RVSM: MINIMIZANDO A SEPARAÇÃO VERTICAL, APRIMORANDO A CAPACIDADE E OTIMIZANDO O ESPAÇO AÉREO.

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

GRADUAÇÃO EM AVIAÇÃO CIVIL

Campus Vila Olímpia - Noturno

Gabriel Vieira da Silva Antunes, 125111362825

Myrella Camargo Colloca, 125111351613

São Paulo

2° semestre, 2023

Gabriel Vieira da Silva Antunes;

Myrella Camargo Colloca.

RVSM: MINIMIZANDO A SEPARAÇÃO VERTICAL, APRIMORANDO A CAPACIDADE E OTIMIZANDO O ESPAÇO AÉREO.

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

GRADUAÇÃO EM AVIAÇÃO CIVIL

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado a Anhembi Morumbi, como
parte dos requisitos necessários à obtenção
do título de Bacharel em Aviação Civil.

São Paulo

2023

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, sincera gratidão a Deus por nos abençoar com sabedoria, perseverança e boa saúde, especialmente em tempos desafiadores como a graduação, o que permitiu a realização desta jornada.

Aos queridos familiares, palavras não são suficientes para expressar o profundo agradecimento que temos por sua paciência e compreensão ao longo destes anos, inclusive nos momentos em que estivemos ausentes e abdicamos de outras coisas.

Agradecimentos e um grande sentimento de honra pelo Professor Antonio Carlos De Marchi Nammur, que nos guiou com notável paciência, apoio e ensinamentos. Conscientes de que o maior desafio residia na conclusão do nosso trabalho acadêmico.

"O céu não é o limite; é apenas o começo." –

Michael Collins, astronauta da Apollo 11.

RESUMO

Este Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) aborda o tema do Reduced Vertical Separation Minimum (RVSM), que é um padrão estabelecido pela Organização da Aviação Civil Internacional (OACI) para permitir a redução da separação vertical mínima entre aeronaves em voo de cruzeiro. Antes da implementação do RVSM, as aeronaves precisavam manter uma distância vertical significativa para garantir a segurança no espaço aéreo, resultando em rotas de voo menos eficientes e maior consumo de combustível.

Palavras-chave: *Reduced Vertical Separation Minimum* (RVSM). Separação vertical. Altitude. Espaço Aéreo.

ABSTRACT

This Undergraduate Thesis addresses the theme of Reduced Vertical Separation Minimum (RVSM), which is a standard established by the International Civil Aviation Organization (ICAO) to allow for the reduction of the minimum vertical separation between aircraft during cruise flight. Prior to the implementation of RVSM, aircraft were required to maintain a significant vertical distance to ensure safety in airspace, leading to less efficient flight routes and increased fuel consumption.

Keywords: *Reduced Vertical Separation Minimum* (RVSM). Vertical Separation. Altitude. Airspace.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANAC – Agência Nacional de Aviação Civil

ATC - Air Traffic Control

FAA - *Federal Aviation Administration*

FIR – Região de Informação de Voo

FL - *Flight Level*

OACI – Organização da Aviação Civil Internacional

RBAC – Regulamentos Brasileiros da Aviação Civil

RBHA – Regulamentos Brasileiros de Homologação Aeronáutica

RGCSP - *Reduced Ground-based Separation and Control Procedures*

RTCA - *Radio Technical Commission for Aeronautics*

RVSM - *Reduced Vertical Separation Minimum*

SC - *Special Committee*

SSR - Solicitações de Radar Secundário

TCAS - *Traffic Collision Avoidance System*

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS 1
RESUMO 3
ABSTRACT 4
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS 5
INTRODUÇÃO 7
1 – HISTÓRIA E DESENVOLVIMENTO DO RVSM 8
2 – CRIAÇÃO DO RVSM E IMPLEMENTAÇÃO NO BRASIL 9
2.1. O que mudou com a criação do RVSM 9
2.2. Como era a Separação antes do RVSM 9
2.3. Como ficou a separação do espaço aéreo com o RVSM 10
2.4. Introdução do RVSM no Brasil 11
3 – REGULAMENTAÇÃO NECESSÁRIA PARA VOO E DE EQUIPAMENTOS RVSM PARA O NORMAL 11
3.1. Separação Vertical em RVSM e no Espaço Aéreo Normal 14
3.2. Requisitos de Equipamentos Específicos para Operações RVSM 14
3.2.1. Altímetros e Sistema de altimetria: 14
3.2.2. Fonte Estática e Fonte de Altimetria: 15
3.2.3. Equipamento Controle de Altitude: 16
3.2.4. Sistemas independentes de medida de altitude: 16
3.2.5. Um Transponder SSR reportando altitude: 17
3.2.6. Monitoramento e Manutenção 17
4 - PROCEDIMENTOS PARA OPERAR NO ESPAÇO AÉREO RVSM 17
4.1. Procedimentos da Tripulação antes de ingressar no espaço aéreo RVSM 17
4.2. Procedimentos após o ingresso no espaço aéreo RVSM 18
5 - ASPECTOS CRUCIAIS PARA APLICAÇÃO DO RVSM E O ESTUDO DO CASO GOL 1907 20
5.1. O Acidente 20
5.2. Crucial Adesão aos Procedimentos 21
5.2.1. Lições do Acidente para o Espaço Aéreo RVSM 22
CONSIDERAÇÕES FINAIS 23
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 24

INTRODUÇÃO

A aviação é um campo em constante evolução, e as melhorias na eficiência operacional e no uso do espaço aéreo são fundamentais para o progresso dessa indústria. Uma inovação que tem tido um impacto significativo é o *Reduced Vertical Separation Minimum* (RVSM), um padrão que possibilita a redução da separação vertical entre aeronaves em voo de cruzeiro. Este Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) explorará os aspectos históricos, a introdução no cenário brasileiro, a criação do espaço RVSM, as diferenças entre este e o espaço aéreo convencional, a implementação prática do RVSM e os requisitos para a operação nesse espaço.

