

**PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE GOIÁS
ESCOLA POLITÉCNICA
GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AERONÁUTICAS**

**MAPEAMENTO DAS CONDIÇÕES METEOROLÓGICAS ADVERSAS NAS ROTAS
BRASIL-EUROPA DA ZCIT COM BASE NAS CARTAS SIGWX DE 2012 A 2021**

GOIÂNIA
2022

EMILY CHRISTINI NEVES BISPO

**MAPEAMENTO DAS CONDIÇÕES METEOROLÓGICAS ADVERSAS NAS ROTAS
BRASIL-EUROPA DA ZCIT COM BASE NAS CARTAS SIGWX DE 2012 A 2021**

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

Professora Orientadora: Esp. Tammyse Araújo da Silva.

GOIÂNIA
2022

EMILY CHRISTINI NEVES BISPO

**MAPEAMENTO DAS CONDIÇÕES METEOROLÓGICAS ADVERSAS NAS ROTAS
BRASIL-EUROPA DA ZCIT COM BASE NAS CARTAS SIGWX DE 2012 A 2021**

GOIÂNIA-GO, 13/6/2022.

BANCA EXAMINADORA

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

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

Esp. Andréluiz da Silva Fernandes _____ CAER/PUC-GO _____
Assinatura Nota

MAPEAMENTO DAS CONDIÇÕES METEOROLÓGICAS ADVERSAS NAS ROTAS BRASIL-EUROPA DA ZCIT COM BASE NAS CARTAS SIGWX DE 2012 A 2021

MAPPING OF ADVERSE WEATHER CONDITIONS ON BRAZIL-EUROPE ROUTES OF ZCIT BASED ON SIGWX CHARTS FROM 2012 TO 2021

Emily Christini Neves Bispo¹
Tammyse Araújo da Silva²

RESUMO

A Zona de Confluência Intertropical (ZCIT), por estar localizada em uma região quente e úmida do planeta, próxima à linha do Equador, apresenta tendência de formação de nuvens de tempestade, as Cumulonimbus (CB). Considerando essa tendência natural, este estudo tem como objetivo verificar e analisar uma determinada parte da ZCIT por onde passam aeronaves da rota Brasil-Europa, com vistas a mapear tal região e comprovar a ocorrência diária das CB. Para atingir este objetivo, a metodologia adotada é de natureza básica, cujos procedimentos são bibliográficos e documentais. Os documentos analisados foram cartas SIGWX norte-americanas disponíveis na REDEMET consideradas para as 18 UTC e entre os anos de 2012 e 2022. Além disso, foram selecionados apenas quatro quadrantes da ZCIT, cujas latitudes compreendem de 10°N a 10°S e 20°W a 40°W. Desta forma, a partir do método adotado, foi possível constatar elevada frequência de nuvens CB isoladas embutidas para os quadrantes 1 e 2 entre as 18 UTC e 23:45 UTC, formadas em 3.222 dias dos 10 anos estudados. Foram identificados, ainda, os anos de maior ocorrência, 2013 e 2020, bem como os meses mais propícios para a formação dessas nuvens, dezembro e janeiro. Também se observou o topo mais elevado encontrado, FL580. Diante desses resultados, verifica-se que a rota das aeronaves que navegam entre Brasil-Europa, em ambos os sentidos, passa constantemente por estes quadrantes afetados pelas nuvens CB e que, provavelmente, tais formações se desenvolvem para tempestades. À vista disso, é necessário que pilotos lidem com essa região com muita atenção. Entre as estratégias para voar sob estas condições, destacam-se o uso imprescindível de radar meteorológico de bordo, o planejamento meteorológico eficaz, a utilização de todas as informações de tempo disponíveis para a rota e a necessidade de desvio da nuvem. Por outro lado, observa-se que a extensão horizontal dos quadrantes 1 e 2 dificulta o desvio das nuvens da ZCIT. Isto significa que é necessário buscar rotas alternativas para o trajeto mencionado, ainda que seja um desafio. Por fim, outro aspecto sugerido é a elaboração de estudos que avaliem a possibilidade de alteração do horário da travessia adotado para o sentido Brasil-Europa, que ocorre normalmente no período noturno, coincidindo com os horários identificados de formação pesada.

Palavras-Chaves: Zona de Convergência Intertropical; Nuvens Cumulonimbus; Rota Brasil-Europa; REDEMET.

