

1ª EDIÇÃO

Edson Cabral
Hiremar Soares

METEOROLOGIA APLICADA À AVIAÇÃO

PP, PC-IFR, PPL, DOV e CMS

Avião e Helicóptero



Inclui Simulado Online
+de 500 Questões
Vídeos Explicativos e
Mapas Mentais



Edson Cabral
Hiremar Soares

METEOROLOGIA APLICADA À AVIAÇÃO

Um curso completo para pilotos (PP, PC-IFR e PPL),
Despachantes Operacionais de Voo (DOV) e Comissários de Voo (CMS).

1ª Edição



São Paulo
Editora Espaço Aéreo
Setembro, 2023

Capa e Diagramação: Grupo Bonilaure

Editoração Eletrônica: Grupo Bonilaure

Ilustrações: Aroldo Soares, Alysson Soares e Grupo Bonilaure

Revisão Gramatical: Agnaldo Alves

Cabral, Edson

Meteorologia aplicada à aviação: PP, PC, PLA, DOV, comissário de voo, avião e helicóptero / Edson Cabral, Hiremar Antonio José Soares Silva. -- 1. ed. -- São Paulo: Editora Espaço Aéreo, 2021.

ISBN 978-65-993890-1-6

1. Aeronáutica. 2. Aviação civil 3. Meteorologia . Silva, Hiremar Antônio José Soares. II. Título.

21-77695

CDD-629.1324

Índices para catálogo sistemático:

1. Meteorologia : Aeronáutica : Tecnologia 629.1324
Aline Grazielle Benitez - Bibliotecária - CRB-1/3129

Distribuição e Comercialização:

Editora Espaço Aéreo

☐ www.espacoaereo.com.br

✉ atendimento@espacoaereo.com.br

f www.facebook.com/eaereo

www.instagram.com/espacoaereo

www.youtube.com.br/espacoaereo

Todos os direitos reservados. É proibido a reprodução total ou parcial deste volume, de qualquer forma, ou por qualquer meios, sem o consentimento expresso da editora e autor.

PREFÁCIO

Agradeço e sinto um orgulho imenso por ter sido convidado para prefaciar esta obra. Fui aluno dos professores Cabral e Hiremar e sempre tive uma admiração enorme pelo trabalho, dedicação, humildade e atenção que ambos demonstravam nas salas de aula, nas quais sempre compartilhavam novidades e cases de inovação.

Durante toda minha experiência de voo e na sala de aula, sempre considerei a Meteorologia como uma disciplina de extrema importância para os aviadores, despachantes operacionais de voo, comissários de voo e todo o pessoal ligado à atividade aérea. Atualmente, fenômenos extremos, como furacões, nevascas, chuvas intensas e mudanças climáticas, ocorrem em uma frequência nunca observada antes, o que só reforça a importância da Meteorologia e dos especialistas na disciplina.

Responder a questões específicas sobre essas variáveis climáticas requer conhecimento dos processos, como apresentado aqui neste trabalho que considero magnífico. Uma verdadeira aula sobre temas relevantes, como a organização do sistema meteorológico, a importância operacional, a decodificação dos boletins, circulação atmosférica, pressão atmosférica e ventos, cinzas vulcânicas, satélites meteorológicos, radar meteorológico, rádio sondagem, cartas sinóticas, meteorologia na prevenção de acidentes e aquecimento global, entre outros.

Os diversos conceitos vão sendo introduzidos em uma linguagem didática clara e de fácil compreensão, que desenvolve de forma objetiva toda a teoria necessária aliada à prática operacional, estabelecendo com maestria uma “práxis” de forma interligada e indicando as relações entre os assuntos nos diversos capítulos, bem como a história decorrente daquela teoria. Como consequência, o leitor vai sendo levado a entender com naturalidade processos tão complexos. Em acréscimo, a obra apresenta exemplos específicos com fotos de fácil entendimento e aponta também como o leitor pode se aprofundar em cada tema ao indicar referências e links. Além disso, os mapas mentais ajudam o aluno a fazer a síntese e a conexão dos assuntos.