O RVSM é uma conquista que revolucionou a aviação global. Nosso estudo começa por traçar seu histórico e como surgiu a necessidade de reduzir a separação vertical entre aeronaves em voo de cruzeiro. O contexto histórico revela os desafios enfrentados antes da introdução do RVSM e como a indústria da aviação buscou soluções para otimizar a utilização do espaço aéreo.

O segundo ponto de discussão se concentra na introdução do RVSM no cenário aeronáutico brasileiro. Abordamos quando o RVSM começou a ser implementado no Brasil e como essa transição afetou o sistema de aviação civil no país. Além disso, examinaremos as razões que levaram à criação do espaço RVSM, realçando a importância dessa mudança para a otimização das operações aéreas no território nacional.

Outro aspecto fundamental abordado neste trabalho é a distinção entre o espaço RVSM e o espaço aéreo convencional, destacando como a implementação do RVSM afeta as operações aéreas, a capacidade de tráfego e a segurança. Também discutiremos como o aspecto de segurança do RVSM é crucial na prática e quais são os requisitos essenciais para as aeronaves operarem com sucesso nesse espaço. Isso incluirá as tecnologias e sistemas necessários para cumprir os padrões rigorosos de segurança e eficiência impostos pelo RVSM como abordado no estudo do caso do acidente da Gol 1907.

1 – HISTÓRIA E DESENVOLVIMENTO DO RVSM

O desenvolvimento e implementação do RVSM envolveram uma série de iniciativas, tanto nacionais quanto internacionais. No início da década de 1980, a *Federal Aviation Administration* (FAA) dos Estados Unidos lançou um programa com o objetivo de coletar dados sobre o desempenho de aeronaves em manutenção de altitude, bem como desenvolver requisitos para reduzir a separação vertical entre elas. A FAA também patrocinou uma reunião pública sobre o tema, recomendando que a *Radio Technical Commission for Aeronautics* (RTCA) fosse ao fórum apropriado para desenvolver padrões de desempenho mínimo de sistemas para RVSM. Como resultado, a RTCA formou o *Special Committee 150* (SC 150) em 1982 para estudar o assunto.

Ao mesmo tempo, a FAA alocou recursos para o programa *Reduced Ground-based Separation and Control Procedures* (RGCSP) da Organização da Aviação Civil Internacional (OACI) em 1984, que incluiu estudos sobre separação vertical em seu programa de trabalho. Os dados e análises desenvolvidos pelo Programa de Estudos Verticais da FAA foram revisados por grupos de trabalho americanos e internacionais que estudavam RVSM. Os principais resultados e conclusões desse programa foram compilados em um relatório concluído em 1988.

O SC 150 da RTCA, por sua vez, concentrou-se no desenvolvimento de critérios e programas RVSM nos Estados Unidos entre 1982 e 1987. O comitê produziu um relatório inicial que continha informações sobre a metodologia para avaliação da segurança, fatores que afetam a separação vertical e padrões de desempenho de sistemas. A SC 150 serviu como ponto focal para o estudo e desenvolvimento de critérios e programas de RVSM nos Estados Unidos. A SC 150 concluiu seu Relatório Inicial sobre Padrões Mínimos de Desempenho do Sistema para Separação Vertical Acima do Nível de Voo 290 em novembro de 1984.

Em 1987, a FAA direcionou seus recursos para o grupo de trabalho da OACI, o RGCSP, usando o material desenvolvido pelo SC 150 para propor critérios e programas RVSM. O *Reduced Ground-based Separation and Control Procedures* da OACI publicou dois grandes relatórios que serviram como base para o desenvolvimento da implementação da RVSM. O primeiro relatório, publicado em 1988, concluiu que a RVSM era tecnicamente viável e ofereceria benefícios significativos em termos de economia e capacidade de rotas do espaço aéreo. O segundo relatório, publicado em 1990, continha um manual que orientava a implementação da RVSM, abordando requisitos de aeronavegabilidade, procedimentos das

tripulações, controle de tráfego aéreo e monitoramento de desempenho dos sistemas em RVSM.

Esses esforços conjuntos, tanto a nível nacional quanto internacional, resultaram na implementação bem-sucedida da RVSM, permitindo uma redução significativa na separação vertical entre aeronaves em altitudes específicas e melhorando a eficiência das operações de voo.

