757	UR644	ROATAN	310	500	-	90	turbulência(D)	Modo C	MHTG	MH
16/06/04	01:03	-	UW61	CTB	330	-400	-	90	desconhecida(E)	Modo C	SBCW	SB
16/06/04	21:00	B737	-	20NM N CAT	370	-600	26	-	turbulência(D)	Modo C	MHTG	MH
17/06/04	03:43	B737	UA317	RADON	350	300	13	-	turbulência(D)	Modo C	MHTG	MH
25/06/04	17:30	-	-	ORH	350	300	1	30	defeito (E)	Modo C	SBCW	SB

14/07/04	10:27	-	UA302	FNP	350	300	10	-	não info(E)	Modo C	SBCW	SB
16/07/04	13:45	-	UA314	FNP	330	300	5	-	não info(E)	Modo C	SBCW	SB
16/07/04	15:50	-	UA314	FNP	330	-400	10	-	não info(E)	Modo C	SBCW	SB
19/07/04	17:30	LJ25	UA308	CGR	370	-400	20	-	não info(E)	Modo C	SBCW	SB

2.1 Cálculo do parâmetro Alfa (α) para Grandes Desvios somente do NAT (CGDN)

O tempo total de desvios AAD grandes é dado por:

$$T_{DG} = \sum_{i=1}^{64} t_i = 33510 \text{ segundos}$$

O tempo médio por desvio é dado por;

$$\bar{t}_{DG} = \frac{\sum_{i=1}^{64} t_i}{n} = \frac{33510}{64} = 523,59375 \text{ segundos}$$

Considerando-se o tempo dos grandes desvios que vieram junto com os dados e considerando que cada um deles durou um tempo igual ao tempo médio dos desvios grandes da região CAR/SAM, o tempo total de desvios grandes de AAD será obtido por:

$$\sum_{i=1}^{17} t_i = 17\bar{t} = 8901,09375 \text{ segundos}$$

Assim, usando o tempo total de vôo da região CAR/SAM, obtido dos dados da amostra de Junho/Julho de 2004, que foi (29023.63085938 horas/mês – Car/sam9) $1,25382085 \times 10^9$ segundos no ano, a estimativa do valor de α será obtida por:

$$\alpha = \frac{\sum_{i=1}^{17} t_i}{T} = \frac{8901,09375}{1,25382085 \times 10^9} = 7,09917509 \times 10^{-6}$$

Os parâmetros a_1 e a_2 para a Equação (2), foram obtidos usando o programa MLE e o resultado foi:

$$a_1 = 0,159930225943$$

$$a_2 = 48,91094886741$$

2.2 Cálculo do parâmetro Alfa (α) para Grandes Desvios somente da CAR/SAM (CGDS)

$$\alpha = \frac{\sum_{i=1}^{64} t_i}{T} = \frac{33510}{1,25382085 \times 10^9} = 2,67263062 \times 10^{-5}$$

Os parâmetros a_1 e a_2 para a Equação (2), foram obtidos usando o programa MLE e o resultado foi:

$$a_1 = 0,141783563916$$

$$a_2 = 48,70730839076$$

2.3 Cálculo do parâmetro Alfa (α) para Grandes Desvios do NAT mais os da CAR/SAM (CGDNS)

$$\sum_{i=1}^{81} t_i = T_{DG} + 17\bar{t} = 33510 + 8901,09375 = 4,24110938 \times 10^4 \text{ segundos}$$

Assim, usando o tempo total de vôo na Região CAR/SAM, a estimativa do valor de α será obtida por:

$$\alpha = \frac{\sum_{i=1}^{81} t_i}{T} = \frac{4,24110938 \times 10^4}{1,25382085 \times 10^9} = 3,38254813 \times 10^{-5}$$

Os parâmetros a_1 e a_2 para a Equação (2), foram obtidos usando o programa MLE e o resultado foi:

$$a_1 = 0,141217402218$$

$$a_2 = 48,94721200438$$

- II. Cálculo dos parâmetros da Distribuição dos Desvios TCAS de 2004, via ajuste pelo Método da Máxima Verossimilhança.

II.1 Cálculo do parâmetro Alfa (α) para Grandes Desvios TCAS da Região CAR/SAM (TCAS)

Assim, usando o tempo total de vôo na Região CAR/SAM, a estimativa do valor de α será obtida por (Veja Tabela 2):

$$\alpha = \frac{\sum_{i=1}^5 t_i}{T} = \frac{510.0}{1,25382085 \times 10^9} = 4,06756675 \times 10^{-7}$$

Os parâmetros a_1 e a_2 para a Equação (2), foram obtidos usando o programa MLE e o resultado foi:

$$\alpha = 4,06756675 \times 10^{-7}$$

$$a_1 = 0,197691319029$$

$$a_2 = 51,16288936723$$

Tabela 2 Grandes desvios TCAS na Região CAR/SAM.

data	hora	Tipo acft	AWY	Local LHD	FL	LHD	tempo seg	causa	info	FIR	State
29/08/03	16:37	A343	UL695	090600N/0435200W	350	1000	120	TCAS(F)	piloto	S000	SO
29/08/03	16:37	B737	UL695	090600N/0435200W	350	-1000	120	TCAS(F)	piloto	S000	SO
22/03/04	13:50	B757	UL780	-	310	-300	90	TCAS(F)		SPIM	SP
02/04/04	13:39	B737	UW48	GRE/CRV	290	500	90	TCAS(F)	-	SAVU	AS
08/05/04	14:02	B763	UL780	1416S/07725W	370	-300	90	TCAS(F)		SPIM	SP

APÊNDICE E-I

Ajustes dos Dados AAD para Região CAR/SAM

02/02/2005

Resumo

Este documento registra os resultados do Ajuste dos dados AAD por distribuições DE e DDE através do Método da Máxima Verossimilhança. Os dados considerados aqui são os dados recebidos: DALEAUG1, DALEAUG2, DALEAUG3 reunidos em 2001 classes. No final está também o ajuste DDE para os desvios TCAS.

Tempo total usado foi: (27709.85351562 horas/mês – Carsam7)
 $1,19706567 \times 10^9$ segundos no ano.

- I. Cálculo dos parâmetros da Distribuição dos Desvios AAD de 2004, via ajuste pelo Método da Máxima Verossimilhança.
3. Distribuição de AAD considerada nesta seção é a distribuição Dupla Exponencial com média zero, DE:

$$f_{DE}^{AAD}(z) = \frac{e^{-\left(\frac{|z|}{a_1}\right)}}{2a_1} \quad (1)$$

O parâmetro a_1 para a Equação (1), foi obtido usando o programa MLE, os dados sem grandes desvios e o resultado foi:

$$a_1 = 6,9432150$$

4. Distribuição de AAD considerada nesta seção é a distribuição Dupla Exponencial Dupla, DDE:

$$f_2^{AAD}(z) = (1 - \alpha) f_{DE1}^{AAD}(z) + \alpha f_{DE2}^{AAD}(z) \quad (2)$$

Onde,

$$f_{DE1}^{AAD}(z) = \frac{e^{-\left(\frac{|z|}{a_1}\right)}}{2a_1}, \quad f_{DE2}^{AAD}(z) = \frac{e^{-\left(\frac{|z|}{a_2}\right)}}{2a_2} \quad \text{e} \quad \alpha = \frac{\sum_{i=1}^n t_i}{T}$$

Tabela 1 Grandes desvios AAD na Região CARSAM.

data	hora	Tipo acft	AWY	Local LHD	FL	LHD	tempo min	temp o seg	causa	info	FIR	State
01/01/04	09:42	F5	UA302	2758S/04848W	330	-400	-	90	não info(H)	nil	SBCW	SB
01/01/04	09:42	F5	UA302	2758S/04848W	330	300	-	90	não info(H)	nil	SBCW	SB
01/01/04	10:51	-	SBLO-SWKC	-	-	300	-	90	não info(E)	nil	SBCW	SB
01/01/04	10:51	-	SBLO-SWKC	-	390	500	-	90	não info(E)	nil	SBCW	SB
01/01/04	11:47	-	SBBH-SBPA	2401S/04738W	350	300	-	90	não info(E)	nil	SBCW	SB
-	19:56	HS25A	SP DCT CAKE	270827S/	310	-900	-	90	turbulência(D)	nil	SBCW	SB
03/02/04	21:59	FA20	UW13	VGH	330	400	7	-	não info(E)	Modo C	SBBS	SB
03/02/04	21:30	HS25A	UW5	MORLU	350	300	-	90	não info(E)	Modo C	SBCW	SB
05/02/04	17:20	C550	UW6	CTB	290	-300	12	-	ind. falsa altitude(E)	nil	SBCW	SB
16/02/04	21:32	-	UA314	ACJ	390	-500	2	-	não info(E)	Modo C	SBRE	SB
17/02/04	19:17	-	UW10	RDL270 MCO 106NM	350	300	4	-	não info(E)	Modo C	SBRE	SB
17/02/04	19:20	-	UW10	TROVA	370	300	1	30	não info(E)	Modo C	SBRE	SB
17/02/04	19:30	-	UB678	MACAO	350	-300	1	-	não info(E)	Modo C	SBBS	SB
17/02/04	21:40	-	UB678	CISKO	350	-300	5	-	não info(E)	Modo C	SBRE	SB
18/02/04	00:19	HS25A	UA314	RIQUE	330	300	6	-	não info(E)	Modo C	SBBS	SB
18/02/04	13:35	B722	UZ7	RDL225 FLZ 114NM	310	-500	55	-	não info(H)	Modo C	SBRE	SB
18/02/04	-	-	UW24	CTB	350	-500	-	90	falha radar(E)	nil	SBCW	SB
20/02/04	23:43	-	-	TAIS	350	300	-	90	ind. falsa altitude(E)	Modo C	SBBS	SB
21/02/04	13:50	-	UW10	BAG	310	-500	30	-	ind. falsa altitude(E)	Modo C	SBBS	SB
22/02/04	23:00	-	UW55	RDL200 BRS 148NM	310	-500	-	90	ind. falsa altitude(E)	Modo C	SBBS	SB
23/02/04	00:09	EA32	UB50	40NM SSW MITOL	350	-500	-	90	turbulência(D)	Modo C	MHTG	MH
23/02/04	23:00	LR25	-	OMIRO	290	-500	-	90	turbulência(D)	Modo C	MHTG	MH
24/02/-4	18:32	C650	UB678	SAGAZ	390	500	4	-	não info(E)	Modo C	SBBS	SB
-	18:42	C650	UTA	210212S/0453508W	350	300	6	-	ind. falsa altitude(E)	Modo C	SBBS	SB
01/03/04	10:56	C525	UB678	ASALA	390	400	2	-	desconhecido(E)	Modo C	SBRE	SB
03/03/04	13:50	-	UW9	NEFAR	330	-300	2	-	não info(E)	Modo C	SBBS	SB
13/03/04	07:00	B742	UL206	0712S03128W	330	500	1	30	desconhecido(E)	Modo C	SBRE	SB
16/03/04	13:55	-	UZ6	131837S/0501654W	330	400	-	90	desconhecido(E)	Modo C	SBBS	SB

22/03/04	13:35	-	URG/DCT/FNP	2755S/05230W	330	500	-	90	não info(E)	nil	SBCW	SB
22/03/04	22:50	C525	POR/RDE	262943S/0483608W	410	500	1	30	não info(E)	nil	SBCW	SB
23/03/04	19:47	HS25B	UA315	OTAGA	310	300	2	-	desconhecido(E)	Modo C	SBBS	SB
25/03/04	15:25	C525	UB678	LIBRA	330	300	7	-	desconhecido(E)	Modo C	SBRE	SB
25/03/04	20:20	HS25B	UW55	175444S/0480309W	330	400	-	90	desconhecido(E)	Modo C	SBBS	SB
29/03/04	19:57	LR35	UA314	IRUCE	390	500	5	-	desconhecido(E)	Modo C	SBBS	SB
30/03/04	02:25	B732	UA317	KUNOS	310	500	25	-	(E)	-	SBBS	SB
-	04:06	B703	UTA	QUILT	330	300	6	-	desconhecido(E)	Modo C	SBBS	SB
08/04/04		M326	UA317	ACNEL	290	-400	-	90	não info(E)	Modo C	SBBS	SB
15/04/04	11:05	HS25A	UA312	MONTE	330	400	-	90	não info(E)	Modo C	SBBS	SB
18/04/04	11:50	F5	UA302	2639S/04722W	290	700	10	-	acft s/pil autom.(E)	nil	SBCW	SB
19/04/04	15:30	BE30	-	115 NM S SELEK	310	300	-	90	não info(E)	nil	MHTG	MH
01/05/04		-	UA302	FNP	350	400	30	-	não info(E)	nil	SBCW	SB
-	17:28	-	UA309	POR	350	500	11	-	acft s/sist. aut. Nav(E)	nil	SBCW	SB
08/05/04	12:15	B737	UW10	BOLAS	350	400	5	-	não info(E)	Modo C	SBRE	SB
08/05/04	13:50	B763	UL780	-	330	-300	1	30	falha equip/(E)	nil	SPIM	SP
13/05/04	23:30	B737	UZ5	NELSO	310	-1000	1	30	falha SSR(E)	Modo C	SBRE	SB
14/05/04	20:28	HS25A	UA312	CREPI	310	300	8		não info(E)	Modo C	SBRE	SB
16/05/04	20:03	TU54	UB767	PZA	290	300	40	-	turbulência(D)	Modo C	MHTG	MH
18/05/04	23:21	B732	UZ5	NELSO	350	400	-	90	não info(E)	Modo C	SBRE	SB
19/05/04	21:03	HS25A	UW13	BHZ	330	500	3	-	não info(E)	Modo C	SBRE	SB
21/05/04	22:00	C130	-	-	310	400	60	-	falta calibração(H)	Modo C	SBCW	SB
-	07:44	-	UB678	CNF	350/370	-300	24	-	não info(E)	Modo C	SBBS	SB
24/05/04	10:55	B757	UA317	TUKOR	350	-500	27	-	turbulência(D)	Modo C	MHTG	MH
06/06/04	01:34	B727	UG436	34NM W ANAPO	390	-400	-	90	turbulência(D)	Modo C	MHTG	MH
06/06/04	14:00	YK42	UR630	BISTO	290	300	32	-	turbulência(D)	Modo C	MHTG	MH
12/06/04	20:43	B757	UR644	ROATAN	310	500	-	90	turbulência(D)	Modo C	MHTG	MH
16/06/04	01:03	-	UW61	CTB	330	-400	-	90	desconhecida(E)	Modo C	SBCW	SB
16/06/04	21:00	B737	-	20NM N CAT	370	-600	26	-	turbulência(D)	Modo C	MHTG	MH
17/06/04	03:43	B737	UA317	RADON	350	300	13	-	turbulência(D)	Modo C	MHTG	MH
25/06/04	17:30	-	-	ORH	350	300	1	30	defeito (E)	Modo C	SBCW	SB

14/07/04	10:27	-	UA302	FNP	350	300	10	-	não info(E)	Modo C	SBCW	SB
16/07/04	13:45	-	UA314	FNP	330	300	5	-	não info(E)	Modo C	SBCW	SB
16/07/04	15:50	-	UA314	FNP	330	-400	10	-	não info(E)	Modo C	SBCW	SB
19/07/04	17:30	LJ25	UA308	CGR	370	-400	20	-	não info(E)	Modo C	SBCW	SB

2.1 Cálculo do parâmetro Alfa (α) para Grandes Desvios somente do NAT (CGDN)

O tempo total de desvios AAD grandes é dado por:

$$T_{DG} = \sum_{i=1}^{64} t_i = 33510 \text{ segundos}$$

O tempo médio por desvio é dado por;

$$\bar{t}_{DG} = \frac{\sum_{i=1}^{64} t_i}{n} = \frac{33510}{64} = 523,59375 \text{ segundos}$$

Considerando-se o tempo dos grandes desvios que vieram junto com os dados e considerando que cada um deles durou um tempo igual ao tempo médio dos desvios grandes da região CARSAM, o tempo total de desvios grandes de AAD será obtido por:

$$\sum_{i=1}^{17} t_i = 17\bar{t} = 8901,09375 \text{ segundos}$$

Assim, usando o tempo total de vôo da região CARSAM, obtido dos dados da amostra de Junho/Julho de 2004, que foi (27709.85351562 horas/mês – Carsam7) $1,19706567 \times 10^9$ segundos no ano, a estimativa do valor de α será obtida por:

$$\alpha = \frac{\sum_{i=1}^{17} t_i}{T} = \frac{8901,09375}{1,19706567 \times 10^9} = 7,435761 \times 10^{-6}$$

Os parâmetros a_1 e a_2 para a Equação (2), foram obtidos usando o programa MLE e o resultado foi:

$$a_1 = 0,15778276352$$

$$a_2 = 48,77429640843$$

2.2 Cálculo do parâmetro Alfa (α) para Grandes Desvios somente da CARSAM (CGDS)

$$\alpha = \frac{\sum_{i=1}^{64} t_i}{T} = \frac{33510}{1,19706567 \times 10^9} = 2,799345 \times 10^{-5}$$

Os parâmetros a_1 e a_2 para a Equação (2), foram obtidos usando o programa MLE e o resultado foi:

$$a_1 = 0,141662561197$$

$$a_2 = 48,69994905507$$

2.3 Cálculo do parâmetro Alfa (α) para Grandes Desvios do NAT mais os da CARSAM (CGDNS)

$$\sum_{i=1}^{81} t_i = T_{DG} + 17\bar{t} = 33510 + 8901,09375 = 4,24110938 \times 10^4 \text{ segundos}$$

Assim, usando o tempo total de vôo na Região CARSAM, a estimativa do valor de α será obtida por:

$$\alpha = \frac{\sum_{i=1}^{81} t_i}{T} = \frac{4,24110938 \times 10^4}{1,19706567 \times 10^9} = 3,542921 \times 10^{-5}$$

Os parâmetros a_1 e a_2 para a Equação (2), foram obtidos usando o programa MLE e o resultado foi:

$$a_1 = 0,141111886872$$

$$a_2 = 48,94036904145$$

II. Cálculo dos parâmetros da Distribuição dos Desvios TCAS de 2004, via ajuste pelo Método da Máxima Verossimilhança.

II.1 Cálculo do parâmetro Alfa (α) para Grandes Desvios TCAS da Região CARSAM (TCAS)

Assim, usando o tempo total de vôo na Região CARSAM, a estimativa do valor de α será obtida por (Veja Tabela 2):

$$\alpha = \frac{\sum_{i=1}^5 t_i}{T} = \frac{510,0}{1,19706567 \times 10^9} = 4,260418 \times 10^{-7}$$

Os parâmetros a_1 e a_2 para a Equação (2), foram obtidos usando o programa MLE e o resultado foi:

$$\alpha = 4,260418 \times 10^{-7}$$

$$a_1 = 0,196919080361$$

$$a_2 = 51,07488462623$$

Tabela 2 Grandes desvios TCAS na Região CARSAM.

data	hora	Tipo acft	AWY	Local LHD	FL	LHD	tempo seg	causa	info	FIR	State
29/08/03	16:37	A343	UL695	090600N/0435200W	350	1000	120	TCAS(F)	piloto	S000	SO
29/08/03	16:37	B737	UL695	090600N/0435200W	350	-1000	120	TCAS(F)	piloto	S000	SO
22/03/04	13:50	B757	UL780	-	310	-300	90	TCAS(F)		SPIM	SP
02/04/04	13:39	B737	UW48	GRE/CRV	290	500	90	TCAS(F)	-	SAVU	AS
08/05/04	14:02	B763	UL780	1416S/07725W	370	-300	90	TCAS(F)		SPIM	SP

APÊNDICE F

ORGANIZAÇÃO DOS DADOS E PROCEDIMENTOS PARA O CÁLCULO DE ALGUNS PARÂMETROS DO MODELO DE RISCO DE COLISÃO

1-RESUMO

Este apêndice documenta e organiza dados, resultados e procedimentos para o cálculo de uma parte dos parâmetros (dependentes dos dados de vôos coletados) envolvidos na análise de risco pré-implementação e monitoração da RVSM nas regiões CAR/SAM.

A idéia é seguir a trajetória que a aeronave faz ao percorrer o espaço aéreo da FIR. Os pontos de interesse são os fixos de notificação, ver o esquema da Figura F.1.

A Tabela F.1 apresenta alguns resultados obtidos usando a amostra coletada em 2004.

2- PARÂMETROS A SEREM CALCULADOS

Todos os parâmetros listados serão obtidos na seguinte ordem:

- a) em TRECHOS de rotas,
- b) na ROTA (segmento de rota que está dentro da FIR específica),
- c) na FIR, e
- d) na REGIÃO.

2.1 VELOCIDADE MÉDIA (\bar{V})

Dados Necessários para o Cálculo:

- comprimento da rota,
- comprimento dos trechos da rota,
- tempo de entrada na rota, tempo de saída da rota, e
- tempo de entrada no trecho, tempo de saída do trecho.

Obs: neste trabalho a denominação ROTA significa um segmento de aerovia contido em uma FIR, podendo ser a ROTA toda se ela estiver totalmente contida em uma FIR.

