

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE GOIÁS
ESCOLA DE CIÊNCIAS EXATAS E DA COMPUTAÇÃO
CURSO DE CIÊNCIAS AERONÁUTICAS

MUDANÇAS CLIMÁTICAS E AVIAÇÃO: RELAÇÃO MÚTUA E EFEITOS

GOIÂNIA
2021

ARTHUR MADALENA MOTTA

MUDANÇAS CLIMÁTICAS E AVIAÇÃO: RELAÇÃO MÚTUA E EFEITOS

GOIÂNIA

2021

ARTHUR MADALENA MOTTA

MUDANÇAS CLIMÁTICAS E AVIAÇÃO: RELAÇÃO MÚTUA E EFEITOS

Artigo apresentado à Pontifícia Universidade Católica de Goiás como exigência parcial para a obtenção do grau de bacharel em Ciências Aeronáuticas.

Orientador: Professor Ms. Raul Francé Monteiro.

GOIÂNIA

2021

ARTHUR MADALENA MOTTA

MUDANÇAS CLIMÁTICAS E AVIAÇÃO: RELAÇÃO MÚTUA E EFEITOS

GOIÂNIA – GO, 8/6/2021.

BANCA EXAMINADORA

Ms. Raul Francé Monteiro _____ CAER/PUC-GO _____
Assinatura Nota

Paulo Jose Gonzaga Ribeiro _____ CAER/PUC-GO _____
Assinatura Nota

Esp. Tammyse Araújo da Silva _____ CAER/PUC-GO _____
Assinatura Nota

MUDANÇAS CLIMÁTICAS E AVIAÇÃO: RELAÇÃO MÚTUA E EFEITOS

CLIMATE CHANGE AND AVIATION: MUTUAL RELATIONSHIP AND EFFECTS

Arthur Madalena Motta¹
Raul Francé Monteiro²

RESUMO

Este estudo tem como tema central as mudanças climáticas provocadas pelos impactos das ações humanas, sobretudo da aviação, e como tais mudanças podem afetar o meio ambiente, havendo, desse modo, uma clara relação entre aviação e meio ambiente. Sabe-se que o planeta passou por diversas mudanças climáticas ao longo de sua história, entre elas, uma tem chamado a atenção dos cientistas e pesquisadores: a mudança climática decorrente das ações humanas. Todavia, o que muitas vezes parte da sociedade talvez não pondere é que tais mudanças se revertem em prejuízos para os próprios seres humanos, que naturalmente fazem parte do ambiente afetado e, mais especificamente, tendem a gerar impactos no setor aéreo. Há previsões científicas de que as correntes de jato do Atlântico Norte sofrerão grandes mudanças nas velocidades dos ventos, podendo mudar as rotas das aeronaves e o preço das passagens aéreas. A pesquisa também destaca que os voos futuros serão mais turbulentos, com um aumento nas turbulências de céu claro, as CATs. Ademais, com o aumento da temperatura resultante do aquecimento global, é esperado que as companhias tenham o seu lucro reduzido, que os aeroportos precisem aumentar suas pistas para não afetar a segurança de voo, que as aeronaves sofrerão com o calor extremo e, provavelmente, enfrentarão mais tempestades. Por conseguinte, o artigo busca alertar as companhias e os pilotos sobre os efeitos iminentes das rápidas mudanças climáticas e sobre os impactos da aviação no meio ambiente. Cabe ressaltar que o estudo se volta não somente à comunidade aeronáutica, mas a toda a sociedade, apresentando, portanto, medidas para mitigar o aquecimento global e as mudanças climáticas, a fim de evitar problemas que afetem a segurança de voo e causem danos ainda maiores à sociedade.

Palavras-chave: Mudanças climáticas; Aviação; Correntes de jato; Turbulências de céu claro; Aquecimento global.

ABSTRACT

The central point of this work is the climate changes caused by human actions' impacts, especially by the aviation, and how such changes can affect the environment, thus there is a clear relationship between aviation and the environment. It is known that the planet has undergone several climatic changes throughout its history, but one of them called the attention of scientists and researchers: the climatic change as a result of human actions. However, what is may underconsidered by society is that such changes are reversed in losses for human beings, which naturally are part of the affected environment and, more specifically, tend to generate impacts on the airline sector. There are scientific predictions that the North Atlantic jet streams

¹ Graduando em Ciências Aeronáuticas, Piloto Comercial, ICAO 4. Endereço eletrônico: arthurmotta015@gmail.com.

² Mestre em Psicologia e Especialista em Docência Universitária pela Universidade Católica de Goiás. Professor da Escola de Ciências Exatas e da Computação da Pontifícia Universidade Católica de Goiás. Piloto de Linha Aérea – Avião, EC-PREV pelo CENIPA e credenciado SGSO pela ANAC. Endereço eletrônico: cmterfrance@hotmail.com.

will undergo major changes in wind speeds, which could change aircraft routes and the price of airline tickets. The survey also highlights that future flights will be more turbulent as a result of the increase in clear air turbulences, CATs. Furthermore, because of the rise in temperature resulting of global warming, it is expected that companies will have a reduced profit, that airports need to increase their runways in order to not affect flight safety, that aircraft will suffer because of the extreme heat and, probably, will face more storms. Therefore, this works aims to alert companies and pilots about the imminent effects of the fast climate change and the impacts of aviation on the environment. It should be noted that the work is directed not only to the aeronautical community, but also to the whole of society, since it presents measures to mitigate global warming and climate change, in order to avoid problems that affect flight safety and cause even greater damage to the society.

Keywords: *Climate changes; Aviation; Jet stream; Clear air turbulence; Global warming.*

INTRODUÇÃO

A aviação é considerada o modal de transporte mais seguro do mundo, além de gerar milhões de empregos e conectar as pessoas em nível global. Esses são alguns dos inúmeros benefícios desse meio de transporte, que tem sua importância cada dia mais evidente no cotidiano dos seres humanos. Entretanto, não se podem ignorar alguns malefícios que advêm de seu uso, entre eles, os prejuízos ambientais. A aviação é responsável por cerca de, aproximadamente, 3,5% do aquecimento global, causando problemas para a sociedade, como poluição sonora, poluição de rios e córregos, sem mencionar a emissão de gases CO₂ provenientes dos motores aeronáuticos.

Esses prejuízos ao meio ambiente têm chamado a atenção de pesquisadores da área em todo mundo e, por certo, alguns desses debates serão abordados ao longo do desenvolvimento do texto. Todavia, tem-se como objetivo realizar uma análise inversa: os impactos que o desequilíbrio ambiental causa na aviação, pois alguns eventos chamam a atenção nesse sentido, como, por exemplo, o ocorrido em 8 de janeiro de 2015, em que um voo entre Nova Iorque e Londres durou apenas 5 horas e 16 minutos devido a um fortíssimo vento de cauda.

As mudanças climatológicas previstas apontam, ainda, para a possibilidade de que os voos futuros venham a se tornar mais turbulentos. O aumento de turbulências de céu claro (CATs) resultam em perigo para a segurança de voo e em um elevado custo – cerca de 200 milhões de dólares americanos anuais – às empresas aéreas. Outro aspecto importante é como as companhias aéreas irão enfrentar o aumento continuado do calor, uma vez que as aeronaves tendem a sofrer com esse fator, e, como será demonstrado, uma constante queda nos lucros dessas empresas é esperada.

Diante do estudo sobre tais fatos e da análise de algumas pesquisas que começam a ser desenvolvidas nessa área, constrói-se paulatinamente a tese de uma relação mútua de efeitos duplamente prejudiciais entre desequilíbrio ambiental e aviação. Assim, este artigo propõe-se a investigar os efeitos que as ações humanas no âmbito da aviação causam não só para o meio ambiente natural, mas para os próprios humanos³.

Como metodologia adotada, o estudo é de natureza básica, com o intuito de produzir conhecimentos que possam ser usados por outros interessados. De cunho exploratório, tem a finalidade de obter mais informações acerca das mudanças climáticas e seus impactos na aviação. A pesquisa é apoiada em referências documentais e bibliográficas, em especial em trabalhos de autores como Paul D. Williams, Simon H. Lee, Thomas H. A. Frame e Herbert Puempel. A abordagem classifica-se como qualitativa à medida que estuda os elementos apresentados pelos autores para uma melhor interpretação.