2 – CRIAÇÃO DO RVSM E IMPLEMENTAÇÃO NO BRASIL

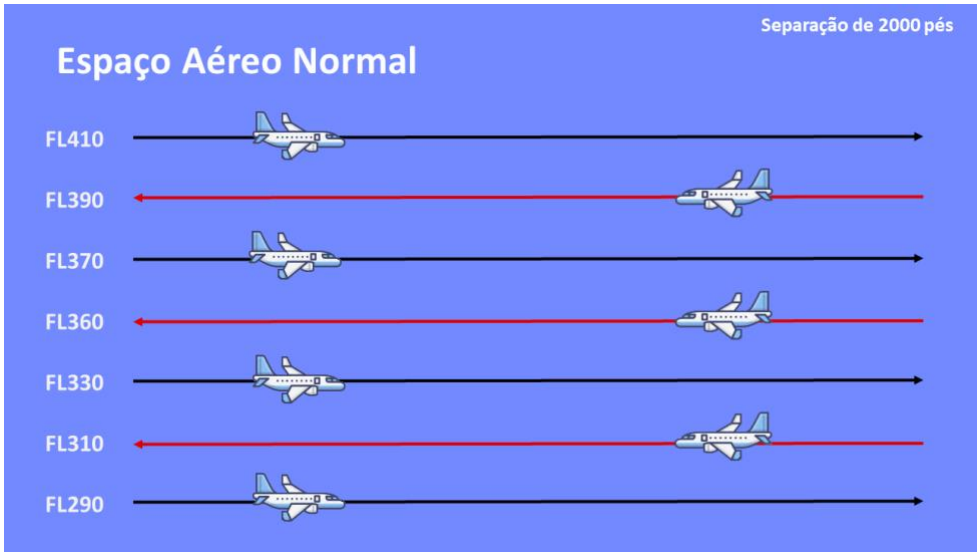
2.1. O que mudou com a criação do RVSM

No passado, as aeronaves precisavam manter uma separação vertical mínima de 2000 pés acima do nível de voo (FL) 290 devido à limitada precisão dos altímetros de pressão. Essa medida foi estabelecida considerando as capacidades operacionais das aeronaves daquela época. No entanto, com a evolução das aeronaves, das manutenções, da segurança de voo e a evolução da participação da tecnologia na aviação civil e consequentemente com o aumento dos preços dos combustíveis e a demanda por espaço aéreo crescendo, começou-se a considerar a possibilidade de reduzir os requisitos de separação vertical. Posteriormente, essa separação foi reduzida para 1000 pés entre as altitudes FL290 e FL410.

2.2. Como era a Separação antes do RVSM

A separação da altitude entre os níveis de voo FL290 e FL410, era tradicionalmente feita com uma separação de 2000 pés de uma aeronave para a outra, realizada da seguinte maneira:

Figura 1 – Espaço Aéreo Normal.

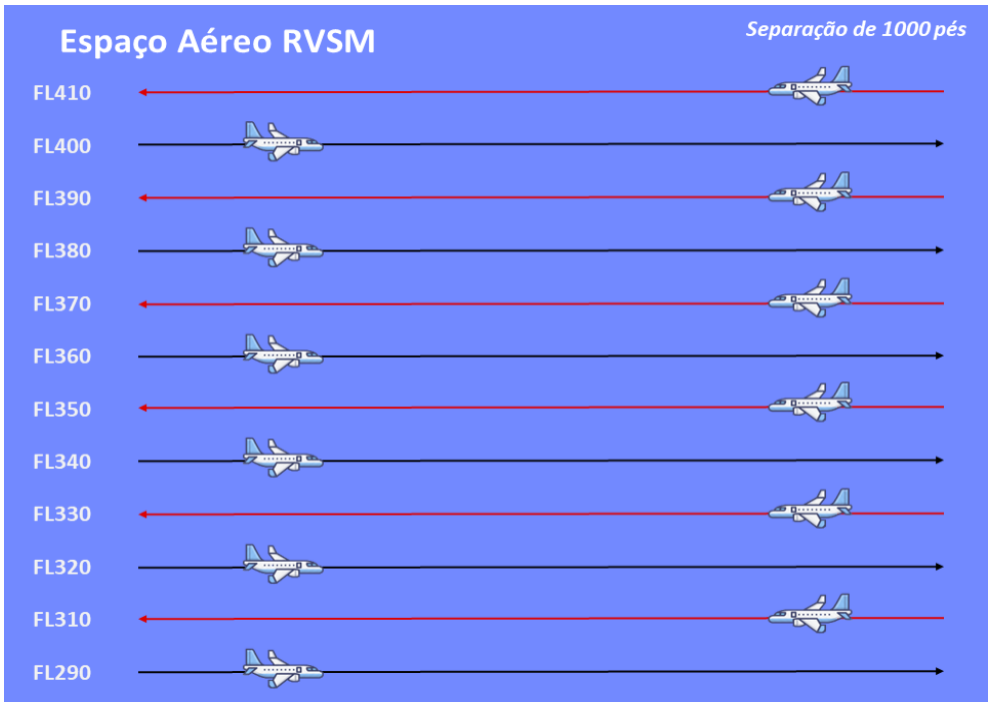


Fonte: Criação do próprio autor, 2023.

2.3. Como ficou a separação do espaço aéreo com o RVSM

Na separação da altitude entre os níveis de voo FL290 e FL410 foi se adicionado seis níveis a mais em comparação ao espaço aéreo normal, assim diminuindo a separação vertical das aeronaves para 1000 pés, e passou a ser realizada da seguinte maneira:

Figura 2 – Espaço Aéreo RVSM.



Fonte: Criação do próprio autor, 2023.

Os níveis de cruzeiro a serem empregados no Espaço Aéreo RVSM serão conforme indicados na tabela:

Figura 3 – Rumo Magnético.

DE 000º a 179º FROM 000º TO 179º	DE 180º a 359º FROM 180º TO 359º
FL 290	FL 300
FL 310	FL 320
FL 330	FL 340
FL 350	FL 360
FL 370	FL 380
FL 390	FL 400
FL 410	

Fonte: AIP-BRASIL ENR 2.2, 2019.

2.4. Introdução do RVSM no Brasil

No ano de 2005, o Brasil implementou a RVSM como parte de suas operações aéreas. Para que as aeronaves pudessem operar no RVSM, era necessário obter uma autorização especial do Departamento de Aviação Civil. O cumprimento de certas regras era essencial, incluindo a exigência de que as aeronaves possuíssem dois altímetros independentes, sistemas de alerta de altitude, sistemas de controle automático de altitude e *transponders* de radar secundário com capacidade de reportar a altitude. Além disso, aeronaves de grande porte no Brasil ainda precisam utilizar o *Traffic Collision Avoidance System* (TCAS), que é um sistema de alerta de tráfego e aviso de colisão que realiza monitoramento independente da área circundante da aeronave, emitindo um alerta na cabine sempre que detecta uma possível rota de colisão entre aeronaves. O TCAS das aeronaves está atualizado de acordo com os requisitos de separação vertical de 1000 pés. O Espaço Aéreo RVSM abrange todas as altitudes de voo entre o FL290 e o FL410, incluindo as FIRs Amazônica, Atlântico, Brasília, Curitiba e Recife.