Trata-se, portanto, de uma nova referência para tripulantes e pessoal ligado às operações (PPL, PP, PC-IFR, PLA, DOV e CMS), que preenche uma lacuna necessária para que as operações aéreas sejam cada vez mais seguras. Meu desejo é que o leitor aprecie este livro e que a obra auxilie no entendimento sobre um assunto indispensável para voar com segurança.

Prof. Dr. Cmte. Francisco Conejero PEREZ foi piloto de avião por mais de 50 anos. Voou de pequenos aviões até os de grande porte em rotas internacionais, tendo acumulado, aproximadamente, 28.000:00 horas de voo nas aeronaves EMB110, FK27, FK50, A330, MD 11 e B777-300ER. Também trabalhou como instrutor e examinador em todas essas aeronaves, ministrou aulas de performance e foi responsável didático pela formação de instrutores de voo em linha aérea, além de coordenador pedagógico e diretor de operações, com formação em Pedagogia e Psicopedagogia. Também trabalhou como coordenador pedagógico por dois anos na LATAM – Linhas Aéreas.

APRESENTAÇÃO

Este livro visa apresentar, de forma didática e objetiva, os conteúdos teóricos previstos pela Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC) para a formação de inúmeros profissionais da Aviação, como os Pilotos Privados de Avião e Helicóptero (PPA/PPH), Pilotos de Planador (PPL), Pilotos Comerciais de Avião e Helicóptero IFR (PCA/PCH), Pilotos de Linha Aérea de Avião e Helicóptero (PLAA/PLAH), Comissários de Voo (CMS) e Despachantes Operacionais de Voo (DOV).

Em relação aos Pilotos de Linha Aérea, embora a ANAC não realize bancas da disciplina de meteorologia, cabe destacar que todo o conteúdo apresentado no livro é importante para a sua atividade profissional.

A obra compreende 19 capítulos, ricamente ilustrados, que além de conter a teoria também contam com ferramentas didáticas como:

- **Objetivos gerais:** Ao iniciar cada capítulo será apresentado ao aluno o que ele deverá apreender ao longo da leitura, assim como objetivo a ser alcançado.
- **QR Code:** Por meio de um smartphone ou tablet você terá acesso a vídeos explicativos de um ou mais pontos relevantes do capítulo.
- **Quadros e tabelas:** São sínteses de pontos cruciais do capítulo que propiciam a compreensão e memorização dos assuntos abordados.
- **Mapas Mentais:** Cada capítulo é concluído com um ou mais mapas mentais com o propósito de sintetizar, conectar e organizar as informações.
- **Simulado Online ANAC:** Você receberá um cartão que lhe dará acesso ao simulado online para treinamento das provas da ANAC, com questões atualizadas e divididas por assunto para a fixação da matéria. Cada questão possui referência com o livro, assim se não souber responder a questão, saberá exatamente onde encontrar a teoria para respondê-la.

Para a formação dos Pilotos Privados de Aviação e Helicóptero e Pilotos de Planador são direcionados especificamente os capítulos 1 a 14 do livro, compreendendo desde a Introdução à Meteorologia Aeronáutica até o conteúdo de Formação de Gelo em Aeronaves.

Com relação aos Pilotos Comerciais de Avião e Helicóptero, Pilotos de Linha Aérea de Avião e Helicóptero e Despachantes Operacionais de Voo são destinados todos os capítulos do livro, desde o capítulo 1 com a Introdução à Meteorologia Aeronáutica até o capítulo 19, Aviação e Aquecimento Global.

No tocante aos Comissários de Voo são sugeridos, a partir do previsto pela ANAC, os capítulos 1 (Introdução à Meteorologia Aeronáutica) a 6 (Sistemas Meteorológicos), capítulo 8 (Nuvens, nevoeiros e visibilidade) e capítulos 12 (Turbulência) a 14 (Formação de Gelo em aeronaves).