O texto é dividido em duas seções. A primeira, de caráter explanatório, apresenta as mudanças climáticas ao longo da história da Terra e, posteriormente, os impactos causados por ações humanas, sobretudo no que tange à aviação, além de promover a análise da relação “inversa” dos impactos do desequilíbrio ambiental sobre a aviação, o que gera, entre outros problemas, mudanças nas correntes de jato, aumentos de turbulência e problemas com o calor extremo. Já a segunda seção tem como objetivo propor medidas que possam mitigar essas mudanças climáticas, como, por exemplo, a utilização de biocombustíveis para os motores aeronáuticos, ou que possam diminuir a emissão de CO₂, além de ações individuais para a sociedade de combate ao aquecimento global, de modo que tais mudanças não venham a ocasionar problemas ainda mais graves à população mundial e que a segurança de voo não seja afetada.

1 MUDANÇAS CLIMÁTICAS: IMPACTOS NAS CORRENTES DE JATO E NAS PERFORMANCES DAS AERONAVES

1.1 Breve contexto histórico das mudanças climáticas e atuais acontecimentos

³ De acordo com a Resolução CONAMA 306/2002, “Meio Ambiente é o conjunto de condições, leis, influências e interações de ordem física, química, biológica, social, cultural e urbanística, que permite, abriga e rege a vida em todas as suas formas” (CONAMA, 2002). A ISO 14001:2004, por sua vez, o define como “circunvizinhança em que uma organização opera, incluindo-se ar, água, solo, recursos naturais, flora fauna, seres humanos e suas inter-relações.” (ABNT, 2004). Portanto, o termo “meio ambiente” ou simplesmente “ambiente” contempla o componente humano em seu conceito. Contudo, para efeito didático, será aqui, por vezes, destacado o meio ambiente natural do componente humano.

A Terra é um planeta em constantes mudanças climáticas. Estudiosos afirmam que houve tempos em que o planeta foi tão quente que não havia gelo; porém, em outros períodos, tornou-se excessivamente frio, quando ocorreram as glaciações. Todos esses acontecimentos foram naturais e ocorridos há milhões de anos atrás, sendo que o último deles aconteceu há aproximadamente 10 mil anos. Os cientistas denominaram a última glaciação de Holoceno, na qual a temperatura média do planeta variava entre 4 e 5 graus Celsius a menos do que a média global atual. Assim, desde então foram observadas pequenas mudanças climáticas não globais em relação a outras anteriores, como, por exemplo, a denominada pequena idade do gelo, ocorrida já na era moderna, com episódios de mínimos de temperatura verificados entre os séculos XIII a XIX (MANN, 2021).

Entre as alterações de clima observadas atualmente, vê-se um processo de aquecimento amplamente debatido no meio científico e político mundial. Pesquisas indicam que, entre 1880 e 2012, a temperatura média global da Terra aumentou 0,85 graus. O processo parece contínuo e, a cada década, a temperatura aumenta, batendo recordes anteriores. Especialistas, contudo, divergem sobre a verdadeira causa da transformação: enquanto alguns defendem a elevação da emissão de gases do efeito estufa como causa, outros apontam as causas naturais que decorrem do tempo agindo sobre o planeta (MANN, 2021).

O mecanismo do efeito estufa ocorre da seguinte forma: para cada 100 unidades de radiação solar, cerca de 30 unidades são refletidas de volta ao espaço através das nuvens ou pela atmosfera; essa capacidade de refletir a radiação solar é conhecida como Albedo⁴. As 70 unidades que não são refletidas entram na atmosfera causam o aquecimento e, assim, seria adequado que elas retornassem ao espaço, mas não conseguem devido ao aumento de gases do efeito estufa (MANN, 2021; EBI; MEARNES; NYENZI, 2003).

Este efeito é essencial para o desenvolvimento da vida, haja vista que, sem este processo, a temperatura média seria cerca de 33 graus mais fria do que atualmente. Assim, o problema estaria relacionado ao aumento da emissão dos gases do efeito estufa pela ação antrópica, uma vez que o crescimento numérico da humanidade e a expansão das atividades industriais contribuem para o aumento dessa emissão. Com efeito, acredita-se que os humanos contribuam consideravelmente com a produção de gases como Gás Carbônico (CO₂), Metano (CH₄), Óxido Nitroso (NO₂) e Ozônio (O₃), responsáveis pelo efeito, dificultando o retorno da

⁴ Albedo pode ser definido como a “relação entre a quantidade de radiação refletida pela superfície de um objeto e o total de radiação incidente sobre o mesmo. O albedo varia de acordo com as propriedades do objeto e é informado em valor de percentagem. Superfícies com albedo elevado incluem areia e neve. Áreas de floresta e aquelas recém desmatadas apresentam reduzido albedo.” (REDEMETS, 2021, p. 1).

radiação ao espaço e aumentando a temperatura média do planeta, sem levar em consideração que a cada ano que passa essa concentração vem aumentando na atmosfera (MANN, 2021).

1.2 Danos causados ao meio ambiente pelos seres humanos e pela aviação

Especialistas sugerem que uma das causas do efeito estufa está relacionada ao modo de vida do homem, vale dizer, ao consumo desenfreado e às atividades da sociedade atual que o sustentam, demandando o uso excessivo de recursos ambientais. Para tanto, o ser humano vale-se de ações como desmatamentos desenfreados, queima de combustíveis fósseis, uso de meios de transporte inadequados, tudo a deteriorar o meio ambiente, nele incluso o homem, a natureza e suas inter-relações. Entre essas atividades humanas da sociedade moderna, está a aviação, que igualmente afeta o ambiente de diversas maneiras, por meio da poluição sonora; da poluição de rios e córregos com a eliminação de resíduos; e da emissão de gases dos motores aeronáuticos na atmosfera (FAA, 2015).

Sabe-se que os aviões não são as únicas fontes de produção de gases de efeito estufa na aviação. Há, além deles, todo um sistema de suporte à aviação constituído de veículos automotores, como automóveis, caminhões e ônibus a serviço dos sítios aeroportuários. Indiretamente, há, ainda, o trânsito de carros que buscam e levam pessoas até os aeroportos e as fontes de energia auxiliar – as APUs (*Auxiliary Power Unit*) –, que produzem eletricidade e garantem o funcionamento do sistema de ar-condicionado nas aeronaves em solo, o que também causa malefícios ao meio ambiente (FAA, 2015).

Quanto aos gases emitidos pelas aeronaves, importante anotar que cerca de 70% daqueles produzidos pelos motores das aeronaves são CO₂, contra 30% de H₂O (vapor d'água, responsável por mais da metade do efeito estufa); menos de 1% é composto por óxido de nitrogênio (NO_x), óxido de enxofre (SO_x), monóxido de carbono (CO), hidrocarbonetos parcialmente queimados ou não queimados (HC), partículas (PM) e outros vestígios compostos. Cerca de 10% das emissões dos gases emitidos por aeronaves são produzidas abaixo de 3 mil pés, ao passo que os outros 90% são liberados acima desta altitude (FAA, 2015).

Com grande número de emissões, o gás carbônico e o vapor d'água que os motores emitem têm fortes impactos no nosso clima, quando interagem com a radiação solar que aumenta o aquecimento global. Os óxidos de nitrogênio afetam a formação de ozônio e formam ácido nítrico (HNO₃) em altitudes de cruzeiro, afetando a qualidade do ar. Em maiores altitudes, algumas partículas de fuligem interagem com produtos químicos (ácido sulfúrico e ácido nítrico) que acabam formando núcleos de condensação de vapor d'água, gerando assim

alguns “rastros” ou “trilhas de condensação”; estes, por sua vez, são conhecidos como *contrails*, quase sempre visíveis do solo como riscos que saem dos motores das aeronaves (FAA, 2015).