Essa evolução na regulamentação e na tecnologia de separação vertical reflete a busca por maior eficiência e segurança nas operações aéreas, permitindo uma utilização mais eficaz do espaço aéreo e contribuindo para a melhoria da indústria da aviação no país.

3 – **REGULAMENTAÇÃO NECESSÁRIA PARA VOO**

Ninguém tem permissão para operar uma aeronave civil no espaço aéreo designado como RVSM, a menos que atenda aos seguintes critérios:

1) O operador e a aeronave devem cumprir os padrões mínimos estabelecidos.
2) O operador deve ser autorizado pelo Administrador de Aviação ou pelo país de registro da aeronave para realizar tais operações.
3) Além disso, o Administrador tem a prerrogativa de autorizar exceções aos requisitos mencionados acima.

3.1. Regulamentação necessária para voo.

Dentro do espaço aéreo RVSM, o controle de tráfego aéreo notifica os operadores que utilizam esse espaço aéreo, fornecendo informações relevantes para o planejamento de rotas. Aeronaves do Grupo RVSM se referem a aeronaves aprovadas em um grupo específico, aprovado pela autoridade de aviação, onde cada aeronave atende aos seguintes critérios:

1) As aeronaves foram fabricadas com o mesmo projeto e aprovadas sob o mesmo certificado de tipo, certificado de tipo alterado ou certificado de tipo suplementar.
2) O sistema estático de cada aeronave é instalado da mesma maneira e na mesma posição que nas demais aeronaves do grupo. A mesma correção de erros de fonte estática é incorporada em cada aeronave do grupo.
3) As unidades aviônicas instaladas em cada aeronave para atender aos requisitos mínimos de equipamento RVSM deste apêndice são:

Fabricadas com a mesma especificação do fabricante e com o mesmo número de peça; ou de fabricante ou número de peça diferente, desde que o requerente possa demonstrar que o equipamento oferece desempenho de sistema equivalente.

Aeronaves que não pertencem ao grupo RVSM são aeronaves individuais aprovadas para operações RVSM. O envelope de voo RVSM é uma faixa que abrange uma série de critérios, incluindo a faixa de número Mach, peso dividido pela razão de pressão atmosférica e altitudes nas quais uma aeronave é autorizada a operar em voo de cruzeiro dentro do espaço aéreo RVSM.

3.2. O envelope de voo RVSM completo é delimitado da seguinte maneira:

A faixa de altitude se estende do FL 290 para cima até a altitude mais baixa dos seguintes:

1) FL 410 (limite de altitude RVSM);
2) A altitude máxima certificada para a aeronave; ou
3) A altitude limitada pelo impulso de cruzeiro, buffet ou outras limitações de voo.

3.3. A faixa de velocidade aerodinâmica se estende:

1) A partir da velocidade no ar da velocidade máxima de resistência (manutenção) dos slats/flaps-up, ou da velocidade no ar de manobra, o que for menor;
2) À velocidade operacional máxima (V mo /M mo), ou à velocidade limitada pelo buffet de empuxo de cruzeiro, ou outras limitações de voo, o que for menor.

3.4. Todos os pesos brutos permitidos dentro dos envelopes de voo

O envelope de voo RVSM básico é semelhante ao envelope de voo RVSM completo, exceto que a faixa de velocidade se estende da seguinte forma:

1) A partir da velocidade no ar da velocidade máxima de resistência (*holding*) dos *slats/flaps-up*, ou da velocidade no ar de manobra, o que for menor;
2) Até o limite superior de Mach/velocidade definido para o envelope de voo RVSM completo, ou um valor inferior especificado não inferior ao número Mach de cruzeiro de longo alcance mais 0,04 Mach, a menos que ainda seja limitado pelo empuxo de cruzeiro disponível ou outras limitações de voo. O envelope de voo abrangente do RVSM incluirá a totalidade da faixa de números de Mach operacionais, W/δ e os valores de altitude nos quais uma aeronave pode operar dentro do Espaço Aéreo RVSM, define os parâmetros que devem ser levados em consideração neste envelope:

Figura 4 – Envelope de voo Completo RVSM.

	Limite inferior	Limite superior
Altitude	FL 290	O menor dos seguintes valores: - FL 410 - Altitude máxima certificada para a aeronave - Altitude limitada por: empuxo de cruzeiro, velocidade de batimento e outras limitações de voo da aeronave
Mach ou Velocidade	O menor dos seguintes valores: - Velocidade de máxima autonomia - Velocidade de manobra	O menor dos seguintes valores: - M_{mo}/V_{mo} - Velocidade limitada por: empuxo de cruzeiro, velocidade de batimento e outras limitações de voo da aeronave
Peso Bruto	- O menor peso bruto compatível com operações em espaço aéreo RVSM	- O maior peso bruto compatível com operações em espaço aéreo RVSM

Fonte: IS 91-005E, 2023.

3 – DIFERENÇA DO ESPAÇO AÉREO E DE EQUIPAMENTOS RVSM PARA O NORMAL

Abaixo estão as principais diferenças entre a separação vertical no espaço aéreo RVSM e no espaço aéreo normal.

3.1. Separação Vertical em RVSM e no Espaço Aéreo Normal

O RVSM se aplica a altitudes de voo entre 29.000 pés e 41.000 pés. Dentro dessa faixa, a separação vertical é reduzida em comparação com o espaço aéreo normal. O Espaço Aéreo Normal em altitudes fora da faixa de 29.000 pés a 41.000 pés, aplica-se uma separação vertical maior, que é geralmente de 2.000 pés.

No espaço aéreo RVSM, se aplica a altitudes de voo entre 29.000 pés e 41.000 pés. Dentro dessa faixa, a separação vertical é reduzida em comparação com o espaço aéreo normal. A separação vertical é tipicamente de 1.000 pés entre aeronaves. Isso permite que aeronaves voem mais próximas umas das outras em altitudes de voo mais elevadas, o que aumenta a capacidade do espaço aéreo.