¹ Graduanda em Ciências Aeronáuticas. Endereço eletrônico: emilyneves30@gmail.com

² Especialista em Docência Universitária pela Universidade Católica de Goiás. Graduanda em Ciências Aeronáuticas pela UnisulVirtual. Professora da Escola Politécnica no curso de Ciências Aeronáuticas da Pontifícia Universidade Católica de Goiás. EC-PREV pelo CENIPA. Credenciada no SGSO pela ANAC e pela Infraero. Endereços eletrônicos: tammyse@hotmail.com / tammyse@pucgoias.edu.br.

ABSTRACT

The Intertropical Confluence Zone (ITCZ), due to being located in a hot and humid planet's region, close to Equator circle, tends to form storm clouds, the Cumulonimbus (CB). Considering this natural tendency, this study aims to verify and analyze a part of ITCZ crossed by aircraft at Brazil-Europe route, in order to map this region and prove CB daily occurrence. In order to achieve this objective, the methodology of a basic nature and bibliographic and documentary procedures is adopted. The documents analyzed were North American SIGWX charts available at REDEMETS considered for 18 UTC and between the years 2012 – 2022. Only four quadrants of ITCZ were selected, whose latitudes range from 10°N to 10°S and 20°W to 40°W. From the method adopted, it was possible to verify a high frequency of isolated CB clouds embedded for quadrants 1 and 2 between 18 UTC and 23:45 UTC, formed on 3.222 days of the 10 years studied. The years with highest occurrence were also identified, 2013 and 2020, as well as the most favorable months for the formation of these clouds, December and January. The highest peak found, FL580, was also observed. Given these points, it evidences that aircraft route between Brazil and Europe, in both directions, constantly passes through these quadrants affected by CB clouds and probably such formations develop into storms. With this in mind, it is necessary for pilots to deal with this region very carefully. Among the strategies for flying under these conditions are the essential use of on-board weather radar, effective weather planning, use of all available weather information for the route and the need to avoid the cloud. On the other hand, it is observed that the horizontal extension of quadrants 1 and 2 makes it difficult to deviate the ITCZ clouds. This means that it is necessary to look for alternative routes for the mentioned route, even if it is a challenge. Finally, another aspect suggested is the elaboration of studies that evaluate the possibility of changing the crossing time adopted for Brazil-Europe direction, which normally occurs at night, coinciding with the identified times of heavy training.

Keywords: *Intertropical Convergence Zone; Cumulonimbus Clouds; Brazil-Europe Route; REDEMETS.*

INTRODUÇÃO

A Zona de Confluência Intertropical (ZCIT), é uma região localizada em torno da linha do Equador³ nas latitudes tropicais que, em razão de suas particularidades, pode formar nuvens de desenvolvimento vertical, as Cumulonimbus (CB). Estas nuvens são intensas e, como resultado, favorecem a formação de tempestades. As tempestades são fenômenos que interferem na navegação aérea por provocarem fatores como turbulência, gelo e chuva pesada. Muitas vezes, o piloto, ao voar em aéreas de tempestade, deve fazer um desvio da nebulosa, a fim de manter o voo seguro.

Considerando esse contexto, o presente estudo tem como objetivo verificar e analisar a tendência de ocorrência de nuvens CB em uma determinada área da ZCIT por onde passam as

³ A região será aqui tratada simplesmente como "Equador", haja vista ser o termo mais frequentemente utilizado pela área.

aeronaves que voam na direção Brasil-Europa. Como objetivos secundários, busca-se conhecer sobre a nuvem CB, as tempestades, a ZCIT e as rotas entre Brasil e Europa.

Para alcançar estes objetivos, em termos de metodologia, aplica-se a natureza básica da pesquisa, a partir de uma abordagem qualitativa e de procedimentos bibliográficos e documentais. Por intermédio do método, o estudo pauta-se em autores como, Bianchini, Ferreira, Sonnemaker, Souza, Ayoade, entre outros, além da consulta a informações nos sites da Rede de Meteorologia (REDEMET), Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), Flightradar e SkyVector.

A partir da metodologia aplicada, a pesquisa segue uma estrutura de quatro seções. A primeira apresenta um panorama sobre a ZCIT, considerando as nuvens de desenvolvimento vertical, as tempestades, as rotas que a atravessam no sentido Brasil-Europa e a forma de consultar essas informações pela REDEMET. A seção seguinte descreve a metodologia adotada para a pesquisa. A terceira busca mapear parte da ZCIT, considerando a rota Brasil-Europa, o nível das formações e um horário específico, ao mesmo tempo em que analisa os resultados obtidos. Por fim, são apresentadas as considerações finais.

