



ESCOLA DE COMANDO E ESTADO-MAIOR DA AERONÁUTICA
COORDENADORIA ACADÊMICA
CURSO AVANÇADO DE COMANDO E ESTADO-MAIOR

MARCELO SANDIM, Ten Cel Av

**O impacto do estresse térmico nas missões de preparo e emprego dos Esquadrões de
Transporte Aéreo**

Rio de Janeiro

2023

ESCOLA DE COMANDO E ESTADO-MAIOR DA AERONÁUTICA
COORDENADORIA ACADÊMICA
CURSO AVANÇADO DE COMANDO E ESTADO-MAIOR

MARCELO SANDIM, Ten Cel Av

**O impacto do estresse térmico nas missões de preparo e emprego dos Esquadrões de
Transporte Aéreo**

Trabalho de conclusão de curso apresentado,
como requisito parcial para aprovação, no
Curso Avançado de Comando e Estado-Maior.
Linha de Pesquisa: Operações Militares.
Orientador: Marcelo Viegas Neves.

Rio de Janeiro

2023

RESUMO

Os Esquadrões de Transporte Aéreo (ETA) têm como missão capacitar equipagens e militares para o emprego em Ações de Força Aérea ou quaisquer Ações Complementares, em proveito das Tarefas de Força Aérea que lhe são afetas. Por experiências vividas ao longo de 20 anos em atividades operacionais e por relatos de tripulantes, ambos relacionados ao grande desconforto causado por temperatura elevada durante a operação de aeronaves, surgiu uma inquietação e, para verificar a existência de fundamento científico, realizou-se esta pesquisa com o objetivo de verificar as influências de altas temperaturas na cabine de aeronaves nas missões de preparo e emprego dos ETA. Dessa forma, este estudo foi conduzido de modo a analisar, de acordo com os objetivos específicos, a relação entre temperatura, estresse térmico, desempenho e segurança de voo. Buscou-se verificar se as condições de operação dos ETA poderiam contribuir para a incidência de estresse térmico nos pilotos, bem como identificar a presença de sintomas dessa natureza nesses tripulantes, tanto os sintomas gerais quanto aqueles relacionados a alterações de desempenho. Os dados coletados foram analisados com base no referencial teórico, sendo possível constatar que os pilotos dos ETA podem estar enfrentando regularmente níveis moderados a muito elevados de estresse térmico, além de apresentarem sintomas de doenças causadas pelo calor e, principalmente, perdas na função cognitiva. Considerando que pequenas falhas podem provocar acidentes catastróficos, concluiu-se que o estresse térmico tem gerado riscos que afetam a segurança de voo das missões de preparo e emprego dos ETA.

Palavras-chave: temperatura na cabine; estresse térmico; segurança de voo.

ABSTRACT

The Air Transport Squadrons (ETA) have the mission of training crews and military personnel for employment in Air Force Actions or any Complementary Actions, for the benefit of the Air Force Tasks assigned to them. Due to experiences lived over 20 years in operational activities and by reports from crew members, both related to the great discomfort caused by high temperature during aircraft operation, a concern arose and, to verify the existence of a scientific basis, this research was carried out. with the objective of verifying the influences of high temperatures in the cabin of aircraft in the missions of preparation and use of ETA. Thus, this study was conducted in order to analyze, according to the specific objectives, the relationship between temperature, thermal stress, performance and flight safety. We sought to verify whether the operating conditions of the ETA could contribute to the incidence of thermal stress in pilots, as well as to identify the presence of symptoms of this nature in these crew members, both general symptoms and those related to changes in performance. The collected data were analyzed based on the theoretical framework, and it was possible to verify that ETA pilots may be regularly facing moderate to very high levels of thermal stress, in addition to presenting symptoms of illnesses caused by heat and, mainly, losses in cognitive function. Considering that small failures can cause catastrophic accidents, it was concluded that thermal stress has generated risks that affect the flight safety of ETA preparation and employment missions.

Keywords: *temperature in the cabin; thermal stress; flight safety.*

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Gráfico 1 – Percepção dos pilotos sobre o funcionamento do sistema de climatização das aeronaves voadas	21
Gráfico 2 – Frequência de desconforto devido a temperatura elevada na cabine	25
Gráfico 3 – Incidência e percentual de sintomas de estresse térmico e de doenças causadas pelo calor	26
Gráfico 4 – Perda na produtividade	27
Gráfico 5 – Perda na precisão.....	28
Gráfico 6 – Perda na precisão.....	28
Gráfico 7 – Diminuição do tempo de reação	28

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Sintomas e problemas de saúde relacionados ao estresse.....	12
Tabela 2 – Principais problemas das doenças causadas pelo calor	13
Tabela 3 – Níveis de estresse térmico, faixa de risco, faixa de WBGT	14
Tabela 4 – Gráfico de FITS (°F).....	15
Tabela 5 – Zona de FITS, descrição e ações recomendadas	15
Tabela 6 – Relação entre temperatura, produtividade e precisão	17
Tabela 7 – Média de temperatura anual, de temperatura máxima anual e de temperatura do ponto de orvalho	21
Tabela 8 – Resumo de dados do SILOMS sobre o funcionamento do sistema de climatização das aeronaves do 6º ETA.....	22
Tabela 9 – Valores de FITS por ETA.....	23
Tabela 10 – Medições de WBGT durante a operação da aeronave C-95.....	24
Tabela 11 – Análise das questões 6, 7, 8 e 9 em valores de Likert	29

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ACGIH	<i>American Conference of Governmental Industrial Hygienist</i>
CACEM	Curso Avançado de Comando e Estado-Maior
COMAE	Comando de Operações Aeroespaciais
COMPREP	Comando de Preparo
DAF	<i>Department of the Air Force</i>
ECEMAR	Escola de Comando e Estado Maior da Aeronáutica
ETA	Esquadrão de Transporte Aéreo
FAA	<i>Federal Aviation Administration</i>
FAB	Força Aérea Brasileira
FITS	<i>Fighter Index Thermal Stress</i>
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
NASA	<i>National Aeronautics and Space Administration</i>
NIOSH	<i>National Institut for Occupational, Safety and Health</i>
NSCA	Norma do Sistema do Comando da Aeronáutica
OACI	Organização de Aviação Civil Internacional
OE	Objetivo Específico
OM	Organização Militar
OMM	Organização Meteorológica Mundial
OMS	Organização Mundial de Saúde
SILOMS	Sistema Integrado de Logística de Material e Serviços
WBGT	<i>Wet Bulb Globe Temperature</i>

LISTA DE SÍMBOLOS

°C	Graus Celsius
°C	Graus Fahrenheit
≥	Maior ou igual
®	Marca Registrada
<	Menor
≤	Menor ou igual

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	9
2	REFERENCIAL TEÓRICO	11
2.1	Estresse térmico	11
2.2	Doenças relacionadas ao estresse e ao estresse térmico.....	12
2.3	Índices de estresse térmico	13
2.4	Alterações de desempenho em função do aumento da temperatura.....	16
2.5	Safety.....	17
3	METODOLOGIA	18
4	APRESENTAÇÃO DE DADOS E ANÁLISE DE RESULTADOS.....	21
4.1	Dados climatológicos.....	21
4.2	Sistemas de climatização	21
4.3	Nível de estresse térmico	22
4.4	Sintomas de estresse térmico e de doenças causadas pelo calor	24
4.5	Alterações de desempenho em função do estresse térmico e o impacto na segurança de voo	27
5	CONCLUSÃO.....	30
	REFERÊNCIAS.....	33
	APÊNDICE A – Texto.....	35

1 INTRODUÇÃO

A missão síntese da Força Aérea Brasileira (FAB), “Manter a soberania do espaço aéreo e integrar o Território Nacional, com vistas à defesa da Pátria”, está orientada pela destinação constitucional das Forças Armadas, por diplomas legais e por diretrizes do Comandante Supremo, e norteia todas as atividades da Instituição. De forma convergente, o Comando de Preparo (COMPREP) tem por missão “Preparar meios de Força Aérea, sob sua responsabilidade, a fim de manter a soberania do espaço aéreo e integrar o Território Nacional”, e o Comando de Operações Aeroespaciais (COMAE) tem por missão “Empregar o Poder Aeroespacial com vistas a garantir a soberania do Espaço Aéreo e a integração do Território Nacional”.

O Preparo da Força Aérea Brasileira diz respeito à organização e articulação das Organizações Militares, ao aparelhamento das Unidades Aéreas e de Aeronáutica, ao desenvolvimento de doutrina aeroespacial, à formação de recursos humanos e ao adestramento das equipagens, entre outras atividades, sendo responsabilidade do COMPREP.

O Emprego da Força Aérea Brasileira está relacionado à aplicação do Poder Aeroespacial Nacional na defesa da Pátria, na garantia dos poderes constitucionais, da lei e da ordem, e na execução das atribuições subsidiárias gerais e específicas, sendo responsabilidade do COMAE.

Dentre as inúmeras Organizações Militares (OM) com os mais diferentes tipos de missão subordinadas direta ou indiretamente ao COMPREP, encontram-se os Esquadrões de Transporte Aéreo (ETA). Os ETA também cumprem, quando acionados pelo COMAE, missões relacionadas ao emprego da Força.

Os ETA têm por missão capacitar equipagens e militares para o emprego em Ações de Assalto Aeroterrestre, Assuntos Cívicos, Comunicação Social, Evacuação Aeromédica, Exfiltração Aérea, Infiltração Aérea, Logística e Transporte Aerologístico, ou ainda em quaisquer Ações Complementares, em proveito das Tarefas de Força Aérea que lhe são afetas, bem como supervisionar o planejamento e a execução de suas atividades técnico-administrativas.