Método de Cálculo

Para cada aeronave e cada trecho de rota, calcular Δt_i = tempo gasto para percorrer o comprimento $L^{TRECHO(h)}$ do trecho, em todos os níveis, desde FL 410 até FL 290.

A velocidade média de cada aeronave será calculada pela definição: $V = \frac{S}{\Delta t}$, onde S é o espaço total percorrido e Δt é o tempo total de vôo.

Para o Trecho

$$V^{TRECHO(h)} = \frac{M^{TRECHO(h)} \times L^{TRECHO(h)}}{\sum_{i=1}^{M^{TRECHO(h)}} \Delta t_i} = \frac{M^{TRECHO(h)} \times L^{TRECHO(h)}}{\Delta t^{TRECHO(h)}}, \quad h = 1 \rightarrow H,$$

onde, (h) identifica o trecho, $V^{TRECHO(h)}$ é a velocidade média no trecho, $M^{TRECHO(h)}$ é o número total de aeronaves que percorreu o comprimento $L^{TRECHO(h)}$ do trecho, em todos os níveis analisados, no período de interesse; $\Delta t^{TRECHO(h)}$ é o tempo total de voo no trecho, H é o número total de trechos considerados na rota.

OBS: Normalmente os tempos reportados nas planilhas permitem o cálculo da velocidade das aeronaves em grandes trechos da rota, ou na rota toda. Neste caso, a velocidade da aeronave no trecho analisado deve ser aquela calculada com os dados fornecidos na planilha e pode ser a mesma em todos os trechos da rota.

Para a Rota

$$V^{ROTA(r)} = \frac{\sum_{h=1}^H (V^{TRECHO(h)} \times \Delta t^{TRECHO(h)})}{\sum_{h=1}^H \Delta t^{TRECHO(h)}} = \frac{\sum_{h=1}^H (V^{TRECHO(h)} \times \Delta t^{TRECHO(h)})}{\Delta t^{ROTA(r)}}, \quad r = 1 \rightarrow R,$$

onde, (r) identifica a rota, $V^{ROTA(r)}$ é a velocidade média na rota; $\Delta t^{ROTA(r)}$ é o total de horas de voo na rota; R é o número total de rotas considerado na análise.

OBS: Normalmente os tempos reportados nas planilhas permitem o cálculo da velocidade em grandes trechos da rota, ou na rota toda. Neste caso, a velocidade na rota deve ser aquela calculada com os dados fornecidos na planilha.

Para a FIR

$$V^{FIR(f)} = \frac{\sum_{r=1}^R (V^{ROTA(r)} \times \Delta t^{ROTA(r)})}{\sum_{r=1}^R \Delta t^{ROTA(r)}} = \frac{\sum_{r=1}^R (V^{ROTA(r)} \times \Delta t^{ROTA(r)})}{\Delta t^{FIR(f)}}, \quad f = 1 \rightarrow F$$

onde, (f) identifica a FIR, $V^{FIR(f)}$ é a velocidade média na FIR; $\Delta t^{FIR(f)}$ é o total de horas de voo na FIR, F é o número total de FIR.

Para a Região

$$V^{REGIÃO} = \frac{\sum_{f=1}^F (V^{FIR(f)} \times \Delta t^{FIR(f)})}{\sum_{f=1}^F \Delta t^{FIR(f)}} = \frac{\sum_{f=1}^F (V^{FIR(f)} \times \Delta t^{FIR(f)})}{\Delta t^{REGIÃO}},$$

onde $V^{REGIÃO}$ é a velocidade média na região e $\Delta t^{REGIÃO}$ é o tempo total de vôo na região.

2.2 VELOCIDADE RELATIVA MÉDIA ($|\overline{\Delta V}|$) NO MESMO SENTIDO

Dados Necessários para o Cálculo:

- tempos em pontos fixos dos trechos de interesse.

Método de Cálculo

Método 1. Estabelecer uma janela de tempo proporcional ao tempo de separação, entre aeronaves voando no mesmo nível, usado no trecho de interesse. Pode ser, por exemplo, 1,5 x tempo de separação, ou 15 minutos, etc. Começando, por exemplo, no nível mais alto FL 410, identificar os pares de aeronaves próximos em níveis adjacentes usando a janela de tempo. Para cada par, calcular Δv_i , a velocidade relativa entre cada par identificado. Fazer para todos os níveis, desde FL 410 até, FL 290.

Método 2. Usar os pares identificados na obtenção da frequência de passagem no mesmo sentido para calcular Δv_i , a velocidade relativa entre cada par identificado. Fazer para todos os níveis, desde FL 410 até, FL 290. Este método será usado quando da obtenção da FP.

Os passos seguintes serão feitos para o método 1 e 2. Na análise de risco será usado o maior valor dentre os dois.

Para o Trecho

$$\Delta V^{TRECHO(h)} = \frac{1}{M^{TRECHO(h)}} \sum_{i=1}^{M^{TRECHO(h)}} \Delta v_i, h = 1 \rightarrow H,$$

onde, (h) identifica o trecho, $\Delta V^{TRECHO(h)}$ é a velocidade relativa média no trecho, $M^{TRECHO(h)}$ é o número total de pares de aeronaves identificado nos níveis adjacentes do trecho analisado no período de interesse, H é o número total de trechos da rota.

OBS: Normalmente os tempos reportados nas planilhas permitem o cálculo da velocidade em grandes trechos da rota, ou na rota toda. Neste caso, a velocidade no

trecho deve ser aquela calculada com os dados fornecidos na planilha e pode ser a mesma em todos os trechos da rota.

Para a Rota

$$\Delta V^{ROTA(r)} = \frac{\sum_{h=1}^H (\Delta V^{TRECHO(h)} \times M^{TRECHO(h)})}{\sum_{h=1}^H M^{TRECHO(h)}} = \frac{\sum_{h=1}^H (\Delta V^{TRECHO(h)} \times M^{TRECHO(h)})}{M^{ROTA(r)}}, \quad r = 1 \rightarrow R$$

onde, (r) identifica a rota, $\Delta V^{ROTA(r)}$ é a velocidade relativa média na rota, $M^{ROTA(r)}$ é o número total de pares de aeronaves identificados em níveis adjacentes, que percorreu a rota no período de interesse; R é o número total de rotas considerado.

OBS: Normalmente os tempos reportados nas planilhas permitem o cálculo da velocidade em grandes trechos da rota, ou na rota toda. Neste caso, a velocidade na rota deve ser aquela calculada com os dados fornecidos na planilha.

Para a FIR

$$\Delta V^{FIR(f)} = \frac{\sum_{r=1}^R (\Delta V^{ROTA(r)} \times M^{ROTA(r)})}{\sum_{r=1}^R M^{ROTA(r)}} = \frac{\sum_{r=1}^R (\Delta V^{ROTA(r)} \times M^{ROTA(r)})}{M^{FIR(f)}}, \quad f = 1 \rightarrow F,$$

onde, (f) identifica a rota, $V^{FIR(f)}$ é a velocidade relativa média na FIR, F é o número total de FIR analisada, R é o número total de rotas na FIR; $M^{FIR(f)}$ é o número total de pares de aeronaves identificados em níveis adjacentes na FIR

Para a Região

$$\Delta V^{REGIÃO} = \frac{\sum_{f=1}^F (\Delta V^{FIR(f)} \times M^{FIR(f)})}{\sum_{f=1}^F M^{FIR(f)}},$$

onde $\Delta V^{REGIÃO}$ é a velocidade relativa média na região para aeronaves voando no mesmo sentido em níveis adjacentes.

2.3 FRAÇÃO β_i

A fração β_i é definida como:

$$\beta_i = \frac{\text{tempo total de vôo das aeronaves do tipo } j}{\text{tempo total de vôo}}.$$

Dados Necessários Para o Cálculo:

- tempos em pontos fixos dos trechos de interesse, ou
- tempo de vôo no espaço RVSM.

Método de Cálculo

Calcular, para cada tipo de aeronave i , o $\Delta t_{i,j}^{TRECHO(h)}$ que é o tempo em que a aeronave i do grupo j , gasta para percorrer o trecho (h),

$$\Delta t_{i,j}^{TRECHO(h)} = |t_{k+1} - t_k| \quad \text{ou} \quad \Delta t_{i,j}^{TRECHO(h)} = \frac{L^{TRECHO(h)}}{v_{i,j}},$$

onde, (h) identifica o trecho, t_{k+1} é o tempo no fixo $k+1$ e t_k é o tempo no fixo k que delimitam o trecho; $L^{TRECHO(h)}$ é o comprimento do trecho, entre os fixos $k+1$ e k ; $v_{i,j}$ é a velocidade da aeronave i do grupo j no trecho (h). Este cálculo deve ser feito em todos os níveis, desde FL 410 até FL 290.

OBS: Normalmente os tempos reportados nas planilhas permitem o cálculo do tempo gasto em grandes trechos da rota, ou na rota toda ($\Delta t^{ROTA(r)}$). Neste caso, o tempo gasto no trecho pode ser obtido por regra de três simples, usando o comprimento $L^{TRECHO(h)}$ e o comprimento da rota $L^{ROTA(r)}$:

$$\Delta t_{i,j}^{TRECHO(h)} = \frac{L^{TRECHO(h)}}{L^{ROTA(r)}} \Delta t^{ROTA(r)}.$$

Para o Trecho

$$\beta_j^{TRECHO(h)} = \frac{\sum_{i=1}^{N_j} \Delta t_{i,j}^{TRECHO(h)}}{\sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^{N_j} \Delta t_{i,j}^{TRECHO(h)}} = \frac{\sum_{i=1}^{N_j} \Delta t_{i,j}^{TRECHO(h)}}{\Delta t^{TRECHO(h)}}, \quad j = 1 \rightarrow J, h = 1 \rightarrow H,$$

onde, (h) identifica o trecho, $\beta_j^{TRECHO(h)}$ é a fração de tempo de vôo das aeronaves do grupo j no trecho, J é o número total de grupos de aeronaves, i se refere a aeronave i do grupo j ; $\Delta t^{TRECHO(h)}$ é o tempo total de vôo no trecho; N_j é o número total de aeronaves do grupo j no trecho.

Para a Rota

$$\beta_j^{ROTA(r)} = \frac{\sum_{h=1}^H \beta_j^{TRECHO(h)} \Delta t_j^{TRECHO(h)}}{\sum_{h=1}^H \Delta t_j^{TRECHO(h)}} = \frac{\sum_{h=1}^H \beta_j^{TRECHO(h)} \Delta t_j^{TRECHO(h)}}{\Delta t^{ROTA(r)}}, \quad j = 1 \rightarrow J, r = 1 \rightarrow R,$$

onde, (r) identifica a rota, $\beta_j^{ROTA(r)}$ é a fração de tempo de vôo das aeronaves do grupo j na rota; H é o número total de trechos na rota; e $\Delta t^{ROTA(r)}$ é o tempo de vôo total na rota; R é o número total de rotas analisadas na FIR.

Para a FIR

$$\beta_j^{FIR(f)} = \frac{\sum_{r=1}^R \beta_j^{ROTA(r)} \Delta t^{ROTA(r)}}{\sum_{r=1}^R \Delta t^{ROTA(r)}} = \frac{\sum_{r=1}^R \beta_j^{ROTA(r)} \Delta t^{ROTA(r)}}{\Delta t^{FIR(f)}}, \quad j = 1 \rightarrow J, f = 1 \rightarrow F,$$

onde, (f) identifica a FIR, $\beta_j^{FIR(f)}$ é a fração de tempo de vôo das aeronaves do grupo j na FIR; $\Delta t^{FIR(f)}$ é o tempo total de vôo na FIR; e F é o número total de FIR analisado.

Para a Região

$$\beta_j^{REGIÃO} = \frac{\sum_{f=1}^F \beta_j^{FIR(f)} \Delta t^{FIR(f)}}{\sum_{f=1}^F \Delta t^{FIR(f)}}, \quad j = 1 \rightarrow J,$$

onde, $\beta_j^{REGIÃO}$ é a fração de tempo de vôo das aeronaves do grupo j na região.

2.4 FREQUÊNCIA DE PASSAGEM NO MESMO SENTIDO: $N_x(mesmo)$

Dados Necessários para o Cálculo:

- tempos nos fixos de notificação,
- tempos de vôos nos trechos da rota.

Método de Cálculo

Utilizar o procedimento de se identificar e contar os pares de aeronaves que sofreram ultrapassagens entre si, em níveis adjacentes de vôo, considerando os tempos nos dois fixos de notificação que delimitam o trecho. Método descrito no trabalho de detalhamento matemático para análise RVSM.

Para o Trecho

$$N_x^{TRECHO(h)}(mesmo) = 2 \times \frac{(\text{número de ultrapassagens (pares) no trecho } h)}{\sum_{i=1}^I \Delta t_i^{TRECHO(h)}} = 2 \times \frac{U^{TRECHO(h)}(mesmo)}{\Delta t^{TRECHO(h)}}, \quad h = 1 \rightarrow H$$

onde, (h) identifica o trecho, $N_x^{TRECHO(h)}(mesmo)$ é a frequência de ultrapassagem, no mesmo sentido, no trecho; H é o número de trechos na rota; $\Delta t_i^{TRECHO(h)}$ é o tempo de vôo da aeronave i no trecho; I é o número total de aeronaves que passaram no trecho no período de análise; $\Delta t^{TRECHO(h)}$ é o tempo de vôo de todas as aeronaves considerando todos os níveis desde FL 410 até FL 290, $U^{TRECHO(h)}(mesmo)$ é o número total de pares de aeronaves que sofreram ultrapassagens no trecho considerando todos os níveis.

Para a Rota

$$N_x^{ROTA(r)}(mesmo) = \frac{\sum_{h=1}^H N_x^{TRECHO(h)} \times \Delta t^{TRECHO(h)}}{\sum_{h=1}^H \Delta t^{TRECHO(h)}} = \frac{\sum_{h=1}^H N_x^{TRECHO(h)} \times \Delta t^{TRECHO(h)}}{\Delta t^{ROTA(r)}}, \quad r = 1 \rightarrow R,$$

onde, (r) identifica a rota, $N_x^{ROTA(r)}(mesmo)$ é a frequência de passagem no, mesmo sentido, na rota; $\Delta t^{ROTA(r)}$ é o tempo de vôo de todas as aeronaves considerando todos os níveis desde FL 410 até FL 290 em todos os trechos da rota, R é o número total de rotas considerado.

Para a FIR

$$N_x^{FIR(f)}(mesmo) = \frac{\sum_{r=1}^R N_x^{ROTA(r)} \times \Delta t^{ROTA(r)}}{\sum_{r=1}^R \Delta t^{ROTA(r)}} = \frac{\sum_{r=1}^R N_x^{ROTA(r)} \times \Delta t^{ROTA(r)}}{\Delta t^{FIR(f)}}, \quad f = 1 \rightarrow F,$$

onde, (f) identifica a FIR, $N_x^{FIR(f)}(mesmo)$ é a frequência de passagem no mesmo sentido na FIR; F é o número total de FIR.

Para a Região

$$N_x^{REGIÃO}(\text{mesmo}) = \frac{\sum_{f=1}^F N_x^{FIR(f)} \times \Delta t^{FIR(f)}}{\sum_{f=1}^F \Delta t^{FIR(f)}} = \frac{\sum_{f=1}^F N_x^{FIR(f)} \times \Delta t^{FIR(f)}}{\Delta t^{REGIÃO}},$$

onde, $N_x^{REGIÃO}(\text{mesmo})$ é a frequência de passagem no mesmo sentido na região.

2.5 FREQUÊNCIA DE PASSAGEM NO SENTIDO OPOSTO: $N_x(\text{oposito})$

Dados Necessários para o Cálculo:

- tempos nos fixos de notificação,
- tempos de vôos nos trechos da rota.

Método de Cálculo:

Utilizar o procedimento de se identificar e contar os pares de aeronaves que sofreram passagens entre si, em níveis adjacentes de vôo, considerando os tempos em dois fixos de notificação. Método descrito no trabalho de detalhamento matemático para análise RVSM.

Para o Trecho

$$N_x^{TRECHO(h)}(\text{oposito}) = 2 \times \frac{(\text{número de passagens (pares) no trecho})}{\sum_{i=1}^I \Delta t_i^{TRECHO(h)}} = 2 \times \frac{U^{TRECHO(h)}(\text{oposito})}{\Delta t^{TRECHO(h)}}, \quad h = 1 \rightarrow H$$

onde, (h) identifica o trecho, $N_x^{TRECHO(h)}(\text{oposito})$ é a frequência de passagem no sentido oposto no trecho; H é o número de trechos na rota; $\Delta t_i^{TRECHO(h)}$ é o tempo de vôo da aeronave i no trecho; I é o número total de aeronaves que passaram no trecho no período de análise; $\Delta t^{TRECHO(h)}$ é o tempo de vôo de todas as aeronaves considerando todos os níveis desde FL 410 até FL 290, $U^{TRECHO(h)}(\text{oposito})$ é o número total pares de aeronaves que sofreram passagens no trecho, considerando todos os níveis.

Para a Rota

$$N_x^{ROTA(r)}(\text{oposito}) = \frac{\sum_{h=1}^H N_x^{TRECHO(h)} \times \Delta t^{TRECHO(h)}}{\sum_{h=1}^H \Delta t^{TRECHO(h)}} = \frac{\sum_{h=1}^H N_x^{TRECHO(h)} \times \Delta t^{TRECHO(h)}}{\Delta t^{ROTA(r)}}, \quad r = 1 \rightarrow R,$$

onde, (r) identifica a rota, $N_x^{ROTA(r)}(oposto)$ é a frequência de passagem no sentido oposto na rota; $\Delta t^{ROTA(r)}$ é o tempo de vôo de todas as aeronaves considerando todos os níveis desde FL 410 até FL 290 na rota, R é o número total de rotas considerado.

Para a FIR

$$N_x^{FIR(f)}(oposto) = \frac{\sum_{r=1}^R N_x^{ROTA(r)} \times \Delta t^{ROTA(r)}}{\sum_{r=1}^R \Delta t^{ROTA(r)}} = \frac{\sum_{r=1}^R N_x^{ROTA(r)} \times \Delta t^{ROTA(r)}}{\Delta t^{FIR(f)}}, \quad f = 1 \rightarrow F,$$

onde, (f) identifica a FIR, $N_x^{FIR(f)}(oposto)$ é a frequência de passagem no sentido oposto na FIR; F é o número total de FIR.

Para a Região

$$N_x^{REGIÃO}(oposto) = \frac{\sum_{f=1}^F N_x^{FIR(f)} \times \Delta t^{FIR(f)}}{\sum_{f=1}^F \Delta t^{ROTA(f)}} = \frac{\sum_{f=1}^F N_x^{FIR(f)} \times \Delta t^{FIR(f)}}{\Delta t^{REGIÃO}},$$

onde, $N_x^{REGIÃO}(oposto)$ é a frequência de passagem no sentido oposto na região.

2.6 OCUPAÇÃO EM CRUZAMENTO: $E(\theta)$

Dados Necessários para o Cálculo:

- comprimento das rotas em cruzamento,
- tempos das aeronaves no ponto de cruzamento,
- ângulo de cruzamento (θ) entre as rotas que se cruzam.

Método de Cálculo:

Utilizar o procedimento de se identificar e contar os de pares de aeronaves que estão próximos entre si (ocupação), em níveis adjacentes, dentro de uma determinada janela de tempo. Método descrito no trabalho de detalhamento matemático para análise RVSM. A ocupação será calculada pela sua definição:

$$E(\theta) = 2 \times \frac{\left(\begin{array}{c} \text{número de pares de aeronaves próximas nas rotas que se} \\ \text{cruzam com ângulo } \theta \end{array} \right)}{\text{número total de aeronaves considerado}}.$$

Para o Trecho

$$E(\theta_i)^{TRECHO(h)} = 2 \times \frac{\left(\begin{array}{c} \text{número de pares de aeronaves próximas nas rotas que se} \\ \text{cruzam com ângulo } \theta_i \end{array} \right)}{\text{número total de aeronaves considerado}} =$$

$$2 \times \frac{NP(\theta_i)^{TRECHO(h)}}{NA_i^{TRECHO(h)}}, \quad h = 1 \rightarrow H, \quad i = 1 \rightarrow 34$$

onde, (h) identifica o trecho, $E(\theta_i)^{TRECHO(h)}$ é a ocupação no cruzamento no trecho; H é o número de trechos na rota; $NP(\theta_i)^{TRECHO(h)}$ é o número de pares de aeronaves próximas entre si no cruzamento; $NA_i^{TRECHO(h)}$ é o número total de aeronaves que passaram no cruzamento com ângulo θ_i no período de análise, considerando todos os níveis desde FL 410 até FL 290, (i) é o grupo de ângulo ao qual o ângulo (θ) do cruzamento pertence.