Em altitudes fora do intervalo RVSM, as aeronaves têm que voar a uma distância vertical maior uma da outra, o que reduz a capacidade do espaço aéreo em comparação com o RVSM.

3.2. Requisitos de Equipamentos Específicos para Operações RVSM

Para que as aeronaves pudessem operar no RVSM, era necessário obter uma autorização especial do Departamento de Aviação Civil. O cumprimento de certas regras era essencial, incluindo a exigência de que as aeronaves possuíssem dois altímetros independentes, sistemas de alerta de altitude, sistemas de controle automático de altitude e *transponders* de radar secundário com capacidade de reportar a altitude.

3.2.1. Altímetros e Sistema de altimetria:

Em altitudes dentro do espaço aéreo normal, os requisitos de precisão e confiabilidade dos altímetros não são tão rigorosos quanto no espaço aéreo RVSM. Os altímetros devem ser precisos o suficiente para garantir que as aeronaves mantenham a separação vertical de 1.000 pés entre elas. O sistema de altimetria é fundamental para garantir que a altitude da aeronave seja medida com precisão e atenda aos padrões de segurança.

O sistema de altimetria da aeronave inclui todos os elementos envolvidos na coleta da pressão estática do ar não perturbado e na conversão dessa pressão em informações de altitude pressão. Os elementos do sistema de altimetria são divididos em dois grupos principais: (I) Célula mais fontes estáticas: Isso se refere à parte da aeronave que coleta a pressão estática do ar. (II) Aviônicos e/ou instrumentos: Essa é a parte eletrônica e de instrumentação que processa as informações de pressão estática e as converte em dados de altitude.

O sistema de altimetria produz várias saídas essenciais para operações RVSM, que incluem: (I) Indicador de altitude-pressão (corrigida barometricamente): Mostra a altitude da aeronave, ajustada para as condições barométricas. (II) Dados de informação de altitude-pressão: São os dados brutos coletados sobre a altitude pressão da aeronave. (III) Altitude pressão ou desvio da altitude-pressão para um dispositivo automático de controle de altitude: Essas informações são utilizadas para ajustar a altitude da aeronave automaticamente.

Nas aeronaves existem sistemas de Alerta de Altitude e Controle Automático de Controle de Altitude. O primeiro sistema monitora constantemente a altitude da aeronave e alerta a tripulação caso a altitude selecionada não esteja de acordo com os parâmetros de voo desejados. Ele desempenha um papel crítico na segurança da operação RVSM. O Segundo sistema permite à aeronave manter a altitude selecionada automaticamente, proporcionando uma operação mais precisa e eficiente em altitudes próximas. Isso é importante para cumprir os requisitos de separação vertical reduzida em operações RVSM.

3.2.2. Fonte Estática e Fonte de Altimetria:

Se a localização ou geometria das fontes estáticas não for suficiente para atender aos padrões estabelecidos, o sistema de altimetria deve aplicar automaticamente uma correção do erro da fonte estática. O projeto de correção do erro da fonte estática deve minimizar o erro residual e garantir que os padrões de precisão sejam atendidos.

O sistema de altimetria deve fornecer informações ao *transponder* da aeronave de acordo com os regulamentos da autoridade aeronáutica responsável. Isso é importante para relatar a altitude da aeronave aos sistemas de controle de tráfego aéreo.

3.2.3. Equipamento Controle de Altitude:

O sistema de altimetria deve fornecer uma saída de sinal que pode ser utilizada por um sistema automático de controle de altitude para manter a aeronave na altitude selecionada. Se for necessária uma correção do erro da fonte estática para atender aos requisitos de precisão, essa correção também deve ser aplicada ao sinal de controle de altitude. A diferença entre o sinal de saída para o sistema de controle de altitude e a altitude mostrada à tripulação deve ser minimizada para garantir a precisão.

O Equipamento de Operações RVSM de uma aeronave é um conjunto de sistemas que permite que a aeronave opere em altitudes mais próximas umas das outras, garantindo uma maior eficiência no uso do espaço aéreo.

3.2.4. Sistemas independentes de medida de altitude:

O sistema de pressão estática a bordo de uma aeronave consiste em vários componentes essenciais para o correto funcionamento e segurança da aeronave. Os principais componentes incluem:

Sistema de Dupla Fonte Estática: Este sistema utiliza duas fontes estáticas independentes para coletar informações de pressão estática. É fundamental que essas fontes sejam protegidas contra a formação de gelo, especialmente em áreas propensas a esse fenômeno.

Equipamento de Medição de Pressão Estática: Esse equipamento é responsável por medir a pressão estática capturada pelas fontes estáticas e convertê-la em altitude pressão. A altitude pressão é então exibida para a tripulação, fornecendo informações cruciais para a operação da aeronave.

Equipamento de Codificação de Altitude: Este componente gera um sinal digital que representa a altitude pressão exibida à tripulação. Esse sinal é usado para fornecer informações automáticas de altitude, o que é fundamental para a navegação e a segurança.

Correção de Erros da Fonte Estática: O sistema deve ser capaz de corrigir eventuais erros que possam ocorrer nas fontes estáticas. Isso garante que as informações de pressão estática sejam precisas e confiáveis.

Sinais de Referência para Controle Automático e Alertas de Altitude Selecionada: O equipamento deve fornecer sinais de referência que permitem o controle automático da altitude e alertas relacionados à altitude selecionada. Esses sinais devem ser derivados de um

sistema de medição de altitude que atenda a todos os requisitos estabelecidos para garantir a segurança e o funcionamento adequado da aeronave.