Este livro objetiva que o aluno, em suas diversas áreas de atuação, além de atingir um bom rendimento nas bancas da ANAC, alcance um conhecimento teórico de excelência para atender o exigente mercado da aviação.

A meteorologia aeronáutica representa um importante conteúdo dentre as várias disciplinas da aviação e requer constante atualização visando sua importância para a segurança e a economia das operações aéreas.

Os autores esperam que desfrutem dos conteúdos apresentados em sua formação e que tenham êxito no belo mundo da aviação!

SUMÁRIO

I - INTRODUÇÃO À METEOROLOGIA AERONÁUTICA	2
1 - A METEOROLOGIA E ÁREAS DE ATUAÇÃO	2
2 - BREVE HISTÓRICO	3
3 - ORGANIZAÇÃO DO SISTEMA METEOROLÓGICO	5
3.1 - Organizações Internacionais.....	5
3.2 - Órgãos Nacionais.....	6
II - ATMOSFERA	12
1 - DEFINIÇÃO E COMPOSIÇÃO DA ATMOSFERA.....	12
2 - CAMADAS DA ATMOSFERA.....	13
2.1 - Características das Camadas Atmosféricas	14
3 - BALANÇO DE ENERGIA E RADIAÇÃO	15
III - TEMPERATURA E CALOR	24
1 - IMPORTÂNCIA OPERACIONAL DAS TEMPERATURAS	24
2 - ESCALAS TERMOMÉTRICAS	25
2.1 - Medida de Temperatura nos Aeroportos.....	26
2.2 - Temperaturas Obtidas na Aeronave.....	27
3 - VARIAÇÃO DE TEMPERATURA.....	29
4 - DEFINIÇÃO DE CALOR (ENERGIA) E SUAS FORMAS DE TRANSFERÊNCIA.....	30
4.1 - Processos de Propagação do Calor	31
IV - UMIDADE.....	36
1 - UMIDADE ABSOLUTA E RELATIVA.....	36
2 - CICLO HIDROLÓGICO E MUDANÇAS DE ESTADO.....	38
3 - FENÔMENOS METEOROLÓGICOS	39
3.1 - Hidrometeoros	39
3.2 - Litometeoros.....	41
V - PRESSÃO ATMOSFÉRICA E VENTOS.....	44
1 - PRESSÃO ATMOSFÉRICA.....	44
1.1 - Conceito de Pressão.....	44
1.2 - Experiência de Evangelista Torricelli.....	46
1.3 - Instrumentos que Aferem a Pressão Atmosférica.....	47
2 - A PRESSÃO COM A DINÂMICA DOS VENTOS.....	47
2.1 - Influência da Pressão Atmosférica no Campo Operacional	50
2.2 - Variação Diuturna da Pressão Atmosférica	50
3 - SISTEMAS DE PRESSÃO	51
3.1 - Tipos de Pressão	52
3.2 - Pressões Atmosféricas Globalmente	53
4 - VENTOS.....	54