Para a Rota

$$E(\theta_i)^{ROTA(r)} = \frac{\sum_{h=1}^H E(\theta_i)^{TRECHO(h)} NA_i^{TRECHO(h)}}{\sum_{h=1}^H NA_i^{TRECHO(h)}} = \frac{\sum_{h=1}^H E(\theta_i)^{TRECHO(h)} NA_i^{TRECHO(h)}}{NA_i^{ROTA(r)}},$$

$$r = 1 \rightarrow R, \quad i = 1 \rightarrow 34$$

onde, (r) identifica a rota, $E(\theta_i)^{ROTA(r)}$ é a ocupação no cruzamento no grupo de ângulo i; $NA_i^{ROTA(r)}$ é o número total de aeronaves que passaram no cruzamento com ângulo i no período de análise, considerando todos os níveis desde FL 410 até FL 290.

Para a FIR

$$E(\theta_i)^{FIR(f)} = \frac{\sum_{r=1}^R E(\theta_i)^{ROTA(r)} NA_i^{ROTA(r)}}{\sum_{r=1}^R NA_i^{ROTA(r)}} = \frac{\sum_{r=1}^R E(\theta_i)^{ROTA(r)} NA_i^{ROTA(r)}}{NA_i^{FIR(f)}}$$

$$f = 1 \rightarrow F, \quad i = 1 \rightarrow 34$$

onde, (f) identifica a FIR, $E(\theta_i)^{FIR(f)}$ é a ocupação no cruzamento na FIR (f) ; $NA_i^{FIR(f)}$ é o número total de aeronaves que passaram no cruzamento na FIR (f) no período de análise, considerando todos os níveis desde FL 410 até FL 290; F é o número total de FIR.

Para a Região

$$E(\theta_i)^{REGIÃO} = \frac{\sum_{f=1}^F E(\theta_i)^{FIR(f)} NA_i^{FIR(f)}}{\sum_{f=1}^F NA_i^{FIR(f)}},$$

$$i = 1 \rightarrow 34$$

onde, $E(\theta_i)^{REGIÃO}$ é a ocupação no cruzamento na região.

2.7 CÁLCULO DAS DIMENSÕES DA AERONAVE TÍPICA

Dados Necessários para o Cálculo:

- comprimento,
- largura, e
- altura das aeronaves.

Método de Cálculo:

As dimensões da aeronave típica serão obtidas ponderando as dimensões reais das aeronaves que voam na região CAR/SAM com o número de horas de voo de cada tipo de aeronave que voa na região.

Para o Trecho

$$\lambda_I^{TRECHO(h)} = \frac{\sum_{i=1}^N \lambda_{i,I}^{TRECHO(h)} \times \Delta t_i^{TRECHO(h)}}{\sum_{i=1}^N \Delta t_i^{TRECHO(h)}} = \frac{\sum_{i=1}^N \lambda_{i,I}^{TRECHO(h)} \times \Delta t_i^{TRECHO(h)}}{\Delta t^{TRECHO(h)}}, \quad h = 1 \rightarrow H,$$

onde, (h) identifica o trecho, $I = x, y$ ou z é: comprimento, largura e altura da aeronave, respectivamente. Onde, $\lambda_{i,I}^{TRECHO(h)}$ é a dimensão I da aeronave i ; $\lambda_I^{TRECHO(h)}$ é a dimensão

I da aeronave típica no trecho; H é o número de trechos na rota; $\Delta t_i^{TRECHO(h)}$ é o tempo de vôo da aeronave i no trecho; N é o número total de aeronaves que passaram no trecho no período de análise; $\Delta t^{TRECHO(h)}$ é o tempo de vôo total das aeronaves que voaram no trecho, considerando todos os níveis desde FL 410 até FL 290.

Para a Rota

$$\lambda_i^{ROTA(r)} = \frac{\sum_{h=1}^H \lambda_i^{TRECHO(h)} \times \Delta t^{TRECHO(h)}}{\sum_{h=1}^H \Delta t^{TRECHO(h)}} = \frac{\sum_{h=1}^H \lambda_i^{TRECHO(h)} \times \Delta t^{TRECHO(h)}}{\Delta t^{ROTA(r)}}, \quad r = 1 \rightarrow R,$$

onde, $\lambda_i^{ROTA(r)}$ é a dimensão I da aeronave típica na rota (r); $\Delta t^{ROTA(r)}$ é o tempo de vôo total das aeronaves na rota, considerando todos os níveis desde FL 410 até FL 290.

Para a FIR

$$\lambda_i^{FIR(f)} = \frac{\sum_{r=1}^R \lambda_i^{ROTA(r)} \times \Delta t^{ROTA(r)}}{\sum_{r=1}^R \Delta t^{ROTA(r)}} = \frac{\sum_{r=1}^R \lambda_i^{ROTA(r)} \times \Delta t^{ROTA(r)}}{\Delta t^{FIR(f)}}, \quad f = 1 \rightarrow F,$$

onde, $\lambda_i^{FIR(f)}$ é a dimensão I da aeronave típica na FIR; F é o número total de rota na FIR, $\Delta t^{FIR(f)}$ é o tempo de vôo total das aeronaves na FIR, considerando todos os níveis desde FL 410 até FL 290.

Para a Região

$$\lambda_i^{REGIÃO} = \frac{\sum_{f=1}^F \lambda_i^{FIR(f)} \times \Delta t^{FIR(f)}}{\sum_{f=1}^F \Delta t^{FIR(f)}} = \frac{\sum_{f=1}^F \lambda_i^{FIR(f)} \times \Delta t^{FIR(f)}}{\Delta t^{REGIÃO}},$$

onde, $\lambda_i^{REGIÃO}$ é a dimensão I da aeronave típica da região, $\Delta t^{REGIÃO}$ é o tempo de vôo total das aeronaves na região, considerando todos os níveis desde FL 410 até FL 290.

3. TRATAMENTO DOS DADOS PARA A AVALIAÇÃO DOS PARÂMETROS

Unidade fornecedora-executora: DECEA/CGNA

Participação: IEAv

Os dados deverão ser verificados quanto a:

- compatibilidade de horários fornecidos na planilha,
- existência dos fixos de notificação,
- vôos repetidos,
- existência da aeronave (aeronave não identificada),

4. BANCOS DE DADOS NECESSÁRIOS

4.1 BANCO DE DADOS PARA O CÁLCULO DA AERONAVE TÍPICA (BANCO A1)

Unidade fornecedora-executora: DECEA/CGNA

Participação: IEAv

Descrição

Banco que contenha os dados de todas as aeronaves com as dimensões para uso no cálculo das dimensões da aeronave típica da região.

Dados

Tipos de aeronaves; e dimensões características: comprimento (λ_x), largura (λ_y) e altura (λ_z).

Formato sugerido

1º Registro

Dado 1 - número de registros no banco (N), formato numérico, exemplo **345**;

2º Registro até o registro (N+1), os dados seguintes por registro:

Dado 1 –identificador da aeronave, formato Character, exemplo **B737**,

Dado 2 – comprimento (λ_x), formato numérico, exemplo **0,03**,

Dado 3 - largura (λ_y), formato numérico, exemplo **0,025**,

Dado 4 - altura (λ_z), formato numérico, exemplo 0,015.

Exemplo:

345

B737 0,03 0,025 0,015

...

...

Obs: notar que os dados são separados por brancos, no caso quatro brancos

4.2 BANCO COM DADOS DAS ROTAS CAR/SAM (BANCO A2)

Unidade fornecedora-executora: DECEA/CGNA

Participação: IEAv

Descrição

Banco com todos os dados de todas as FIR da região: identificação da FIR, número de rotas com sua respectiva identificação e comprimento nesta FIR, tipo de rota, número de fixos na rota na FIR, identificação da rota, distância entre fixos.

Formato sugerido

1º – Registro:

Dado 1 – identificação da FIR, formato (Character), exemplo **SBBS**;

Dado 2 – número de Rotas nesta FIR, formato numérico, exemplo **123**
(este dado pode ser obtido do banco))

Exemplo: **SBBS 123**

2º – Registro:

Dado 1 – identificação da rota, formato (Character), exemplo **UA350**;
(zero nesta posição indica fim de dados de rotas desta FIR)

Dado 2 – número de fixos na rota na FIR, formato numérico, exemplo **4**;

Dado 3, 4 e 5 – três dados: identificação do fixo, distância entre os fixos 1 e 2 no sentido da progressão de vôo, mão dupla ou única, formato numérico (0) mesmo (1) oposto, exemplo; , formato Character, numérico e numérico, exemplo **BAR 240,0 MN 0**;

Dado 6, 7 e 8 – idem dados 3, 4 e 5, formato Character, numérico e , numérico, exemplo **CAR 280,0 MN 1**;

Dado 9, 10 e 11 – idem dados 3, 4 e 5, formato Character, numérico e numérico, exemplo **SAR 280,0 MN 0**; e

Dado 12, 13 e 14 – idem dados 3, 4 e 5, formato Character, numérico e numérico, exemplo **LAR 0,0 1**.

Exemplo: **UA350 4 BAR 240,0 0 CAR 280,0 1 SAR 280,0 0 LAR 0,0 1**

Obs:

1- o zero no comprimento entre fixos termina estes dados; e

2- quando a rota cruza toda a FIR, o primeiro fixo é o de entrada na FIR e o último fixo é o de saída da FIR.

3º – Registro:

Dado 1 – número de cruzamentos nesta rota, formato numérico, exemplo **2**;

Dados 2, 3, 4, 5 e 6 – entrar cinco valores: ângulo de cruzamento, identificação do fixo mais próximo do ponto de cruzamento no sentido da progressão do vôo, distância entre o ponto de cruzamento e o fixo mais

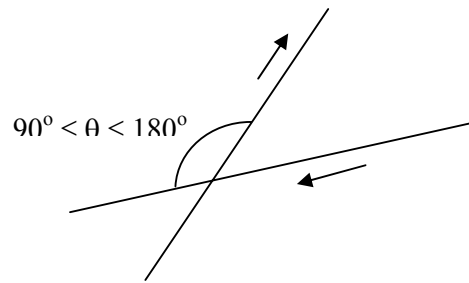
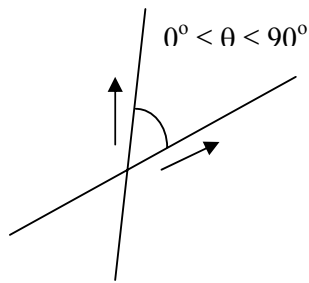
próximo, e a rota que cruza esta neste ponto, e sentido de progressão de vôo entre as duas rotas: mesmo sentido 0 ou sentido oposto 1, formato numérico, Character, numérico, Character e numérico, exemplo **127,0 LAR 50 MN UA300 0**;

Dados 6, 7, 8, 9 e 10 – idem dados 2, 3, 4, 5 e 6, formato numérico, Character, numérico, Character e numérico, exemplo **36,0 CAR 85 MN UA310 1**;

Exemplo: **127,0 LAR 50 MN UA300 0 36,0 CAR 85 MN UA310 1**

Obs:

1- caso o cruzamento ocorra em um fixo, colocar zero na distância do cruzamento;
2- o ângulo de cruzamento deve ser considerado observando a progressão de vôo como segue no, exemplo abaixo. Deve ser especificado, sempre, o menor ângulo e o tipo de progressão de vôo, como especificado abaixo



Exemplo completo:

SBBS 123
UA350 4 BAR 240,0 0 CAR 280,0 1 SAR 280,0 0 LAR
0,0 1
127,0 LAR 50 MN UA300 0 36,0 CAR 85 MN UA310 1

Obs.: Para cada FIR, entrar com os dados de todas as rotas.

4.3 BANCO DE DADOS DE VÔO DA REGIÃO CAR/SAM (BANCO B)

Unidade fornecedora-executora: DECEA/CGNA

Participação: IEAv

Descrição

Banco que contenha os dados de vôo de todas as rotas das Regiões CAR/SAM. Os dados deverão ser fornecidos por FIR e por rota da FIR no formato texto (TXT) ou EXCEL. Isto é cada planilha deverá conter somente dados de fixos de notificação de partes de rotas que estão dentro desta FIR. Estes dados devem

estar limpos de erros de preenchimento. A separação entre cada dado deve ser por brancos (quatro????).

Formato sugerido

1º – Registro (ou último):

Dado 1 – identificação da FIR, formato (Character), exemplo **SBBS**;

Dado 2 – identificação da rota, formato (Character), exemplo **UA350**;

Exemplo completo: **SBBS UA350**

2º Registro em diante: registro dos vôos na rota

Observação:

Neste banco um registro de vôo corresponde a N dados com a progressão de vôo da aeronave. Na planilha original quando houver mudança de nível ou rota, o vôo deve ser devidamente separado. Deve ser providenciado um guia de procedimentos para os vários casos possíveis. É desejável que os dados venham ordenados por dia e, em cada dia, em ordem decrescente de níveis.

Formato do registro de vôo:

Dado 1 – dia,mês, ano; no formato (numérico) ddmmaa, exemplo **031104**;

Dado 2 – identificador do vôo, formato (Character), exemplo **VAR23**;

Dado 3 – modelo da aeronave, formato (Character), exemplo **B737**

Dado 4 – fixo de identificação da entrada no espaço RVSM na FIR, formato (Character), exemplo **BAR**;

Dado 5 – tempo de passagem no fixo **BAR**, formato (numérico), exemplo **2,45 h**;

Dado 6 – nível de vôo na entrada, formato (numérico), exemplo **350**;

Dado 7 – fixo de identificação da saída do espaço RVSM na FIR, formato (Character), exemplo **CAR**

Dado 8 –; tempo de passagem no fixo **CAR**, formato (numérico), exemplo, **4,0 h**

Dado 9 –; nível de vôo na saída, formato numérico, exemplo **370**

Dado 10 –.

...próximo registro de vôo desta rota

Último dado da rota seis zeros (data) **000000**

Exemplo completo de um registro de vôo:

031104 VAR23 B737 BAR 2,45 370 CAR 4,0 370

Exemplo de uma rota

SBBS UA350

031104 VAR23 B737 BAR 2,45 370 CAR 4,0 370

....

....

300604 TAM28 A350 VAGAR 10,30 290 POPAR 13,25 330...

000000 → *Registro de final de dados para esta ROTA(zeros/brancos na data)*

5. PROCESSAMENTO DOS DADOS DOS BANCOS PARA A OBTENÇÃO DOS PARÂMETROS DO MODELO DE RISCO DE COLISÃO.

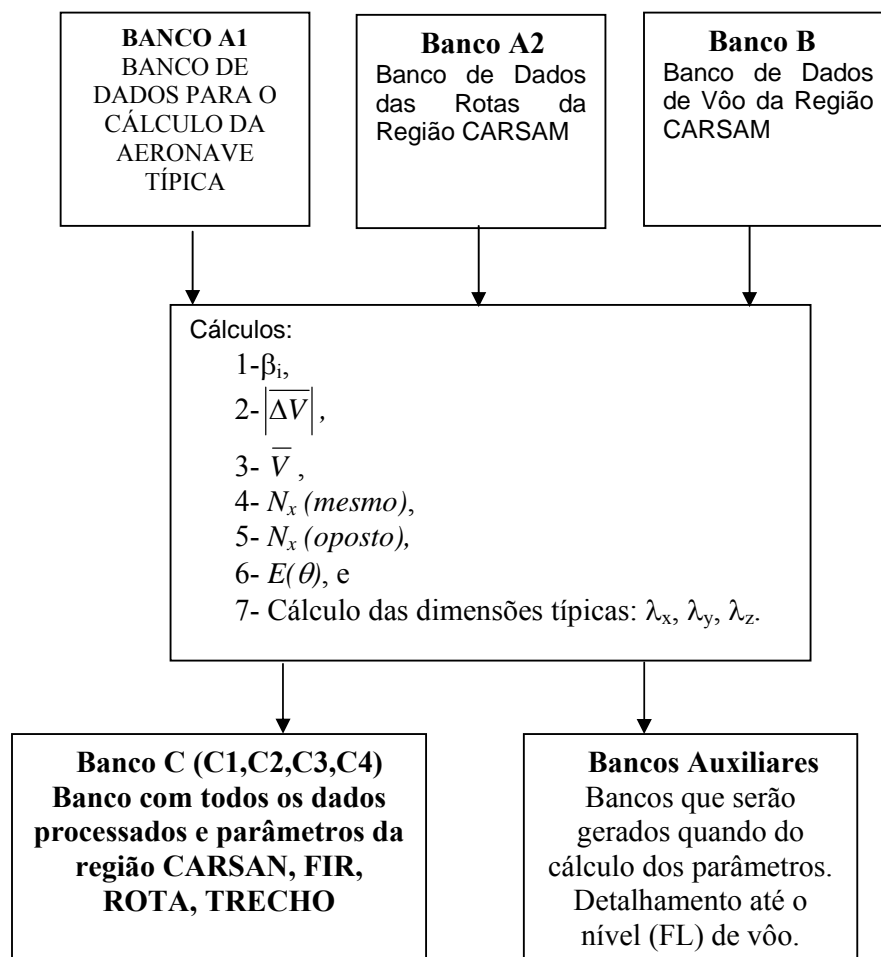
Unidade fornecedora-executora: IEAv

Objetivo

Calcular parâmetros do modelo de risco e montar um banco de dados com os resultados por TRECHO, ROTA, FIR, REGIÃO

Metodologia

Serão preparados programas em linguagem FORTRAN para processamento dos dados e obtenção dos parâmetros do modelo de risco, usando as expressões dadas na Seção 1. Um macro-fluxograma da interação dos bancos para obtenção dos parâmetros é dado em seguida.



5.1 BANCO DE DADOS C

Descrição

O banco C é composto de 4 bancos menores, C1, C2, C3, C4 que contém os dados e resultados da região CAR/SAM, todas as FIR, todas as rotas e todos os trechos, respectivamente. Os registros terão o formato texto (TXT) com brancos separando cada dado.

5.2 FORMATO DO BANCO COM DADOS DA REGIÃO (BANCO C1)

Registro 1: dados gerais

Dado 1 – número de FIR neste banco, formato numérico, exemplo **10**;

Dado 2 – comprimento da aeronave típica da região (λ_x), formato numérico, exemplo **0,03 MN**;

Dado 3 – largura da aeronave típica da região (λ_y), formato numérico, exemplo **0,025 MN**;

Dado 4 – altura da aeronave típica da região (λ_z), formato numérico, exemplo **0,01** MN;
 Dado 5 – número de tipos de aeronaves na região (NAVT), formato numérico, exemplo **89**;
 Dado 6 – velocidade média na região (\bar{V}), formato numérico, exemplo **466,6** nós;
 Dado 7 – velocidade relativa média na região ($|\overline{\Delta V}|$), formato numérico, exemplo **36,6** nós;
 Dado 8 – frequência de passagem no mesmo sentido (N_x (*mesmo*)) na região, formato numérico, exemplo **0,6**;
 Dado 9 – frequência de passagem no sentido oposto (N_x (*oposto*)) na região, formato numérico, exemplo **0,08**;
 Dado 10 – número de ângulos (NANG) usado na análise de cruzamento, formato numérico, exemplo **34** (5→175);
 Dado 11 – comprimento total de rotas na região, formato numérico, exemplo **15.3565,6** MN; e
 Dado 12 – número total de horas de vôo, formato numérico, exemplo **53.467** horas.

Exemplo: **10 0,03 0,025 0,01 89 466,6 36,6 0,6 0,08 34 153565 53467,6.**

Registro 2: dados de cruzamento

Dado 1, 2 – pares de dados para cruzamentos na região: ocupação e velocidade relativa ($E(\theta_i)$, $V(\theta_i)$), formato numérico, exemplo **0,13 389,5** nós;

....

Dado 67, 68 – par de dados para o intervalo de ângulo 170-175, formato numérico, exemplo **0,005 700,3** nós

Obs: inserir (NANG) pares de dados, ver dado 10 (34) do registro 1

Exemplo: **0,13 389,5 ... 0,005 700,3.**

Registro 3: dados das aeronaves (β)

Dado 1,2 – pares de dados: tipo de aeronave e sua fração do tempo de vôo (β) na região, formato (Character, numérico), exemplo **B737 0,50**;

...
 ...
 ...

Dado X, X+1 – par de dados (tipo aeronave, β), exemplo **AMA 0,05**;

Obs: introduzir NAVT dados, ver dado 5 do registro 1 (89).