Ao final deste estudo, é esperado que o mapeamento demonstre uma região que possibilite o desvio da formação com segurança. Caso não seja possível, há de se estudar rotas alternativas para essa travessia.

1 PANORAMA SOBRE A ZCIT: NUVEM, TEMPESTADE E ROTAS QUE A ATRAVESSAM NO SENTIDO BRASIL-EUROPA

1.1 Nuvens Cumulonimbus e trovoadas e suas consequências ao voo de uma aeronave

Algumas nuvens são formadas na atmosfera associadas ao ar instável (agitado e turbulento). Esta instabilidade promove o desenvolvimento da nuvem na extensão vertical e tais formações podem apresentar base baixa⁴ e topo elevado, atingindo entre 50.000 e 60.000 pés. A máxima representação dessa instabilidade atmosférica é a nuvem conhecida como Cumulonimbus ou CB (BIANCHINI, 2017).

Sonnemaker (2017) considera que a nuvem CB pode apresentar sua base entre 700 e 1.500 metros e seus topos podem atingir até 35 km de altura, ficando sua média, no entanto,

⁴ É considerada base baixa a nuvem que tem sua base (início) entre 30 metros e 2 quilômetros de altura (SONNEMAKER, 2017).

entre 9 e 12 km. Os topos muitas vezes apresentam-se expandidos horizontalmente, em forma de bigorna de ferreiro, caracterizando a ocorrência de ventos superiores. O autor explica que essas nuvens se formam com o acúmulo de gotas d'água, cristais de gelo, gotas super-resfriadas e granizo e que no Brasil são comuns no verão.

Cabe ressaltar que elas podem ocorrer associadas a outras e, neste aspecto, são classificadas como CB ISOL (isoladas), quando ocorrem de forma individual; CB OCNL (ocasional), quando as CB estão bem separadas; CB FRQ (frequente), quando a separação entre estas nuvens é pouca ou nenhuma; e, por fim, CB EMBD (embutido), nos casos em que a CB está embutida em camadas de outras nuvens (MINISTÉRIO DA DEFESA, 2020).

Uma das mais relevantes consequências da nuvem CB é a produção de trovoadas (TS)⁵, que consistem em tempestades intensas que promovem um conjunto de fenômenos meteorológicos simultâneos dentro da CB. Entre estes fenômenos, podem ocorrer: relâmpagos, trovões, chuva forte, granizo, gelo tipo claro⁶, rajadas de vento, *windshear*⁷ e *microburst*⁸ (BIANCHINI, 2017).

Em razão da intensidade dessas nuvens, elas podem originar outros fenômenos correlatos e bastante violentos, como ciclones tropicais (furacões) e extratropicais (AYOADE, 2002), tornados e trombas d'água (ventos fortes de rotação intensa que podem atingir até 500 km/h, resultantes da coluna de ar descendente da CB) (AYOADE, 2002; FERREIRA, 2006; SOUZA, 2014; SONNEMAKER, 2017) e Complexos Convectivos de Mesoescala (CCM) (junção de várias TS) (FERREIRA, 2002).

Sobre as TS, também conhecidas como macrotempestades, já foram registradas cerca de 4.000 pelo globo terrestre, segundo Sonnemaker (2017). Porém, o autor ressalta que para formá-las é necessária a junção de alguns fatores, como instabilidade atmosférica, elevada umidade do ar, ação ascendente das correntes e três estágios de formação de seu ciclo de vida: cumulus, maturidade e dissipação.

Nesta evolução, o primeiro estágio é a cumulus ou formação, caracterizada pelas correntes ascendentes que transportam a umidade da superfície e toda a energia acumulada para níveis mais altos. Com a elevação, a umidade se condensará, formando a nuvem

⁵ *Thunderstorm* (TS).

⁶ O gelo claro é pesado, duro, muito aderente e de difícil remoção pelos sistemas de *deicing* da aeronave (BIANCHINI, 2017, p. 142).

⁷ *Windshear* é a mudança repentina e drástica da direção e/ou velocidade do vento em um período curto de tempo o que pode levar a aeronave a ser submetida a violentas correntes ascendentes e descendentes de ar (BIANCHINI, 2017).

⁸ *Microburst* são violentas correntes descendentes e divergentes de ar que ocorrem próximas à superfície, resultantes, principalmente, de nuvens de grande desenvolvimento vertical (BIANCHINI, 2017).