Atualmente, avalia-se que a aviação contribui com, aproximadamente, 3,5% do impacto causado pelo homem ao meio ambiente, sem tendências de redução. Com efeito, esperam-se, cada vez mais, picos de crescimento da atividade, já que o número de aeronaves e de voos tendem a se multiplicar para atender à demanda da sociedade. Desde 1980, apenas nos EUA, as viagens aéreas cresceram cerca de 134%, com previsões de 2,3% de crescimento ao ano. Não se sabe ao certo as proporções desses impactos, em virtude de o lançamento dos gases ocorrer em maiores altitudes, podendo tal emissão ser desproporcional (maior ou menor) a outros meios de transporte. É previsto que essa contribuição ainda aumente entre 4,4% e 6,2% até 2050 (LEE, 2021; FAA, 2015).

Diante desses dados, compreende-se o porquê de o impacto dos aviões no meio ambiente ter chamado a atenção da ciência, haja vista as perspectivas de crescimento do setor e, por conseguinte, das consequências ambientais dele resultantes. No entanto, é importante destacar que essa relação entre o crescimento da aviação e os impactos ambientais não é uma “via de mão única”. Isto porque os gases emitidos pelas aeronaves, além dos demais problemas mencionados, prejudicam a natureza, que acaba por converter esses malefícios para o próprio setor da aviação. Assim, é possível construir uma “via de mão dupla” na relação “aviação – meio ambiente”, de modo que, a depender das ações humanas, essa pode ser uma relação mutuamente prejudicial (WILLIAMS, 2016).

1.3 Impactos das mudanças climáticas na aviação

As mudanças climáticas e o aquecimento global, além dos efeitos já presentes, ainda irão causar outros que interferem nos voos, probabilidades essas que já vêm sendo estudadas por cientistas. Dados iniciais dão conta de que ocorrerão mais tempestades, mudanças de ventos, bem como calor extremo com impacto nas correntes de jato e nos aeroportos, razões pelas quais as aeronaves terão de rever sua performance. Como aumentar a potência dos motores e não gerar mais gases poluentes? Quais serão as alternativas possíveis para tal cenário? (PUEMPEL; WILLIAMS, 2016).

A mudança de temperatura é um dos elementos mais significativos para a aviação, visto que responde por 70% a 80% dos atrasos dos voos (ROSENBERGER et al. 2002, apud COFFEL; HORTON, 2014), o que na opinião de Lan et al. (2006) resulta em um custo de centenas de milhões de dólares por ano para as companhias aéreas. Com a mudança climática

em progresso, está previsto um aumento de 4 a 5 graus Celsius na temperatura até o ano 2100 (HARTMANN, 2010 apud COFFEL; HORTON, 2014). Como dito, prevê-se que esse aquecimento da temperatura venha ocasionar um ar mais rarefeito, exigindo que os aviões alcancem velocidades maiores para as decolagens, assim como para os pousos, dado o maior espaçamento das moléculas de oxigênio que são o fluido base de sua sustentação (COFFEL; HORTON, 2014).

Em um estudo efetuado em quatro aeroportos dos EUA dentre os que podem ser suscetíveis ao aumento de temperatura, foram usados gráficos de desempenho de uma aeronave Boeing 737-800, em conjunto com os dados de temperaturas diárias dos aeroportos fornecidos pelo *Nacional Climate Data Center* (NDCC) para, a partir dos dados históricos, analisarem-se as mudanças entre 1981 até 2005. Desta maneira, foi observado o provável aumento na temperatura média esperada para o período de 2050 a 2069 é de 2,5 até 3,5 graus Celsius nos Estados Unidos no ano; porém, Coffel e Horton (2014) relatam, com base em estudos de outros cientistas, um aumento de 3 a 5 graus nos períodos extremos (COFFEL; HORTON, 2014).

Ainda quanto ao estudo mencionado, tendo também como referência o Boeing 737-800 com os tanques de combustível cheios, encontrou-se uma restrição para decolagem em média de 15.000 libras (6.803 kg), o que resulta em 30% da capacidade total de carga da aeronave. Da mesma maneira, tal situação equivale à restrição de peso entre 10.000 (4.535 kg) e 15.000 libras (6.803 kg), ou a um número entre 52 a 79 passageiros que não poderiam ser embarcados; ou, da mesma maneira, afetaria a capacidade de carga a ser transportada. Em outras palavras, serão impactados o faturamento da empresa, o preço das passagens ou o volume disponível para a carga (COFFEL; HORTON, 2014).

Essas restrições poderão vir a ocorrer futuramente e, para não afetar a segurança de voo, possivelmente as companhias aéreas deverão alterar parte da programação de sua malha aérea, principalmente no verão, ou até mesmo não decolar com o tanque de combustível cheio; os aeroportos, de sua feita, podem precisar de aumento no comprimento de suas pistas. Estes são apenas alguns dos problemas que os cientistas preveem e que, seguramente, deverão afetar os lucros, pois a segurança de voo não deve ser negociável (COFFEL; HORTON, 2014).

Outro elemento a ser considerado está relacionado ao aumento do nível médio do mar. No período considerado entre 2006 a 2015, os valores apontam que tal nível subiu 3,6 milímetros e é previsto que na Europa suba 0,4 metros até o fim deste século. A situação coloca diversos aeroportos em perigo, sendo que um aumento de 1 metro, por exemplo, colocaria 96 aeroportos europeus em risco de inundação e, por consequência, inúmeros outros em todo o mundo, a exemplo do aeroporto de Santos-Dumont, no Rio de Janeiro. Pior ainda seria o risco

de inundações que podem ocorrer por conta de tempestades oriundas de ciclones extra tropicais (OPPENHEIMER, 2019; PUEMPEL; WILLIAMS, 2016).

Além dos problemas envolvendo o aumento de temperatura e do nível médio do mar, um terceiro elemento a ser levado em consideração na relação entre meio ambiente e aviação relaciona-se a um acontecimento histórico que chamou a atenção dos meteorologistas do mundo todo. Em 8 de janeiro de 2015, um voo de Nova York para Londres durou apenas 5 horas e 16 minutos devido a um fortíssimo vento de cauda (CRILLY, 2015 apud WILLIAMS, 2016). Esse acontecimento foi resultado da influência das mudanças climáticas na corrente de jato do Atlântico Norte, uma vez que as aeronaves não voam no vácuo, mas em uma atmosfera que está sofrendo transformações devido ao aquecimento global (WILLIAMS, 2016).

Correntes de jato ou *jet stream*, como são conhecidas, são massas de ar que se deslocam na atmosfera devido à rotação da Terra, variando consideravelmente de acordo com a temperatura do planeta. Quando os raios de sol incidem na Terra, geram um aquecimento do planeta, em diferentes proporções, sendo mais intenso na região tropical. Tendo em vista ser mais leve, o ar quente sobe e se expande, criando correntes de ar quente. O oposto ocorre com o ar frio, que é mais pesado (NATIONAL GEOGRAPHIC, 2011).

Essas correntes de jato se movem em um intervalo de altitude entre 8 km e 15 km e no sentido Leste, com velocidades que variam, em média, de 129 a 225 km/h – podendo chegar até 443 km/h. Por conseguinte, tais correntes são de extrema importância para a aviação, pois, além de precisarem ser levadas em consideração no planejamento das rotas, ainda são uma forma eficiente de economizar combustível, quando resultam em ventos de cauda – e, de efeito, é um problema quando se voa contra elas (NATIONAL GEOGRAPHIC, 2011).

Vale ressaltar que existe uma previsão de aumento na velocidade média dos ventos, diretamente relacionada às mudanças climáticas resultantes das ações humanas, anteriormente mencionadas. A tendência é que os fluxos de jato de latitude média, em ambos os hemisférios, venham a ter um fortalecimento. Tal fortalecimento é decorrente do aumento do dióxido de carbono na atmosfera (efeito da poluição humana) e, conseqüentemente, da temperatura média no polo-equador nas latitudes médias (WILLIAMS, 2017). Sobre essa questão, estudiosos afirmam:

O fortalecimento é composto em parte por mudanças no campo de vento zonal, que são os ventos térmicos em resposta do aquecimento troposférico superior separada por uma tropopausa latitudinalmente inclinada do resfriamento estratosférico inferior. (DEWEAVER; LORENZ, 2007 apud WILLIAMS, 2016, p. 2, tradução livre).⁵

⁵ *The strengthening is composed partly of changes to the zonal wind field, which are the thermal wind response to upper tropospheric warming separated by a latitudinally sloping tropopause from lower stratospheric cooling* (LORENZ; DeWEAVER, 2007, p. 2).