Exemplo: **B737 0,50 ... AMA 0,05.**

Exemplo completo para a região:

10 0,03 0,025 0,01 89 466,6 36,6 0,6 0,08 34 153565
53467,6.
0,13 389,5 ... 0,005 700,3
B737 0,50 ... AMA 0,05

5.3 FORMATO DO BANCO DA FIR (BANCO C2)

Registro 1: dados da 1ª FIR

- Dado 1 – identificação da 1ª FIR, formato Character, exemplo **SBBS**;
- Dado 2 – número de rotas nesta FIR, formato numérico, exemplo **100**;
- Dado 3 – comprimento da aeronave típica da FIR (λ_x), formato numérico, exemplo **0,033** MN;
- Dado 4 – largura da aeronave típica da FIR (λ_y), formato numérico, exemplo **0,020** MN;
- Dado 5 – altura da aeronave típica da FIR (λ_z), formato numérico, exemplo **0,008** MN;
- Dado 6 – número de tipos de aeronaves na região (NAVT), formato numérico, exemplo **56**;
- Dado 7 – velocidade média na FIR (\bar{V}), formato numérico, exemplo **430,6** nós;
- Dado 8 – velocidade relativa média na FIR ($|\overline{\Delta V}|$), formato numérico, exemplo **25,3** nós;
- Dado 9 – frequência de passagem no mesmo sentido ($N_x(mesmo)$) na FIR, formato numérico, exemplo **0,34**;
- Dado 10 – frequência de passagem no sentido oposto ($N_x(oposto)$) na FIR, formato numérico, exemplo **0,004**;
- Dado 11 – número de ângulos usado na análise de cruzamento, formato numérico, exemplo **34** (5→175);
- Dado 12 – comprimento total de rotas na FIR, formato numérico, exemplo **7.354,6** MN; e
- Dado 13 – número total de horas de vôo, formato numérico, exemplo **22.120,5** horas.

Exemplo: **SBBS 100 0,033 0,020 0,008 56 430,6 25,3 0,34 0,004 34 17354,6 22120,5.**

Registro 2: dados de cruzamento da 1ª FIR

- Dado 1, 2 – pares de dados para cruzamentos na FIR: ocupação e velocidade relativa ($E(\theta_i), V(\theta_i)$), formato numérico, exemplo **0,05 405,5** nós;
-
-
- Dado 67, 68 – par de dados para o intervalo de ângulo 170-175, formato numérico, exemplo **0,078 680,3** nós

Obs: inserir (NANG) pares de dados, ver dado 11 (34) do registro 1

Exemplo: **0,05 405,5 ... 0,078 680,3.**

Registro 3: dados das aeronaves (β) da 1ª FIR

Dado 1,2 – pares de dados: tipo de aeronave e sua fração do tempo de vôo (β) na FIR, formato (Character, numérico), exemplo **B737 0,68**;

...
...
...

Dado X, X+1 – par de dados (tipo aeronave, β), exemplo **XCA 0,01**;

Obs: introduzir NAVT dados, ver dado 6 do registro 1 (89).

Exemplo: **B737 0,68 ... XCA 0,01**.

Exemplo completo para a 1ª FIR:

SBBS 100 0,033 0,020 0,008 56 430,6 25,3 0,34 0,004 34
17354,6 22120,5
0,05 405,5 ... 0,078 680,3
B737 0,68 ... XCA 0,01

...próximos registros em diante – repetir registros 1 a 3 para todas as FIR.

5.4 FORMATO DO BANCO COM DADOS DAS ROTAS NAS FIR (BANCO C3)

Registro 1, início dos dados das rotas da 1ª FIR.

Dado 1 – identificação da FIR, formato Character, exemplo **SBBS**; e

Dado 2 – número de rotas, formato numérico (K), exemplo **100**.

Exemplo completo → **SBBS 100**

Registro 2, início da entrada de dados por ROTA

Dado 1 – identificação rota 1, formato Character, exemplo **UA350**;

Dado 2 – comprimento, formato numérico, exemplo **800 MN**;

Dado 3 – tipo de rota, mão única (0) mão dupla (1), exemplo **1**;

Dado 4 – tempo voado na rota, formato numérico, exemplo **9.000** horas;

Dado 5 – comprimento da aeronave típica da rota (λ_x), formato numérico, exemplo **0,03 MN**;

Dado 6 – largura da aeronave típica da rota (λ_y), formato numérico, exemplo **0,025 MN**;

Dado 7 – altura da aeronave típica da rota (λ_z), formato numérico, exemplo **0,01 MN**;

Dado 8 – número de tipos de aeronaves na região (NAVT), formato numérico, exemplo **56**;

Dado 9 – velocidade média na rota (\bar{V}), formato numérico, exemplo **456,6** nós;

Dado 10 – velocidade relativa média na rota ($|\overline{\Delta V}|$), formato numérico, exemplo **36,6** nós;
 Dado 11 – frequência de passagem no mesmo sentido ($N_x (mesmo)$) na rota, formato numérico, exemplo **1,3**;
 Dado 12 – frequência de passagem no sentido oposto ($N_x (oposto)$) na rota, formato numérico, exemplo **0,0**;
 Dado 13 – número de ângulos (NANG) usado na análise de cruzamento, formato numérico, exemplo **34** ($5 \rightarrow 175$)
 Dado 14 – número de fixos (M), formato numérico, exemplo **3**;
 Dado 15 e 16 – pares de dados: identificação dos fixos da rota no sentido da progressão de vôo e a distância entre os fixos, formato (Character, numérico), exemplo **BAR 450**;
 Dados 17 e 18 – continuar entrando os pares (fixo distância) até completar a rota;

Exemplo \rightarrow **UA350 800 1 9000 0,03 0,025 0,01 56 456,6 36,6 1,3 0,0 34 3 BAR 450,0 CAR 350,0 SAR 0,0**

Registro 3: dados de cruzamento da 1ª rota da FIR

Dado 1, 2 – pares de dados para cruzamentos na FIR: ocupação e velocidade relativa ($E(\theta_i), V(\theta_i)$), formato numérico, exemplo **0,05 405,5** nós;

 Dado 67, 68 – par de dados para o intervalo de ângulo 170-175, formato numérico, exemplo **0,078 680,3** nós;
 Dado 69 – número de rotas que cruzam esta rota, formato numérico, exemplo **2**;
 Dado 70 e 71 – par de dados (Identificação da rota que cruza esta, ângulo de cruzamento), formato (Character, numérico), exemplo **BL405 34,6**;

...continuar a inserção dos pares até acabar.

Obs: inserir (NANG) pares de dados, ver dado 13 (34) do registro 2.

Exemplo: **0,05 405,5 ... 0,078 680,3 2 BL405 34,6 ...**

Registro 4: dados das aeronaves (β) da 1ª rota da FIR

Dado 1,2 – pares de dados para o tipo de aeronave e a fração do tempo de vôo (β) deste tipo de aeronave na rota, formato (Character, numérico), exemplo **B737 0,65**;

 Dado X, X+1 – par de dados (tipo aeronave, β), exemplo **AAA 0,02**;

Obs: introduzir NAVT dados, ver dado 8 do registro 2 (56).

Exemplo → **B737 0,65 B740 0,05.....AAA 0,2**

Exemplo completo para a 1ª rota da FIR

SBBS 100
UA350 800 1 9000 0,03 0,025 0,01 56 456,6 36,6 1,3 0,0
34 3 BAR 450,0 CAR 350,0 SAR 0,0
0,05 405,5 ... 0,078 680,3 2 BL405 34,6 ...
B737 0,65 B740 0,05.....AAA 0,2

...introduzir os dados das outras rotas da FIR

...introduzir os dados das rotas das outras FIR

5.5 FORMATO DO BANCO COM DADOS DOS TRECHOS DE ROTAS (BANCO C4)

Registro 1, início dos dados dos TRECHOS na ROTA da FIR.

- Dado 1 – identificação da FIR, formato Character, exemplo **SBBS**;
- Dado 2 – identificação da rota, formato Character, exemplo **UA344**;
- Dado 3 – comprimento da rota, formato numérico, exemplo **800,0** MN;
- Dado 4 – tipo de rota, mão única (0) mão dupla (1), exemplo **1**; e
- Dado 5 – número de trechos, formato numérico (K), exemplo **3**.

Exemplo → **SBBS UA344 800,0 1 3**

Registro 2, início da entrada de dados por TRECHO

- Dado 1 – identificação do trecho, formato Character, exemplo **BAR**;
- Dado 2 – comprimento do trecho, formato numérico, exemplo **300,0** MN;
- Dado 3 – tempo voado no trecho, formato numérico, exemplo **6.000** horas;
- Dado 4 – comprimento da aeronave típica do trecho (λ_x), formato numérico, exemplo **0,03** MN;
- Dado 5 – largura da aeronave típica do trecho (λ_y), formato numérico, exemplo **0,025** MN;
- Dado 6 – altura da aeronave típica do trecho (λ_z), formato numérico, exemplo **0,01** MN;
- Dado 7 – número de tipos de aeronaves na região (NAVT), formato numérico, exemplo **56**;
- Dado 8 – velocidade média no trecho (\bar{V}), formato numérico, exemplo **456,6** nós;
- Dado 9 – velocidade relativa média no trecho ($|\overline{\Delta V}|$), formato numérico, exemplo **36,6** nós;
- Dado 10 – frequência de passagem no trecho mesmo sentido (N_x (*mesmo*)) na rota, formato numérico, exemplo **1,3**;
- Dado 11 – frequência de passagem no trecho sentido oposto (N_x (*oposto*)) na rota, formato numérico, exemplo **0,0**;

Dado 12 – número de ângulos (NANG) usado na análise de cruzamento, formato numérico, exemplo **34** (5 →175)

Exemplo → **BAR 300,0 6000 0,03 0,025 0,01 56 456,6 36,6 1,3 0,0 34**

Registro 3: dados de cruzamento no TRECHO

Dado 1, 2 – pares de dados para cruzamentos no trecho: ocupação e velocidade relativa ($E(\theta_i)$, $V(\theta_i)$), formato numérico, exemplo **0,05 405,5** nós;

....
....

Dado 67, 68 – par de dados para o intervalo de ângulo 170-175, formato numérico, exemplo **0,078 680,3** nós

Dado 69 – número de rotas que cruzam esta rota neste trecho, formato numérico, exemplo **2**;

Dado 70 e 71 – par de dados (Identificação da rota que cruza esta, ângulo de cruzamento), formato (Character, numérico), exemplo **BL405 34,6**;
... *continuar a inserção dos pares até acabar.*

Exemplo: **0,05 405,5 ... 0,078 680,3 2 BL405 34,6 ...**

Obs: inserir (NANG) pares de dados, ver dado 12 (34) do registro 2.

Registro 4: dados das aeronaves (β) do TRECHO

Dado 1,2 – pares de dados para o tipo de aeronave e a fração do tempo de vôo (β) deste tipo de aeronave no trecho, formato (Character, numérico), exemplo **B737 0,65**;

...
...
...

Dado X, X+1 – par de dados (tipo aeronave, β), exemplo **AAA 0,02**;

Obs: introduzir NAVT dados, ver dado 7 do registro 2 (56).

Exemplo → **B737 0,65 B740 0,05.....AAA 0,2**

Exemplo completo para o TRECHO da ROTA da FIR

SBBS UA344 800,0 1 3
BAR 300,0 6000 0,03 0,025 0,01 56 456,6 36,6 1,3 0,0 34
0,05 405,5 ... 0,078 680,3 2 BL405 34,6 ...
B737 0,65 B740 0,05.....AAA 0,2

...inserir os dados para o segundo e terceiro trechos desta rota
...inserir os dados dos trechos da segunda rota e assim sucessivamente até completar a FIR e a região

5.6 BANCO AUXILIAR (a ser especificado, se necessário)

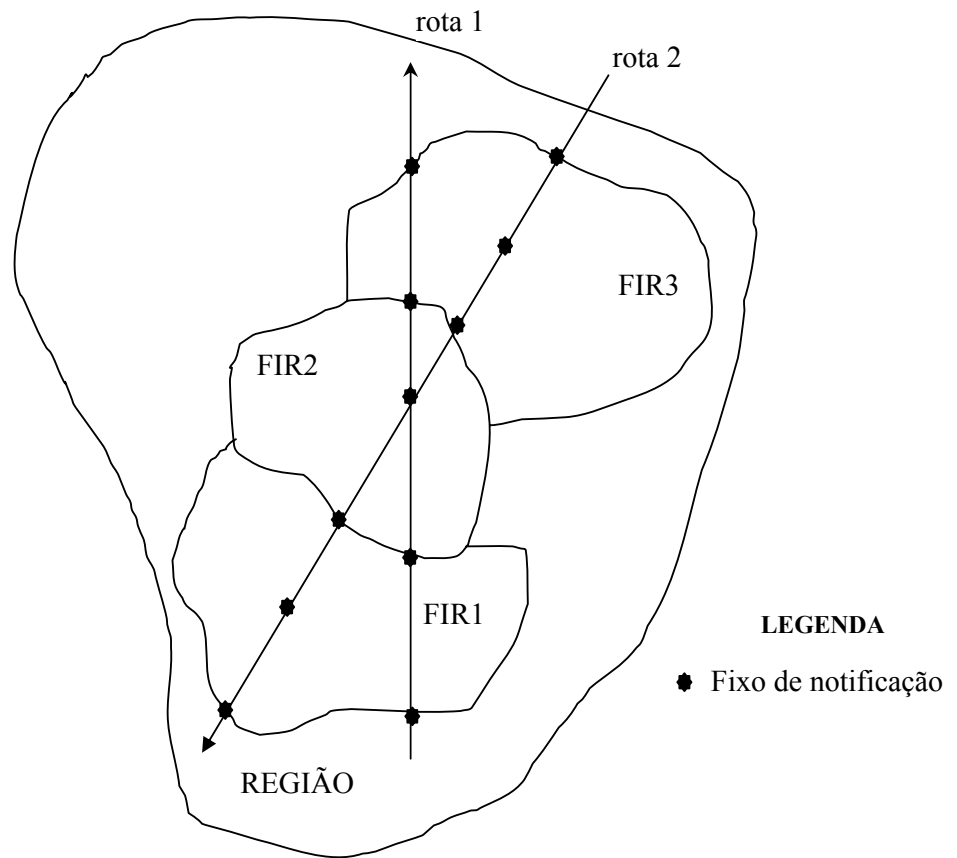


Figura F.1 Esquema Para a Análise RVSM

Tabela F.1 Parâmetros das FIR da região CAR/SAM.

FIR/State	*Nº de Rotas	Tempo Total de Vôo [h]	Tempo (mesmo sentido) [h]	Tempo (sentido oposto) [h]	Veloc. Média [MN/h]	Veloc. Relativa Média (mesmo)	Frequência de Passagem (mesmo)	Frequência de Passagem (oposto)	Trecho de Máxima Freq. Pass	Rota	Máxima Frequência de Passagem
Brasília	68	8165,60	5503,77	2661,83	439,09	33,52	0,0389	0,3411	FAMIP-PANDI	UZ2	0,1384E+01
Curitiba	45	3561,31	2263,56	1297,75	435,13	25,21	0,0044	0,2034	XAREO-ETANO	UA314	0,8326E+00
Recife	32	3197,61	1199,25	1998,36	442,23	18,17	0,0050	0,2522	SAGAZ-LIBRA	UW58	0,2073E+01
Manaus	22	1963,15	109,53	1853,62	469,00	20,00	0,0	0,4014	REPIL-ASUMI	UL795	0,1651E+01
Belém	16	1122,85	35,93	1086,91	450,71	20,00	0,0	0,1472	TIR-AKNIB	UL776	0,7153E+00
Porto Velho	19	1190,17	155,39	1034,78	463,63	20,00	0,0	0,2377	LET-NEGRA	UA301	0,9031E+00
Havana	27	3964,07	23,17	3940,91	481,99	20,00	0,0	1,0600	URSUS-UCA	UA301	0,2673E+01
Panamá	25	3053,57	0,0	3053,57	465,80	0,0	0,0	0,4880	TBG-KORPU	UL780	0,1318E+01
Centro-América	151	3804,53	0,0	3804,53	460,67	0,0	0,0	0,2276	ERBOR-AUR	UA552o	0,8929E+00
Guayaquil	3	783,30	0,0	783,30	467,41	0,0	0,0	0,7328	ESV-SISEL	UG437	0,1138E+01
Chile	2	584,43	578,23	6,20	465,95	15,11	0,0	0,3224	IQQ-ARI	UW200	0,3224E+00
La Paz	3	553,82	0,0	553,82	466,32	0,0	0,0	0,1878	ELAKA-ASUVO	UL417	0,1957E+00
Port au Prince	3	530,48	0,0	530,48	474,06	0,0	0,0	1,0370	TUMAR-RETAK	UA636	0,1396E+01
Georgetown	3	96,81	0,0	96,81	475,45	0,0	0,0	0,3099	TIM-KOXAM	UA312	0,7715E+00
Colômbia	2	316,40	0,0	316,40	518,25	0,0	0,0	0,4172	BUXOS-UGUPI	UL780	0,4935E+00
Maiquetia	3	626,83	49,08	577,75	463,90	13,52	0,0	0,4846	HENRY-DABAN	UA550	0,1186E+01
Ezeiza	2	43,99	30,60	13,40	436,80	20,00	0,0	0,0	----	---	0,0
Mendoza	2	247,32	224,19	23,13	412,29	18,56	0,0	0,0	----	---	0,0
Resistência	1	17,55	0,0	17,55	413,30	0,0	0,0	0,0	----	---	0,0
Asunção	3	96,06	0,0	96,06	508,05	0,0	0,0	0,1874	EGEKO-KUBIR	UL793	0,1763E+01
Montevideú	2	278,58	278,58	0,0	456,28	26,64	0,0072	0,0	DALGO-DUR	UL714	0,2499E-01

* rotas analizadas

APÊNDICE G

Erros Operacionais na Região CAR/SAM- 2004

29/10/2004

Resumo

Este documento registra os dados dos erros operacionais da análise CAR/SAM 2004.

Tabela 1 Grandes Erros Operacionais na Região CAR/SAM em 2004.

data	hora	Tipo acft	AWY	Local LHD	FL	LHD	tempo (seg)	Tipo de Erro	info	FIR	State	n ^{nc}	n ^{ne}
27/07/03	08:52	A346	UL306	DIMAS	370	-4000	660	A	piloto	SOOO	SO	0	1
23/06/04	10:44	-	UM540	OSAMU	330	4000	180	A	Modo C	SBCW	SB	3	1
18/07/03	23:05	A320	UA247	BUXEX	350	-3000	120	B	piloto	SOOO	SO	0	1
03/02/04	21:30	-	UW5	-	-	-1000	20	B	nil	SBCW	SB	0	1
08/05/04	04:50	-	UW10	RESUS	350	1100	300	B	Modo C	SBRE	SB	1	1
16/06/04	18:32	-	UM788/UM792	CGR	370	-2000	90	E	Modo C	SBCW	SB	0	1
14/09/03	11:40	DC10	UG449	OTONI	350	-4000	120	M	piloto	SOOO	SO	0	1
02/04/04	06:58	B762	UG437	PML	310	4000	90	M	Modo C	MPZL	MP	0	1
08/04/04	02:05	MD88	UA303	KONRI	310	4000	90	M	info piloto	SCFZ	SC	0	1
08/04/04	23:36	B752	UG437	DUXUM	330	4000	90	M	info piloto	MPZL	MP	0	1
29/04/04	02:26	MD88	UA303	KONRI	310	4000	90	M	info piloto	SCFZ	SC	0	1
06/05/04	23:30	B763	UG437	DUXUM	330	4000	90	M	info piloto	MPZL	MP	0	1
10/05/04	20:14	MD80	UA317	TBG	350	-4000	90	M	Modo C	MPZL	MP	0	1
14/06/04	21:09	B763	UL780	BUXOS	310	4000	90	M	Modo C	MPZL	MP	0	1
04/07/04	00:36	A346	UIR SOOO/SBAO	0500S/04000W	330	4000	300	M	Info Piloto	SOOO	SO	0	1
12/07/04	16:37	-	UA314	ETANO	310	4000	300	M	Modo C	SBCW	SB	0	1
14/07/04	07:01	B763	UL302	IREMI	350	4000	1800	M	Info Piloto	SCFZ	SC	0	1
14/07/04	22:25	B737	UM525	BITIX	350	4000	90	M	Modo C	MPZL	MP	0	1
14/07/04	23:42	B737	UA552	FALLA	330	4000	90	M	Modo C	MPZL	MP	0	1
20/07/04	15:02	B737	UA317	BUFEO	370	4000	90	M	Info Piloto	MPZL	MP	0	1
22/07/04	05:53	-	UA308	MLO	330	-4000	90	M	Modo C	SBCW	SB	0	1
28/07/04	20:02	B763	UL780	BUXOS	310	4000	90	M	Modo C	MPZL	MP	0	1
Total							4970					4	22

2.1 Cálculo do Tempo Médio em Nível Errado

2.1.1 Todos os erros operacionais

O tempo médio em nível errado na região CAR/SAM é dado por:

$$\bar{t}_{ne} = \frac{\sum_{i=1}^{22} t_i}{22} = \frac{4970}{22} = 225,9091 \text{ s} = 0,0627525 \text{ h}$$

2.1.2 Todos os erros operacionais menos os dois maiores em tempo.

Retirando os tempos de Iremi: 1800 s e Dimas: 660 s, o tempo médio fica em:

$$\bar{t}_{ne} = \frac{\sum_{i=1}^{20} t_i}{20} = \frac{2510}{20} = 125,50 \text{ s} = 0,0348611 \text{ h}$$

2.1.3 Todos os erros operacionais menos os cinco maiores em tempo.

Retirando os tempos de Iremi: 1800 s, Dimas: 660 s, Resus: 300 s, 0500S/04000W: 300 s e Etano: 300 s, o tempo médio fica em:

$$\bar{t}_{ne} = \frac{\sum_{i=1}^{17} t_i}{17} = \frac{1610}{17} = 94,70588 \text{ s} = 0,026307 \text{ h}$$

O Número de cruzamentos de nível não autorizados fica reduzido a 3.