Cumulus *Humilis* (nuvem pequena e de pouco desenvolvimento vertical). O processo é contínuo e rapidamente a nuvem evolui na vertical, transformando-se em uma Cumulus *Congestus* (nuvem de grande desenvolvimento vertical), também conhecida como *Towering Cumulus* (TCU), com topos acima do nível de temperatura de zero grau Celsius (SOUZA, 2014). Segundo Bianchini (2017), esta fase dura entre 10 e 20 minutos.

O segundo estágio é o mais devastador, pois os fenômenos associados à TS atingem o ápice e duram, em média, de 15 a 30 minutos. Esta fase é iniciada pela precipitação, quando as gotas de água se tornam grandes o suficiente para que as correntes ascendentes não consigam segurá-las e, com o peso, caem. Cabe ressaltar que há o equilíbrio entre as correntes ascendentes e descendentes, sendo as descendentes tão significativas que podem deslocar-se no sentido da superfície numa razão de 2.500 pés por minuto. Além disso, a turbulência é severa ou extrema, os ventos são de rajada, há raios e relâmpagos (em consequência, trovões)⁹, a precipitação é intensa, o gelo claro e o granizo são arremessados cerca de 20 milhas náuticas fora da nuvem e existe a possibilidade de *microburst* e *windshear* (BIANCHINI, 2017).

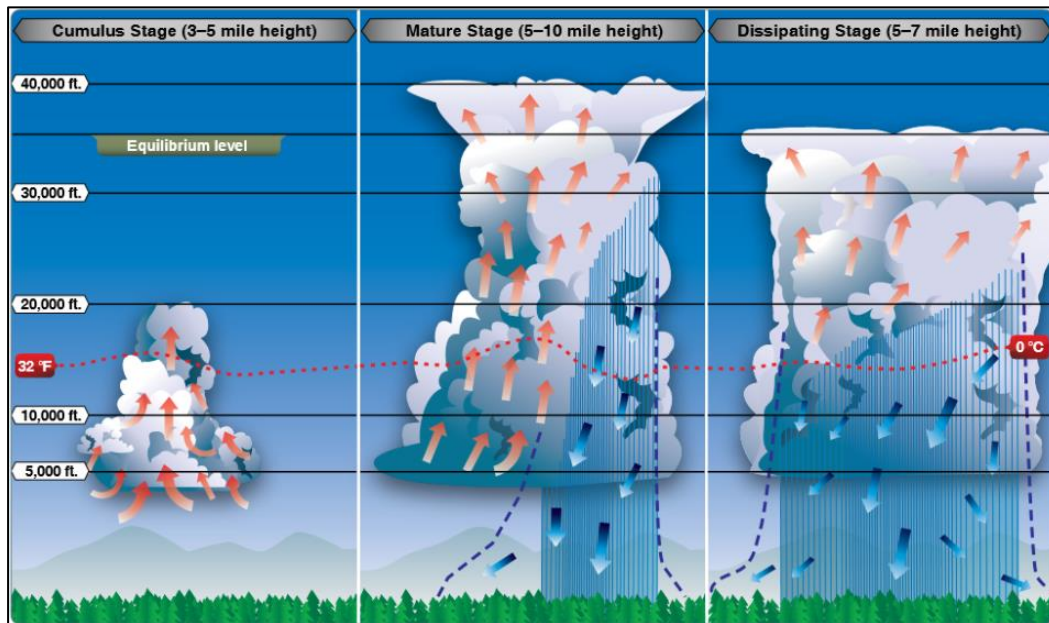
No terceiro estágio, o de dissipação, predominam correntes descendentes e a precipitação vai cessando de forma gradual. Assim, o nível mais baixo da nuvem começa a expandir-se horizontalmente (estratiforme) e o seu topo toma forma de bigorna. A turbulência se torna menos intensa e os ventos de rajada começam a desaparecer. Para dissipar, a nuvem promove expansões laterais, o que dura, em média, de 10 a 30 minutos (SONNEMAKER, 2017).

Cabe ressaltar que o limite entre os estágios de maturidade e de dissipação são difíceis de serem estabelecidos, todavia, Souza (2014) frisa que a dissipação começa quando a perda de energia é maior do que o ganho pela convecção; ademais, indícios visuais são passíveis de observação e incluem a visualização do topo em forma de bigorna, de relâmpagos na horizontal, da ausência de rajadas de vento à superfície e da precipitação uniforme.