Nesse contexto, por ser oficial do Quadro de Oficiais Aviadores da Força Aérea Brasileira e ter atuado como tripulante de aeronaves entre 2001 e 2020, este pesquisador percebeu que durante muitos voos realizados ao longo da sua carreira, o ambiente na cabine das aeronaves se tornou insalubre devido à temperatura excessiva, ocasionada por condições atmosféricas de temperatura elevada, associada à inoperância ou pouca eficácia de sistemas de

ar-condicionado. Ao encontro de suas percepções, este pesquisador também ouviu frequentemente relatos de tripulantes relacionados ao grande desconforto durante voos em que o sistema de climatização não operava em condições adequadas. As queixas constantes apontavam para sintomas de estresse térmico descritos por Davis *et al.* (2008), autor esse que aborda também a relação entre efeitos do estresse por calor e alterações de desempenho, relação essa quantificada pela NASA¹ em um estudo de 1968. O estudo descreve que na medida em que a temperatura aumenta, a produtividade e a precisão tendem a diminuir. Ao analisarmos os conceitos de segurança de voo, fica evidente a importância crucial de mitigar os riscos, dentre eles os relacionados a alterações na função cognitiva dos pilotos, pois mesmo a menor falha pode acarretar consequências desastrosas.

O contato com os conceitos supracitados e as experiências vividas ao longo de 20 anos em atividades ligadas diretamente à operação aérea fizeram surgir neste pesquisador a inquietação de averiguar se as altas temperaturas na nacele de aeronaves poderiam ser um fator de potencial perigo para a segurança de voo, gerando o seguinte questionamento: quais são as influências de altas temperaturas na cabine de aeronaves nas missões de preparo e emprego dos Esquadrões de Transporte Aéreo?

Com o objetivo de atingir as respostas para o problema de pesquisa, as seguintes hipóteses foram elaboradas:

- a) as condições dos sistemas de climatização de algumas aeronaves dos ETA e/ou as condições de temperatura em algumas localidades do Brasil corroboram para que os pilotos destes esquadrões sejam submetidos a níveis elevados de estresse térmico; e
- b) o estresse térmico provoca alterações de desempenho nos pilotos dos ETA que podem afetar a segurança de voo das missões de preparo e emprego destes esquadrões.

O objetivo geral desse artigo é verificar as influências de altas temperaturas na cabine de aeronaves nas missões de preparo e emprego dos Esquadrões de Transporte Aéreo.

Buscando-se, então, oferecer uma solução possível às hipóteses, foram estabelecidos, como ações desta pesquisa, os seguintes objetivos específicos (OE):

- a) verificar a média de temperatura anual, de temperatura máxima anual e de temperatura do ponto de orvalho anual nas cidades sede dos ETA no período

¹ *National Aeronautics and Space Administration* – Agência federal do governo dos EUA responsável pela pesquisa e desenvolvimento de tecnologias e programas de exploração espacial.

de 1991 a 2020; (OE1)

- b) verificar as condições recentes de funcionamento dos sistemas de climatização das aeronaves dos ETA; (OE2)
- c) verificar a que nível de estresse térmico os pilotos dos ETA podem estar sendo submetidos; (OE3)
- d) verificar a presença de sintomas de estresse térmico e de doenças causadas pelo calor nos pilotos dos ETA a partir de 01/01/2022; (OE4)
- e) verificar se o estresse térmico provoca alterações de desempenho dos pilotos dos ETA que podem afetar a segurança de voo das missões de preparo e emprego destes esquadrões. (OE5)

Essa pesquisa se faz relevante por estar diretamente ligada à identificação e à mitigação de riscos que envolvem as operações militares, em tempos de paz ou de guerra, principalmente no sentido de preservação dos recursos humanos. As respostas encontradas poderão servir de subsídio para justificar alterações do planejamento logístico da Força, bem como da condução das Ações de Força Aérea afetas aos Esquadrões de Transporte Aéreo.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

A partir deste ponto, será apresentado o referencial teórico que embasa o presente estudo. Nesta seção serão abordados os principais conceitos, teorias e publicações relacionados ao tema da pesquisa, que vão desde a definição de estresse térmico e seus impactos no organismo humano até a apresentação de índices que possibilitam mensurá-lo, além da abordagem de conceitos de segurança de voo.

2.1 Estresse térmico

“Estresse é um termo utilizado para designar tudo que possa interferir na obtenção pelo indivíduo dos seus padrões de desempenho” (TEMPORAL, 2005, p. 343). Temporal (2005) classifica estes elementos como agentes estressores e os divide em três grupos: físicos, fisiológicos e comportamentais. Falando especificamente sobre agentes estressores relacionados à atividade aérea, os físicos estão relacionados ao ambiente de voo, que engloba ruído, vibração, temperatura, umidade e gases tóxicos. Os agentes fisiológicos seriam as reações e sensações do corpo humano, como sede, fome, cansaço e sono. Por fim, os agentes estressores

psicológicos são efeito das nossas emoções frente a cada situação, como por exemplo a ansiedade frente a um voo em condições meteorológicas adversas.

O Departamento da Força Aérea (DAF²) (UNITED STATES, 2022, p. 30) dos Estados Unidos da América define estresse térmico como “o estresse fisiológico experimentado pelo corpo humano como resultado da exposição a ambientes quentes e frios. O estresse térmico inclui tanto o estresse por calor quanto o estresse por frio.” Neste estudo vamos nos limitar à análise dos efeitos causados pelo estresse por calor.

Segundo Davis *et al.* (2008) o estresse por calor é uma condição resultante do desequilíbrio entre a produção de calor do corpo e sua capacidade de dissipá-lo, levando a um acúmulo de calor no organismo. O aumento da temperatura corporal, quando não regulado adequadamente, leva a uma série de sintomas e doenças relacionadas ao calor, a serem abordados no próximo tópico.

2.2 Doenças relacionadas ao estresse e ao estresse térmico

Partindo-se do geral para o específico, neste tópico inicialmente serão descritos alguns dos efeitos do estresse em geral. Straub (2005) diz que a reincidência na exposição do organismo humano a agentes estressores pode gerar sintomas e problemas de saúde indesejáveis e perigosos, de natureza física, psicológica ou comportamental (tabela 1).

Tabela 1 – Sintomas e problemas de saúde relacionados ao estresse.

(continua)

Físicos		
Alteração de peso	Hipertensão	Sudorese
Brotoeja	Náusea	Taquicardia
Bruxismo	Problemas estomacais	Tensão e rigidez muscular
Dor de cabeça	Reações alérgicas	Tremor muscular
Erupções na pele	Sensação de asfixia	Vômito
Psicológicos		
Ansiedade	Dificuldade de memória	Pouca concentração
Depressão	Fadiga	Raiva

² Department of the Air Force – Departamento da Força Aérea.

(conclusão)

Comportamentais		
Agressividade	Fuga das tarefas	Insônia
Choro	Inquietação	Mudança de hábitos alimentares

Fonte: Adaptada de Straub (2005).

Partindo especificamente para as doenças originadas pelo calor, Davis *et al.* (2008) as divide em doenças menos e mais graves. As de menor gravidade são a brotoeja, a câimbra e o desmaio. As mais graves são a exaustão, a desidratação e a insolação. A tabela 2 aponta os principais sintomas destas doenças.

Tabela 2 – Principais sintomas das doenças causadas pelo calor.

Doença	Sintomas
Câimbra por calor	Espasmos e dor no abdômen, braços ou pernas
Desmaios por calor	Taquicardia, tontura, perda da consciência
Exaustão por calor	Dor de cabeça, náusea, vômito, perda de apetite, hipotensão, taquicardia, câimbras, falta de ar, hiperventilação, alteração transitória do estado mental, perda da consciência
Desidratação	Redução da urina, sede intensa, dores musculares, boca seca, taquicardia, hiperventilação, vertigem, confusão mental, perda de apetite, dor de cabeça, irritabilidade
Insolação	Dor de cabeça, tontura, pele seca e quente, sonolência, agitação, ataxia, confusão mental, agressividade, convulsões, delírios, vômitos, perda da consciência

Fonte: Adaptada de Davis *et al.* (2008).

Temporal (2005) diz que a saúde do ser humano pode ser comprometida pelos efeitos do calor sobre o organismo e DeHart (1996) vai além, dizendo que esses efeitos vão desde um simples desconforto até a morte.

2.3 Índices de estresse térmico

Numerosos índices ambientais têm sido propostos para a mensurar níveis de estresse térmico. O mais utilizado é o índice *Wet Bulb Globe Temperature* (WBGT)³, que foi desenvolvido na década de 50 em estudos sobre baixas por calor de integrantes de tropas militares em ambientes quentes (DAVIS *et al.*, 2008). Por meio do índice WBGT é possível estimar o comportamento do corpo humano sob os efeitos da temperatura ambiente, da umidade e da radiação solar (UNITED STATES, 2022). “O WBGT é atualmente o padrão da indústria

³ *Wet Bulb Globe Temperature* – Temperatura de Globo e Bulbo Úmido.

de acordo com o NIOSH⁴ e o ACGIH⁵ para prever o risco de doenças térmicas.” (UNITED STATES, 2022, p. 16). O uso do WBGT como uma ferramenta de avaliação de risco ambiental é recomendado pela Organização Mundial da Saúde (UNITED STATES, 2015).

A Organização de Aviação Civil Internacional (OACI) reconhece que o estresse térmico pode representar um risco para a segurança operacional (OACI, 2022). Assim como a OACI, a *Federal Aviation Administration* (FAA)⁶ dos Estados Unidos também reconhece que o estresse térmico é um risco potencial para a segurança da aviação (UNITED STATES, 2015). Ambos os órgãos incluem disposições relevantes sobre o estresse térmico em suas publicações. Uma dessas publicações é o AC 120-114, documento técnico emitido pela FAA, intitulado “Gerenciamento de resistência, descanso e fadiga da tripulação”. Este documento apresenta uma tabela que classifica quatro níveis de estresse térmico de acordo com faixas de índice WBGT (tabela 3) e estabelece medidas de mitigação apropriadas para reduzir os seus impactos negativos na segurança das operações aéreas.