VI - SISTEMAS METEOROLÓGICOS.....	58
1 - MASSAS DE AR	58
2 - SISTEMAS FRONTAIS	59
2.1 - Frente Fria	60
2.2 - Frente Quente	60
2.3 - Frente Estacionária	61
2.4 - Frente Oclusa.....	61
3 - CICLONES TROPICAIS E FURACÕES	62
4 - CICLONES EXTRATROPICAIS OU DE MÉDIAS LATITUDES	64
VII - ALTIMETRIA.....	68
1 - O ALTÍMETRO E SUAS ALTITUDES	69
1.1 - Altura ou Altitude Absoluta (H)	69
1.2 - Altitude Indicada (AI)	69
1.3 - Altitude Calibrada (AC)	69
1.4 - Altitude Pressão (AP)	69
2 - MUDANÇA DE AJUSTE	70
2.1 - Nível de Transição.....	70
2.2 - Altitude de Transição (TA)	71
3 - ALTITUDES CALCULADAS	71
3.1 - Altitude Densidade (AD).....	71
3.2 - Altitude Verdadeira (AV).....	72
4 - VALOR OU FATOR “D”	72
5 - CÓDIGO Q.....	73
6 - VARIAÇÃO DA ALTITUDE EM FUNÇÃO DO GRADIENTE DE PRESSÃO E TEMPERATURA	74
7 - CÁLCULOS DE ALTIMETRIA	75
7.1- Cálculo da Altitude Densidade (AD).....	76
7.2 - Cálculo de Altitude Indicada (AI)	77
7.3 - CÁLCULO DE ALTITUDE VERDADEIRA (AV)	78
VIII - NUVENS, NEVOEIROS E VISIBILIDADE	82
1 - NUVENS	82
1.1 - Estágio de Formação das Nuvens.....	83
1.2 - Processos de Formação das Nuvens	86
2 - TROVOADAS	86
2.1 - Estágios da Trovoada.....	87
2.2 - Formação das Trovoadas	88
2.3 - Quanto ao Número de Células.....	89
3 - NEVOEIROS	90
3.1 - Classificação dos Nevoeiros	90
4 - VISIBILIDADE	91
4.1 - Referências de Visibilidade	91

IX - CÓDIGOS METEOROLÓGICOS	96
1 - INTRODUÇÃO	96
1.1. Estações Meteorológicas de Superfície (EMS)	96
2 - BOLETINS METAR E SPECI	97
2.1 - Informe Meteorológico Regular de Aeródromo (METAR)	97
2.2 - Informe Meteorológico Especial de Aeródromo (SPECI)	97
3 - DECODIFICAÇÃO DOS BOLETINS METAR/SPECI LOCAL	98
3.1 - Particularidades na Decodificação do METAR	100
4 - TAF (PREVISÃO DE TERMINAL DE AERÓDROMO)	108
4.1 - Decodificação e Sequência do Código TAF	108
5 - GAMET (PREVISÃO METEOROLÓGICA PARA AVIAÇÃO GERAL)	111
5.1 - A Decodificação de um GAMET	112
6 - AVISO DE AERÓDROMO (AD WRNG)	113
6.1 - Decodificação do AD WRNG	113
7 - AVISO DE CORTANTE DE VENTO (WS)	114
7.1 - Decodificação do WS WRNG	114
8 - SIGMET E AIRMET	115
8.1 - Informações Meteorológicas Significantes (SIGMET)	115
8.2 - AIRMET	115
9 - PIREP E AIREP	116
9.1 - PIREP	116
9.2 - AIREP	116
X - CARTAS METEOROLÓGICAS	122
1 - CARTA DE TEMPO SIGNIFICATIVO (SIGWX) (SIGNIFICANT WEATHER CHART)	123
1.1 - Decodificar uma SIGWX	124
2 - CARTAS WIND ALOFT PROG (CARTAS DE VENTO E TEMPERATURA)	129
2.1 - Interpretação da Carta Wind Aloft Prog	129
2.2 - Interpretação do Vento e da Temperatura	131
3 - CARTAS SINÓTICAS	132
XI - ESTABILIDADE E INSTABILIDADE ATMOSFÉRICA	136
1 - INTRODUÇÃO	136
1.1 - Parcela de Ar na Atmosfera (“Bolha Térmica”)	136
2 - O PROCESSO ADIABÁTICO NA ATMOSFERA	138
2.1 - Razão Adiabática	138
2.2 - Estabilidade Atmosférica	138
3 - INSTABILIDADE ATMOSFÉRICA	139
3.1 - Nível de Condensação Convectivo (NCC)	139
4 - EXERCÍCIOS PRÁTICOS	139