A Figura 1 a seguir ilustra o ciclo de vida de uma TS (três estágios), considerando bases, topos, formas, correntes ascendentes e descendentes, precipitação, extensão e nível de formação de gelo:

⁹ Raio é a descarga súbita e visível da eletricidade produzida em resposta à intensificação da atividade elétrica existente entre nuvens, solo e atmosfera. Relâmpago é a manifestação luminosa que acompanha as descargas elétricas naturais verificadas entre nuvens, solo e ar. Trovões representam as ondas sonoras geradas pelo movimento das cargas elétricas (raios) na atmosfera (BIANCHINI, 2017).

Figura 1 – Ciclo de vida de uma trovoadá



Fonte: FAA (2016).

Em razão de todos os fenômenos provocados na TS, originados da nuvem CB, Souza (2014) considera que, à exceção do estágio de dissipação, o voo dentro ou próximo da formação não é seguro e que na fase de maturidade é praticamente impossível voar devido, principalmente, às correntes descendentes (*microburst*), sempre presentes. Por este motivo, o autor ressalta a necessidade do uso de radar meteorológico a bordo quando voando dentro ou próximo de TS para manter o mínimo de segurança.

Bianchini (2017) complementa advertindo que voar dentro ou muito próximo a este tipo de nuvem é perigoso, e, portanto, o piloto deve evitá-la de qualquer maneira e monitorá-la de forma constante. A ANAC (2021), na mesma linha, enfatiza que o voo nas proximidades da nuvem CB pode oferecer elevado risco em função das turbulências severas que podem levar à aeronave a passar por acelerações verticais superiores a oito metros por segundo ao quadrado quando voando nestas áreas.

À vista disso, é obrigação do piloto, ao se preparar para um voo, adotar no seu planejamento um estudo meteorológico amplo (*briefing* ou *apronto meteorológico*). Caso seja constatada a presença de trovoadas nos aeródromos envolvidos ou durante a rota, compete ao piloto traçar a melhor estratégia para evitá-las ou reduzir seus efeitos. Entre estas estratégias

estão: o atraso na saída, desvios laterais, espera em voo ou pouso no aeroporto de alternativa¹⁰ (BIANCHINI, 2017).

Vale aqui um breve estudo sobre estas estratégias voltadas à decolagem, voo em rota e aproximação. De acordo com Bianchini (2017), caso o piloto perceba que há TS na vertical do aeródromo ou na trajetória de saída, é razoável atrasar a decolagem, pois trovoadas próximas ao aeroporto podem conter *windshear*, o que trará sérios riscos ao voo devido à dificuldade de manter a atitude de subida.

O mesmo autor reforça a necessidade de realizar desvios quando a TS é encontrada em rota. O piloto deve, nesse caso, manter a aeronave a pelo menos 20 milhas náuticas distante do núcleo da CB, em razão do granizo e do gelo produzidos pela tempestade. Este desvio deve ser realizado no sentido contrário ao vento e à bigorna, pois nesta região há menos probabilidade de granizos atingirem a aeronave. Acrescenta-se que para efetuar o desvio, as informações exibidas pelo radar meteorológico são fundamentais. Outra medida destacada pela ANAC (2021) para minimizar os efeitos da turbulência e do granizo é manter uma separação vertical com a nuvem de pelo menos 5.000 pés, quando possível.

O piloto também pode consultar um código meteorológico destinado aos voos em rota, conhecido como SIGMET¹¹, que, entre outras informações, mostra condições de TS, gelo, turbulência e outros fenômenos meteorológicos, bem como destaca em um mapa as áreas afetadas por tais condições. Também é possível consultar os locais onde há formação de tempestades por meio do Sistema de Tempo Severo Convectivo (STSC), com o objetivo de fornecer a localização e o monitoramento CB. Tanto o SIGMET quanto o STSC estão disponíveis para consulta na rede de meteorologia do DECEA (ANAC, 2021).

Na fase de aproximação e pouso, caso o piloto receba a informação de que o aeroporto está fechado em razão da presença de nuvem CB, ele terá duas opções. A primeira consiste em realizar um procedimento de espera que deverá durar poucos minutos, quando o estágio da nuvem já for de maturidade ou dissipação e quando se tratar de apenas uma célula de CB. Para esta avaliação, o piloto analisa a nuvem pelo radar. Por outro lado, se no aeródromo está presente uma linha de instabilidade (conjunto multicelular de nuvens CB), a condição adversa irá perdurar por mais tempo, levando à uma avaliação mais criteriosa do comandante da

¹⁰ Aeroporto indicado no plano de voo para pouso alternativo do piloto, caso o de destino não esteja em condições de aterrissagem.