2.1.4 Todos os erros operacionais menos os cinco maiores em tempo.

Retirando os tempos de Iremi: 1800 s, Dimas: 660 s, Resus: 300 s, 0500S/04000W: 300 s, Etano: 300 s e Osamu: 180 s, o tempo médio fica em:

$$\bar{t}_{ne} = \frac{\sum_{i=1}^{16} t_i}{16} = \frac{1430}{16} = 89,375 \text{ s} = 0,024826 \text{ h}$$

O Número de cruzamentos de nível não autorizados fica reduzido a 0.

2.2 Cálculo do Tempo Médio em Nível Errado – Separando Caribe e América do Sul

2.2.1 Cálculo do Tempo Médio em Nível Errado – Caribe

2.2.1.1 Todos os erros operacionais

O tempo médio em nível errado na região do Caribe é dado por (veja Tabela 2):

$$\bar{t}_{ne} = \frac{\sum_{i=1}^9 t_i}{9} = \frac{810}{9} = 90,0 \text{ s} = 0,025 \text{ h}$$

Tabela 2 Grandes Erros Operacionais na Região do Caribe em 2004.

data	hora	Tipo acft	AWY	Local LHD	FL	LHD	tempo (seg)	Tipo de Erro	info	FIR	State	n ^{nc}	n ^{ne}
02/04/04	06:58	B762	UG437	PML	310	4000	90	M	Modo C	MPZL	MP	0	1
08/04/04	23:36	B752	UG437	DUXUM	330	4000	90	M	info piloto	MPZL	MP	0	1
06/05/04	23:30	B763	UG437	DUXUM	330	4000	90	M	info piloto	MPZL	MP	0	1
10/05/04	20:14	MD80	UA317	TBG	350	-4000	90	M	Modo C	MPZL	MP	0	1
14/06/04	21:09	B763	UL780	BUXOS	310	4000	90	M	Modo C	MPZL	MP	0	1
14/07/04	22:25	B737	UM525	BITIX	350	4000	90	M	Modo C	MPZL	MP	0	1
14/07/04	23:42	B737	UA552	FALLA	330	4000	90	M	Modo C	MPZL	MP	0	1
20/07/04	15:02	B737	UA317	BUFEO	370	4000	90	M	Info Piloto	MPZL	MP	0	1
28/07/04	20:02	B763	UL780	BUXOS	310	4000	90	M	Modo C	MPZL	MP	0	1
Total							810					0	9

2.2.2 Cálculo do Tempo Médio em Nível Errado – América do Sul

2.2.2.1 Todos os erros operacionais

O tempo médio em nível errado na região SAM é dado por:

$$\bar{t}_{ne} = \frac{\sum_{i=1}^{13} t_i}{13} = \frac{4160}{13} = 320,0 \text{ s} = 0,0888889 \text{ h}$$

2.2.2.2 Todos os erros operacionais menos os dois maiores em tempo.

etirando os tempos de Iremi: 1800 s e Dimas: 660 s, o tempo médio fica em:

$$\bar{t}_{ne} = \frac{\sum_{i=1}^{11} t_i}{11} = \frac{1700}{11} = 154,54546 \text{ s} = 0,0429293 \text{ h}$$

2.2.2.3 Todos os erros operacionais menos os cinco maiores em tempo.

Retirando os tempos de Iremi: 1800 s, Dimas: 660 s, Resus: 300 s, 0500S/04000W: 300 s e Etano: 300 s, o tempo médio fica em:

$$\bar{t}_{ne} = \frac{\sum_{i=1}^8 t_i}{8} = \frac{800}{8} = 100,0 \text{ s} = 0,0277778 \text{ h}$$

O Número de cruzamentos de nível não autorizados fica reduzido a 3.

2.2.2.4 Todos os erros operacionais menos os seis maiores em tempo.

Retirando os tempos de Iremi: 1800 s, Dimas: 660 s, Resus: 300 s, 0500S/04000W: 300 s, Etano: 300 s e Osamu: 180 s, o tempo médio fica em:

$$\bar{t}_{ne} = \frac{\sum_{i=1}^7 t_i}{7} = \frac{620}{7} = 88,57143 \text{ s} = 0,024603 \text{ h}$$

O Número de cruzamentos de nível não autorizados fica reduzido a 0.

2.2.2.5 Todos os erros operacionais menos os oito maiores em tempo.

Retirando os tempos de Iremi: 1800 s, Dimas: 660 s, Resus: 300 s, 0500S/04000W: 300 s, Etano: 300 s, Osamu: 180 s, Buxex: 120 s e Otoni: 120 s o tempo médio fica em:

$$\bar{t}_{ne} = \frac{\sum_{i=1}^5 t_i}{5} = \frac{380}{5} = 76,0 \text{ s} = 0,0211111 \text{ h}$$

O Número de cruzamentos de nível não autorizados fica reduzido a 0.

Tabela 3 Grandes Erros Operacionais na Região da América do Sul em 2004.

data	hora	Tipo acft	AWY	Local LHD	FL	LHD	tempo (seg)	Tipo de Erro	info	FIR	State	n ^{nc}	n ^{ne}
27/07/03	08:52	A346	UL306	DIMAS	370	-4000	660	A	piloto	SOOO	SO	0	1
23/06/04	10:44	-	UM540	OSAMU	330	4000	180	A	Modo C	SBCW	SB	3	1
18/07/03	23:05	A320	UA247	BUXEX	350	-3000	120	B	piloto	SOOO	SO	0	1
03/02/04	21:30	-	UW5	-	-	-1000	20	B	nil	SBCW	SB	0	1
08/05/04	04:50	-	UW10	RESUS	350	1100	300	B	Modo C	SBRE	SB	1	1
16/06/04	18:32	-	UM788/UM792	CGR	370	-2000	90	B	Modo C	SBCW	SB	0	1
14/09/03	11:40	DC10	UG449	OTONI	350	-4000	120	M	piloto	SOOO	SO	0	1
08/04/04	02:05	MD88	UA303	KONRI	310	4000	90	M	info piloto	SCFZ	SC	0	1
29/04/04	02:26	MD88	UA303	KONRI	310	4000	90	M	info piloto	SCFZ	SC	0	1
04/07/04	00:36	A346	UIR SOOO/SBAO	0500S/04000W	330	4000	300	M	Info Piloto	SOOO	SO	0	1
12/07/04	16:37	-	UA314	ETANO	310	4000	300	M	Modo C	SBCW	SB	0	1
14/07/04	07:01	B763	UL302	IREMI	350	4000	1800	M	Info Piloto	SCFZ	SC	0	1
22/07/04	05:53	-	UA308	MLO	330	-4000	90	M	Modo C	SBCW	SB	0	1
Total							4160					4	13

APÊNDICE H

Resultados Para REGIÃO CAR/SAM7

23/12/2004– 15:00 h

OBS: Só foi recalculado o último bloco: Método IEAv Novo

AAD Ajustado ao Tempo T = 27709.85351562 horas

ne_nc_Ajustados

Resumo

Este documento registra os resultados do Ajuste dos dados AAD por distribuições DE e DDE através do Método da Máxima Verossimilhança. Os dados considerados aqui são os dados recebidos do CGNA: DALEAUG1, DALEAUG2, DALEAUG3. Bem como, os cálculos do $P_z(0)$, da Tabela 4.6 e do $P_z(S_z)$. (T = 27709.85351562 horas).

II – Cálculo de $P_z(S_z)$ com Dados ASE de 2003 e Dados de AAD de 2004 - DDE.

Distribuição de AAD considerada nesta seção é a distribuição Dupla Exponencial Dupla, DDE:

$$f_2^{AAD}(z) = (1 - \alpha) f_{DE1}^{AAD}(z) + \alpha f_{DE2}^{AAD}(z) \quad (4)$$

Onde,

$$f_{DE1}^{AAD}(z) = \frac{e^{-\left(\frac{|z|}{a_1}\right)}}{2a_1}, \quad f_{DE2}^{AAD}(z) = \frac{e^{-\left(\frac{|z|}{a_2}\right)}}{2a_2} \quad e \quad \alpha = \frac{\sum_{i=1}^n t_i}{T}$$

Cálculo das Distribuições de TVE.

$$f_2^{TVE}(z) = \int_{-\infty}^{\infty} f^{ASE}(a) f_2^{AAD}(z - a) dz \quad (5)$$

Cálculo das Probabilidades de Colisão Vertical.

$$P_2(S_z) \approx 2\lambda_z \int_{-\infty}^{\infty} f_2^{TVE}(x) f_2^{TVE}(x + S_z) dz \quad (6)$$

2.3 Cálculo do parâmetro Alfa (α) para Grandes Desvios do NAT mais os da CAR/SAM (CGDNS)

O tempo total de desvios AAD grandes é dado por:

$$T_{DG} = \sum_{i=1}^{64} t_i = 33510 \text{ segundos}$$

O tempo médio por desvio é dado por;

$$\bar{t}_{DG} = \frac{\sum_{i=1}^{64} t_i}{n} = \frac{33510}{64} = 523,59375 \text{ segundos}$$

Considerando-se o tempo dos grandes desvios que vieram junto com os dados e considerando que cada um deles durou um tempo igual ao tempo médio dos desvios grandes da região CAR/SAM, o tempo total de desvios grandes de AAD será obtido por:

$$\sum_{i=1}^{17} t_i = 17\bar{t} = 8901,09375 \text{ segundos}$$

Assim, usando o tempo total de vôo da região CAR/SAM, obtido dos dados da amostra de junho/julho de 2004, que foi (27709.85351562 horas/mês – Car/Sam7) $1,19706567 \times 10^9$ segundos no ano, a estimativa do valor de α será obtida por:

$$\sum_{i=1}^{81} t_i = T_{DG} + 17\bar{t} = 33510 + 8901,09375 = 4,24110938 \times 10^4 \text{ segundos}$$

Assim, usando o tempo total de vôo na Região CAR/SAM, a estimativa do valor de α será obtida por:

$$\alpha = \frac{\sum_{i=1}^{81} t_i}{T} = \frac{4,24110938 \times 10^4}{1,19706567 \times 10^9} = 3,54292123 \times 10^{-5}$$

Os parâmetros a_1 e a_2 para a Equação (2), foram obtidos usando o programa MLE e o resultado foi:

$$\alpha = 3,54292123 \times 10^{-5}$$

$$a_1 = 0,141111886872$$

$$a_2 = 48,94036917365$$

Caribe3

Caso 3: Com grandes Desvios da NAT e da CAR/SAM(CGDNS):

$$\alpha = 3,54292123 \times 10^{-5}$$

$$a_1 = 0,141111886872$$

$$a_2 = 48,94036917365$$

Caribe3_DDE_CGDNS_04

Pz(0)

4.22796E-01

Tabela 4.6:

$P(|TVE| \geq 300)$: 8.54701E-05

$P(|TVE| \geq 500)$: 2.26706E-06

$P(|TVE| \geq 650)$: 2.12926E-07

$P(950 \leq |TVE| \leq 1050)$: 2.18241E-09

Probabilidade de Superposição Vertical

Pz(Sz=1000)

1.14816E-08

Caso 4: Pz(Sz) para TCAS:

Parâmetros DDE:

$$\alpha = 4,26041789 \times 10^{-7}$$

$$a_1 = 0,19691908036$$

$$a_2 = 51,07488462623$$

Caribe3__TCAS_04

Pz(Sz=1000)

6.64815E-09

Caso 5: Py(0) :

$$\lambda_y = 0,0193178 \text{ MN}.$$

$\sigma_{DL} \cong 0.3 \text{ MN}$ (Desvio padrão dos desvios laterais do núcleo da DDE
[-10 MN, 10 MN]).

$$P_y(0) \cong \frac{\lambda_y}{2a_1} = \frac{\lambda_y}{2\sigma_{DL} / \sqrt{2}} = \frac{0,0193178}{2 \times 0,3 / \sqrt{2}} = 0,04553249$$

SAM4

Caso 3: Com grandes Desvios da NAT e da CAR/SAM (CGDNS):

$$\alpha = 3,54292123 \times 10^{-5}$$

$$a_1 = 0,141111886872$$

$$a_2 = 48,94036917365$$

FIRs_BCRM_DDE_CGDNS_04

Pz(0)

$$4.14224E-01$$

Tabela 4.6:

P(TVE >= 300):	7.12073E-05
P(TVE >= 500):	1.33901E-06
P(TVE >= 650):	9.78816E-08
P(950 <= TVE >= 1050):	7.49963E-10

Tabela 4.5:

Pz(Sz=1000)

$$4.43990E-09$$

Caso 4: Pz(Sz) para TCAS:

Parâmetros DDE:

$$\alpha = 4,26041789 \times 10^{-7}$$

$$a_1 = 0,19691908036$$

$$a_2 = 51,07488462623$$

FIRs_BCRM_TCAS_04

Pz(Sz=1000)

$$2.58666E-09$$

Caso 5: Py(0) :

$$\lambda_y = 0,0196077 \text{ MN.}$$

$\sigma_{DL} \cong 0.3 \text{ MN}$ (Desvio padrão dos desvios laterais do núcleo da DDE [-10 MN, 10MN]).

$$P_y(0) \cong \frac{\lambda_y}{2a_1} = \frac{\lambda_y}{2\sigma_{DL} / \sqrt{2}} = \frac{0,0196077}{2 \times 0,3 / \sqrt{2}} = 0,04621579$$

CAR/SAM7

Caso 3: Com grandes Desvios da NAT e da CAR/SAM(CGDNS):

CAR/SAM_MEDIO_DDE_CGDNS_04

Pz(0)

4.14325E-01

Tabela 4.6:

P(|TVE|>= 300): 7.85985E-05

P(|TVE|>= 500): 1.71793E-06

P(|TVE|>= 650): 1.43110E-07

P(950 <= |TVE| >= 1050): 1.30235E-09

Probabilidade de Superposição Vertical

Pz(Sz=1000)

7.30482E-09

II. Cálculo dos parâmetros da Distribuição dos Desvios TCAS de 2004, via ajuste pelo Método da Máxima Verossimilhança.

II.1 Cálculo do parâmetro Alfa (α) para Grandes Desvios TCAS da Região CAR/SAM (TCAS)

Assim, usando o tempo total de vôo na Região CAR/SAM, a estimativa do valor de α será obtida por:

$$\alpha = \frac{\sum_{i=1}^5 t_i}{T} = \frac{510.0}{1,19706567 \times 10^9} = 4,26041789 \times 10^{-7}$$

Os parâmetros a_1 e a_2 para a Equação (2), foram obtidos usando o programa MLE e o resultado foi:

$$\alpha = 4,26041789 \times 10^{-7}$$

$$a_1 = 0,19691908036$$

$$a_2 = 51,07488462623$$

Caso 4: Pz(Sz) para TCAS:

CAR/SAM7_TCAS_04

Pz(Sz=1000)

4.25606E-09

Caso 5: Py(0) :

$$\lambda_y = 0,0194945 \text{ MN}$$

$\sigma_{DL} \cong 0.3 \text{ MN}$ (Desvio padrão dos desvios laterais do núcleo da DDE [-10 MN, 10MN]).

$$P_y(0) \cong \frac{\lambda_y}{2a_1} = \frac{\lambda_y}{2\sigma_{DL} / \sqrt{2}} = \frac{0,0194945}{2 \times 0,3 / \sqrt{2}} = 0,04594898$$

Resultado com todos os erros operacionais do CAR/SAM

Tabela 1 Parâmetros operacionais usados nos cálculos

Parâmetro	Caribe3	SAM4	Crsam7
n^{ne}	4,29	6,71	11
n_s^{ne}	3,51	5,49	9
n_{op}^{ne}	0,78	1,22	2
n^{nc}	1,17	1,83	3
n_s^{nc}	0,39	0,61	1
n_{op}^{nc}	0,78	1,22	2
\bar{t}_{ne}	0,08535	0,08535	0,08535 h
\bar{t}_s^{ne}	0,09444	0,09444	0,09444 h
\bar{t}_{op}^{ne}	0,04444	0,04444	0,04444 h
$ \bar{z}_c $	10	10	10 nós

Método Original

$$N_{az}^{ne} = P_z(0) P_y(0) \frac{n^{ne} \bar{t}^{ne} \lambda_x}{T S_x} \left\{ \begin{array}{l} E_z(\text{same}) \left[\frac{|\Delta V|}{2\lambda_x} + \frac{|y|}{2\lambda_y} + \frac{|z|}{2\lambda_z} \right] + \\ E_z(\text{opp}) \left[\frac{2|\bar{V}|}{2\lambda_x} + \frac{|y|}{2\lambda_y} + \frac{|z|}{2\lambda_z} \right] \end{array} \right\} + N_{cruz}^{ne} \quad (1)$$

Tabela 2 Taxas de erro e Probabilidades de superposição vertical devido a erros operacionais

Parâmetros	CARIBE3	SAM4	CAR/SAM7
α^{ne}	3.30340E-05	3.31109E-05	3.30809E-05
α^{nc}	9.00928E-06	9.03025E-06	9.02206E-06
$\alpha^{ne} \times \bar{t}_{ne}$	2.81945E-06	2.82602E-06	2.82346E-06
$P_z(0)$	0.422796	0.414224	0.414325
$P_z^{Tech}(10000)$	1.14816E-08	4.43990E-09	7.30482E-09
$P_z^{ACAS}(1000)$	6.64815E-09	2.58666E-09	4.25606E-09
$P_z^{ne}(1000)$	1.19205E-06	1.17060E-06	1.16983E-06
$P_z^{nc}(1000)$	1.18176E-08	1.20175E-08	1.19393E-08

Tabela 3 Riscos de Colisão Vertical para o Caso 4 (CGDNS)

Tipo de Risco	CARIBE3	SAM4	CAR/SAM7
NazTech	3.31580E-10	9.16948E-11	2.01337E-10
NazACAS	1.91993E-10	5.34208E-11	1.17306E-10
Naz-ne	3.44256E-08	2.41758E-08	3.22430E-08

Naz-nc	3.41284E-10	2.48190E-10	3.29072E-10
Naz-Total	3.52904E-08	2.45692E-08	3.28907E-08

Tabela 4 Taxas de erro máximas e tolerâncias em número de cruzamentos de nível e tempo de permanência em nível errado por ano.

Parâmetros	CARIBE3	SAM4	CAR/SAM7
α_{\max}^{ne}	4.29548E-06	6.64919E-06	4.80302E-06
α_{\max}^{nc}	1.14724E-04	1.63878E-04	1.20437E-04
$\alpha_{\max}^{ne} \times \bar{t}_{ne}$	3.66619E-07	5.67508E-07	4.09938E-07
t^{ne} -max (s/ano)	171.40	414.02	490.72
n^{nc} -max (por ano)	15	33	40

Método Brian

$$N_{az}^{ne} = P_z(0)P_y(0) \frac{n^{ne}\bar{t}_{ne}}{T} \frac{\lambda_x}{S_x} \left\{ E_z(\text{same}) \left[\frac{|\Delta V|}{2\lambda_x} + \frac{|y|}{2\lambda_y} + \frac{|z|}{2\lambda_z} \right] + \frac{n_{op}^{ne}}{n^{ne}} E_z(\text{opp}) \left[\frac{2|\bar{V}|}{2\lambda_x} + \frac{|y|}{2\lambda_y} + \frac{|z|}{2\lambda_z} \right] \right\} + N_{cruz}^{ne} \quad (2)$$

Tabela 5 Taxas de erro e Probabilidades de superposição vertical devido a erros operacionais

Parâmetros	CARIBE3	SAM4	CAR/SAM7
α^{ne}	3.30340E-05	3.31109E-05	3.30809E-05
α^{nc}	9.00928E-06	9.03025E-06	9.02206E-06
$\alpha^{ne} \times \bar{t}_{ne}$	2.81945E-06	2.82602E-06	2.82346E-06
$P_z(0)$	0.422796	0.414224	0.414325
$P_z^{Tech}(10000)$	1.14816E-08	4.43990E-09	7.30482E-09
$P_z^{ACAS}(1000)$	6.64815E-09	2.58666E-09	4.25606E-09
$P_z^{ne}(1000)$	1.19205E-06	1.17060E-06	1.16983E-06
$P_z^{nc}(1000)$	1.18176E-08	1.20175E-08	1.19393E-08

Tabela 6 Riscos de Colisão Vertical para o Caso 4 (CGDNS)

Tipo de Risco	CARIBE3	SAM4	CAR/SAM7
NazTech	3.31580E-10	9.16948E-11	2.01337E-10
NazACAS	1.91993E-10	5.34208E-11	1.17306E-10
Naz-ne	6.77725E-09	1.00430E-08	1.04515E-08
Naz-nc	3.41284E-10	2.48190E-10	3.29072E-10
Naz-Total	7.64211E-09	1.04363E-08	1.10992E-08

Tabela 7 Taxas de erro máximas e tolerâncias em número de cruzamentos de nível e tempo de permanência em nível errado por ano.