Tabela 3 – Níveis de estresse térmico, faixa de risco, faixa de WBGT.

Nível de Estresse Térmico	Faixa de Risco	Faixa de WBGT
1	Baixo risco	WBGT < 25 °C
2	Risco moderado	25 ≤ WBGT < 28,9 °C
3	Alto risco	28,9 ≤ WBGT < 31,7 °C
4	Risco extremo	WBGT ≥ 31,7 °C

Fonte: Adaptada de United States (2015).

Em um esforço para desenvolver um índice de estresse térmico especificamente aplicável à aviação, em 1979 foi desenvolvido o Índice de Estresse Térmico da Caça (FITS)⁷ (Davis *et al.*, 2008). O FITS considera que, mesmo a aeronave possuindo um sistema de controle ambiental, os efeitos da radiação solar, da radiação térmica do céu, do calor radioativo dos equipamentos elétricos, do calor convectivo do ar dentro do cockpit e do calor metabólico do corpo humano podem causar estresse térmico na tripulação (UNITED STATES, 2022).

A publicação DAFI 48-151, de 2 de maio de 2022, do Departamento da Força Aérea dos Estados Unidos, trata de um programa que tem como objetivo garantir que as operações e atividades da Força Aérea sejam realizadas de forma segura em ambientes de alta temperatura e/ou umidade, minimizando o risco de danos à saúde. O documento estabelece as políticas e procedimentos para a implementação de um programa de estresse térmico, que inclui a

⁴ *National Institute for Occupational Safety and Health* – Instituto Nacional de Segurança e Saúde Ocupacional

⁵ *American Conference of Governmental Industrial Hygienist* – Conferência Americana de Higienistas Industriais Governamentais.

⁶ *Federal Aviation Administration* – Administração Federal de Aviação

⁷ *Fighter Index Thermal Stress* – Índice de Estresse Térmico da Caça

identificação de áreas e situações de alto risco, a avaliação de riscos e o estabelecimento de medidas preventivas, bem como a orientação e o treinamento dos militares e civis da Força Aérea. Essa publicação possui a tabela 4, que usa a temperatura de bulbo seco e o ponto de orvalho para produzir uma estimativa do estresse térmico na cabine (UNITED STATES, 2022).

Tabela 4 – Gráfico de FITS (°F).

		Dry Bulb Temperature (°F)																		
		80	82	84	86	88	90	92	94	96	98	100	102	104	106	108	110	112	114	116
Dewpoint (°F)	10	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	82	83	84	86	87	88	90	91	92	94	95	96	98	99
	12	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	82	83	85	86	87	89	90	91	93	94	95	96	98	99
	14	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	82	83	85	86	87	89	90	91	93	94	95	97	98	99
	16	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	82	84	85	86	88	89	90	92	93	94	96	97	98	99
	18	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	83	84	85	87	88	89	91	92	93	95	96	97	98	100
	20	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	83	84	85	87	88	90	91	92	93	95	96	97	99	100
	22	76	77	79	80	82	83	84	86	87	88	90	91	92	94	95	96	98	99	100
	24	76	78	79	81	82	83	85	86	87	88	90	91	93	94	95	97	98	99	100
	26	77	78	80	81	82	84	85	86	87	88	90	92	93	94	96	97	98	99	101
	28	77	79	80	81	83	84	85	87	88	89	91	92	93	95	96	97	98	99	101
	30	77	79	80	81	83	84	85	87	88	89	91	92	94	95	96	97	98	99	101
	32	78	79	80	81	83	84	85	87	88	89	91	92	94	95	96	97	98	99	101
	34	79	80	81	82	83	85	86	87	88	90	91	93	94	95	96	98	99	100	102
	36	79	80	82	82	84	86	87	87	89	90	92	93	95	96	97	98	99	100	102
	38	80	81	82	83	84	86	87	88	89	91	92	94	95	96	97	99	100	101	103
	40	81	82	83	83	85	87	88	89	90	92	93	94	95	97	98	99	100	101	103
	42	81	82	83	84	85	87	88	89	91	92	93	95	96	97	98	100	101	102	104
	44	82	83	84	85	86	88	89	90	91	93	94	95	96	98	99	100	101	103	104
	46	82	84	84	85	87	88	90	91	92	93	95	96	97	98	99	100	102	103	104
	48	83	84	85	86	87	89	90	91	93	94	95	96	97	99	100	101	102	104	105
	50	84	84	85	87	88	90	91	92	93	94	96	97	98	99	100	101	103	104	105
	52	84	85	87	88	90	91	92	93	94	95	96	98	99	100	101	102	103	105	106
	54	84	86	88	89	90	91	92	93	95	96	97	98	99	101	102	102	104	106	107
	56	85	87	89	90	91	92	93	94	95	96	97	99	100	101	102	103	104	106	107
	58	86	88	90	90	91	92	93	94	96	97	98	100	101	102	103	104	105	107	108
	60	87	89	90	91	92	93	94	95	97	98	99	101	102	103	104	105	106	107	108
	62	88	89	91	92	93	94	95	96	97	99	100	101	102	103	104	105	106	108	109
	64	89	90	91	93	94	95	96	97	98	100	101	102	103	104	105	106	107	108	109
	66	90	91	93	94	95	96	97	98	99	100	101	103	104	105	106	107	108	109	110
	68	91	92	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103	104	106	107	108	109	110	111
70	92	93	95	96	97	98	99	100	101	102	103	104	105	106	108	109	109	110	112	
72	93	94	96	97	98	99	100	101	102	103	104	105	106	107	108	109	110	111	113	
74	94	95	97	98	99	100	101	102	103	104	105	106	107	109	110	111	112	112	114	
76	95	96	98	99	100	102	102	103	104	105	106	108	109	110	111	112	113	114	115	
78	97	98	99	100	101	103	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	
80	98	100	100	101	102	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	
82	99	100	101	102	103	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118	
84	101	102	101	103	104	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118	119	
86	102	103	104	104	106	108	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118	119	120	
88	103	104	105	106	107	109	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118	120	121	121	
90	105	106	107	108	109	110	110	111	112	113	113	114	115	117	118	119	120	122	123	

Fonte: United States (2022, p. 25).

De forma a minimizar os efeitos relacionados ao estresse térmico nas tripulações, para cada zona de FITS, o DAF recomenda as seguintes ações (tabela 5):

Tabela 5 – Zona de FITS, descrição e ações recomendadas.

Zona	Descrição	Ações
Normal Verde	A Zona Normal é subjetivamente quente, mas normalmente segura, e geralmente cobre os valores de referência FITS abaixo de 90 °F.	<ul style="list-style-type: none"> • Esteja alerta para os sintomas de estresse por calor. • Assegure a ingestão adequada de líquidos.
Cuidado Amarela	A Zona de Cuidado inclui condições que são toleráveis se forem tomadas as devidas precauções e geralmente cobre os valores de referência FITS entre 90 °F e 99 °F.	<ul style="list-style-type: none"> • Esteja alerta para os sintomas de estresse por calor. • Beba muitos líquidos sem cafeína. • Evite exercícios 4 horas antes da decolagem. • Limite o tempo de operações terrestres fora de um ambiente com ar condicionado a 90 minutos.
Perigo Vermelha	A Zona de Perigo representa condições que induzem o armazenamento progressivo de calor e desidratação suficiente para afetar o desempenho da tripulação durante missões normais de baixo nível e compreendem valores de referência FITS acima de 100 °F. Quando o valor de referência FITS estiver acima de 115 °F, considere limitar ou cancelar operações de voo não essenciais, pois o estresse térmico constitui um sério esgotamento das reservas fisiológicas.	<ul style="list-style-type: none"> • O tempo mínimo de recuperação é de duas horas (tempo de pouso até a próxima decolagem). • Limite o tempo de operações terrestres fora do ambiente com ar condicionado a 45 minutos. • Se possível, espere em uma área fresca e sombreada se a aeronave não estiver pronta para voar. • Complete um máximo de duas inspeções de aeronaves, duas inspeções externas em surtidas iniciais e uma inspeção externa em surtidas subsequentes para caças e treinadores. • Os alunos em voo solo de treinamento devem ser limitados a uma inspeção externa da aeronave por surtida.

Fonte: Adaptada de United States (2022).

2.4 Alterações de desempenho em função do aumento de temperatura

Até determinado limiar o estresse pode ser benéfico, tendo em vista que ele amplia a motivação, obtendo-se como resultado um desempenho superior. Entretanto, o desempenho pode ser comprometido caso o nível de estresse ultrapasse esse limite (Temporal 2005).

Os efeitos combinados do estresse térmico e da desidratação ao longo de muitas horas para as tripulações de solo e de voo podem alterar a função cognitiva, retardar o tempo de reação, aumentar a taxa de erros, deteriorar a resistência física, prejudicar o gerenciamento da cabine e aumentar o risco de doenças ou lesões causadas pelo calor. Embora existam sistemas de mitigação de calor (ar-condicionado, sistemas embutidos de resfriamento de roupas), sua capacidade de resfriamento é limitada (DAVIS *et al.*, 2008, p. 206).

Davis *et al.* (2008) complementa a sua argumentação ressaltando a relevância da função cognitiva no contexto da atividade aérea, reforçando a ideia de que uma mínima falha por parte

do piloto pode acarretar em consequências desastrosas. Dessa forma, o nível aceitável de estresse causado pelo calor, em função de minimizar a possibilidade de erros do piloto, deve ser muito baixo.