As estatísticas de tempo de viagem no inverno também mudaram. Os cientistas analisaram voos entre Nova Iorque e Londres e, caso dobrado o número de CO₂, o tempo médio de viagem para o leste diminuiria em média 4 minutos (95% de probabilidade) e para o oeste aumentaria em cerca de 5 minutos e 18 segundos (95% de probabilidade). Nota-se que o tempo total de voo aumentou em 1 minuto e 18 segundos, pois o tempo em que o voo foi menor não anula o tempo maior, aumentando a jornada total (WILLIAMS, 2016).

A tabela abaixo apresenta os voos entre Nova York (JFK) e Londres (LHR) analisados pelos estudiosos nas quatro estações – inverno, outono, verão e primavera. Os voos foram analisados em diferentes altitudes (entre 33.000 pés e 44.000 pés) e em comparações de antes e depois do aumento de gás carbônico na atmosfera. O tempo total de voo e o tempo aumentado é mostrado em horas e minutos (WILLIAMS, 2016).

Tabela 1 – Tempo médio de viagem entre JFK e LHR

Season and pressure level	Eastbound			Westbound			Round-trip
	CTL	2×CO ₂	2×CO ₂ -CTL	CTL	2×CO ₂	2×CO ₂ -CTL	2×CO ₂ -CTL
DJF at 200 hPa	5:38:22	5:34:22	-4:00	6:40:26	6:45:44	+5:18	+1:18
MAM at 200 hPa	5:48:07	5:44:59	-3:08	6:28:28	6:32:18	+3:50	+0:42
JJA at 200 hPa	5:41:55	5:40:24	-1:31	6:33:38	6:35:42	+2:04	+0:33
SON at 200 hPa	5:35:53	5:30:52	-5:01	6:43:11	6:50:03	+6:52	+1:51
DJF at 150 hPa	5:42:57	5:38:22	-4:35	6:37:12	6:43:05	+5:53	+1:18
DJF at 250 hPa	5:35:38	5:32:19	-3:19	6:41:43	6:46:35	+4:52	+1:33

Fonte: Williams (2016, p. 7).

Da tabela, é possível extrair as seguintes análises:

As durações médias das rotas de tempo mínimo no sentido leste e oeste são classificadas para a estação especificada e o nível de pressão. As rotas são calculadas usando uma simulação de controle pré-industrial (CTL) e uma simulação de CO₂ duplo (2×CO₂) do modelo climático GFDL CM2.1 ao longo de 20 anos. As estações são inverno (DJF; 1 de dezembro a 28 de fevereiro), primavera (MAM; 1 de março a 31 de maio), verão (JJA; 1 de junho a 31 de agosto) e outono (SON; 1 de setembro a 30 de novembro). Os tempos brutos são mostrados em horas: minutos: segundos e as diferenças de tempo são mostradas em minutos: segundos. (WILLIAMS, 2016, p. 7, tradução livre).⁶

É possível concluir que, em todos os seis voos analisados, há uma alteração no tempo total de jornada caso o CO₂ seja dobrado, uma vez que, apesar de diminuído o tempo de voo

⁶ Table 1. Average journey times between JFK and LHR. The mean durations of the eastbound and westbound minimum-time routes are tabulated for the specified season and pressure level. The routes are calculated using a pre-industrial control simulation (CTL) and a doubled-CO₂ simulation (2×CO₂) from the GFDL CM2.1 climate model over 20 years. The seasons are winter (DJF; 1 December to 28 February), spring (MAM; 1 March to 31 May), summer (JJA; 1 June to 31 August), and autumn (SON; 1 September to 30 November). Raw times are shown in hours: minutes: seconds and time differences are shown in minutes: seconds (WILLIAMS, 2016, p. 7).

para leste, o aumento do tempo de voo para oeste resulta em um aumento total do tempo de voo:

Calculamos que a probabilidade de uma travessia para o leste durar menos de 5 horas e 20 minutos mais do que dobra de 3,5%, na simulação de período pré-industrial, para 8,1%, na simulação com o dobro de CO₂. Concluímos que a quebra do recorde de tempo na travessia transatlântica para o leste [...] ocorrerá com uma frequência crescente nas próximas décadas. Calculamos ainda que a probabilidade de uma travessia para o oeste levar mais de 7 horas quase duplica de 8,6% para 15,3%, sugerindo que chegadas atrasadas na América do Norte se tornarão mais comuns” (WILLIAMS, 2016, p. 6-7, tradução livre).⁷

Outra previsão relevante é a de um aumento de 14,8% no vento de cauda nos voos entre Nova York e Londres. Como consequência dessa alteração, é possível levantar, ao menos, três problemas principais. O primeiro deles é a possibilidade de atrasos constantes nesses voos indo para os Estados Unidos, haja vista que os ventos têm influência direta no tempo de voo. O segundo problema relaciona-se ao preço da passagem. Levando em consideração as expectativas de que as aeronaves fiquem, por aproximadamente, 2 mil horas a mais no ar, estipula-se que sejam queimados por volta de 7,2 milhões de galões extras de combustível, o que resultaria em um custo de 22 milhões de dólares (WILLIAMS, 2016), a serem revertidos diretamente nos preços das passagens.

Esses dados levam ao terceiro e último problema a ser analisado: se aumentada a queima de combustível, aumenta-se, outrossim, o volume de dióxido de carbono a ser emitido pelas aeronaves. Como analisado anteriormente, tal situação afeta não só o meio ambiente natural, como também a própria aviação, gerando um ciclo vicioso de prejuízos. Reitera-se, portanto, a mutualidade das relações entre esses dois campos: o meio ambiente e a aviação.

Ademais, vale ressaltar que o impacto nas correntes de jato não se restringe aos problemas supracitados. Estudiosos perceberam que, além do aumento da força da corrente de nível superior na alta atmosfera, como visto, ocorre também um contraste na baixa atmosfera. Tendo em vista que o gradiente meridional de temperatura está menor devido ao aquecimento global, as correntes na atmosfera inferior são enfraquecidas. Esse fenômeno está formando o que se pode chamar de um verdadeiro “cabo de guerra” entre as duas correntes de diferentes altitudes (LEE; WILLIAMS; FRAME, 2019).

⁷ *We calculate that the probability of an eastbound crossing taking under 5 h 20 min more than doubles from 3.5% in the pre-industrial control simulation to 8.1% in the doubled-CO₂ simulation. We conclude that record-breaking eastbound transatlantic crossing times [...] will occur with increasing frequency in the coming decades. We also calculate that the probability of a westbound crossing taking over 7 h 00 min nearly doubles from 8.6% to 15.3%, suggesting that delayed arrivals in North America will become increasingly common.* (WILLIAMS, 2016, p. 6-7).

Tal “cabo de guerra” gera um aumento do cisalhamento vertical⁸ (gradiente de vento). Estudo realizado por Lee, Williams e Frame (2019), em seu artigo *Increased shear in the North Atlantic upper-level jet stream over the past four decades*, para a revista *Nature*, feito com base em três diferentes tipos de análises (ERA – Interim, NCEP/NCAR e JRA-55), constatou um aumento significativo na temperatura meridional em 250hpa (34 mil pés). Ademais, os três concordam sobre a variabilidade anual e o aumento de, em média, 15% do cisalhamento vertical em 39 anos (LEE; WILLIAMS; FRAME, 2019).

Esse gradiente de vento é consistente com uma intensificação da turbulência de céu claro, que, por sua vez, também resulta das mudanças climáticas. A turbulência de céu claro, ou CAT (*Clear Air Turbulence*), como é mais conhecida, cria uma instabilidade na aeronave em maiores altitudes na ausência de nebulosidades ou tempestades. Essas CATs, no entanto, não são visíveis, fato que pode levar as aeronaves a sofrerem danos, e os passageiros e os tripulantes a serem expostos a uma situação de risco, pois essas turbulências podem arremessá-los, causando ferimentos e até fatalidades (DE VILLIERS; VAN HEERDEN, 2001 apud STORER; WILLIAMS; JOSHI, 2017).