Parâmetros	CARIBE3	SAM4	CAR/SAM7
α_{\max}^{ne}	4.29548E-06	6.64919E-06	4.80302E-06
α_{\max}^{nc}	1.14724E-04	1.63878E-04	1.20437E-04
$\alpha_{\max}^{ne} \times \bar{t}_{ne}$	3.66619E-07	5.67508E-07	4.09938E-07
t^{ne} -max (s/ano)	171.40	414.02	490.72
n^{nc} -max (por ano)	15	33	40

Método Brian - modificado

$$N_{az}^{ne} = P_z(0)P_y(0) \frac{n^{ne} \bar{t}_{ne}}{T} \frac{\lambda_x}{S_x} \left\{ \begin{array}{l} \frac{n_s^{ne}}{n^{ne}} E_z(same) \left[\frac{|\Delta V|}{2\lambda_x} + \frac{|y|}{2\lambda_y} + \frac{|z|}{2\lambda_z} \right] + \\ \frac{n_{op}^{ne}}{n^{ne}} E_z(opp) \left[\frac{2|\bar{V}|}{2\lambda_x} + \frac{|y|}{2\lambda_y} + \frac{|z|}{2\lambda_z} \right] \end{array} \right\} + N_{cruz}^{ne} \quad (2)$$

Tabela 8 Taxas de erro e Probabilidades de superposição vertical devido a erros operacionais

Parâmetros	CARIBE3	SAM4	CAR/SAM7
α^{ne}	3.30340E-05	3.31109E-05	3.30809E-05
α^{nc}	9.00928E-06	9.03025E-06	9.02206E-06
$\alpha^{ne} \times \bar{t}_{ne}$	2.81945E-06	2.82602E-06	2.82346E-06
$P_z(0)$	0.422796	0.414224	0.414325
$P_z^{Tech}(10000)$	1.14816E-08	4.43990E-09	7.30482E-09
$P_z^{ACAS}(1000)$	6.64815E-09	2.58666E-09	4.25606E-09
$P_z^{ne}(1000)$	1.19205E-06	1.17060E-06	1.16983E-06
$P_z^{nc}(1000)$	1.18176E-08	1.20175E-08	1.19393E-08

Tabela 9 Riscos de Colisão Vertical para o Caso 4 (CGDNS)

Tipo de Risco	CARIBE3	SAM4	CAR/SAM7
NazTech	3.31580E-10	9.16948E-11	2.01337E-10
NazACAS	1.91993E-10	5.34208E-11	1.17306E-10
Naz-ne	6.77725E-09	9.57823E-09	9.98943E-09
Naz-nc	3.41284E-10	2.48190E-10	3.29072E-10
Naz-Total	7.64211E-09	9.97153E-09	1.06371E-08

Tabela 10 Taxas de erro máximas e tolerâncias em número de cruzamentos de nível e tempo de permanência em nível errado por ano.

Parâmetros	CARIBE3	SAM4	CAR/SAM7
α_{\max}^{ne}	4.29548E-06	6.64919E-06	4.80302E-06
α_{\max}^{nc}	1.14724E-04	1.63878E-04	1.20437E-04
$\alpha_{\max}^{ne} \times \bar{t}_{ne}$	3.66619E-07	5.67508E-07	4.09938E-07
t_{\max}^{ne} -max (s/ano)	171.40	414.02	490.72
n^{nc} -max (por ano)	15	33	40

Método IEAv Novo

$$N_{az}^{ne} = P_z(0)P_y(0)\frac{\lambda_x}{S_x} \left\{ \begin{array}{l} \frac{t_s^{ne}}{T} E_z(\text{same}) \left[\frac{|\Delta V|}{2\lambda_x} + \frac{|y|}{2\lambda_y} + \frac{|z|}{2\lambda_z} \right] + \\ \frac{t_{op}^{ne}}{T} E_z(\text{opp}) \left[\frac{2|\bar{V}|}{2\lambda_x} + \frac{|y|}{2\lambda_y} + \frac{|z|}{2\lambda_z} \right] \end{array} \right\} + N_{cruz}^{ne} \quad (3)$$

$$N_{az}^{nc} = P_y(0) \frac{2\lambda_z}{|\dot{z}_c|} \left\{ \begin{array}{l} \frac{n_s^{nc}}{T} E_z(\text{same}) \left[\frac{|\Delta V|}{2\lambda_x} + \frac{|y|}{2\lambda_y} + \frac{|z|}{2\lambda_z} \right] + \\ \frac{n_{op}^{nc}}{T} E_z(\text{opp}) \left[\frac{2|\bar{V}|}{2\lambda_x} + \frac{|y|}{2\lambda_y} + \frac{|z|}{2\lambda_z} \right] \end{array} \right\} + N_{cruz}^{nc} \quad (4)$$

Tabela 11 Taxas de erro e Probabilidades de superposição vertical devido a erros operacionais

Parâmetros	CARIBE3	SAM4	CAR/SAM7
α^{ne}	3.30340E-05	3.31109E-05	3.30809E-05
α^{nc}	9.00928E-06	9.03025E-06	9.02206E-06
$\alpha^{ne} \times \bar{t}_{ne}$	2.81945E-06	2.82602E-06	2.82346E-06
$P_z(0)$	0.422796	0.414224	0.414325
$P_z^{Tech}(10000)$	1.14816E-08	4.43990E-09	7.30482E-09
$P_z^{ACAS}(1000)$	6.64815E-09	2.58666E-09	4.25606E-09
$P_z^{ne}(1000)$	1.19205E-06	1.17060E-06	1.16983E-06
$P_z^{nc}(1000)$	1.01006E-08	6.56692E-09	3.97975E-09

Tabela 12 Riscos de Colisão Vertical para o Caso 4 (CGDNS)

Tipo de Risco	CARIBE3	SAM4	CAR/SAM7
NazTech	3.31580E-10	9.16948E-11	2.01337E-10
NazACAS	1.91993E-10	5.34208E-11	1.17306E-10
Naz-ne	3.83227E-09	8.29563E-09	7.88973E-09
Naz-nc	2.29615E-10	1.71583E-10	2.21172E-10
Naz-Total	4.58546E-09	8.61233E-09	8.42955E-09

Tabela 13 Taxas de erro máximas e tolerâncias em número de cruzamentos de nível e tempo de permanência em nível errado por ano.

Parâmetros	CARIBE3	SAM4	CAR/SAM7
α_{\max}^{ne}	4.29548E-06	6.64919E-06	4.80302E-06
α_{\max}^{nc}	1.14724E-04	1.63878E-04	1.20437E-04
$\alpha_{\max}^{ne} \times \bar{t}_{ne}$	3.66619E-07	5.67508E-07	4.09938E-07
t^{\max}_{ne} (s/ano)	171.40	414.02	490.72
n^{\max}_{nc} (por ano)	15	33	40

APÊNDICE H-I

Resultados Para REGIÃO CAR/SAM7

23/12/2004 – 15:00 h

OBS: Só foi recalculado o último bloco: Método IEAv Novo

CAR/SAM7: AAD Ajustado ao Tempo T = 763557,6 horas/ano

CAR3 : AAD Ajustado ao Tempo T_{car3} = 298210,1 horas/ano

SAM4 : AAD Ajustado ao Tempo T_{sam7} = 465347,5 horas/ano

Razões de Tempo das Regiões Car3 e Sam4:

$$R_{Car3/Carsam7} = \frac{10822,1796875}{27709,85351562} = 0,3905535 \cong 0,39$$

$$R_{Sam4/Carsam7} = \frac{16887,6738281}{27709,85351562} = 0,6094465 \cong 0,61$$

Resumo

Este documento registra os resultados do Ajuste dos dados AAD por distribuições DE e DDE através do Método da Máxima Verossimilhança. Os dados considerados aqui são os dados recebidos do CGNA: DALEAUG1, DALEAUG2, DALEAUG3. Bem como, os cálculos do Pz(0), da Tabela 4.6 e do Pz(Sz).

II – Cálculo de P_z(S_z) com Dados ASE de 2003 e Dados de AAD de 2004 - DDE.

Distribuição de AAD considerada nesta seção é a distribuição Dupla Exponencial Dupla, DDE:

$$f_2^{AAD}(z) = (1 - \alpha) f_{DE1}^{AAD}(z) + \alpha f_{DE2}^{AAD}(z) \quad (4)$$

Onde,

$$f_{DE1}^{AAD}(z) = \frac{e^{-\left(\frac{|z|}{a_1}\right)}}{2a_1}, \quad f_{DE2}^{AAD}(z) = \frac{e^{-\left(\frac{|z|}{a_2}\right)}}{2a_2} \quad e \quad \alpha = \frac{\sum_{i=1}^n t_i}{T}$$

Cálculo das Distribuições de TVE.

$$f_2^{TVE}(z) = \int_{-\infty}^{\infty} f^{ASE}(a) f_2^{AAD}(z - a) dz \quad (5)$$

Cálculo das Probabilidades de Colisão Vertical.

$$P_2(S_z) \approx 2\lambda_z \int_{-\infty}^{\infty} f_2^{TVE}(x) f_2^{TVE}(x + S_z) dz \quad (6)$$

2.3 Cálculo do parâmetro Alfa (α) para Grandes Desvios do NAT mais os da CAR/SAM (CGDNS)

O tempo total de desvios AAD grandes é dado por, Tabela 1:

$$T_{DG} = \sum_{i=1}^{64} t_i = 3380 \text{ segundos}$$

O tempo médio por desvio é dado por;

$$\bar{t}_{DG} = \frac{\sum_{i=1}^{64} t_i}{n} = \frac{3380}{11} = 307,27273 \text{ segundos}$$

Considerando-se o tempo dos grandes desvios que vieram junto com os dados e considerando que cada um deles durou um tempo igual ao tempo médio dos desvios grandes da região CAR/SAM, o tempo total de desvios grandes de AAD será obtido por:

Tabela 1 Grandes Erros Operacionais na Região CAR/SAM em 2004.

data	hora	Tipo acft	AWY	Local LHD	FL	LHD	tempo (seg)	Tipo de Erro	info	FIR	State	n ^{nc}	n ^{ne}
14/09/03	11:40	DC10	UG449	OTONI	350	-4000	120	M	piloto	S000	SO	0	1
03/02/04	21:30	:	UW5	:	:	-1000	20	B	nil	SBCW	SB	0	1
08/04/04	02:05	MD88	UA303	KONRI	310	4000	90	M	info piloto	SCFZ	SC	0	1
29/04/04	02:26	MD88	UA303	KONRI	310	4000	90	M	info piloto	SCFZ	SC	0	1
08/05/04	04:50	:	JW10	RESUS	350	1100	300	B	Modo C	SBRE	SB	0	1
16/06/04	18:32	-	UM788/UM792	CGR	370	-2000	90	E	Modo C	SBCW	SB	0	1
23/06/04	10:44	-	UM540	OSAMU	330	4000	180	A	Modo C	SBCW	SB	3	1
04/07/04	00:36	A346	UIR S000/SBAO	0500S/04000W	330	4000	300	M	Info Piloto	S000	SO	0	1
12/07/04	16:37	-	UA314	ETANO	310	4000	300	M	Modo C	SBCW	SB	0	1
14/07/04	07:01	B763	UL302	IREMI	350	4000	1800	M	Info Piloto	SCFZ	SC	0	1
22/07/04	05:53	-	UA308	MLO	330	-4000	90	M	Modo C	SBCW	SB	0	1
Total							3380					3	11

OBS: Ele não separou os erros de mesmo sentido dos erros de sentido contrário.

Tempo em nível errado total = 3380 segundos. $\bar{t}_t^{ne} = 307,27273$ segundos

Tempo em nível errado mesmo sentido = 3060 segundos. $\bar{t}_s^{ne} = 340$ segundos

Tempo em nível errado sentido oposto = 320 segundos. $\bar{t}_{op}^{ne} = 160$ segundos

$$\sum_{i=1}^{17} t_i = 17\bar{t} = 5223,63636 \text{ segundos}$$

Assim, usando o tempo total de vôo da região CAR/SAM, obtido dos dados da amostra de junho/julho de 2004, que foi (63629,8 horas/mês – Car/Sam7) $2,74881 \times 10^9$ segundos no ano, a estimativa do valor de α será obtida por:

$$\sum_{i=1}^{28} t_i = T_{DG} + 17\bar{t} = 3380 + 5223,63636 = 8603,63636 \text{ segundos}$$

CAR/SAM

Assim, usando o tempo total de vôo na Região CAR/SAM, a estimativa do valor de α será obtida por:

$$\alpha = \frac{\sum_{i=1}^{28} t_i}{T} = \frac{8603,63636}{2,74881 \times 10^9} = 3,12995 \times 10^{-6}$$

Os parâmetros a_1 e a_2 para a Equação (2), foram obtidos usando o programa MLE e o resultado foi:

$$\alpha = 3,12995 \times 10^{-6}$$

$$a_1 = 0,171207899$$

$$a_2 = 50,8477113$$

Cálculo dos parâmetros da Distribuição dos Desvios TCAS de 2004, via ajuste pelo Método da Máxima Verossimilhança.

Cálculo do parâmetro Alfa (α) para Grandes Desvios TCAS da Região CAR/SAM (TCAS)

Assim, usando o tempo total de vôo na Região CAR/SAM, a estimativa do valor de α será obtida por:

$$\alpha = \frac{\sum_{i=1}^5 t_i}{T} = \frac{510.0}{2,74881 \times 10^9} = 1,85534831 \times 10^{-7}$$

Os parâmetros a_1 e a_2 para a Equação (2), foram obtidos usando o programa MLE e o resultado foi:

$$\alpha = 1,85534831 \times 10^{-7}$$

$$a_1 = 0,20516505356$$

$$a_2 = 51,5874539418$$

Caribe3

Caso 3: Com grandes Desvios da NAT e da CAR/SAM(CGDNS):

CAR3: AAD Ajustado ao Tempo $T_{\text{car3}} = 298210,1$ horas/ano = $1,073556 \times 10^9$ s/ano.

$$\alpha = \frac{\sum_{i=1}^{28} t_i}{T} = \frac{8603,63636}{1,073556 \times 10^9} = 8,014145 \times 10^{-6}$$

$$a_1 = 0,15486377$$

$$a_2 = 49,74499371$$

Caribe3_DDE_CGDNS_04

Pz(0)

4.19291E-01

Tabela 4.6:

P(|TVE| >= 300): 8.54871E-05

P(|TVE| >= 500): 2.26957E-06

P(|TVE| >= 650): 2.13258E-07

P(950 <= |TVE| <= 1050): 2.18833E-09

Probabilidade de Superposição Vertical

Pz(Sz=1000)

9.77984E-09

Caso 4: Pz(Sz) para TCAS:

$$\alpha = \frac{\sum_{i=1}^5 t_i}{T} = \frac{510.0}{1,073556 \times 10^9} = 4,750567 \times 10^{-7}$$

Parâmetros DDE:

$$a_1 = 0,19466949$$

$$a_2 = 50,93414607$$

Caribe3__TCAS_04

Pz(Sz=1000)

6.76116E-09

Cálculo de Py(0) :

$$\lambda_y = 0,0193178 \text{ MN.}$$

$\sigma_{DL} \cong 0.3 \text{ MN}$ (Desvio padrão dos desvios laterais do núcleo da DDE
[-10 MN, 10 MN]).

$$P_y(0) \cong \frac{\lambda_y}{2a_1} = \frac{\lambda_y}{2\sigma_{DL}/\sqrt{2}} = \frac{0,0193178}{2 \times 0,3/\sqrt{2}} = 0,0455325$$

SAM4

Caso 3: Com grandes Desvios da NAT e da CAR/SAM (CGDNS):

SAM4: AAD Ajustado ao Tempo $T_{sam7} = 465347,5$ horas/ano = $1,67525 \times 10^9$ s/ano

$$\alpha = \frac{\sum_{i=1}^{28} t_i}{T} = \frac{8603,63636}{1,67525 \times 10^9} = 5,13573 \times 10^{-6}$$

$$a_1 = 0,16724934$$

$$a_2 = 50,56867022$$

FIRs_BCRM_DDE_CGDNS_04

Pz(0)

4.08398E-01

Tabela 4.6:

P(|TVE| >= 300): 7.12587E-05

P(|TVE| >= 500): 1.34104E-06

P(|TVE| >= 650): 9.81022E-08

P(950 <= |TVE| <= 1050): 7.53357E-10

Tabela 4.5:

Pz(Sz=1000)

3.32893E-09

Caso 4: Pz(Sz) para TCAS:

$$\alpha = \frac{\sum_{i=1}^5 t_i}{T} = \frac{510.0}{1,67525 \times 10^9} = 3,04432 \times 10^{-7}$$

Parâmetros DDE:

$$a_1 = 0,20120342$$

$$a_2 = 51,34485425$$

FIRs_BCRM_TCAS_04

Pz(Sz=1000)

2.50723E-09

Cálculo de $P_y(0)$:

$$\lambda_y = 0,0196977 \text{ MN}.$$

$$\sigma_{DL} \cong 0.3 \text{ MN} \quad (\text{Desvio padrão dos desvios laterais do núcleo da DDE} \\ [-10 \text{ MN}, 10 \text{ MN}]).$$

$$P_y(0) \cong \frac{\lambda_y}{2a_1} = \frac{\lambda_y}{2\sigma_{DL} / \sqrt{2}} = \frac{0,0196077}{2 \times 0,3 / \sqrt{2}} = 0,0462158$$

CAR/SAM7

Caso 3: Com grandes Desvios da NAT e da CAR/SAM(CGDNS):

$$\alpha = 3,12995 \times 10^{-6}$$

$$a_1 = 0,171207899$$

$$a_2 = 50,8477113$$

CAR/SAM_MEDIO_DDE_CGDNS_04

Pz(0)

0,407841

Tabela 4.6:

$$P(|TVE| \geq 300): 7.86919E-05$$

$$P(|TVE| \geq 500): 1.72187E-06$$

$$P(|TVE| \geq 650): 1.43538E-07$$

$$P(950 \leq |TVE| \leq 1050): 1.30907E-09$$

Probabilidade de Superposição Vertical

Pz(Sz=1000)

5.27444E-09

Caso 4: Pz(Sz) para TCAS:

CAR/SAM7_TCAS_04

Pz(Sz=1000)

4.01218E-09

Caso 5: $P_y(0)$:

$$\lambda_y = 0,0194945 \text{ MN}$$

$\sigma_{DL} \cong 0.3 MN$ (Desvio padrão dos desvios laterais do núcleo da DDE [-10 MN, 10MN]).

$$P_y(0) \cong \frac{\lambda_y}{2a_1} = \frac{\lambda_y}{2\sigma_{DL}/\sqrt{2}} = \frac{0,0194945}{2 \times 0,3/\sqrt{2}} = 0,04594898$$

I. Resultado com todos os erros operacionais do CAR/SAM

Tabela 1 Parâmetros operacionais usados nos cálculos

Parâmetro	Caribe3	SAM4	Crsam7
n^{ne}	4,29	6,71	11
n_s^{ne}	3,51	5,49	9
n_{op}^{ne}	0,78	1,22	2
n^{nc}	1,17	1,83	3
n_s^{nc}	0,39	0,61	1
n_{op}^{nc}	0,78	1,22	2
\bar{t}_{ne}	0,08535	0,08535	0,08535 h
\bar{t}_s^{ne}	0,09444	0,09444	0,09444 h
\bar{t}_{op}^{ne}	0,04444	0,04444	0,04444 h
$ \bar{z}_c $	10	10	10 nós

Método Original

$$N_{az}^{ne} = P_z(0) P_y(0) \frac{n^{ne} \bar{t}_{ne}}{T} \frac{\lambda_x}{S_x} \left\{ \begin{array}{l} E_z(same) \left[\frac{|\Delta V|}{2\lambda_x} + \frac{|y|}{2\lambda_y} + \frac{|z|}{2\lambda_z} \right] + \\ E_z(opp) \left[\frac{2|\bar{V}|}{2\lambda_x} + \frac{|y|}{2\lambda_y} + \frac{|z|}{2\lambda_z} \right] \end{array} \right\} + N_{cruz}^{ne} \quad (1)$$

Tabela 2 Taxas de erro e Probabilidades de superposição vertical devido a erros operacionais

Parâmetros	CARIBE3	SAM4	CAR/SAM7
α^{ne}	1.43858E-05	1.44062E-05	1.44062E-05
α^{nc}	3.92341E-06	3.92898E-06	3.92898E-06
$\alpha^{ne} \times \bar{t}_{ne}$	1.22783E-06	1.22957E-06	1.22957E-06
$P_z(0)$	0.419291	0.408398	0.407841
$P_z^{Tech}(10000)$	9.77984E-09	3.32893E-09	5.27444E-09
$P_z^{ACAS}(1000)$	6.76116E-09	2.50723E-09	4.01218E-09
$P_z^{ne}(1000)$	5.14818E-07	5.02155E-07	4.89719E-07
$P_z^{nc}(1000)$	5.14641E-09	5.22868E-09	5.19937E-09

Tabela 3 Riscos de Colisão Vertical para o Caso 4 (CGDNS)

Tipo de Risco	CARIBE3	SAM4	CAR/SAM7
NazTech	2.82434E-10	6.87505E-11	1.45375E-10
NazACAS	1.95257E-10	5.17804E-11	1.10584E-10
Naz-ne	1.48676E-08	1.03707E-08	1.38216E-08
Naz-nc	1.48624E-10	1.07985E-10	1.43306E-10
Naz-Total	1.54939E-08	1.05992E-08	1.42209E-08

Tabela 4 Taxas de erro máximas e tolerâncias em número de cruzamentos de nível e tempo de permanência em nível errado por ano.