XII - TURBULÊNCIA	144
1 - TIPOS DE TURBULÊNCIA	144
1.1 - Turbulência Termal ou Convectiva	144
1.2 - Turbulência Orográfica	144
1.3 - Turbulência Mecânica ou de Solo	144
1.4 - Turbulência Dinâmica	145
2 - ESTEIRA DE TURBULÊNCIA	146
2.1 - Categoria das Aeronaves	147
3 - WINDSHEAR	147
3.1 - Originadores de “Windshear”	149
XIII - CIRCULAÇÃO ATMOSFÉRICA	154
1 - CIRCULAÇÃO GERAL DA ATMOSFERA	155
1.1 - Circulação Geral Inferior	155
1.2 - Circulação Geral Superior	156
2 - CIRCULAÇÃO SECUNDÁRIA OU REGIONAL	157
2.1 - Brisas	157
2.2 - Monções	158
2.3 - Ventos Relacionados a Vale e Montanha	158
XIV - FORMAÇÃO DE GELO EM AERONAVE	162
1 - CONDIÇÕES PARA FORMAÇÃO DE GELO	162
1.1 - Tipos de Gelo	162
1.2 - Intensidade de Formação de Gelo	164
2 - ÁREAS CRÍTICAS ONDE PODE OCORRER GELO	164
3 - COMO EVITAR A FORMAÇÃO DE GELO	165
3.1 - Sistemas Antigelo	165
4 - PRODUTOS DA NOAA	166
5 - INFORMAÇÕES OPERACIONAIS IMPORTANTES	167
XV - CINZAS VULCÂNICAS	170
1 - CARACTERÍSTICAS DAS CINZAS VULCÂNICAS	171
2 - EFEITOS DAS CINZAS VULCÂNICAS NAS AERONAVES	171
3 - CUIDADOS OPERACIONAIS	172
XVI - PRODUTOS METEOROLÓGICOS	176
1 - SATÉLITES METEOROLÓGICO	176
1.1 - Órbita dos Satélites	176
1.2 - Os Satélites Meteorológicos e a Radiação	177
2 - RADAR METEOROLÓGICO	179
3 - RADIOSSONDAGEM	180

XVII - CLIMATOLOGIA AERONÁUTICA.....	184
1 - ESTUDOS PARA CONSTRUÇÃO DOS AEROPORTOS.....	184
1.1 - Parâmetros Meteorológicos de Registro.....	185
1.2 - Licenciamento Ambiental.....	187
2 - MICROCLIMA DO AEROPORTO	187
XVIII - METEOROLOGIA NA PREVENÇÃO DE ACIDENTES AERONÁUTICOS .	190
1 - FENÔMENOS METEOROLÓGICOS E OS ACIDENTES AERONÁUTICOS..	190
2 - ACIDENTES AERONÁUTICOS EM AERÓDROMOS	190
3 - ACIDENTES AERONÁUTICOS EM ROTA.....	194
3.1 - Turbulência.....	194
3.2 - Formação de gelo	194
3.3 - Cinzas vulcânicas	194
4 - INVESTIGAÇÃO DE ACIDENTE EM AERÓDROMOS.....	195
5 - INVESTIGAÇÃO DE ACIDENTE AERONÁUTICO EM ROTA.....	196
XIX - AVIAÇÃO E AQUECIMENTO GLOBAL (VARIABILIDADES CLIMÁTICAS) 	198
1 - LINHA DOS CÉTICOS	199
2 - LINHA DOS AQUECIMENTISTAS.....	199
2.1 - Aquecimento Global e a Atividade Aérea	200
2.2 - Protocolo de Kioto.....	202
3 - PRÁTICAS QUE PODERÃO REDUZIR A EMISSÃO CO2 NA ATMOSFERA	202
BIBLIOGRAFIA CONSULTADA	203
PUBLICAÇÕES DE METEOROLOGIA.....	203
ARTIGOS	203
TESE DE DOUTORADO	203
DISSERTAÇÃO DE MESTRADO	204