Por conseguinte, as turbulências de céu claro estão entre as maiores causas de acidentes relacionados ao clima na aviação: cerca de 24% desses acidentes são ocasionados por CATs (KIM; CHUN, 2011) e 65% por turbulências, de um modo geral (SHARMAN et al., 2006). De acordo com as estatísticas, cerca de 45 pessoas são feridas anualmente apenas nos Estados Unidos devido a turbulências (STORER; WILLIAMS; JOSHI, 2017).

Esse fenômeno também traz consequências para a aviação no movimentado corredor de voo transatlântico (corredor de voo mais movimentado do mundo atualmente) (LEE; WILLIAMS; FRAME, 2019). Estudos de modelagem climática têm indicado que o volume do espaço aéreo contendo moderada ou maior turbulência de ar claro nas rotas de voo transatlântico no inverno aumentará de 40% a 170% considerando o período pré-industrial até o período estipulado para que o CO₂ na atmosfera seja dobrado (WILLIAMS; JOSHI, 2013). As evidências apontam ainda para tendências ascendentes nas estatísticas de turbulência recentes (WILLIAMS, 2017).

⁸ *Windshear*, “também denominado cortante do vento, tesoura de vento, gradiente de vento ou cisalhamento do vento, é uma mudança na velocidade do vento e/ou direção em uma distância curta, que pode ocorrer tanto horizontalmente como verticalmente” (DECEA, 2014, p. 1).

Um exemplo concreto da periculosidade da turbulência de céu claro para a aviação é o caso do avião que voava sobre o Colorado, em nove de dezembro de 1992, que, ao se deparar com essa turbulência, teve seis metros de sua asa esquerda e um de seus quatro motores arrancados. Além do mais, deve-se considerar que tais turbulências são causa subjacente do medo de viagens aéreas por parte de muitas pessoas (WILLIAMS, 2017).

Por fim, deve-se levar em consideração os custos que as companhias aéreas têm com os efeitos da turbulência, como danos à aeronave ou à cabine, passageiros ou tripulantes feridos, reparos às aeronaves e investigações dos fatos ocorridos. De acordo com Paul D. Williams, em seu artigo *Increased light, moderate, and severe clear-air turbulence in response to climate change*, estimativas do custo econômico total variam de algo em torno de US\$ 100 milhões anualmente para algo próximo de US\$ 200 milhões anualmente, isso somente para as operadoras norte-americanas. Segundo o mesmo autor, existem ainda previsões de que esses gastos aumentem consideravelmente (WILLIAMS, 2017).

2 MITIGAÇÃO DO AQUECIMENTO GLOBAL E INOVAÇÕES NA AVIAÇÃO

2.1 Redução do aquecimento global perante ações humanas

Como visto, a humanidade pode estar contribuindo com o aquecimento global devido à elevação das emissões de gases de efeito estufa e outros fatores, causando, assim, mudanças climáticas na Terra. Para que essa situação seja revertida, é necessária a conscientização individual e coletiva. Dito de outro modo, as ações humanas devem ser modificadas, uma vez que, conforme afirmou Ban Ki-moon, ex-Secretário-Geral da Nações Unidas, “não há plano B porque não há planeta B” (KOSSOY, 2021). Alguns países, entre eles o Brasil, vem se destacando na luta para fazer a diferença e reverter essa situação, apesar das medidas adotadas recentemente.

Em 2015, durante a XXI Conferência das Nações Unidas sobre mudança do clima (COP), o Brasil assinou o acordo de Contribuição Nacionalmente Determinada (NDC). Com isso, ficou determinado que os países signatários deveriam fazer sua parte para reduzir as emissões de carbono e a probabilidade de ocorrerem fenômenos como secas, furações, entre outros. Nesse viés, o Brasil atingiu grande destaque, pois se comprometeu a reduzir, até 2030, em mais de 43% as emissões de carbono em comparação com 2005. Para tanto, o país colocou algumas metas, como elevar para 45% as fontes renováveis (eólica e solar) na matriz energética e aumentar em 10% a eficiência energética no setor elétrico (KOSSOY, 2021).

Além disso, o Brasil se comprometeu a finalizar o desmatamento ilegal na Amazônia, reflorestar 12 milhões de hectares da floresta e restaurar 15 milhões de hectares de pastagens degradadas (KOSSOY, 2021). De acordo com o Ministério da Defesa, o mês de janeiro de 2021 teve a menor alerta de desmatamento ilegal na Amazônia dos últimos quatro anos, com uma redução de 70% em relação a janeiro de 2020. Desde maio de 2020 até janeiro de 2021, o governo brasileiro aplicou mais de 4.842 multas, resultando no valor de 3,3 bilhões de reais, além de apreender aviões e helicópteros e mais de 331 mil metros cúbicos de madeira, referentes a ações ilegais na floresta (VERDÉLIO, 2021).

Vale destacar que algumas práticas individuais podem auxiliar no processo de combate às mudanças climáticas. Segundo a vice-diretora do Plano de Energia Limpa do NRDC⁹, Aliya Haq, “a mudança só acontece quando indivíduos entram em ação [...], não tem outra maneira, se a mudança não começar com as pessoas” (NRDC). Um meio eficiente de auxiliar nesse processo é consumir e gerar informações acerca do aquecimento global (DENCHACK, 2021).

Nesse sentido, as redes sociais podem ser importantes aliadas, uma vez que têm se revelado não somente como uma rica fonte de conteúdo, mas também como um instrumento de manifestação e de cobrança dos governantes. Exemplo claro da eficiência do chamado “ciberativismo ambiental” foi a criação do movimento “Veta Dilma!”, que se valeu das redes sociais para incitar o veto presidencial no texto do novo Código Florestal aprovado na Câmara dos Deputados:

A discussão contou com mais de duzentas organizações da sociedade civil, que encabeçaram uma campanha na rede social Twitter ‘#florestafazadiferença’ com a participação de celebridades e especialistas para explicar online pontos polêmicos do texto, como a anistia a desmatadores, tornando-se um dos assuntos mais abordados nessa rede social. SANTOS; BELINAZZO; MACEDO, 2013, p. 33).

Assim, nota-se como as redes sociais são relevantes não só para explicar ações ambientais, mas também para mobilizar a população nas suas lutas (SANTOS; BELINAZZO; MACEDO, 2013).

Ademais, outras práticas simples podem ser aplicadas no cotidiano de cada indivíduo para reduzir o consumo de energia. Exemplos dessas práticas são a alimentação da residência com energia renovável, por meio de placas solares e outros mecanismos, e a utilização de aparelhos com eficiência energética. Quanto a esses aparelhos, como geladeira, eletrodomésticos e, principalmente, ar-condicionado – responsável por consumir a maior parte

⁹ (NRDC) *Natural Resources Defense Council*. Foi fundado em 1970 por estudantes de Direito em luta na causa pelo meio ambiente. O grupo possui mais de três milhões de membros *online* e 700 cientistas, além de advogados etc.

da energia e por emitir gases poluentes –, é importante se atentar aos seus rótulos, pois, desde 1987, quando foram implementados os indicativos de eficiência energética, os produtos mantiveram 2,3 bilhões de dióxido de carbono fora do ar. No mesmo sentido, vale mencionar também as chamadas lâmpadas LED, que reduzem até em 80% o consumo de energia (DENCHACK, 2021).

O autor (2021) ainda aponta que as utilizações desses aparelhos, no entanto, não anulam a importância da prática de desligar os equipamentos da tomada quando não estiverem sendo utilizados. Pesquisas apontam que os aparelhos que ficam ligados nas tomadas de todas as casas dos Estados Unidos, mesmo sem uso somam o equivalente à produção de 50 grandes usinas americanas.

Além dessas práticas diretas, Denchack (2021) destaca práticas indiretas que auxiliam na economia de energia. Uma delas é economizar água, uma vez que, como se sabe, muita energia é utilizada no seu tratamento e bombeamento. Outra prática indireta é reduzir o desperdício de alimentos, sobretudo, de carne. Estudos apontam que cerca de 10% do uso de energia dos Estados Unidos é usado para o processo de cultivo, embalagem e envio de alimentos, dentre os quais, 40% acabam sendo desperdiçados e jogados em aterros sanitários.