Parâmetros	CARIBE3	SAM4	CAR/SAM7
α_{\max}^{ne}	4.37578E-06	6.77819E-06	4.94471E-06
α_{\max}^{nc}	1.15900E-04	1.64707E-04	1.22049E-04
$\alpha_{\max}^{ne} \times \bar{t}_{ne}$	3.73473E07	5.78519E-07	4.32158E-07
t^{ne} -max (s/ano)	400.94	970.04	1160.08
n^{nc} -max (por ano)	35	77	93

Método Brian

$$N_{az}^{ne} = P_z(0)P_y(0) \frac{n^{ne}\bar{t}_{ne}}{T} \frac{\lambda_x}{S_x} \left\{ E_z(\text{same}) \left[\frac{|\Delta V|}{2\lambda_x} + \frac{|y|}{2\lambda_y} + \frac{|z|}{2\lambda_z} \right] + \frac{n_{op}^{ne}}{n^{ne}} E_z(\text{opp}) \left[\frac{2|\bar{V}|}{2\lambda_x} + \frac{|y|}{2\lambda_y} + \frac{|z|}{2\lambda_z} \right] \right\} + N_{cruz}^{ne} \quad (2)$$

Tabela 5 Taxas de erro e Probabilidades de superposição vertical devido a erros operacionais

Parâmetros	CARIBE3	SAM4	CAR/SAM7
α^{ne}	1.43858E-05	1.44062E-05	1.44062E-05
α^{nc}	3.92341E-06	3.92898E-06	3.92898E-06
$\alpha^{ne} \times \bar{t}_{ne}$	1.22783E-06	1.22957E-06	1.22957E-06
$P_z(0)$	0.419291	0.408398	0.407841
$P_z^{Tech}(10000)$	9.77984E-09	3.32893E-09	5.27444E-09
$P_z^{ACAS}(1000)$	6.26722E-09	2.50723E-09	4.01218E-09
$P_z^{ne}(1000)$	5.14818E-07	5.02155E-07	5.01470E-07
$P_z^{nc}(1000)$	5.14641E-09	5.22868E-09	5.19937E-09

Tabela 6 Riscos de Colisão Vertical para o Caso 4 (CGDNS)

Tipo de Risco	CARIBE3	SAM4	CAR/SAM7
NazTech	2.82434E-10	6.87505E-11	1.45375E-10
NazACAS	1.80992E-10	5.17804E-11	1.10584E-10
Naz-ne	2.92693E-09	4.30817E-09	4.48023E-09
Naz-nc	1.48624E-10	1.07985E-10	1.43306E-10
Naz-Total	3.53898E-09	4.53669E-09	4.87950E-09

Tabela 7 Taxas de erro máximas e tolerâncias em número de cruzamentos de nível e tempo de permanência em nível errado por ano.

Parâmetros	CARIBE3	SAM4	CAR/SAM7
α_{\max}^{ne}	4.38958E-06	6.77819E-06	4.94471E-06
α_{\max}^{nc}	1.16266E-04	1.64707E-04	1.22049E-04
$\alpha_{\max}^{ne} \times \bar{t}_{ne}$	3.74651E-07	5.78519E-07	4.38157E-07
t^{ne} -max (s/ano)	402.21	970.04	1160.08
n^{nc} -max (por ano)	35	77	93

Método Brian - modificado

$$N_{az}^{ne} = P_z(0)P_y(0) \frac{n^{ne}\bar{t}^{ne}}{T} \frac{\lambda_x}{S_x} \left\{ \begin{array}{l} \frac{n_s^{ne}}{n^{ne}} E_z(\text{same}) \left[\frac{|\Delta V|}{2\lambda_x} + \frac{|y|}{2\lambda_y} + \frac{|z|}{2\lambda_z} \right] + \\ \frac{n_{op}^{ne}}{n^{ne}} E_z(\text{opp}) \left[\frac{2|\bar{V}|}{2\lambda_x} + \frac{|y|}{2\lambda_y} + \frac{|z|}{2\lambda_z} \right] \end{array} \right\} + N_{cruz}^{ne} \quad (2)$$

Tabela 8 Taxas de erro e Probabilidades de superposição vertical devido a erros operacionais

Parâmetros	CARIBE3	SAM4	CAR/SAM7
α^{ne}	1.44062E-05	1.44062E-05	1.44062E-05
α^{nc}	3.92898E-06	3.92898E-06	3.92898E-06
$\alpha^{ne} \times \bar{t}_{ne}$	1.22957E-06	1.22957E-06	1.22957E-06
$P_z(0)$	0.4192910	0.408398	0.407841
$P_z^{Tech}(10000)$	9.77984E-09	3.32893E-09	5.27444E-09
$P_z^{ACAS}(1000)$	6.26722E-09	2.50723E-09	4.01218E-09
$P_z^{ne}(1000)$	5.15549E-07	5.02155E-07	5.01470E-07
$P_z^{nc}(1000)$	5.15372E-09	5.22868E-09	5.19937E-09

Tabela 9 Riscos de Colisão Vertical para o Caso 4 (CGDNS)

Tipo de Risco	CARIBE3	SAM4	CAR/SAM7
NazTech	2.82434E-10	6.87505E-11	1.45375E-10
NazACAS	1.80992E-10	5.17804E-11	1.10584E-10
Naz-ne	2.93108E-09	4.10878E-09	4.28217E-09
Naz-nc	1.48835E-10	1.07985E-10	1.43306E-10
Naz-Total	3.54334E-09	4.33730E-09	4.68144E-09

Tabela 10 Taxas de erro máximas e tolerâncias em número de cruzamentos de nível e tempo de permanência em nível errado por ano.

Parâmetros	CARIBE3	SAM4	CAR/SAM7
α_{\max}^{ne}	4.38958E-06	6.77819E-06	4.94471E-06
α_{\max}^{nc}	1.16266E-04	1.64707E-04	1.22049E-04
$\alpha_{\max}^{ne} \times \bar{t}_{ne}$	3.74651E-07	5.78519E-07	4.38157E-07
t^{ne} -max (s/ano)	401.64	970.04	1160.08
n^{nc} -max (por ano)	35	77	93

Método IEAv Novo

$$N_{az}^{ne} = P_z(0)P_y(0) \frac{\lambda_x}{S_x} \left\{ \begin{array}{l} \frac{t_s^{ne}}{T} E_z(\text{same}) \left[\frac{|\Delta V|}{2\lambda_x} + \frac{|y|}{2\lambda_y} + \frac{|z|}{2\lambda_z} \right] + \\ \frac{t_{op}^{ne}}{T} E_z(\text{opp}) \left[\frac{2|\bar{V}|}{2\lambda_x} + \frac{|y|}{2\lambda_y} + \frac{|z|}{2\lambda_z} \right] \end{array} \right\} + N_{cruz}^{ne} \quad (3)$$

$$N_{az}^{nc} = P_y(0) \frac{2\lambda_z}{|\dot{z}_c|} \left\{ \begin{array}{l} \frac{n_s^{nc}}{T} E_z(\text{same}) \left[\frac{|\Delta V|}{2\lambda_x} + \frac{|y|}{2\lambda_y} + \frac{|z|}{2\lambda_z} \right] + \\ \frac{n_{op}^{nc}}{T} E_z(\text{opp}) \left[\frac{2|\bar{V}|}{2\lambda_x} + \frac{|y|}{2\lambda_y} + \frac{|z|}{2\lambda_z} \right] \end{array} \right\} + N_{cruz}^{nc} \quad (4)$$

Tabela 11 Taxas de erro e Probabilidades de superposição vertical devido a erros operacionais

Parâmetros	CARIBE3	SAM4	CAR/SAM7
α^{ne}	1.44062E-05	1.44062E-05	1.44062E-05
α^{nc}	3.92898E-06	3.92898E-06	3.92898E-06
$\alpha^{ne} \times \bar{t}_{ne}$	3.92898E-06	3.92898E-06	3.92898E-06
$P_z(0)$	0.419291	0.408398	0.407841
$P_z^{Tech}(10000)$	9.77984E-09	3.32893E-09	5.27444E-09
$P_z^{ACAS}(1000)$	6.26722E-09	2.50723E-09	4.01218E-09
$P_z^{ne}(1000)$	5.15549E-07	5.02155E-07	5.01470E-07
$P_z^{nc}(1000)$	4.40489E-09	2.85720E-09	1.73312E-09

Tabela 12 Riscos de Colisão Vertical para o Caso 4 (CGDNS)

Tipo de Risco	CARIBE3	SAM4	CAR/SAM7
NazTech	2.82434E-10	6.87505E-11	1.45375E-10
NazACAS	1.80992E-10	5.17804E-11	1.10584E-10
Naz-ne	1.65741E-09	3.55858E-09	3.38209E-09
Naz-nc	1.00136E-10	7.46543E-11	9.63174E-11
Naz-Total	2.22097E-09	3.75377E-09	3.73437E-09

Tabela 13 Taxas de erro máximas e tolerâncias em número de cruzamentos de nível e tempo de permanência em nível errado por ano.

Parâmetros	CARIBE3	SAM4	CAR/SAM7
α_{max}^{ne}	4.38958E-06	6.77819E-06	4.94471E-06
α_{max}^{nc}	1.16266E-04	1.64707E-0	1.22049E-04
$\alpha_{max}^{ne} \times \bar{t}_{ne}$	3.74651E-07	5.78519E-07	4.38157E-07
t^{ne} -max (s/ano)	401.64	970.04	1160.08
n^{nc} -max (por ano)	35	77	93

APÊNDICE I

RESULTADOS COMPLEMENTARES PARA FINS DE ANÁLISE UTILIZANDO O TEMPO TOTAL DAS PLANILHAS DAS REGIÕES CAR3, SAM4, (SEM DEPURAÇÃO) MÉTODO ORIGINAL, VALORES CONSERVATIVOS ANTES DA REUNIÃO DE LIMA.

Resultados Para REGIÃO CAR/SAM_TEMPO_TOTAL

11/11/2004

Resumo

Este documento registra os resultados do Ajuste dos dados AAD por distribuições DDE através do Método da Máxima Verossimilhança. Os dados considerados aqui são os dados recebidos do CGNA: DALEAUG1, DALEAUG2, DALEAUG3. Bem como, os cálculos do $P_z(0)$, da Tabela 4.6 e do $P_z(S_z)$. ($T = 81000$ horas/mês = $3,49920 \times 10^9$ segundos/ano). Considerando a frequência de passagem calculada com o tempo de 34 mil horas.

II – Cálculo de $P_z(S_z)$ com Dados ASE de 2003 e Dados de AAD de 2004 - DDE.

Distribuição de AAD considerada nesta seção é a distribuição Dupla Exponencial Dupla, DDE:

$$f_2^{AAD}(z) = (1 - \alpha) f_{DE1}^{AAD}(z) + \alpha f_{DE2}^{AAD}(z) \quad (4)$$

Onde,

$$f_{DE1}^{AAD}(z) = \frac{e^{-\left(\frac{|z|}{a_1}\right)}}{2a_1}, \quad f_{DE2}^{AAD}(z) = \frac{e^{-\left(\frac{|z|}{a_2}\right)}}{2a_2} \quad e \quad \alpha = \frac{\sum_{i=1}^n t_i}{T}$$

Cálculo das Distribuições de TVE.

$$f_2^{TVE}(z) = \int_{-\infty}^{\infty} f^{ASE}(a) f_2^{AAD}(z - a) dz \quad (5)$$

Cálculo das Probabilidades de Colisão Vertical.

$$P_2(S_z) \approx 2\lambda_z \int_{-\infty}^{\infty} f_2^{TVE}(x) f_2^{TVE}(x + S_z) dz \quad (6)$$

2.3 Cálculo do parâmetro Alfa (α) para Grandes Desvios do NAT mais os da CAR/SAM (CGDNS)

$$\sum_{i=1}^{81} t_i = T_{DG} + 17\bar{t} = 33510 + 8901,09375 = 4,24110938 \times 10^4 \text{ segundos}$$

Assim, usando o tempo total de vôo na Região CAR/SAM, a estimativa do valor de α será obtida por: ($T = 81000$ horas/mês = $3,49920 \times 10^9$ segundos/ano).

$$\alpha = \frac{\sum_{i=1}^{81} t_i}{T} = \frac{4,24110938 \times 10^4}{3,49920 \times 10^9} = 1,21202257 \times 10^{-5}$$

Os parâmetros a_1 e a_2 para a Equação (2), foram obtidos usando o programa MLE e o resultado foi:

$$a_1 = 0,145485584249$$

$$a_2 = 49,19307007994$$

Caso 3: Com grandes Desvios da NAT e da CAR/SAM(CGDNS):

CAR/SAM_MEDIO_DDE_CGDNS_04

Pz(0)

4.14577E-01

Tabela 4.6:

$$P(|TVE| \geq 300): 8.43883E-05$$

$$P(|TVE| \geq 500): 1.82139E-06$$

$$P(|TVE| \geq 650): 1.46764E-07$$

$$P(950 \leq |TVE| \leq 1050): 1.26137E-09$$

Probabilidade de Superposição Vertical

Pz(Sz=1000)

6.80599E-09

II. Cálculo dos parâmetros da Distribuição dos Desvios TCAS de 2004, via ajuste pelo Método da Máxima Verossimilhança.

II.1 Cálculo do parâmetro Alfa (α) para Grandes Desvios TCAS da Região CAR/SAM (TCAS)

Assim, usando o tempo total de vôo na Região CAR/SAM, a estimativa do valor de α será obtida por: ($T = 81000$ horas/mês = $3,49920 \times 10^9$ segundos/ano).

$$\alpha = \frac{\sum_{i=1}^5 t_i}{T} = \frac{510.0}{3,49920 \times 10^9} = 1,457476 \times 10^{-7}$$

Os parâmetros a_1 e a_2 para a Equação (2), foram obtidos usando o programa MLE e o resultado foi:

$$\alpha = 1,457476 \times 10^{-7}$$

$$a_1 = 0,207064124042$$

$$a_2 = 51,69790225159$$

Caso 4: Pz(Sz) para TCAS:

CAR/SAM9_TCAS_04

Pz(Sz=1000)

3.89237E-09

Caso 5: Py(0) :

$$\lambda_y = 0,0195802 \text{ MN}$$

$\sigma_{DL} \cong 0.3 \text{ MN}$ (Desvio padrão dos desvios laterais do núcleo da DDE [-10 MN, 10MN]).

$$P_y(0) \cong \frac{\lambda_y}{2a_1} = \frac{\lambda_y}{2\sigma_{DL}/\sqrt{2}} = \frac{0,0195802}{2 \times 0,3/\sqrt{2}} = 0,046150974$$

Resultados para o Risco Operacional e Total

10/11/2004

Tabela 1 Parâmetros operacionais usados nos cálculos

Parâmetro	Valor
n^{ne}	22
n^{nc}	4
\bar{t}_{ne}	0,0627525 h
$\left \frac{\bar{z}}{\bar{z}_c} \right $	2 nós

Tabela 2 Taxas de erro e Probabilidades de superposição vertical devido a erros operacionais

Parâmetros	CAR/SAM_MEDIO
α^{ne}	2.26337E-05
α^{nc}	4.11523E-06
$\alpha^{ne} \times \bar{t}_{ne}$	1.42032E-06
$P_z(0)$	0.4145770
$P_z^{ACAS}(1000)$	3.89237E-09
$P_z^{ne}(1000)$	5.88834E-07
$P_z^{nc}(1000)$	2.72765E-08

Tabela 3 Riscos de Colisão Vertical para o Caso 4 (CGDNS)

Tipo de Risco	CAR/SAM_MEDIO
NazTech	1.81487E-10
NazACAS	1.03793E-10
Naz-ne	1.57017E-08
Naz-nc	7.27350E-10
Naz-Total	1.67143E-08

Tabela 4 Taxas de erro máximas e tolerâncias em número de cruzamentos de nível e tempo de permanência em nível errado por ano. (T = 81000 horas/mês)

Parâmetros	CAR/SAM_MEDIO
α_{\max}^{ne}	6.79619E-06
α_{\max}^{nc}	2.65765E-05
$\alpha_{\max}^{ne} \times \bar{t}_{ne}$	4.26478E-07
t^{\max}_{ne} (s/ano)	1492.33
n^{\max}_{nc} (por ano)	26

APÊNDICE J

RESULTADOS COMPLEMENTARES PARA FINS DE ANÁLISE UTILIZANDO O TEMPO DEPURADO DAS PLANILHAS DAS REGIÕES CAR3, SAM4, MÉTODO ORIGINAL, VALORES CONSERVATIVOS ANTES DA REUNIÃO DE LIMA.

Resultados para o Risco Operacional e Total

03/11/2004

Resumo: Este documento registra os resultados do cálculo do risco operacional e total para os casos: CARIBE3, SAM4 e CAR/SAM7.

I. Resultado com todos os erros operacionais do CAR/SAM

Tabela 1 Parâmetros operacionais usados nos cálculos

Parâmetro	Valor
n^{ne}	22
n^{nc}	4
\bar{t}_{ne}	0,0627525 h
$ \bar{z}_c $	2 nós

Tabela 2 Taxas de erro e Probabilidades de superposição vertical devido a erros operacionais

Parâmetros	CARIBE3	SAM4	CAR/SAM7
α^{ne}	1.69405E-04	1.08560E-04	6.61618E-05
α^{nc}	3.08009E-05	1.97383E-05	1.20294E-05
$\alpha^{ne} \times \bar{t}_{ne}$	1.06306E-05	6.81241E-06	4.15182E-06
$P_z(0)$	4.22765E-01	4.14194E-01	4.14295E-01
$P_z^{Tech}(10000)$	1.14664E-08	4.43403E-09	7.29519E-09
$P_z^{ACAS}(1000)$	6.61030E-09	2.57194E-09	4.23183E-09
$P_z^{ne}(1000)$	4.49425E-06	2.82167E-06	1.72008E-06
$P_z^{nc}(1000)$	2.02011E-07	1.31338E-07	7.95950E-08

Tabela 3 Riscos de Colisão Vertical para o Caso 4 (CGDNS)

Tipo de Risco	CARIBE3	SAM4	CAR/SAM7
NazTech	3.31141E-10	9.15736E-11	2.01071E-10
NazACAS	1.90900E-10	5.31168E-11	1.16638E-10
Naz-ne	1.29790E-07	5.82744E-08	4.74090E-08
Naz-nc	5.83392E-09	2.71246E-09	2.19381E-09
Naz-Total	1.36146E-07	6.11316E-08	4.99206E-08

Tabela 4 Taxas de erro máximas e tolerâncias em número de cruzamentos de nível e tempo de permanência em nível errado por ano.

Parâmetros	CARIBE3	SAM4	CAR/SAM7
α_{\max}^{ne}	5.84473E-06	9.04504E-06	6.53438E-06
α_{\max}^{nc}	2.36003E-05	3.51704E-05	2.55758E-05
$\alpha_{\max}^{ne} \times \bar{t}_{ne}$	3.66771E-07	5.67599E-07	4.10049E-07
$t^{\text{ne-max}}$ (s/ano)	171.47	414.09	490.86
$n^{\text{nc-max}}$ (por ano)	3	7	9

II Resultados retirando os erros operacionais de Iremi: 30 minutos e Dimas: 11 minutos

Tabela 1 Parâmetros operacionais usados nos cálculos

Parâmetro	Valor
n^{ne}	20
n^{nc}	4
\bar{t}_{ne}	0,0348611 h
$ \bar{z}_c $	2 nós

Tabela 2 Taxas de erro e Probabilidades de superposição vertical devido a erros operacionais

Parâmetros	CARIBE3	SAM4	CAR/SAM7
α^{ne}	1.54005E-04	9.86913E-05	6.01471E-05
α^{nc}	3.08009E-05	1.97383E-05	1.20294E-05
$\alpha^{ne} \times \bar{t}_{ne}$	5.36878E-06	3.44049E-06	2.09679E-06
$P_z(0)$	4.22765E-01	4.14194E-01	4.14295E-01
$P_z^{ACAS}(1000)$	6.61030E-09	2.57194E-09	4.23183E-09
$P_z^{ne}(1000)$	2.26973E-06	1.42503E-06	8.68691E-07
$P_z^{nc}(1000)$	2.02011E-07	1.31338E-07	7.95950E-08

Tabela 3 Riscos de Colisão Vertical para o Caso 4 (CGDNS)

Tipo de Risco	CARIBE3	SAM4	CAR/SAM7
NazTech	3.31141E-10	9.15736E-11	2.01071E-10
NazACAS	1.90900E-10	5.31168E-11	1.16638E-10
Naz-ne	6.55480E-08	2.94303E-08	2.39430E-08
Naz-nc	5.83392E-09	2.71246E-09	2.19381E-09
Naz-Total	7.19040E-08	5.80018E-09	2.64545E-08

Tabela 4 Taxas de erro máximas e tolerâncias em número de cruzamentos de nível e tempo de permanência em nível errado por ano.