Conforme o compêndio CR-1205-1 da NASA sobre Respostas Humanas ao Ambiente Aeroespacial, ocorrem perdas na produtividade e na precisão quando há excesso de calor no ambiente laboral. O referido relatório descreve que à medida que a temperatura aumenta, a produtividade e a precisão tendem a diminuir (NASA, 1968). A tabela 6 aponta os valores dessa relação:

Tabela 6 – Relação entre temperatura, produtividade e precisão.

Temperatura (°C)	23.9	26.7	29.4	32.2	35	37.8	40.5
Perda na produtividade (%)	3	8	18	29	45	62	79
Perda na precisão (%)	-	5	40	300	700	>	>>

Fonte: Adaptada da NASA (1968).

2.5 SAFETY

A NSCA 3-15(Norma do Sistema do Comando da Aeronáutica) de 2022, que trata sobre a Gestão da Segurança de Voo na Aviação Militar, define Segurança de Voo ou Segurança Operacional (*Safety*) como o “estado no qual os riscos associados às atividades de aviação, relacionados ou em apoio direto à operação de aeronaves, são reduzidos e controlados em um nível aceitável” (BRASIL, 2022, p. 11).

O gerenciamento de segurança requer que as organizações adotem uma abordagem proativa e sistemática para identificar, avaliar e mitigar os riscos que afetam a segurança da aviação. O objetivo final é reduzir a frequência e gravidade de incidentes e acidentes aéreos, protegendo as vidas humanas, preservando ativos e salvaguardando a reputação da organização (STOLZER, HALFORD e GOGLIA, 2008, p. 3).

Ao associar estes dois conceitos com os referenciais anteriores, torna-se evidente que o estresse térmico representa um fator de risco potencial para a segurança da atividade aérea, visto a vulnerabilidade do ser humano frente ao agente estressor temperatura. Dessa forma, o processo de identificação e de implementação de medidas mitigadoras e de controle do estresse térmico se torna de suma importância para a manutenção da segurança das operações aéreas em um nível elevado.

3 METODOLOGIA

Este artigo científico tem como objetivo aplicar conhecimentos teóricos de modo a evidenciar problemas práticos que afetam diretamente atividades vitais da Força Aérea Brasileira. Por essa razão, ele se enquadra na linha de pesquisa aplicada (MARCONI; LAKATOS, 2010).

Com base em seus objetivos, a pesquisa pode ser classificada como descritiva (GIL, 2007), uma vez que busca descrever a relação entre as variáveis temperatura, estresse térmico, perdas na produtividade, perdas na precisão, diminuição do tempo de resposta e segurança de voo.

O estudo adotará uma abordagem qualitativa, de modo a permitir a compreensão dos fenômenos estudados por meio da interpretação e análise dos dados coletados de forma profunda e rica, mas sem tratamento estatístico ou mensuração das variáveis (GIL, 2022).

Com base nos procedimentos técnicos utilizados, a pesquisa se classifica como bibliográfica e documental, possuindo como fonte os livros e as publicações do Brasil e do exterior descritas nas referências (GIL, 2007). Também se classifica como observação direta extensiva, uma vez que foi aplicado um questionário aos pilotos dos ETA (MARCONI; LAKATOS, 2007).

Para atingir o OE1 foram coletados dados de temperatura por meio do site do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), órgão representante do Brasil na Organização Meteorológica Mundial (OMM), de modo verificar a média de temperatura anual, de temperatura máxima anual e de temperatura do ponto de orvalho nas cidades sede de cada ETA no período de 1991 a 2020. Foi utilizado o período amostral de 30 anos, pois segundo a OMM, os padrões climatológicos normais são definidos como "médias de dados climatológicos calculadas para períodos consecutivos de 30 anos" (OMM, 2023).

Os dados coletados foram confrontados com a tabela 4, de modo a mensurar em qual zona de FITS os voos em cada uma das cidades sede podem ser enquadrados, de modo a atingir parte do OE3. Corroborando com a alcance do OE3, foram utilizadas as medições de um voo realizado em uma aeronave C-95 apontadas no artigo de Melo (2017), já que devido tanto a limitações temporais quanto logísticas, não seria possível coletar estes dados durante um voo recente. As medições foram comparadas com os valores constantes da tabela 3, de modo a verificar em que nível de estresse térmico ocorreu cada fase do voo em supracitado.

Com vistas a realizar a coleta de dados importantes e necessários às ações da pesquisa, foi produzido um questionário (apêndice A) composto de nove questões fechadas do tipo

múltipla escolha, organizado em um formulário eletrônico (*Google Forms*). De modo a estabelecer um período de análise, foi solicitado que as respostas levassem em consideração as experiências vividas de 1º de janeiro de 2022 até a data de preenchimento. Em um primeiro momento, a intenção era de se aplicar este questionário aos pilotos dos seis Esquadrões de Transporte Aéreo, contudo, devido a necessidade de aprovação do órgão superior por solicitação dos comandantes do 1º e do 3º ETA e do pouco tempo disponível para a tramitação da documentação solicitando tal aprovação, estes esquadrões foram descartados das demais fases da pesquisa, que ficaram limitadas somente ao 2º, ao 5º, ao 6º e ao 7º ETA.

Com o objetivo de verificar eventuais problemas decorrentes de perguntas mal formuladas, ambíguas ou com linguagem inacessível, além de assegurar condições para resultados isentos de equívocos, foi realizado o pré-teste do questionário mencionado junto aos comandantes dos ETA participantes do estudo.

Dessa forma, o universo das demais fases da pesquisa consistiu no efetivo de pilotos do 2º, do 5º, do 6º e do 7º ETA, composto por 159 indivíduos. Um total de 127 militares pertencentes a este universo responderam ao questionário, representando uma amostra de 85%. Yamane (1967 apud PARKER; REA, 2002) estimou que, para populações consideradas pequenas (inferiores a 100 mil), uma amostra de 50% já seria suficiente para garantir a precisão necessária à pesquisa.

As duas primeiras questões tiveram como propósito possibilitar a segmentação do universo da pesquisa em subgrupos de pilotos, considerando o esquadrão e o tipo de aeronave pilotada. Tal segmentação permitiu a obtenção de dados mais precisos, especialmente em virtude dos distintos padrões de climatização observados entre as diversas aeronaves de cada esquadrão.

A terceira pergunta tinha como objetivo verificar a percepção dos pilotos de cada ETA acerca do funcionamento do sistema de ar-condicionado da aeronave assinalada na segunda questão, ou seja, a aeronave mais voada por cada indivíduo no período sob análise. As respostas, associadas a dados do sistema SILOMS fornecidos por cada ETA, possibilitariam verificar as condições recentes de funcionamento do referido sistema na frota de aeronaves pertencentes a cada ETA e alcançar, desse modo, o OE2. No entanto, a terceira limitação da pesquisa foi o pouco tempo disponível para o levantamento de dados do SILOMS junto a todos os Esquadrões de Transporte Aéreo. Dessa forma, este pesquisador decidiu focar essa parte do estudo somente no 6º ETA, por este ser, dentre todos os esquadrões participantes, aquele que possui o maior número de aeronaves com diferenças bastante significativas, principalmente no tocante à idade das células e ao funcionamento dos sistemas de climatização.

As respostas das demais perguntas do questionário, apoiadas pelas referências teóricas exploradas no capítulo anterior, possibilitaram atingir o OE4 e o OE5.

Primeiramente buscou-se verificar por meio da quarta pergunta com que frequência os pilotos experimentam qualquer tipo de desconforto causado pela sensação de temperatura elevada na cabine, com base em uma escala de Likert (GIL, 2008) com cinco alternativas: nunca, raramente, ocasionalmente, frequentemente, sempre. Na análise das respostas obtidas, será atribuída a pontuação de 1 a 5, começando com 1 ponto para a alternativa “nunca” e aumentando gradativamente até 5 pontos para a alternativa “sempre”. Dessa forma, será possível mensurar a incidência do evento.

No que diz respeito à quinta questão, suas respostas foram empregadas com o intuito de identificar nos tripulantes possíveis sintomas e problemas de saúde mencionados por Straub (2005) que apresentavam maior relação com o estresse térmico, bem como sintomas de doenças causadas pelo calor apontados por Davis *et al.* (2008). Ademais, a partir das respostas obtidas, foi possível calcular a taxa de incidência de cada um desses sintomas, com o propósito de determinar quais deles foram os mais apontados pelos pilotos. As próximas quatro perguntas, associadas aos conceitos de Davis *et al.* (2008) e da NASA (1968), viabilizaram estabelecer a relação entre aumento da temperatura e alterações de desempenho, como perdas na produtividade e na precisão. Nestas perguntas o piloto deveria assinalar o seu grau de concordância com a afirmação proposta, também com base em uma escala de Likert (GIL, 2008), porém com as seguintes alternativas: discordo plenamente, discordo parcialmente, indiferente, concordo parcialmente e concordo plenamente. Na análise das respostas obtidas, será atribuída a pontuação de -2 a +2, começando com -2 pontos para a alternativa “discordo plenamente” e aumentando gradativamente até +2 pontos para a alternativa “concordo plenamente”. Dessa forma, além de identificar o grau de concordância em termos percentuais, também será possível verificar a média de pontuação das respostas de cada questão, sendo que quanto mais próximo dos extremos, -2 e +2, maior será o grau de discordância ou concordância, respectivamente, e quanto mais próximo de 0 maior será o grau de indiferença com relação à afirmação proposta.

Por fim, com base em grande parte das análises supracitadas e utilizando os conceitos de Stolzer, Halford e Goglia (2008), bem como a definição de Safety constante da NSCA 3-15 (BRASIL, 2022), foi possível verificar a influência dos efeitos do estresse térmico na segurança de voo das missões de preparo e emprego dos ETA, atingindo-se assim o OE5, bem como a resposta ao problema de pesquisa.