3.2.5. Um Transponder SSR reportando altitude:

O *transponder* é um dispositivo de comunicação que responde a solicitações de Radar Secundário (SSR). Ele relata a altitude da aeronave para os sistemas de controle de tráfego aéreo. Se houver apenas um *transponder*, ele deve ser capaz de ser conectado a qualquer um dos dois sistemas de medição de altitude, garantindo redundância e confiabilidade.

3.2.6. Monitoramento e Manutenção

No espaço aéreo RVSM, há requisitos mais rigorosos para o monitoramento e a manutenção do equipamento de altímetro e dos sistemas de controle de altitude. Isso inclui a calibração periódica dos altímetros, verificação da precisão do equipamento e manutenção preventiva para garantir que o equipamento funcione corretamente.

A principal diferença nos requisitos de equipamento entre o espaço aéreo normal e o RVSM está na precisão e confiabilidade dos altímetros e sistemas de controle de altitude. No RVSM, a precisão é crítica devido à redução na separação vertical, o que exige altímetros altamente precisos e sistemas de controle de altitude confiáveis, juntamente com monitoramento e manutenção rigorosos para garantir a segurança das operações. No espaço aéreo normal, embora a precisão ainda seja importante, os requisitos não são tão rigorosos.

4 - PROCEDIMENTOS PARA OPERAR NO ESPAÇO AÉREO RVSM

4.1. Procedimentos da Tripulação antes de ingressar no espaço aéreo RVSM

O piloto em comando da aeronave certificada para o RVSM deve assegurar que, no mínimo, os seguintes equipamentos necessários para a operação no Espaço Aéreo RVSM estejam em pleno funcionamento:

a) Dois sistemas altimétricos primários independentes;

b) *Transponder* SSR modo C ou S;

c) Sistema de alerta de altitude;

d) Sistema de manutenção de altitude automática.

Se houver qualquer falha em algum desses equipamentos, o piloto deve informar à autoridade de Controle de Tráfego Aéreo antes de entrar no Espaço Aéreo RVSM, utilizando a frase "**Negativo RVSM**".

Além disso, o piloto à frente de uma aeronave civil deve observar as normas específicas para a operação em Espaço Aéreo RVSM conforme estabelecido nos Regulamentos Brasileiros de Homologação Aeronáutica (RBHA) ou nos Regulamentos Brasileiros da Aviação Civil (RBAC), que eventualmente os substituam, conforme regulamentado pela Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC).

Ao conceder Autorizações de Controle de Tráfego Aéreo para voos no Espaço Aéreo RVSM, o órgão de Controle de Tráfego Aéreo (ATC) considerará que as normas foram devidamente seguidas.

4.2. Procedimentos após o ingresso no espaço aéreo RVSM

Durante alterações nos níveis de voo, é essencial que uma aeronave não exceda o nível de voo autorizado em mais de 150 pés. Para evitar a emissão de Avisos de Resolução (RA) desnecessários, as aeronaves equipadas com TCAS II devem possuir a versão desse equipamento em conformidade com os requisitos de desempenho do ACAS II (Sistema Anticolisão de Bordo), conforme especificado no Anexo 10 da Convenção de Aviação Civil Internacional.

No caso de falha em um dos Sistemas Altimétricos Primários, e se o Sistema Altimétrico restante estiver operando normalmente, o piloto em comando deve:

a) integrar o sistema ao Sistema de Manutenção Automática de Altitude;

b) intensificar a vigilância na manutenção da altitude; e

c) comunicar a falha do sistema ao órgão de Controle de Tráfego Aéreo, usando a fraseologia: “**Informação, operando somente com um sistema altimétrico**”

Se todos os Sistemas Altimétricos Primários falharem ou forem considerados não confiáveis, o piloto deve:

a) manter o nível de voo indicado no altímetro "*standby*" (se disponível) no momento da falha ou quando os sistemas são considerados não confiáveis;

b) alertar as aeronaves próximas ativando todas as luzes exteriores;

c) comunicar a falha do sistema ao órgão de Controle de Tráfego Aéreo, usando a fraseologia " **Negativo RVSM**," informando as ações planejadas; e

d) se não conseguir estabelecer contato com o órgão de Controle de Tráfego Aéreo, transmitir avisos da falha, posição, nível de voo e intenções em 121.5 MHZ.

Em caso de divergência superior a 200 pés entre os Sistemas Altimétricos Primários, o piloto deve tentar determinar qual sistema está com defeito, seguindo os procedimentos estabelecidos e/ou comparando os Sistemas Altimétricos Primários com o altímetro "*standby*", acoplando o sistema correto ao Sistema de Manutenção Automática de Altitude e procedendo de acordo com as disposições.

Na falha do *Transponder* SSR Modo C ou Modo S, o piloto deve notificar o órgão de Controle de Tráfego Aéreo sobre essa falha, usando a fraseologia: " **Negativo RVSM**." Se ocorrer falha no Sistema de Alerta de Altitude, o piloto deve comunicar essa falha ao órgão de Controle de Tráfego Aéreo, usando a fraseologia: " **Negativo RVSM**."

Em caso de falha do Sistema Automático de Manutenção de Altitude, o piloto deve adotar as seguintes ações:

a) manter o Nível de Voo Autorizado;

b) avaliar a capacidade da aeronave de manter o nível autorizado por controle manual;

c) avaliar a possibilidade de conflito com outro tráfego;

d) alertar as aeronaves próximas ativando todas as luzes exteriores;

e) comunicar ao órgão de Controle de Tráfego Aéreo a falha do sistema, usando a fraseologia " **Negativo RVSM**" e informando as ações planejadas;

f) se não conseguir estabelecer contato com o órgão de Controle de Tráfego Aéreo, transmitir avisos da falha, posição, nível de voo e intenções em 121.5 MHZ.

O órgão de Controle de Tráfego Aéreo deve suspender a separação RVSM em um determinado espaço aéreo quando os pilotos informarem a existência de turbulência severa nesse espaço aéreo.