Parâmetros	CARIBE3	SAM4	CAR/SAM7
α_{\max}^{ne}	1.05209E-05	1.62817E-04	1.17624E-05
α_{\max}^{nc}	2.36003E-05	3.51704E-05	2.55758E-05
$\alpha_{\max}^{ne} \times \bar{t}_{ne}$	3.66770E-07	5.67598E-07	4.10050E-07
t^{ne} -max (s/ano)	171.47	414.09	490.86
n^{nc} -max (por ano)	3	7	9

III Resultados retirando os erros operacionais de Iremi: 30 minutos, Dimas: 11 minutos, Resus: 5 minutos, 0500S/04000W: 5 minutos s e Etano: 5 minutos.

Tabela 1 Parâmetros operacionais usados nos cálculos

Parâmetro	Valor
n^{ne}	17
n^{nc}	3
\bar{t}_{ne}	0,026307 h
$ \bar{z}_c $	2 nós

Tabela 2 Taxas de erro e Probabilidades de superposição vertical devido a erros operacionais

Parâmetros	CARIBE3	SAM4	CAR/SAM7
α^{ne}	1.30904E-04	8.38876E-05	5.11250E-05
α^{nc}	2.31007E-05	1.48037E-05	9.02206E-06
$\alpha^{ne} \times \bar{t}_{ne}$	3.44369E-06	2.20683E-06	1.34495E-06
$P_z(0)$	4.22765E-01	4.14194E-01	4.14295E-01
$P_z^{ACAS}(1000)$	6.61030E-09	2.57194E-09	4.23183E-09
$P_z^{ne}(1000)$	1.45587E-06	9.14056E-07	5.57204E-07
$P_z^{nc}(1000)$	1.51508E-07	9.85038E-08	5.96963E-08

Tabela 3 Riscos de Colisão Vertical para o Caso 4 (CGDNS)

Tipo de Risco	CARIBE3	SAM4	CAR/SAM7
NazTech	3.31141E-10	9.15736E-11	2.01071E-10
NazACAS	1.90900E-10	5.31168E-11	1.16638E-10
Naz-ne	4.20445E-09	1.88775E-08	1.53578E-08
Naz-nc	4.37544E-09	2.03434E-09	1.64536E-09
Naz-Total	9.10193E-09	2.10565E-08	1.73208E-08

Tabela 4 Taxas de erro máximas e tolerâncias em número de cruzamentos de nível e tempo de permanência em nível errado por ano.

Parâmetros	CARIBE3	SAM4	CAR/SAM7
α_{\max}^{ne}	1.39420E-04	2.15760E-05	1.55871E-05
α_{\max}^{nc}	2.36003E-05	3.51704E-05	2.55758E-05
$\alpha_{\max}^{ne} \times \bar{t}_{ne}$	3.66772E-07	5.67600E-07	4.10050E-07
t^{ne} -max (s/ano)	171.47	414.09	490.86
n^{nc} -max (por ano)	3	7	9

IV Resultados do Caribe com seus erros operacionais apenas.

Tabela 1 Parâmetros operacionais usados nos cálculos

Parâmetro	Valor
n^{ne}	9
n^{nc}	0
\bar{t}_{ne}	0,025 h
$ \bar{z}_c $	2 nós

Tabela 2 Taxas de erro e Probabilidades de superposição vertical devido a erros operacionais

Parâmetros	CARIBE3
α^{ne}	6.93021E-05
α^{nc}	0.00000E+00
$\alpha^{ne} \times \bar{t}_{ne}$	1.73255E-06
$P_z(0)$	4.22765E-01
$P_z^{ACAS}(1000)$	6.61030E-09
$P_z^{ne}(1000)$	7.32463E-07
$P_z^{nc}(1000)$	0.00000E+00

Tabela 3 Riscos de Colisão Vertical para o Caso 4 (CGDNS)

Tipo de Risco	CARIBE3
NazTech	3.31141E-10
NazACAS	1.90900E-10
Naz-ne	2.11530E-08
Naz-nc	0.00000E+00
Naz-Total	2.16750E-08

Tabela 4 Taxas de erro máximas e tolerâncias em número de cruzamentos de nível e tempo de permanência em nível errado por ano.

Parâmetros	CARIBE3
α_{\max}^{ne}	1.46709E-05
α_{\max}^{nc}	2.36003E-05
$\alpha_{\max}^{ne} \times \bar{t}_{ne}$	3.66773E-07
t^{ne} -max (s/ano)	171.47
n^{nc} -max (por ano)	3

V Resultados da América do Sul com seus erros operacionais apenas.

V.1 Resultado com todos os erros operacionais da SAM.

Tabela 1 Parâmetros operacionais usados nos cálculos

Parâmetro	Valor
n^{ne}	13
n^{nc}	4
\bar{t}_{ne}	0,088889 h
$\left \frac{\bar{z}}{z_c} \right $	2 nós

Tabela 2 Taxas de erro e Probabilidades de superposição vertical devido a erros operacionais

Parâmetros	SAM4
α^{ne}	6.41494E-05
α^{nc}	1.97383E-05
$\alpha^{ne} \times \bar{t}_{ne}$	5.70218E-07
$P_z(0)$	4.14194E-01
$P_z^{ACAS}(1000)$	2.57194E-09
$P_z^{ne}(1000)$	2.36181E-06
$P_z^{nc}(1000)$	1.31338E-07

Tabela 3 Riscos de Colisão Vertical para o Caso 4 (CGDNS)

Tipo de Risco	SAM4
NazTech	9.15736E-11
NazACAS	5.31168E-11
Naz-ne	4.87770E-08
Naz-nc	2.71246E-09
Naz-Total	5.16342E-08

Tabela 4 Taxas de erro máximas e tolerâncias em número de cruzamentos de nível e tempo de permanência em nível errado por ano.

Parâmetros	SAM4
α_{\max}^{ne}	6.38548E-06
α_{\max}^{nc}	3.51704E-05
$\alpha_{\max}^{ne} \times \bar{t}_{ne}$	5.67605E-07
t^{\max}_{ne} (s/ano)	414.09
n^{\max}_{nc} (por ano)	7

V.2 Resultado com os erros operacionais da SAM menos Iremi: 30 min. e Dimas: 11 min.

Tabela 1 Parâmetros operacionais usados nos cálculos

Parâmetro	Valor
n^{ne}	11
n^{nc}	4
\bar{t}_{ne}	0,0429293 h
$ \bar{z}_c $	2 nós

Tabela 2 Taxas de erro e Probabilidades de superposição vertical devido a erros operacionais

Parâmetros	SAM4
α^{ne}	5.42802E-05
α^{nc}	1.97383E-05
$\alpha^{ne} \times \bar{t}_{ne}$	2.33021E-06
$P_z(0)$	4.14194E-01
$P_z^{ACAS}(1000)$	2.57194E-09
$P_z^{ne}(1000)$	9.65153E-07
$P_z^{nc}(1000)$	1.31338E-07

Tabela 3 Riscos de Colisão Vertical para o Caso 4 (CGDNS)

Tipo de Risco	SAM4
NazTech	9.15736E-11
NazACAS	5.31168E-11
Naz-ne	1.99328E-08
Naz-nc	2.71246E-09
Naz-Total	2.27899E-08

Tabela 4 Taxas de erro máximas e tolerâncias em número de cruzamentos de nível e tempo de permanência em nível errado por ano.

Parâmetros	SAM4
α_{\max}^{ne}	1.32218E-05
α_{\max}^{nc}	3.51704E-05
$\alpha_{\max}^{ne} \times \bar{t}_{ne}$	5.67603E-07
t^{\max}_{ne} (s/ano)	414.09
n^{\max}_{nc} (por ano)	7

V.3 Resultado com os erros operacionais da SAM menos Iremi: 30 min., Dimas: 11 min., Resus: 5 min., 0500S/04000W: 5 min. s e Etano: 5 min.

Tabela 1 Parâmetros operacionais usados nos cálculos

Parâmetro	Valor
n^{ne}	8
n^{nc}	3
\bar{t}_{ne}	0,027778 h
$\left \frac{\bar{z}}{z_c} \right $	2 nós

Tabela 2 Taxas de erro e Probabilidades de superposição vertical devido a erros operacionais

Parâmetros	SAM4
α^{ne}	3.94765E-05
α^{nc}	1.48037E-05
$\alpha^{ne} \times \bar{t}_{ne}$	1.09658E-06
$P_z(0)$	4.14194E-01
$P_z^{ACAS}(1000)$	2.57194E-09
$P_z^{ne}(1000)$	4.54196E-07
$P_z^{nc}(1000)$	9.85038E-08

Tabela 3 Riscos de Colisão Vertical para o Caso 4 (CGDNS)

Tipo de Risco	SAM4
NazTech	9.15736E-11
NazACAS	5.31168E-11
Naz-ne	9.38027E-09
Naz-nc	2.03434E-09
Naz-Total	1.15593E-08

Tabela 4 Taxas de erro máximas e tolerâncias em número de cruzamentos de nível e tempo de permanência em nível errado por ano.

Parâmetros	SAM4
α_{\max}^{ne}	2.04334E-05
α_{\max}^{nc}	3.51704E-05
$\alpha_{\max}^{ne} \times \bar{t}_{ne}$	5.67595E-07
$t^{\max,nc}$ (s/ano)	414.09
$n^{\max,nc}$ (por ano)	7

V.4 Resultado com os erros operacionais da SAM menos Iremi: 30 min., Dimas: 11 min., Resus: 5 min., 0500S/04000W: 5 min. S, Etano: 5 min. e Osamu: 3 min.

Tabela 1 Parâmetros operacionais usados nos cálculos

Parâmetro	Valor
n^{ne}	7
n^{nc}	0
\bar{t}_{ne}	0,024603 h
$\left \frac{\bar{z}}{z_c} \right $	2 nós

Tabela 2 Taxas de erro e Probabilidades de superposição vertical devido a erros operacionais

Parâmetros	SAM4
α^{ne}	3.45420E-05
α^{nc}	0.00000E+00
$\alpha^{ne} \times \bar{t}_{ne}$	8.49837E-06
$P_z(0)$	4.14194E-01
$P_z^{ACAS}(1000)$	2.57194E-09
$P_z^{ne}(1000)$	3.51997E-07
$P_z^{nc}(1000)$	0.00000E+00

Tabela 3 Riscos de Colisão Vertical para o Caso 4 (CGDNS)

Tipo de Risco	SAM4
NazTech	9.15736E-11
NazACAS	5.31168E-11
Naz-ne	7.26960E-09
Naz-nc	0.00000E+00
Naz-Total	7.41429E-09

Tabela 4 Taxas de erro máximas e tolerâncias em número de cruzamentos de nível e tempo de permanência em nível errado por ano.

Parâmetros	SAM4
α_{\max}^{ne}	2.30703E-05
α_{\max}^{nc}	3.51704E-05
$\alpha_{\max}^{ne} \times \bar{t}_{ne}$	5.67599E-07
$t^{\max,nc}$ (s/ano)	414.09
$n^{\max,nc}$ (por ano)	7

V.5 Resultado com os erros operacionais da SAM menos Iremi: 30 min., Dimas: 11 min., Resus: 5 min., 0500S/04000W: 5 min. S, Etano: 5 min. , Osamu: 3 min., Buxex: 2 min. e Otoni: 2 min.

Tabela 1 Parâmetros operacionais usados nos cálculos

Parâmetro	Valor
n^{ne}	5
n^{nc}	0
\bar{t}_{ne}	0,021111 h
$\left \frac{\bar{z}}{z_c} \right $	2 nós

Tabela 2 Taxas de erro e Probabilidades de superposição vertical devido a erros operacionais

Parâmetros	SAM4
α^{ne}	2.46728E-05
α^{nc}	0.00000E+00
$\alpha^{ne} \times \bar{t}_{ne}$	5.20868E-07
$P_z(0)$	4.14194E-01
$P_z^{ACAS}(1000)$	2.57194E-09
$P_z^{ne}(1000)$	2.15740E-07
$P_z^{nc}(1000)$	0.00000E+00

Tabela 3 Riscos de Colisão Vertical para o Caso 4 (CGDNS)

Tipo de Risco	SAM4
NazTech	9.15736E-11
NazACAS	5.31168E-11
Naz-ne	4.45557E-09
Naz-nc	0.00000E+00
Naz-Total	4.60026E-09

Tabela 4 Taxas de erro máximas e tolerâncias em número de cruzamentos de nível e tempo de permanência em nível errado por ano.

Parâmetros	SAM4
α_{\max}^{ne}	2.68864E-05
α_{\max}^{nc}	3.51704E-05
$\alpha_{\max}^{ne} \times \bar{t}_{ne}$	5.67599E-07
$t^{\max ne}$ (s/ano)	414.09
$n^{\max nc}$ (por ano)	7

APÊNDICE K

RESULTADOS COMPLEMENTARES PARA FINS DE ANÁLISE UTILIZANDO O TEMPO DEPURADO DAS PLANILHAS DE TODAS AS REGIÕES CAR/SAM QUE ENVIARAM DADOS, MÉTODO ORIGINAL, VALORES CONSERVATIVOS ANTES DA REUNIÃO DE LIMA.

Resultados Para REGIÃO CAR/SAM CONSIDERANDO TODAS AS (29) FIR QUE ENVIARAM DADOS

10/11/2004

Resumo

Este documento registra os resultados do Ajuste dos dados AAD por distribuições DDE através do Método da Máxima Verossimilhança. Os dados considerados aqui são os dados recebidos do CGNA: DALEAUG1, DALEAUG2, DALEAUG3. Bem como, os cálculos do $P_z(0)$, da Tabela 4.6 e do $P_z(S_z)$. ($T = 34198.44921875$ horas/mês).

II – Cálculo de $P_z(S_z)$ com Dados ASE de 2003 e Dados de AAD de 2004 - DDE.

Distribuição de AAD considerada nesta seção é a distribuição Dupla Exponencial Dupla, DDE:

$$f_2^{AAD}(z) = (1 - \alpha) f_{DE1}^{AAD}(z) + \alpha f_{DE2}^{AAD}(z) \quad (4)$$

Onde,

$$f_{DE1}^{AAD}(z) = \frac{e^{-\left(\frac{|z|}{a_1}\right)}}{2a_1}, \quad f_{DE2}^{AAD}(z) = \frac{e^{-\left(\frac{|z|}{a_2}\right)}}{2a_2} \quad \text{e} \quad \alpha = \frac{\sum_{i=1}^n t_i}{T}$$

Cálculo das Distribuições de TVE.

$$f_2^{TVE}(z) = \int_{-\infty}^{\infty} f^{ASE}(a) f_2^{AAD}(z - a) dz \quad (5)$$

Cálculo das Probabilidades de Colisão Vertical.

$$P_2(S_z) \approx 2\lambda_z \int_{-\infty}^{\infty} f_2^{TVE}(x) f_2^{TVE}(x + S_z) dz \quad (6)$$

2.3 Cálculo do parâmetro Alfa (α) para Grandes Desvios do NAT mais os da CAR/SAM (CGDNS)

$$\sum_{i=1}^{81} t_i = T_{DG} + 17\bar{t} = 33510 + 8901,09375 = 4,24110938 \times 10^4 \text{ segundos}$$

Assim, usando o tempo total de vôo na Região CAR/SAM, a estimativa do valor de α será obtida por: ($T = 34198.44921875$ horas/mês).

$$\alpha = \frac{\sum_{i=1}^{81} t_i}{T} = \frac{4,24110938 \times 10^4}{1,47737301 \times 10^9} = 2,87070994 \times 10^{-5}$$

Os parâmetros a_1 e a_2 para a Equação (2), foram obtidos usando o programa MLE e o resultado foi:

$$a_1 = 0,141611853633$$

$$a_2 = 48,97201092781$$

II. Cálculo dos parâmetros da Distribuição dos Desvios TCAS de 2004, via ajuste pelo Método da Máxima Verossimilhança.

II.1 Cálculo do parâmetro Alfa (α) para Grandes Desvios TCAS da Região CAR/SAM (TCAS)

Assim, usando o tempo total de vôo na Região CAR/SAM, a estimativa do valor de α será obtida por (Veja Tabela 2): ($T = 34198.44921875$ horas/mês).

$$\alpha = \frac{\sum_{i=1}^5 t_i}{T} = \frac{510.0}{1,47737301 \times 10^9} = 3,45207335 \times 10^{-7}$$

Os parâmetros a_1 e a_2 para a Equação (2), foram obtidos usando o programa MLE e o resultado foi:

$$\alpha = 3,45207335 \times 10^{-7}$$

$$a_1 = 0,199885979899$$

$$a_2 = 51,26195391987$$

Caso 3: Com grandes Desvios da NAT e da CAR/SAM(CGDNS):

$$\alpha = 2,8707994 \times 10^{-5}$$

$$a_1 = 0,141611853633$$

$$a_2 = 48,97201092781$$

CAR/SAM_MEDIO_DDE_CGDNS_04

Pz(0)

4.15636E-01

Tabela 4.6:

$$P(|TVE| \geq 300) = 8.44196E-05$$

$$P(|TVE| \geq 500) = 1.82155E-06$$

$$P(|TVE| \geq 650) = 1.46733E-07$$

$$P(950 \leq |TVE| \leq 1050) = 1.26042E-09$$

Probabilidade de Superposição Vertical

Pz(Sz=1000)

7.13479E-09

Caso 4: Pz(Sz) para TCAS:

Parâmetros DDE:

$$\alpha = 3,45207335 \times 10^{-7}$$

$$a_1 = 0,199885979899$$

$$a_2 = 51,26195391987$$

CAR/SAM9_TCAS_04

Pz(Sz=1000)

4.09308E-09

Caso 5: Py(0) :

$$\lambda_y = 0,0195802 \text{ MN}$$

$\sigma_{DL} \cong 0.3 \text{ MN}$ (Desvio padrão dos desvios laterais do núcleo da DDE
[-10 MN, 10MN]).

$$P_y(0) \cong \frac{\lambda_y}{2a_1} = \frac{\lambda_y}{2\sigma_{DL}/\sqrt{2}} = \frac{0,0195802}{2 \times 0,3/\sqrt{2}} = 0,046150974$$

Resultados para o Risco Operacional e Total

10/11/2004

Tabela 1 Parâmetros operacionais usados nos cálculos

Parâmetro	Valor
n^{ne}	22
n^{nc}	4
\bar{t}_{ne}	0,0627525 h
$\left \frac{\bar{z}}{z_c} \right $	2 nós

Tabela 2 Taxas de erro e Probabilidades de superposição vertical devido a erros operacionais

Parâmetros	CAR/SAM MEDIO
α^{ne}	5.36087E-05
α^{nc}	9.74703E-06
$\alpha^{ne} \times \bar{t}_{ne}$	3.36408E-06
$P_z(0)$	4.15636E-01
$P_z^{ACAS}(1000)$	4.09308E-09
$P_z^{ne}(1000)$	1.39823E-06
$P_z^{nc}(1000)$	6.46053E-08

Tabela 3 Riscos de Colisão Vertical para o Caso 4 (CGDNS)

Tipo de Risco	CAR/SAM_MEDIO
NazTech	1.90255E-10
NazACAS	1.09145E-10
Naz-ne	3.72849E-08
Naz-nc	1.72275E-09
Naz-Total	3.93071E-08

Tabela 4 Taxas de erro máximas e tolerâncias em número de cruzamentos de nível e tempo de permanência em nível errado por ano. (T = 34198,44921875 horas/mês)

Parâmetros	CAR/SAM_MEDIO
α_{\max}^{ne}	6.75858E-06
α_{\max}^{nc}	2.64969E-05
$\alpha_{\max}^{ne} \times \bar{t}_{ne}$	4.24118E-07
$t^{\max,nc}$ (s/ano)	626.58
$n^{\max,nc}$ (por ano)	11

Fórmula do Risco Total:

$$\text{Naz} = \text{awl} * \text{twl} * \text{c1} + \text{alc} * (\text{c2} + \text{c3} * \text{zpc}) / \text{zpc} + \text{c4}$$

Coefficientes para a Equação (5.22), Risco de Colisão Vertical Global:

$$\text{c1} = 1.10832\text{E-}02$$

$$\text{c2} = 3.49556\text{E-}04$$

$$\text{c3} = 2.62407\text{E-}06$$

$$\text{c4} = 2.99400\text{E-}10$$

Equipe executora

Luiz Carlos Rocha

Saulo José da Silva

Carlos Roberto Rodrigues

Airton Prati

Artur Flávio Dias

Jamil Alves do Nascimento

Luiz Henrique Claro

Shizuca Ono

Wilson José Vieira