4 APRESENTAÇÃO DE DADOS E ANÁLISE DE RESULTADOS

4.1 Dados climatológicos

A média de temperatura anual, de temperatura máxima anual e de temperatura do ponto de orvalho em cada localidade sede dos Esquadrões de Transporte Aéreo no período de 1991 a 2020 foi obtida por meio de consulta ao site do INMET (BRASIL, 2023), atingindo-se, dessa forma, o OE1. Os valores obtidos estão listados na tabela 7.

Tabela 7 – Média de temperatura de anual, de temperatura máxima anual e de temperatura do ponto de orvalho.

Localidade	Média de temperatura anual	Média de temperatura máxima anual	Média de temperatura do ponto de orvalho anual
Belém – PA	26,8 °C / 80,2 °F	32,3 °C / 90,1 °F	24,5 °C / 76,1 °F
Brasília – DF	21,4 °C / 70,5 °F	27,0 °C / 80,6 °F	14,4 °C / 57,9 °F
Canoas – RS	19,9 °C / 67,8 °F	25,6 °C / 78,08 °F	16,2 °C / 61,2 °F
Rio de Janeiro – RJ	24,6 °C / 76,3 °F	30,0 °C / 86 °F	20,5 °C / 68,9 °F
Manaus – AM	27,4 °C / 81,3 °F	32,3 °C / 90,1 °F	24,2 °C / 75,6 °F
Natal – RN	26,5 °C / 79,7 °F	29,7 °C / 85,46 °F	23,4 °C / 74,1 °F

Fonte: O autor.

4.2 Sistemas de climatização

Inicialmente buscou-se, por meio da terceira pergunta do questionário, verificar a percepção dos pilotos sobre o funcionamento do sistema de climatização da aeronave mais voada por cada indivíduo de 1º de janeiro de 2022 até a data de preenchimento do questionário. As seguintes respostas foram obtidas, conforme o gráfico 1.

Gráfico 1 – Percepção dos pilotos sobre o funcionamento do sistema de climatização das aeronaves voadas.

3 – Em geral, como o senhor classifica o funcionamento do sistema de ar-condicionado da aeronave assinalada na questão 2?

127 respostas



Fonte: O autor.

Analisando os resultados obtidos, fica evidente a discrepância entre o percentual de percepções dos pilotos sobre sistemas de ar-condicionado operantes com alta eficácia, 14,2%, em comparação com as demais respostas, que juntas somam 85,8% e sinalizam que a climatização na cabine de parte das aeronaves dos ETA não é adequada.

Como a análise supracitada é baseada puramente em percepções pessoais, passaremos a discorrer sobre os dados retirados do sistema SILOMS acerca da frota de aeronaves do 6º ETA. Os dados obtidos estão descritos na tabela 8.

Tabela 8 – Resumo de dados do SILOMS sobre o funcionamento do sistema de climatização das aeronaves do 6º ETA.

Aeronave	Situação do sistema de climatização
C-95 Bandeirante	Todas as aeronaves estão com o sistema de refrigeração inoperante.
C-97 Brasília	Aeronave pressurizada que exige o pleno funcionamento do sistema de ar-condicionado, uma vez que este é crucial para o conforto térmico, controle de umidade e filtragem do ar, devido a sua operação em altas altitudes. Foram realizadas nove substituições de componentes do sistema de janeiro de 2022 a maio de 2023 devido a panes: Cooling Turbine (6), Ground Cooling Fan (1), Air Cycle (1), Cooling Air Duct (1).
C-98 Caravan	Nenhuma aeronave possui o sistema de refrigeração instalado.
U-100 Phenom 100	Aeronave pressurizada que exige o pleno funcionamento do sistema de ar-condicionado, uma vez que este é crucial para o conforto térmico, controle de umidade e filtragem do ar, devido a sua operação em altas altitudes. Não possui histórico de substituição de componentes do sistema desde o seu recebimento no esquadrão.

Fonte: O autor.

Observando os dados da tabela 8, constata-se que dois modelos de aeronaves do 6º ETA não oferecem condições de climatização adequadas, por inoperância ou inexistência do sistema de ar-condicionado, enquanto os outros dois, principalmente devido ao fato de serem pressurizados e esta condição impedir o voo sem o efetivo funcionamento do sistema de climatização, não apresentam problemas dessa natureza.

Apesar dos dados obtidos junto ao 6º ETA serem consistentes, o OE2 foi apenas parcialmente alcançado devido a limitação de obtenção de dados semelhantes junto aos demais esquadrões.

4.3 Nível de estresse térmico

Confrontando os dados alcançados pelo OE1 com a tabela 4 (UNITED STATES, 2022), de modo a produzir uma estimativa de estresse térmico na cabine das aeronaves dos ETA em suas localidades sede, foram obtidos os seguintes valores de FITS, organizados na tabela 9.

Tabela 9 – Valores de FITS por ETA.

Esquadrão	FITS baseado na média de temperatura anual	FITS baseado na média de temperatura máxima anual
1º ETA	95	102
2º ETA	94	98
3º ETA	N/A	95
5º ETA	N/A	N/A
6º ETA	N/A	86
7º ETA	96	102

Fonte: O autor.

Ao inserir os valores acima na tabela 5 (UNITED STATES, 2022), constata-se que a operação local do 1º, do 2º e do 7º ETA normalmente se enquadra na zona de cuidado. Ao transpor essa análise para os períodos de temperatura mais elevada, a situação é agravada, passando o universo do 1º e do 7º ETA a operar na zona de perigo, a qual representa condições que induzem o armazenamento progressivo de calor e a desidratação suficiente para afetar o desempenho da tripulação (UNITED STATES, 2022).

Vale ressaltar que a análise supracitada considera a operação de aeronaves com um sistema de climatização em condições normais de funcionamento, porém, mesmo assim, os efeitos das diferentes fontes de calor e de radiação a que o indivíduo fica exposto podem causar estresse térmico na tripulação.

Pudemos observar na análise do tópico anterior que dados do SILOMS revelam que dois dos quatro modelos de aeronave operadas pelo 6º ETA não oferecem condições de climatização adequadas, por inoperância ou inexistência do sistema de ar-condicionado. Também pudemos observar que, apesar da limitação da pesquisa de se obter dados dessa natureza junto aos demais ETA, a percepção de 85,8% do universo da análise de que a climatização nas aeronaves não é adequada sugere que a situação da frota dos demais esquadrões, em termos de climatização, é semelhante ou pior.

Dessa forma, buscou-se registros de WBGT durante a operação de uma aeronave do mesmo modelo de alguma da dotação dos ETA que estivesse com o sistema de ar-condicionado inoperante, de modo a mensurar a que nível de estresse térmico um piloto poderia ser submetido nessa condição. Foram então encontradas as medições necessárias no artigo de Melo (2017), coletadas durante um voo realizado em uma aeronave C-95 no dia 18 de abril de 2017, conforme os dados da tabela 10.

Tabela 10 – Medições de WBGT durante a operação da aeronave C-95.

CONDIÇÕES CLIMATOLÓGICAS DO ENSAIO		
Data / hora	18.04.2017	
Duração do voo	01:20 h	
Temperatura Ambiente	34 °C	
Umidade Relativa	47 %	
Pressão Atmosférica	1011 hPa	
Ar-condicionado	Inoperante	
DADOS COLETADOS – 1400Z		
Condições de voo	Temperatura interna da cabine WBGT (°C)	Temperatura externa Sensor TAT (°C)
No solo- antes da partida dos motores e com a porta fechada.	34,0	37
No solo- 1 minuto após a partida dos motores	35,9	38
No solo- no ponto de espera, logo após a execução do cheque dos motores ou 2 minutos após a chegar nessa posição	38,4	38
Em voo- 5 min após nivelar em 1.000 ft de altura	38,1	26
Em voo- 5 min após nivelar em 5.000 ft de altura	34,8	20
Em voo- 20 min após a decolagem	31,8	20
Em voo- 40 min após a decolagem	29,8	19
Em voo- 60 min após a decolagem	30,0	26
Em voo- no final do circuito de tráfego a 1000 ft de altura	31,3	27
No solo- após o pouso	32,0	35

Fonte: Melo (2017, p. 29).

Comparando os dados desse voo com a tabela 3 (UNITED STATES, 2015), constata-se que toda a operação, desde a partida dos motores até o pouso, enquadrou-se pelo menos na faixa de alto risco, mesmo após a aeronave ter decolado e subido para altitudes em que a temperatura do ar externo era baixa. Se formos considerar somente as fases iniciais da operação, da partida até 20 minutos de voo, o índice de estresse térmico é ainda mais elevado, permanecendo na faixa de risco extremo.

Dessa forma, foi atingido o OE3, ficando evidente que, devido as condições climáticas das regiões norte e nordeste do Brasil, mesmo durante a operação em aeronaves devidamente climatizadas, pilotos podem ser regularmente submetidos a níveis moderados de estresse térmico e que a situação pode ser eventualmente agravada nos períodos de maior temperatura na região norte. Quando passamos a analisar a operação em uma aeronave que não fornece climatização adequada, foi constatado que os tripulantes podem ser submetidos a níveis muito elevados de estresse térmico.

4.4 Sintomas de estresse térmico e de doenças causadas pelo calor

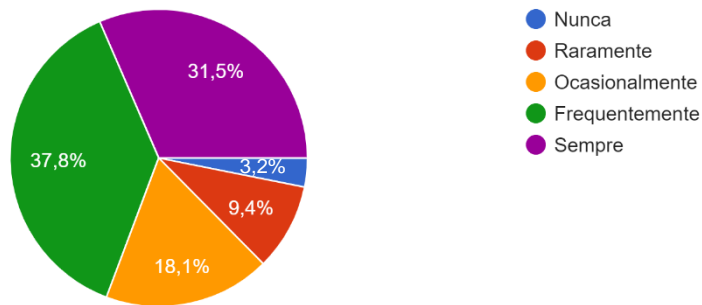
Para atingir o OE4, inicialmente buscou-se nas respostas da quarta pergunta do

questionário determinar a frequência com que os pilotos experimentavam desconforto devido à sensação de temperatura elevada na cabine. Os resultados dessa análise estão apresentados no gráfico 2.