Por fim, uma última prática individual para combater as mudanças climáticas relaciona-se aos próprios transportes. Tendo em vista que os automóveis e aviões são as maiores fontes de poluição do ar, é importante, sempre que possível, optar por meios de transporte menos poluentes, como bicicletas e trens. Caso não seja possível essa substituição, contudo, é possível optar por veículos com baixo consumo de combustível, como os híbridos ou elétricos. No caso dos aviões, vale optar por voos sem escala e, até mesmo, por outros meios de transporte como trens (DENCHACK, 2021).

2.2 Inovações na aviação para contribuir com o meio ambiente

Apesar dos apontamentos críticos que se faz aos meios de transporte e, em especial, à aviação em relação ao meio ambiente, é inegável que o modal contribui consideravelmente para a humanidade: é considerado como sendo o modal de transporte mais seguro do mundo, além de trazer diversos benefícios, como encurtar distâncias, conectar pessoas e gerar mais de 56 milhões de empregos diretos e indiretos. Em alguns países, em especial, ela tem um papel fundamental, no caso do Brasil, que possui dimensões continentais, a aviação é o meio de transporte capaz de conectar todo o país, promover a integração regional, além de colaborar com o desenvolvimento da economia (FAA, 2015; ANAC, 2013).

É importante ressaltar que a aviação há algum tempo já tem se mobilizado para colocar em prática medidas que contribuam com o meio ambiente. Em outubro de 2010, nos Estados Unidos, ocorreu a 37ª Assembleia da Organização da Aviação Civil Internacional (ICAO), na qual foi aprovada a Resolução A37-19, cujo objetivo foi o de propor uma série de medidas para proteção do meio ambiente a serem cumpridas pela aviação civil internacional. Entre elas, é possível destacar a apresentação voluntária por parte dos membros da ICAO de planos de ação visando melhorar o combustível e a eficiência no setor, a fim de reduzir as emissões de carbono. O Brasil, como um dos membros, montou seu plano de ação a partir de estudos feitos pela Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC) e pelo Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA) (ANAC, 2013).

Como forma de mitigar essas emissões, a ANAC adota como estratégia o desenvolvimento de combustíveis alternativos. Sabendo-se que os combustíveis fósseis usados pela aviação têm grande impacto na economia das empresas e do país como um todo, os biocombustíveis poderiam auxiliar não somente no controle das emissões, como também dos preços. Possivelmente, com o avanço da tecnologia e a melhora dos motores, bem como da aerodinâmica das aeronaves, as emissões irão diminuir; porém, com o acelerado crescimento da aviação (número de aeronave), esse avanço não será suficiente, motivo pelo qual os biocombustíveis se tornam a melhor alternativa (ANAC, 2013).

No caso do Brasil, essa mudança é um pouco mais simples, haja vista que o país possui um bom histórico no uso desses combustíveis, sendo reconhecido internacionalmente pelo uso de biomassa para fins enérgicos, como madeira, óleo, cana de açúcar e biodiesel. Em 2010, foi criada a Aliança Brasileira por Biocombustíveis de Aviação (ABRABA), justamente com o propósito de desenvolver essa iniciativa esse setor com o apoio do poder público e organismos privados. Vale ressaltar, outrossim, um importante projeto brasileiro em parceria com a EMBRAER e a BOEING, coordenado pela Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), cujo propósito é analisar as dificuldades e oportunidades, bem como a tecnologia, economia e sustentabilidade nacional, na produção de biocombustíveis.

Na pesquisa, percebeu-se ainda que a soja, a cana-de-açúcar e o eucalipto são produtos promissores para a produção desse combustível. Outros produtos também foram analisados, porém os estudiosos concluíram que é necessário melhorar as logísticas de distribuição para contribuir com a economia e melhorar as pesquisas para a tecnologia e refinamento de biocombustíveis (ANAC, 2013).

Algumas companhias aéreas já fizeram voos com biocombustíveis. A então TAM, em parceria a Airbus, foram as primeiras a voar, em 2010, com biocombustíveis à base de *Jatropha*

Curcas¹⁰. Foram utilizados 50% desse biocombustível e 50% de querosene de aviação convencional nos aviões Airbus da companhia. Em 2012, as empresas aéreas Azul e Gol também realizaram voos experimentais. A Azul usou um biocombustível à base de cana-de-açúcar e a Gol, um biodiesel com mistura de ICO (óleo de milho não comestível) e OGR (óleos e gorduras residuais) (ANAC, 2013).

Os resultados obtidos foram bons, entretanto, economicamente esses biocombustíveis ainda não são viáveis para as companhias aéreas. É necessário investir em mais pesquisas e meios de reduzir os custos com uma produção mais eficiente e uma melhor logística de transporte, para que esta seja, de fato, uma alternativa viável na redução das emissões de carbono na aviação (ANAC, 2013).

Outra fonte de melhora vista pela ANAC foi a implementação do conceito Air Traffic Management (ATM). Esse novo conceito busca gerar benefícios para todos os seus membros e principalmente uma melhora ambiental. Para tanto, esse conceito tem como estratégia uma redução no consumo de combustível e, conseqüentemente, uma redução nas emissões gases de efeito estufa. Em 2007, o Brasil adotou em seus procedimentos a Navegação Aérea (RNAV) e o Desempenho de Navegação Requerido (RNP), ambos procedimentos suportados pelo Sistema Global de Navegação por Satélite (GNSS), otimizando, assim, as operações de acordo com o conceito ICAO PBN e flexibilizando as rotas de voo nas Áreas de Controle Terminal (TMA).

A implementação desse sistema já foi concluída nas TMAs Brasília e Recife e nas TMAs São Paulo e Rio de Janeiro (concluída em 2013). Ambos os terminais são as mais movimentadas do país: a TMA-SP e a TMA-RJ abrigam cerca de 50% do tráfego aéreo. As expectativas são de que ocorra uma redução de 10 minutos no tempo dos voos, porém é necessária uma análise específica para saber qual a redução exata do combustível (ANAC, 2013).

Vale ressaltar ainda outras medidas que algumas empresas aéreas têm implementado para reduzir o consumo do combustível, como procedimentos de pré-voo com redução no peso interno da aeronave; redução no uso dos APUs; medidas de manutenção, entre outros procedimentos. A empresa aérea GOL destacou-se em alguns desses procedimentos. Ela implementou em 2011 um projeto para reduzir o uso dos APUSs durante a manutenção noturna de suas aeronaves, de modo que ela seja feita com uso de GPUs (*Ground Power Units*), que consomem menos combustível e usam como fonte o diesel, reduzindo bastante não só as

¹⁰ *Jatropha curcas* L. (pinhão-manso) é “uma espécie vegetal oleaginosa cujo óleo, extraído de suas sementes, apresenta múltiplas aplicações para comunidades locais, além da sua potencial aplicação em diferentes setores industriais”, entre eles, “a indústria de biodiesel, constituindo-se, assim, em mais uma fonte de matéria-prima dentro do elenco de espécies oleaginosas úteis” (VIRGENS, 2017, p. 1).

emissões, mas também a poluição sonora no aeroporto (ANAC, 2013). Apenas em 2015 houve uma redução de 1.096.458 kg de CO₂ nesse projeto (ANAC, 2015). A GOL ainda teve, entre 2016 e 2018, uma redução de 1.770.828 toneladas de CO₂ em operações domésticas e internacionais (ANAC, 2018).

Entretanto, de acordo com o Plano de Ação da ANAC lançado em 2018, deve-se investir na concessão de aeroportos e na infraestrutura aeroportuária, pois, com as melhoras nas operações nos aeroportos, o embarque e o deslocamento de passageiros e de cargas podem ser feitos com mais facilidade, as aeronaves podem passar menos tempo ligadas no solo e a logística entre pousos e decolagens pode ser melhorada. Assim, as companhias e os passageiros se beneficiam e evitam a queima desnecessária de combustível (ANAC, 2018).