Quando os procedimentos RVSM forem suspensos, a seguinte tabela de níveis de cruzeiro será aplicada no Espaço Aéreo RVSM:

Figura 5 – Rumo Magnético

DE 000º a 179º FROM 000º TO 179ºDEG	DE 180º a 359º FROM 180º TO 359ºDEG
FL 290	
	FL 320
FL 350	
	FL 380
FL 410	

Fonte: AIP-BRASIL ENR 2.2, 2019.

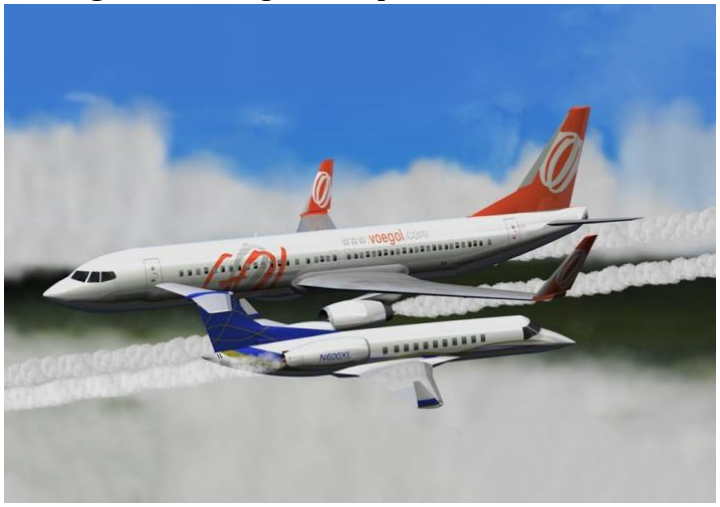
5 - ASPECTOS CRUCIAIS PARA APLICAÇÃO DO RVSM E O ESTUDO DO CASO GOL 1907

5.1. O Acidente

Ocorreu em 29 de setembro de 2006, quando um *Boeing* 737-800 da Gol Linhas Aéreas colidiu no ar com um jato executivo *Legacy* 600, fabricado pela Embraer, sobre a região amazônica, no Brasil.

A aeronave da Gol fazia a rota de Manaus para o Rio de Janeiro, e o *Legacy* 600 estava voando do Brasil para os Estados Unidos.

Figura 6 – Imagem computadorizada da colisão



Fonte: Anynobody, CC BY-AS, 2008

As investigações revelaram que o acidente foi causado por uma série de fatores, incluindo erros de comunicação entre os controladores de tráfego aéreo brasileiros e a tripulação do *Legacy* 600. Além disso, o *transponder* do *Legacy* 600, que transmite informações sobre a altitude da aeronave, estava com problemas técnicos. O *Legacy* continuou voando com uma altitude incorreta, o que contribuiu para a colisão. A colisão entre as duas aeronaves aconteceu por volta das 20h00 local, a uma altitude de 37.000 pés, na região norte de Mato Grosso. A extremidade da asa esquerda do jato *Legacy* entrou em contato com o Boeing da Gol, resultando na desestabilização e na queda da aeronave em uma área florestal. O jato *Legacy* conseguiu realizar um pouso na Base Aérea da Serra do Cachimbo, no Pará. Infelizmente, todos os 154 ocupantes a bordo do voo Gol 1907 perderam a vida no acidente.

Esse trágico acidente levou a mudanças significativas no sistema de controle de tráfego aéreo e nos procedimentos de comunicação no Brasil, com o objetivo de melhorar a segurança no espaço aéreo do país.

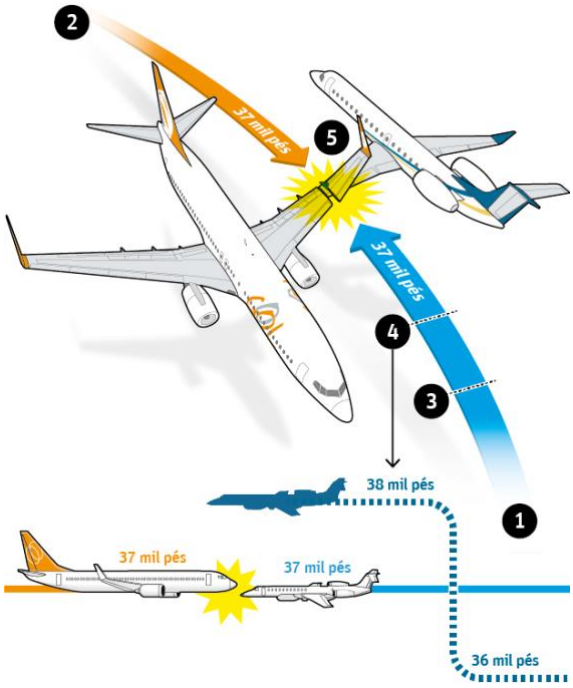
5.2. Crucial Adesão aos Procedimentos

A negligência ou falha em seguir os procedimentos de segurança do RVSM pode resultar em tragédias, como exemplificado no acidente do voo Gol 1907 em 2006.

No caso do Gol 1907, as falhas nos procedimentos do RVSM desempenharam um papel fundamental na colisão entre o Boeing 737-800 da Gol e o Embraer *Legacy* 600. A principal causa foi a falta de atualização do sistema de *transponder* do *Legacy*, o que levou a discrepâncias nos dados de altitude entre as aeronaves, ter informações de altitude durante um voo RVSM é essencial. O *Legacy* estava operando em um nível de voo diferente do que indicava o sistema de controle de tráfego aéreo, resultando em uma situação de convergência não detectada.

A importância de seguir os procedimentos de segurança do RVSM é evidente nesse acidente. Se o *Legacy* tivesse mantido sua altitude correta e os procedimentos do RVSM fossem estritamente seguidos, a tragédia poderia ter sido evitada. O acidente destacou a necessidade de vigilância constante, comunicação eficaz e manutenção adequada dos sistemas de navegação para garantir a segurança nas operações aéreas.