Gráfico 2 – Frequência de desconforto devido a temperatura elevada na cabine.

4 – Com que frequência o senhor sentiu algum desconforto causado pela sensação de temperatura elevada na cabine durante a operação da aeronave assinalada na questão 2?

127 respostas



Fonte: O autor.

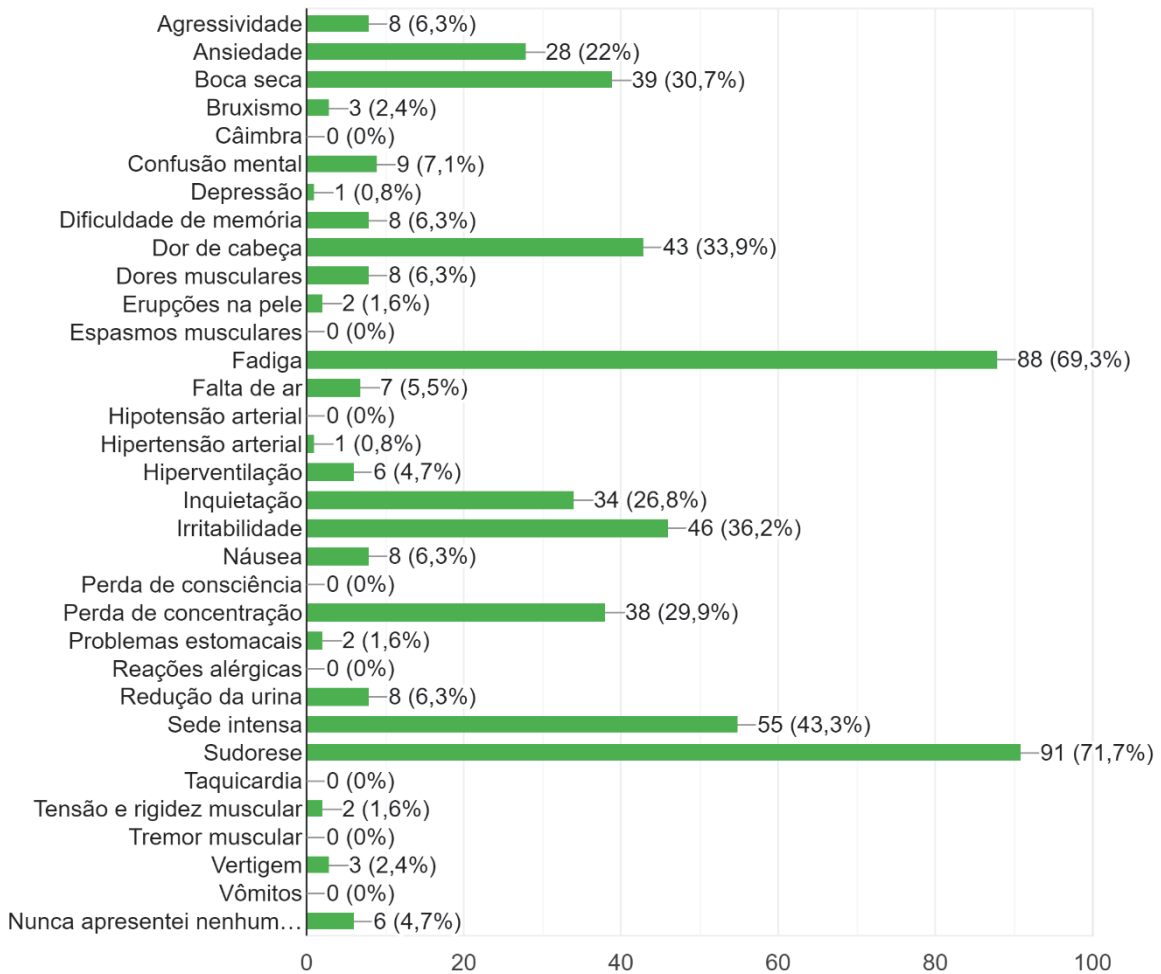
Ao atribuir a pontuação de 1 a 5 para cada resposta, de acordo com o proposto anteriormente na metodologia, obtém-se a média aritmética de 3,85. Pelo resultado obtido estar bastante próxima de 4 pontos, constata-se que, na percepção dos pilotos, foi frequente a ocorrência de algum desconforto causado pela sensação de temperatura elevada na cabine durante a operação.

A quinta pergunta do questionário se baseava na fusão dos sintomas e problemas de saúde mencionados por Straub (2005) que apresentavam maior relação com o estresse térmico com os principais sintomas das doenças causadas pelo calor identificados por Davis *et al.* (2008). O propósito dessa pergunta consistia em identificar a ocorrência desses sintomas nos pilotos dos ETA. As seguintes respostas foram obtidas, conforme o gráfico 3.

Gráfico 3 – Incidência e percentual de sintomas de estresse térmico e de doenças causadas pelo calor.

5 – Assinale qual(is) sintoma(s) o senhor frequentemente apresentou durante os voos realizados na aeronave assinalada na questão 2:

127 respostas



Fonte: O autor.

Dentre os resultados obtidos, destacaram-se os percentuais de pilotos que relataram apresentar sudorese, fadiga, sede intensa, dor de cabeça, boca seca e perda de concentração, com 72%, 70%, 43%, 34%, 31% e 30%, respectivamente. Estes e os outros dados apresentados no gráfico 3 evidenciam a presença de sintomas não somente de estresse térmico, mas de doenças graves causadas pelo calor, como a desidratação e até mesmo a insolação, que pode causar danos permanentes ao cérebro e a outros órgãos vitais (DAVIS *et al.*, 2008). Dessa forma, foi atingido o OE4.

4.5 Alterações de desempenho em função do estresse térmico e o impacto na segurança de voo

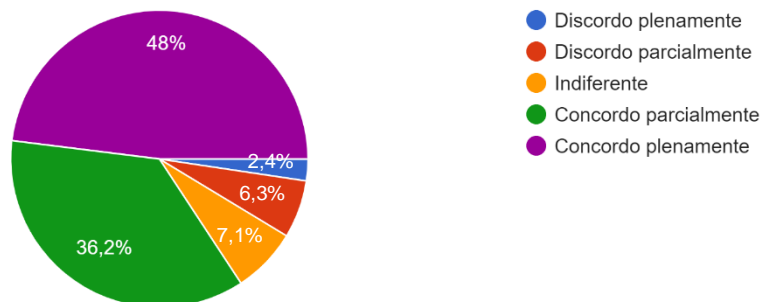
Buscando subsídios para atingir o OE5, inicialmente foram analisados os conceitos de Davis *et al.* (2008) abordados no tópico 2.4, onde fica evidente que dentre os efeitos do estresse térmico sobre o organismo humano estão presentes inúmeros aspectos ligados a alterações de desempenho, sendo os principais deles perdas na função cognitiva que retardam o tempo de reação, aumentam a taxa de erros e prejudicam o gerenciamento de cabine. Essas perdas são quantificadas no estudo da NASA (1968) apresentado na tabela 6, onde constata-se não só a perda na produtividade, mas principalmente a perda exponencial na precisão em função do aumento de temperatura.

As respostas obtidas nas questões 6, 7, 8 e 9 sobre a percepção dos pilotos durante a operação em condições de temperatura elevada possibilitaram visualizar na prática os conceitos supracitados, conforme apontado nos seguintes gráficos:

Gráfico 4 – Perda na produtividade.

6 – Percebi queda da minha produtividade quando operei a aeronave assinalada na questão 2 em momentos de desconforto causado pela sensação de temperatura elevada na cabine.

127 respostas

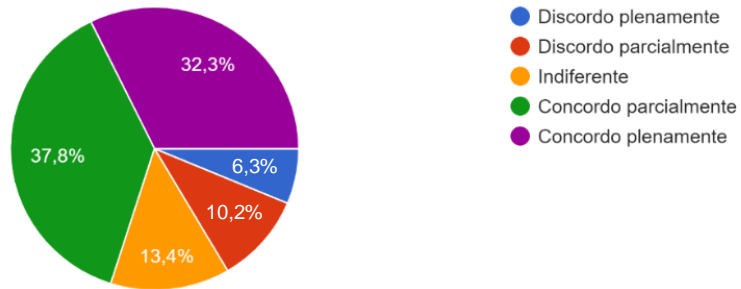


Fonte: O autor.

Gráfico 5 – Perda na precisão.

7 – Já cometi algum erro em momentos que estava com a minha atenção desviada da operação da aeronave assinalada na questão 2 devido ao desco... pela sensação de temperatura elevada na cabine.

127 respostas

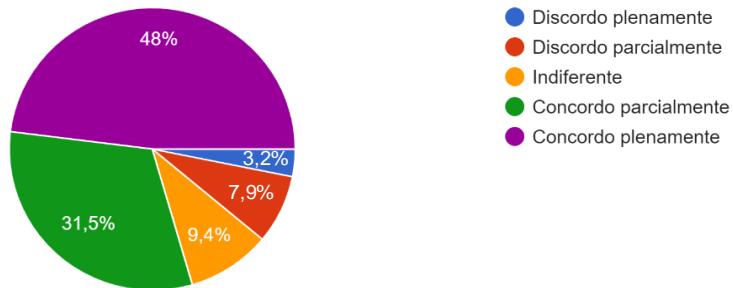


Fonte: O autor.

Gráfico 6 – Perda na precisão.

9 – Eu cometo mais erros ao me sentir desconfortável pela sensação de temperatura elevada na cabine durante a operação da aeronave assinalada na questão 2.