Ademais, cabe destacar que o Brasil possui 578 aeródromos públicos, porém apenas 132 recebem voos regulares. Como forma de melhoria na infraestrutura e na logística desses aeródromos, a República Federativa do Brasil lançou, em 2013, o “Programa de Investimentos na Logística: Aeroportos”. Esse programa apresenta algumas medidas, como concessão de aeroportos e fomento da Infraero Serviços Aeroportuários, a qual oferece planejamento, administração e apoio da mão de obra aos aeroportos; fortalecimento da infraestrutura de aeroportos regionais; melhora na regulação dos *slots* e autorizações para aeroportos da aviação geral (ANAC, 2013).

No âmbito nacional, os aeroportos estão tomando diversas medidas para reduzir as emissões, tais como, implementação de lâmpadas LED nas estruturas aeroportuárias, utilização de fontes alternativas de energia, além dos veículos em terra operando com biocombustíveis. Com essas medidas, calcula-se uma redução de 8.250 toneladas de CO₂ que deixaram de ser emitidas entre 2016 e 2018 (ANAC, 2018).

2.3 Melhorias na aviação em resposta às mudanças climáticas

Ainda sobre as melhorias quanto ao combate do aquecimento global, e, conseqüentemente, do aumento de temperatura, a aviação no geral tem muito a contribuir. Nesse viés, algumas medidas a curto e longo prazos estão sendo adotadas, como investir em estruturas de fibra de carbono – uma vez que essas são bem mais leves que as atuais estruturas – e em motores melhores para produzir mais empuxo na decolagem e não desperdiçar combustível (COFFEL; HORTON, 2014).

Alguns estudiosos do *Glen Research Center* da NASA vêm desenvolvendo uma tecnologia formada por fibra de silício carboneto com composto de cerâmica. Esta nova

estrutura foi desenvolvida para suportar altas temperaturas de mais de 2.700 F e por um longo período, ou seja, ideal para os motores aeronáuticos do futuro, visto que atualmente o material traz ainda mais benefícios que fibra de carbono, superligas metálicas etc. (SIMMERS; RUSSEL, 2021).

Com relação às mudanças nos ventos nas correntes de jato, a aviação está correndo contra o tempo. Estudiosos afirmam que mesmo que não haja qualquer crescimento no setor aeronáutico no futuro, as aeronaves (tráfego transatlântico), ainda assim, passarão mais de 2 mil horas extras no ar devido às mudanças climáticas. Vale ressaltar que, apesar de não serem mencionadas medidas de melhorias, os estudiosos têm-se esforçado no sentido de um trabalho futuro para analisar outras rotas de voos e alternativas com vistas à solução do problema (WILLIAMS, 2016).

Por fim, quanto às mudanças nas CATs decorrentes das alterações climáticas – o que fará dos voos futuros mais turbulentos e perigosos – a tecnologia já vem contribuindo com a aviação para minimizar os efeitos desse fenômeno. Algumas aeronaves com mais tecnologia a bordo são equipadas com um acelerômetro no cone do nariz do avião. Em caso de o acelerômetro registrar uma rápida mudança de altitude (indicativo de turbulência), na tentativa de reduzir a aceleração e amortecer a turbulência, a aeronave reduz a velocidade e abaixa os *flaps*¹¹ para não perder a sustentação e preservar a segurança de voo (WILLIAMS, 2017).

Outro método importante para aumentar a segurança de voo em relação às turbulências de céu claro é a instalação nas aeronaves de um equipamento capaz de identificar essas CATs, o LIDAR (*Light Detection and Ranging*). O dispositivo consiste em um radar instalado a bordo da aeronave que cumpre essa funcionalidade por meio de diferentes métodos, como a medição da velocidade e da variação do vento ao longo da trajetória de voo, o que poderia ser identificado facilmente pelo *Doppler Wind Lidar* (DWL). Porém, devido ao fato de este equipamento não conseguir identificar partículas de aerossóis em determinadas altitudes, ele consegue informar as CATs a longo alcance, não sendo, desse modo, totalmente confiável (WILLIAMS, 2017; VRANCKEN, 2016).

Além do DWL, há outro método LIDAR mais eficiente para identificar as CATs a partir das pequenas variações de temperaturas do ar, o *Rayleigh Lidar*. Quando o ar sofre variações de temperatura e, conseqüentemente, de densidade, pode-se identificar a velocidade vertical por meio dessas variações ou flutuações. Tais mudanças formam certos “buracos” no ar que causam

¹¹ Os *flaps* (ou flapes) são dispositivos hiperssustentadores geralmente usados nos pousos e decolagens nas aeronaves. São abas ou “asinhas” que quando acionados ajudam a aumentar a sustentação da aeronave, possibilitando voar em menores velocidades (ABEAR, 2019).

turbulência e, por isso, esse é um método importante. *O Rayleigh Lidar* é capaz de avisar os pilotos sobre as CATs entre 5 a 15 quilômetros antes do fenômeno, dando tempo suficiente para os pilotos se prepararem para enfrentar a situação, avisar os passageiros para afivelar seus cintos e pedir para que os comissários se sentem, ou até mesmo para tentarem evitar a situação (VRANCKEN, 2016).

Por fim, estudiosos afirmam que devido ao expressivo aumento do número de turbulências de céu claro, os mecânicos e todas as oficinas aeronáuticas deverão se preparar melhor para futuros reparos nas aeronaves, com uma manutenção criteriosa. Dessa maneira, será possível garantir a segurança da aviação, de modo que esse continue sendo o modal de transporte mais seguro do mundo (WILLIAMS, 2017).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo central do trabalho foi o de estabelecer uma análise da relação entre as mudanças climáticas resultantes, sobretudo, das ações humanas, e a aviação, com ênfase em uma ideia de mutualidade, isto é, de uma relação de duas vias. Fato é que o planeta Terra vem sofrendo um processo de aquecimento decorrente da forma de vida e das atividades da sociedade contemporânea, com destaque para a aviação, que representa parcela substancial das causas das mudanças climáticas. Diante das intensas e constantes emissões de gases poluentes e de outros meios de contaminação, o ser humano tem arcado com os prejuízos advindos de suas próprias ações.

Nesse sentido, entende-se que a aviação causou – e ainda causa – inúmeros danos ao meio ambiente. Entretanto, o que se busca desenvolver com ênfase no trabalho é o movimento de “mão dupla” – ou de retorno – que vem ocorrendo: as mudanças climáticas afetando a aviação. Com efeito, prevê-se que as mudanças irão causar no futuro grandes problemas para o setor da aviação como um todo. As correntes de jato passarão por mudanças nas velocidades de seus ventos, afetando o tempo total de voo de um lugar para o outro. Ademais, é provável, conforme pesquisas e estimativas científicas, que ocorra um aumento de turbulências de céu claro em voo, o que acarretará um custo de cerca de 200 milhões de dólares para as companhias aéreas, devido à manutenção e aos reparos das aeronaves consequentes de tais turbulências.

Além disso, outros problemas devem ser destacados como resultado do aumento da temperatura na Terra. Existem previsões de que os aviões necessitarão de mais pista para a decolagem, de modo que, ou reduzirão seu peso, ou os aeroportos terão de aumentar as pistas de pouso. Não obstante, o aumento de tempestades decorrente da mudança de temperatura é um

fator que gera preocupação entre os estudiosos da área, haja vista que representa um risco à segurança de voo.

Todos esses problemas estão prestes a causar grandes prejuízos para as companhias aéreas, afetando, inclusive, a segurança de voo, fator que não deve ser negociável. Todavia, vale ressaltar que tais problemas não afetam somente o setor da aviação, mas toda a sociedade de uma forma geral, causando prejuízos em diversos aspectos, como saúde e economia.

Destarte, o estudo tem como função alertar as companhias aéreas sobre os futuros acontecimentos climáticos e seus efeitos, além de sugerir medidas de combate ao aquecimento global e às mudanças climáticas. Entre as medidas que podem ser tomadas pelo setor da aviação, é possível destacar, principalmente, o uso de combustíveis alternativos, como biocombustíveis, os quais demonstram grande eficiência nas pesquisas e testes realizados. Contudo, tendo em vista que se trata de uma luta contínua e coletiva o artigo busca, outrossim, alertar a comunidade aeronáutica e a população como um todo para a necessidade de adoção de medidas concretas que visem mitigar ou conter o aquecimento global.