Figura 7 – Colisão e Altitude



Fonte: Folha de S.Paulo, 2019

5.2.1. Lições do Acidente para o Espaço Aéreo RVSM

O caso do Gol 1907 ressalta a importância da formação contínua e da conscientização dos pilotos em relação aos procedimentos de segurança do RVSM. A indústria da aviação global deve aprender com esses incidentes para melhorar constantemente os padrões de segurança e prevenir futuros acidentes relacionados ao RVSM. O compromisso com a aderência rigorosa aos protocolos de segurança é crucial para a segurança contínua dos voos e a confiança do público na aviação comercial.

Figura 8 – Missão de Resgate das Vítimas

Fonte: Rumo Magnético

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente Trabalho de Conclusão de Curso explorou detalhadamente a evolução e implementação do RVSM na aviação global, com foco especial na sua introdução no cenário brasileiro e no caso Gol 1907 de 2006. A análise histórica revelou os esforços conjuntos internacionais, liderados pela FAA dos Estados Unidos e pela OACI, que culminaram na implementação bem-sucedida do RVSM. No Brasil, a adoção desse espaço aéreo trouxe significativas mudanças nos procedimentos operacionais, exigindo uma adaptação estruturada por parte das companhias aéreas e do Departamento de Aviação Civil.

A criação do RVSM possibilitou uma redução substancial na separação vertical entre aeronaves, promovendo eficiência operacional e otimização do espaço aéreo. As mudanças nos requisitos de equipamentos e procedimentos para operar no RVSM foram discutidas minuciosamente, evidenciando a importância da aderência rigorosa aos padrões de segurança. O estudo de caso do acidente do voo Gol 1907 destacou as consequências críticas da negligência nos procedimentos do RVSM, sublinhando a necessidade contínua de vigilância, comunicação eficaz e manutenção adequada dos sistemas de navegação para garantir a segurança nas operações aéreas.

Diante do exposto, é crucial reconhecer que a implementação bem-sucedida e segura do RVSM depende da cooperação contínua entre autoridades de aviação, operadores aéreos e fabricantes de aeronaves. A busca pela eficiência e segurança nas operações aéreas deve ser acompanhada por investimentos em treinamento, tecnologia e regulamentação, visando aprimorar constantemente os padrões de segurança e prevenir incidentes futuros. O RVSM, como parte integrante da evolução da aviação, representa um marco significativo, mas sua eficácia depende da constante adaptação e comprometimento de todos os envolvidos.

É essencial reconhecer que o RVSM representa uma evolução positiva na aviação, mas seu sucesso a longo prazo depende da aprendizagem contínua, do comprometimento com a adesão a padrões de segurança rigorosos e do desenvolvimento constante das capacidades tecnológicas. Em memória das vítimas do voo Gol 1907, a aviação busca continuamente a excelência operacional e aprimorar os protocolos de segurança para garantir um futuro mais seguro e eficiente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AEROIN. **Imagem Computadorizada Da Colisão**. Anynobody, CC BY-AS. Disponível em: <https://aeroin.net/wp-content/uploads/2021/10/Gol1907-repro.jpg> junho de 2008.

AISWEB. **AIP Brasil ENR 2.2**. Disponível em: <https://aisweb.decea.mil.br/download/?public=3772a634-8888-4d01-ab697a40c103e4af.pdf&p=Completa>.

CENIPA – Centro de Investigação e Prevenção de Acidentes Aeronáuticos. **RELATÓRIO FINAL** A-022/CENIPA/2008. Acidente GOL 1907. Disponível em: <https://media.folha.uol.com.br/mundo/2008/12/10/relatorio_voo_1907.pdf>.

Ecfr – Code of Federal Regulations. **Operations in Reduced Vertical Separation Minimum (RVSM) Airspace.** Disponível em: <https://www.ecfr.gov/current/title-14/chapter-I/subchapter-F/part-91/appendix-Appendix G to Part 91>.

Folha de S.Paulo. **Ilustração da Colisão e Altitudes das aeronaves no momento do acidente.** Disponível em:<https://www1.folha.uol.com.br/paywall/login.shtml?https://temas.folha.uol.com.br/voo-1907/>. 04 de fevereiro de 2019.

G1 Globo. **Militar do Distrito Federal durante missão de resgate das vítimas do voo 1907 da Gol**, Disponível em: <https://g1.globo.com/mt/mato-grosso/noticia/2021/09/29/voo-1907-tragedia-que-matou-154-pessoas-em-mt-completa-15-anos.ghtml>

IS- Instrução Suplementar. IS N° 91-005E. **Aprovação Operacional para Operação em Espaço Aéreo com Separação Vertical Mínima Reduzida (RVSM). Envelope Completo de voo RVSM** Disponível em: <https://www.anac.gov.br/assuntos/legislacao/legislacao-1/iac-e-is/is/is-91-005>. Portaria n° 10.577/SPO, de 17 de fevereiro de 2023.

Ministério da Aeronáutica Departamento de Aviação Civil Subdepartamento Técnico. IAC-3508-91-0895. **Orientação Preliminar para Aprovação de Operadores e de Aeronaves para Operações com Separação Vertical Mínima Reduzida**. Disponível em: <https://faculdadefastech.com.br/fotos_upload/2022-02-11_10-54-14.pdf>. Efetivação, 25 de agosto de 1995.

Unisul - Trabalho de Conclusão de Curso. Rodrigo Bertaglia. **Modernização dos Sistemas de Navegação Aérea no Brasil e seus Benefícios para Aviação Geral**. Disponível em: <https://repositorio.animaeducacao.com.br/bitstream/ANIMA/17688/1/TCCATA2.pdf> Palhoça, 2021.