127 respostas

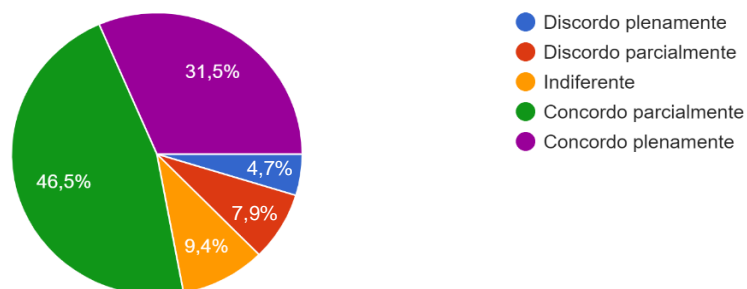


Fonte: O autor.

Gráfico 7 – Diminuição do tempo de reação.

8 – Já demorei a perceber algum erro por estar com a minha atenção desviada da operação da aeronave assinalada na questão 2 em momentos de...ela sensação de temperatura elevada na cabine.

127 respostas



Fonte: O autor.

Analisando o gráfico 4, constata-se que 84,2% dos entrevistados perceberam queda na sua produtividade durante a operação em momentos de desconforto causado pela sensação de temperatura elevada na cabine, contra apenas 8,7% que não tiveram essa percepção.

Quando analisamos os gráficos 5 e 6, identificamos que os percentuais de entrevistados que perceberam perdas na precisão nas mesmas condições também são bastante grandes, chegando a 70,1% no primeiro gráfico e a 79,5% no segundo, contra apenas 16,5% e 11%, respectivamente.

Por fim, ao observarmos o gráfico 7, fica evidente a percepção dos pilotos de que há diminuição do tempo de reação durante a operação em condições de temperatura elevada na cabine. O gráfico revela 78% de concordância com a declaração apresentada na questão 8, contra 12,6% de discordância.

A transferirmos essa análise para os valores da escala de Likert propostos na metodologia, obtemos os seguintes graus de concordância com as afirmações propostas nas questões 6, 7, 8 e 9:

Tabela 11 – Análise das questões 6, 7, 8 e 9 em valores da escala de Likert.

Questão	Tema	Média aritmética
6	Perda da produtividade	+1,21
7	Perda na precisão	+0,79
8	Diminuição do tempo de reação	+0,92
9	Perda na precisão	+1,13

Fonte: O autor.

Dessa forma, como as médias aritméticas dos valores obtidos estão mais próximas de +1 ponto, consta-se que, em geral, os entrevistados concordam parcialmente que houve perdas na sua produtividade e na sua precisão, bem como houve diminuição do seu tempo de resposta em momentos de desconforto causado pela sensação de temperatura elevada na cabine, considerando as suas experiências vividas nos voos realizados de 01/01/2022 até a data de preenchimento do questionário.

Pelo exposto acima, conforme referenciado por Davis *et al.* (2008) e pela NASA (1968), existe uma relação direta entre estresse térmico e alterações de desempenho, onde o aumento da temperatura sobre o organismo humano provoca o estresse térmico que, dentre outras consequências, provoca perdas na produtividade e na precisão, bem como diminuição ao tempo de resposta. Buscou-se por meio do questionário aplicado aos pilotos dos ETA participantes do estudo identificar a presença dessas perdas em voos ocorridos a partir de 01/12/2022, sendo possível constatar que, de acordo com as suas percepções, sintomas de estresse térmico relacionados a alterações de desempenho efetivamente estiveram presentes nestes tripulantes

em voos nas condições de temperatura na cabine elevada.

Como complemento, se observarmos a análise realizada no item 4.2, fica evidente que, mesmo sem dados mais consistentes sobre o funcionamento dos sistemas de climatização das aeronaves do 2º, do 5º e do 7º ETA, pela percepção de 85,5% dos pilotos participantes do estudo, os voos realizados no período sob análise não ocorreram em condições de climatização adequada. Considerando as medições feitas por Melo (2017) a bordo de uma aeronave C-95 apresentadas no item 4.3, observa-se que níveis alarmantes de WGBT podem ser atingidos num voo sem climatização adequada, chegando-se à faixa de risco extremo, conforme a tabela 3 adaptada da FAA (UNITED STATES, 2015). Além disso, se considerarmos também a análise do item 4.3, podemos constatar que, mesmo nos voos com climatização adequada, as condições climáticas de determinadas localidades como Belém e Manaus fazem com que a operação geralmente ocorra na zona de cuidado, considerando os valores de FITS da tabela 4 do Departamento da Força Aérea dos Estados Unidos (UNITED STATES, 2022). Dessa forma, é possível chegara conclusão que as condições atuais dos sistemas de climatização das aeronaves dos ETA e/ou as condições climáticas de determinadas regiões do Brasil corroboram para que os tripulantes sejam submetidos ao estresse térmico.

Por fim, uma vez que foi constatado que os pilotos dos ETA apresentaram alterações de desempenho causadas pelo estresse térmico, dentre elas perdas na produtividade e na precisão, além de diminuição do tempo de resposta, se associarmos essa análise ao conceito de *Safety* (BRASIL, 2022), conclui-se que a partir do momento em que são identificadas as alterações de desempenho em pilotos numa atividade tão sensível como o voo, certos riscos deixam de ser reduzidos e controlados em um nível aceitável. Sendo assim, torna-se evidente que os efeitos do estresse térmico têm afetado negativamente a segurança de voo das missões de preparo e emprego dos ETA. Dessa forma, foi alcançado o OE5.

5 CONCLUSÃO

Este trabalho foi motivado inicialmente pelas inquietações geradas neste pesquisador, por experiências vividas ao longo de 20 anos em atividades operacionais e por relatos de tripulantes, relacionadas ao grande desconforto causado por temperatura elevada durante a operação de aeronaves. Essas inquietações geraram as hipóteses de que as condições dos sistemas de climatização de algumas aeronaves dos ETA e/ou as condições de temperatura em algumas localidades do Brasil corroboram para que os pilotos destes esquadrões sejam submetidos a níveis elevados de estresse térmico, bem como de que o estresse térmico provoca

alterações de desempenho dos pilotos dos ETA que podem afetar a segurança de voo das missões de preparo e emprego destes esquadrões. Dessa forma, desenvolveu-se esse artigo com o objetivo de verificar as influências de altas temperaturas na cabine de aeronaves nas missões de preparo e emprego dos Esquadrões de Transporte Aéreo.

Inicialmente procurou-se verificar as condições climáticas de temperatura nas localidades sede dos ETA, para então correlacionar os dados levantados com o referencial teórico do Departamento da Força Aérea dos Estados Unidos, de modo a verificar a que nível de estresse térmico pilotos podem ser submetidos nessas localidades mesmo operando aeronaves com climatização adequadas. Por outro lado, uma vez que foi constatado por dados do SILOMS que dois dos quatro modelos de aeronaves do 6º ETA não possuem sistema de ar-condicionado ou que o mesmo encontra-se inoperante, bem como ficou evidente que a percepção da maioria dos pilotos dos ETA participantes da pesquisa é de que as aeronaves por eles voadas não fornecem climatização adequada, buscou-se também encontrar em estudos anteriores medições de temperatura na cabine de uma aeronave com o sistema de ar-condicionado inoperante durante a sua operação, de forma a correlacionar esses dados com o referencial teórico da FAA e verificar a que nível de estresse térmico pilotos podem ser submetidos operando uma aeronave sem climatização adequada. Em ambos os casos foram obtidos resultados alarmantes, indicando que pilotos podem enfrentar regularmente níveis moderados de estresse térmico mesmo em aeronaves climatizadas e que, em aeronaves sem climatização adequada, podem enfrentar níveis de estresse térmico muito elevados.

Uma vez que foi constatado que os pilotos dos ETA podem estar sendo submetidos aos efeitos do estresse térmico, buscou-se verificar por meio de um questionário se eles apresentavam sintomas dessa natureza, principalmente os relacionados a alterações de desempenho. As conclusões obtidas, embasadas pelos referenciais teóricos de Temporal, Straub, Davis *et al.*, do DAF, da FAA e da NASA, deixaram claro que o estresse térmico a que os pilotos dos ETA vêm sendo submetidos, além afetar a sua saúde, tem provocado alterações na função cognitiva, como perdas de produtividade e de precisão, bem como diminuição do tempo de reação. Considerando que pequenas falhas podem provocar acidentes catastróficos, chegamos à conclusão de que o estresse térmico tem gerado riscos que afetam a segurança de voo das missões de preparo e emprego dos ETA.

Dessa forma, considerando que as Ações de Força Aérea a serem desempenhadas pelos ETA em um eventual conflito armado, como Assalto Aeroterrestre, Evacuação Aeromédica, Exfiltração Aérea, Infiltração Aérea e Transporte Aerológico, são altamente estratégicas e podem definir os rumos do conflito caso não sejam bem sucedidas, reveste-se de especial

importância identificar e mitigar riscos que possam afetar assuntos relacionados a segurança de voo além dos que inevitavelmente já fazem parte do ambiente de conflito.

A implicação dos resultados reveste-se de grande importância para a Força Aérea Brasileira, pois constatada a influência negativa do estresse térmico na segurança de voo das missões de preparo e emprego dos Esquadrões de Transporte Aéreo, poderão ser desenvolvidas ações com o intuito de preservar a integridade física das tripulações e de evitar acidentes, em tempos de paz ou de guerra.

Contudo, o tema não se encerra com esta conclusão. Conforme observado nessa pesquisa, além de perdas na função cognitiva, a reincidência na exposição do organismo humano a agentes estressores pode gerar sintomas e problemas de saúde indesejáveis e perigosos. Sendo assim, para dar continuidade a esse trabalho, propõe que em pesquisas futuras seja estudado o impacto do estresse térmico especificamente na saúde de pilotos e demais tripulantes de aeronaves dos Esquadrões de Transporte Aéreo.