Por fim, é importante frisar que a aviação está correndo contra o tempo, de modo que alguns problemas já apontam para uma situação irreversível. Exemplo disso são as correntes de jato, cujas consequências incluem a previsão de que as aeronaves passem 2 mil horas a mais no ar e, por conseguinte, o aumento do gasto de combustível e da emissão de dióxido de carbono (gás extremamente poluente) na atmosfera. Diante desse cenário preocupante, é urgente a aplicação de medidas de combate às mudanças climáticas, a fim de se preservar, sobretudo, a segurança de voo.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL (ANAC). **Brazil's Action Plan on the reduction of Greenhouse Gas Emissions from aviation**. National Civil Aviation Agency Brazil. 2013. Disponível em: http://www.cdieselbr.com.br/Documents/Brazil_ActionPlan%20for%20reduction%20of%20GGE%20from%20aviation.pdf. Acesso em: 30 mar. 2021.

_____. **Plano de Ação para redução das emissões de gases de efeito estufa da aviação civil brasileira**. 2015. Disponível em: https://www.anac.gov.br/assuntos/paginas-tematicas/meio-ambiente/arquivos/PlanodeAo2015_final.pdf. Acesso em: 12 abr. de 2020.

_____. **Plano de Ação para a Redução das Emissões de CO2 da Aviação Civil Brasileira**. 2018. Disponível em: <https://www.anac.gov.br/assuntos/paginas-tematicas/meio-ambiente/arquivos/PlanodeAo2019ptbr.pdf>. Acesso em: 12 abr. de 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS EMPRESAS AÉREAS (ABEAR). **Qual a funcionalidade dos flaps de uma aeronave?** 2019. Disponível em: <https://www.abear.com.br/imprensa/agencia-abear/noticias/qual-a-funcionalidade-dos-flaps-de-uma-aeronave/>. Acesso em: 1 maio 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **ISO 14.001:2004**. Sistemas da gestão ambiental: requisitos com orientações para uso. 2004. Disponível em: <http://www.madeira.ufpr.br/disciplinasghislaine/iso-14001-2004.pdf>. Acesso em: 10 maio de 2021.

BOUDREAU, D.; COSTA, H.; HALL, H.; HUNT, J.; MCDANIEL, M.; RAMROOP, T.; RUTLEDGE, K.; SPROUT, E.; TENG, S. Jet stream: Jet streams are currents of air high above the Earth. **National Geographic**. 2011. Disponível em: <https://www.nationalgeographic.org/encyclopedia/jet-stream/>. Acesso em: 25 mar. 2021.

COFFEL, E.; HORTON, R. Climate change and the impact of extreme temperatures on aviation. **Weather, Climate, and Society**, v. 7, n. 1, p. 94-102, 2014. Disponível em: https://journals.ametsoc.org/downloadpdf/journals/wcas/7/1/wcas-d-14-00026_1.pdf. Acesso em: 22 mar. 2021.

CONAMA. **Resolução Conama nº 306/2002**. Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=306>. Acesso em: 29 abr. 2021.

DENCHACK, M. How you can stop global warming. **NRDC**, 2017. Disponível em: <https://www.nrdc.org/stories/how-you-can-stop-global-warming>. Acesso em: 7 abr. de 2021.

EBI, K. L.; MEARNES, L. O.; NYENZI, B. **Weather and Climate: Changing Human Exposures**. Climate Change and Human Health (pp. 18 – 42). Geneva: World Health Organization, 2003. Disponível em: <https://www.who.int/globalchange/publications/climatechangechap2.pdf>. Acesso em: 25 mar. 2021.

FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION (FAA). **Emissions Aviation, Impacts & Mitigation: A Primer**, 2015. https://www.faa.gov/regulations_policies/policy_guidance/envir_policy/media/primer_jan2015.pdf. Acesso em: 30 mar. 2021.

KOSSOY, A. No mystery: what is Brazil doing to address climate change? **World Bank Blogs**, 2018. Disponível em: <https://blogs.worldbank.org/latinamerica/no-mystery-what-brazil-doing-address-climate-change>. Acesso em: 07 abr. 2021.

LEE, D. S. et al. The contribution of global aviation to anthropogenic climate forcing for 2000 to 2018. **Atmospheric Environment**, v. 244, p. 117834, 2021.

LEE, S. H.; WILLIAMS, P. D.; FRAME, T. H. A. Increased shear in the North Atlantic upper-level jet stream over the past four decades. **Nature**, v. 572, n. 7771, p. 639-642, 2019.

LORENZ, D. J; DeWEAVER, E. T. Tropopause height and zonal wind response to global warming in the IPCC scenario integrations. **Journal of Geophysical Research**, v. 112, 2007.

Disponível em: <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1029/2006JD008087>. Acesso em: 15 abr. 2021.

MANN, M. E.; SELIN, H. Global warming. **Britannica**. 2021. Disponível em: <https://www.britannica.com/science/global-warming>. Acesso em: 23 mar. de 2021.

OPPENHEIMER, M. L et al. **Sea level rise and implications for low lying islands, coasts and communities**. 2019. Disponível em: https://report.ipcc.ch/srocc/pdf/SROCC_FinalDraft_Chapter4.pdf. Acesso em: 24 abr. 2021.

PUEMPEL, H.; WILLIAMS, P. D. The impacts of climate change on aviation: Scientific challenges and adaptation pathways. **ICAO Environmental Report 2016: On Board A Sustainable Future**, p. 205-207, 2016. Disponível em: https://www.icao.int/environmental-protection/Documents/EnvironmentalReports/2016/ENVReport2016_pg205-207.pdf. Acesso em: 24 abr. 2021.

REDEMET. Glossário. **Albedo**. 2021. Disponível em: <https://www.redemet.aer.mil.br/?i=facilidades&p=glossario>. Acesso: 1 jun. 2021.

SANTOS, N; BELINAZZO, C; MACEDO, J. As novas mídias e o ativismo digital na proteção do meio ambiente: análise do site Greenpeace. org. **Revista Eletrônica do Curso de Direito da UFSM**, v. 8, p. 27-39, 2013. Disponível em: <https://periodicos.ufsm.br/revistadireito/article/view/8215/pdf>. Acesso em: 2 abr. 2021.

SIMMERS, L; RUSSELL, J. **Develops Unique Materials for the Next Generation of Aircraft**. NASA. 2021. Disponível em: <https://www.nasa.gov/feature/glenn/2020/nasa-develops-unique-materials-for-the-next-generation-of-aircraft>. Acesso: 8 maio 2021.

STORER, Luke N.; WILLIAMS, Paul D.; JOSHI, M. M. Global response of clear-air turbulence to climate change. **Geophysical Research Letters**, v. 44, n. 19, p. 9976-9984, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/2017GL074618>. Acesso em: 30 abr. 2021.

VRANCKEN, P. Airborne forward-pointing UV Rayleigh lidar for remote clear air turbulence detection: system design and performance. **Applied optics**, v. 55, n. 32, p. 9314-9328, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1364/AO.55.009314>. Acesso em: 22 mar. 2021.

VERDÉLIO, A. Desmatamento na Amazônia tem queda de 70% em janeiro, diz o governo. **Agência Brasil**, 2021. Disponível em: <https://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/noticia/2021-02/desmatamento-na-amazonia-tem-queda-de-70-em-janeiro-diz-governo> . Acesso em: 07 abr. 2021.

WILLIAMS, P. D. Transatlantic flight times and climate change. **Environmental Research Letters**, v. 11, n. 2, p. 024008, 2016. Disponível em: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/11/2/024008>. Acesso em: 3 abr. 2021.

_____. Increased light, moderate, and severe clear-air turbulence in response to climate change. **Advances in Atmospheric Sciences**, v. 34, n. 5, p. 576-586, 2017. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00376-017-6268-2>. Acesso em: 30 mar. 2021.

VIRGENS, I. O. **Revisão *Jatropha curcas* L.:** aspectos morfofisiológicos e químicos. Scielo Brasil, 2017. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/bjft/a/FDk5q9QjGYRLmmPdTvmsRFG/?lang=pt>. Acesso em: 25 abr. 2021.

E-mail para contato:
arthurmotta015@gmail.com

(62) 98254.3355