REFERÊNCIAS

- BRASIL. Comando da Aeronáutica. Centro de Investigação e Prevenção de Acidentes Aeronáuticos. **NSCA 3-15: Gestão da Segurança de Voo na Aviação Militar**. Brasília, 2022.
- BRASIL. Comando da Aeronáutica. Comando Geral de Apoio. **Sistema Integrado de Logística de Material e Serviços**. Rio de Janeiro. Disponível em: <<http://siloms.intraer>>. Acesso em: 04 mai. 2023.
- BRASIL. Ministério da Agricultura e da Pecuária. **Instituto Nacional de Meteorologia**. Brasília. Disponível em: <<https://portal.inmet.gov.br/normais>>. Acesso em: 04 mai. 2023.
- DAVIS, J. R. *et al.* **Fundamentals of aerospace medicine**. 4th ed. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins, 2008.
- DEHART, R. L. **Fundamentals of aerospace medicine**. 2nd ed. Baltimore: Williams & Wilkins, 1996.
- GIL, A.C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2007.
- GIL, A.C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2008.
- GIL, A.C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 7. ed. São Paulo: Atlas, 2022.
- MARCONI, M.A.; LAKATOS, E.M. **Fundamentos de metodologia científica**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2007.
- MARCONI, M.A.; LAKATOS, E.M. **Metodologia do Trabalho Científico: Procedimentos básicos, pesquisa bibliográfica, projeto e relatório, publicações e trabalhos científicos**. 7. ed. São Paulo: Atlas, 2010.
- MELO, A.L.T.C. **O Estresse Térmico e a Segurança Operacional nas Aeronaves C-95 Bandeirante**. Escola de Aperfeiçoamento de Oficiais da Aeronáutica, Rio de Janeiro, 2017.
- NASA. **Report CR-1205-1: Compendium of Human Responses to the Aerospace Environment**. Washington, DC, 1968.
- ORGANIZAÇÃO DE AVIAÇÃO CIVIL INTERNACIONAL. **Anexo 6 – Operação de Aeronaves**. 12. ed. Montreal, Canadá, 2022.
- ORGANIZAÇÃO METEOROLÓGICA MUNDIAL. **Padrões climatológicos normais**. Disponível em: <<https://public.wmo.int/en/our-mandate/climate/long-term-climate-data-management/patterns-climate-normal-data>>. Acesso em: 04 maio 2023.
- PARKER, A. R.; REA, L. M. **Metodologia de pesquisa: do planejamento à execução**. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2002.

STOLZER, A. J.; HALFORD, C. D.; GOGLIA, J. J. **Safety Management Systems in Aviation**. Ashgate, 2008.

STRAUB, R. O. **Psicologia da Saúde**. Porto Alegre: Artmed, 2005.

TEMPORAL, W. et al. **Medicina aeroespacial**. Rio de Janeiro: Luzes – Comunicação, Arte & Cultura, 2005.

UNITED STATES. Department of the Air Force. **Instruction 48-151: Thermal Stress Program**. Washington, DC, 2022.

UNITED STATES. Federal Aviation Administration. **AC 120-114: Crew Endurance, Rest, and Fatigue Management for Part 121 Air Carriers**. Washington, DC, 2015.

APÊNDICE A – Questionário de Pesquisa



ESCOLA DE COMANDO E ESTADO-MAIOR DA AERONÁUTICA
COORDENADORIA ACADÊMICA
CURSO AVANÇADO DE COMANDO E ESTADO-MAIOR

Questionário referente à Pesquisa sobre O IMPACTO DO ESTRESSE TÉRMICO NAS MISSÕES DE PREPARO E EMPREGO DOS ESQUADRÕES DE TRANSPORTE AÉREO, desenvolvida no Curso de Comando e Estado-Maior – 2023 da Escola de Comando e Estado-Maior da Aeronáutica.

Prezado piloto,

O objetivo desta pesquisa é verificar a influência de altas temperaturas nas missões de preparo e emprego dos Esquadrões de Transporte Aéreo, com foco principal na identificação de riscos relacionados a segurança de voo das operações aéreas. As respostas encontradas servirão de subsídio para justificar alterações do planejamento logístico da Força, bem como da condução das Ações de Força Aérea afetas aos ETA.

De forma a contribuir com o alcance do objetivo supracitado, foi elaborado este questionário para coletar dados importantes e necessários às ações de pesquisa. Ele é composto de nove questões, elaboradas de forma a tornar o seu preenchimento rápido e objetivo.

Sua participação, como público-alvo da pesquisa, é de suma importância para a discussão e análise do assunto.

Ressalta-se que a identificação não é necessária, que as informações prestadas serão destinadas exclusivamente para a elaboração do Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) do CCEM-2023 e que os dados coletados serão tratados com sigilo absoluto.

Desde já, agradeço a atenção dispensada e me coloco à disposição para esclarecimentos e sugestões.

MARCELO SANDIM – Ten Cel Av

E-mail sandimms@fab.mil.br

INSTRUÇÕES PARA O PREENCHIMENTO

Não existem respostas certas ou erradas. Apenas interessa a sua valorosa opinião, levando em consideração as suas experiências vividas nos **voos realizados de 01/01/2022 até a data de preenchimento do questionário.**

1 – O senhor é do efetivo de qual Esquadrão de Transporte Aéreo?

() 1º ETA

() 2º ETA

() 3º ETA

() 5º ETA

() 6º ETA

() 7º ETA

2 – Qual aeronave o senhor mais voou no período em questão?

() C-95 Bandeirante

() C-97 Brasília

() C-98 Caravan

() U-100 Phenom 100

3 – Em geral, como o senhor classifica o funcionamento do sistema de ar-condicionado da aeronave assinalada na questão 2?

() Não possui sistema de ar-condicionado

() Inoperante

() Operante com baixa eficácia

() Operante com alta eficácia

4 – Com que frequência o senhor sentiu algum desconforto causado pela sensação de temperatura elevada na cabine durante a operação da aeronave assinalada na questão 2?

() Nunca

() Raramente

() Ocasionalmente

() Frequentemente

() Sempre

5 – Assinale qual(is) sintoma(s) o senhor frequentemente apresentou durante os voos realizados na aeronave assinalada na questão 2:

Poderão ser assinaladas quantas alternativas o senhor desejar.

() Agressividade

() Hiperventilação

() Ansiedade

() Inquietação

- | | |
|---|--|
| <input type="checkbox"/> Boca seca | <input type="checkbox"/> Irritabilidade |
| <input type="checkbox"/> Bruxismo | <input type="checkbox"/> Náusea |
| <input type="checkbox"/> Câimbra | <input type="checkbox"/> Perda da consciência |
| <input type="checkbox"/> Confusão mental | <input type="checkbox"/> Perda de concentração |
| <input type="checkbox"/> Depressão | <input type="checkbox"/> Problemas estomacais |
| <input type="checkbox"/> Dificuldade de memória | <input type="checkbox"/> Reações alérgicas |
| <input type="checkbox"/> Dor de cabeça | <input type="checkbox"/> Redução da urina |
| <input type="checkbox"/> Dores musculares | <input type="checkbox"/> Sede intensa |
| <input type="checkbox"/> Erupções na pele | <input type="checkbox"/> Sudorese |
| <input type="checkbox"/> Espasmos musculares | <input type="checkbox"/> Taquicardia |
| <input type="checkbox"/> Fadiga | <input type="checkbox"/> Tensão e rigidez muscular |
| <input type="checkbox"/> Falta de ar | <input type="checkbox"/> Tremor muscular |
| <input type="checkbox"/> Hipotensão arterial | <input type="checkbox"/> Vertigem |
| <input type="checkbox"/> Hipertensão arterial | <input type="checkbox"/> Vômito |

Estudos apontam que os efeitos combinados do estresse térmico e da desidratação podem alterar a função cognitiva, retardar o tempo de reação, aumentar a taxa de erros, deteriorar a resistência física, prejudicar o gerenciamento da cabine e aumentar o risco de doenças ou lesões causadas pelo calor. Mesmo a aeronave possuindo um sistema de controle ambiental, os efeitos da radiação solar, da radiação térmica do céu, do calor radioativo dos equipamentos elétricos, do calor convectivo do ar dentro do cockpit e do calor metabólico do corpo humano podem causar estresse térmico na tripulação.

Com base no exposto acima e levando em consideração as suas experiências vividas nos voos realizados de 01/01/2022 até a data de preenchimento do questionário, qual é o seu grau de concordância com a relação às seguintes afirmações?

6 – Percebi queda da minha produtividade quando operei a aeronave assinalada na questão 2 em momentos de desconforto causado pela sensação de temperatura elevada na cabine.

- Discordo plenamente
- Discordo parcialmente
- Indiferente
- Concordo parcialmente
- Concordo plenamente

7 – Já cometi algum erro em momentos que estava com a minha atenção desviada da operação da aeronave assinalada na questão 2 devido ao desconforto causado pela sensação de temperatura elevada na cabine.

- Discordo plenamente
- Discordo parcialmente
- Indiferente
- Concordo parcialmente
- Concordo plenamente

8 – Já demorei a perceber algum erro por estar com a minha atenção desviada da operação da aeronave assinalada na questão 2 em momentos de desconforto causado pela sensação de temperatura elevada na cabine.

- Discordo plenamente
- Discordo parcialmente
- Indiferente
- Concordo parcialmente
- Concordo plenamente

9 – Eu cometo mais erros ao me sentir desconfortável pela sensação de temperatura elevada na cabine durante a operação da aeronave assinalada na questão 2.

- Discordo plenamente
- Discordo parcialmente
- Indiferente
- Concordo parcialmente
- Concordo plenamente