¹¹ Este código identifica a informação emitida por um órgão de vigilância meteorológica relativa à existência, real ou prevista, de fenômenos meteorológicos em rotas especificadas e que possam afetar a segurança das operações de aeronaves (ANAC, 2021).

aeronave, que deve considerar a autonomia do avião e o tipo de TS. Nestes casos, deve-se avaliar a possibilidade de prosseguir para o aeródromo de alternativa (BIANCHINI, 2017),

Em última análise, a ANAC (2021) reforça que em menos de 45 minutos a nuvem CB pode se formar e dissipar e, com isto em vista, é provável que no momento do pré-voo (*briefing* ou apronto meteorológico) realizado antes das etapas planejadas, essa formação não seja detectada pelo radar de terra, o que exigirá maior atenção da tripulação, que deve estar preparada para esta adversidade, ainda que não haja indícios antes do voo.

Do exposto, observa-se a necessidade de conhecer os locais que podem originar trovoadas e resultar em desvios de rota das aeronaves. O item a seguir discute uma das áreas mais propícias para a formação de tempestades, a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT)¹².

1.2 Zona de Convergência Intertropical e seus fenômenos meteorológicos

O ar que circula o globo terrestre tende ao equilíbrio e isto se deve, principalmente, à relação estabelecida entre temperatura, densidade e pressão atmosféricas. Na atmosfera, considerada um ambiente aberto, quando a temperatura do ar aumenta (na troposfera)¹³, a pressão e a densidade atmosféricas diminuem. Similarmente, o ar frio promove o aumento da densidade e da pressão (SOUZA, 2012; SONNEMAKER, 2017).

A partir dessa relação, segundo Souza (2012) e Sonemmaker (2017), o ar quente se torna mais leve e menos denso, com a tendência de se elevar na atmosfera, enquanto o ar frio, mais denso e mais pesado, desce. Isto posto, os autores ressaltam duas regiões de características distintas no globo terrestre, o Equador, considerado quente, úmido, menos denso e de menor pressão, e os polos, associados ao ar frio, seco, mais denso e de maior pressão.

À vista disso, importante retomar que a questão do equilíbrio, já mencionada, remete a dois parâmetros significativos da atmosfera, quais sejam, temperatura e pressão, que resultam nos equilíbrios térmico e bórico, respectivamente. O equilíbrio térmico ocorre quando o corpo mais aquecido cede calor ao menos aquecido e o equilíbrio bórico acontece como resultado da equalização das pressões do ar que tendem a gerar um fluxo da alta para a baixa pressão (Equador) (SONNEMAKER, 2017).

¹² *International Tropical Convergence Zone (ITCZ)*.

¹³ Troposfera é a camada mais baixa da atmosfera, onde ocorre a maior parte dos fenômenos meteorológicos, se estendendo da superfície até, aproximadamente, 19 km de altura sobre o Equador (SONNEMAKER, 2017).

Assim, a região em torno do Equador absorve mais energia solar do que a polar. Como resultado, o ar equatorial torna-se mais quente e eleva-se para altos níveis. À medida que sobe, por ser mau condutor de calor, resfria-se e desce em direção aos polos. Por outro lado, os polos, com menor insolação, são mais frios e com maior pressão, devendo, portanto, produzir um fluxo de ar em direção ao Equador. Este processo é conhecido como circulação geral da atmosfera (BIANCHINI, 2017).

Para Ayoade (2002, p. 80), a circulação geral da atmosfera é [...] o movimento em larga escala no tempo e no espaço [...]. Segundo a autor, ela é controlada pelos seguintes fatores: desequilíbrio de radiação (lugares com excesso de energia e outros com falta); umidade (excesso de umidade nas baixas latitudes que são transportadas para as altas); *momentum* angular da Terra¹⁴; e a diferença das massas de ar entre as baixas e altas latitudes.

Bianchini (2017) destaca que a circulação geral da atmosfera está dividida em três células por hemisfério, conhecidas como célula Hadley, Ferrel e polar, assim conceituadas:

- *célula Hadley (célula tropical)*: o ar quente da região equatorial se eleva até atingir a tropopausa, que funciona como uma barreira vertical para a movimentação do ar, fazendo com que ele passe a se mover na direção dos polos. Devido à força de Coriolis o ar se desviará para a direita no hemisfério norte e para a esquerda no hemisfério sul. Quando condensado, o ar quente desta região pode formar grandes cumulus (nuvens com grande desenvolvimento vertical). A célula Hadley fica localizada entre as latitudes 0° e 30° de cada hemisfério.

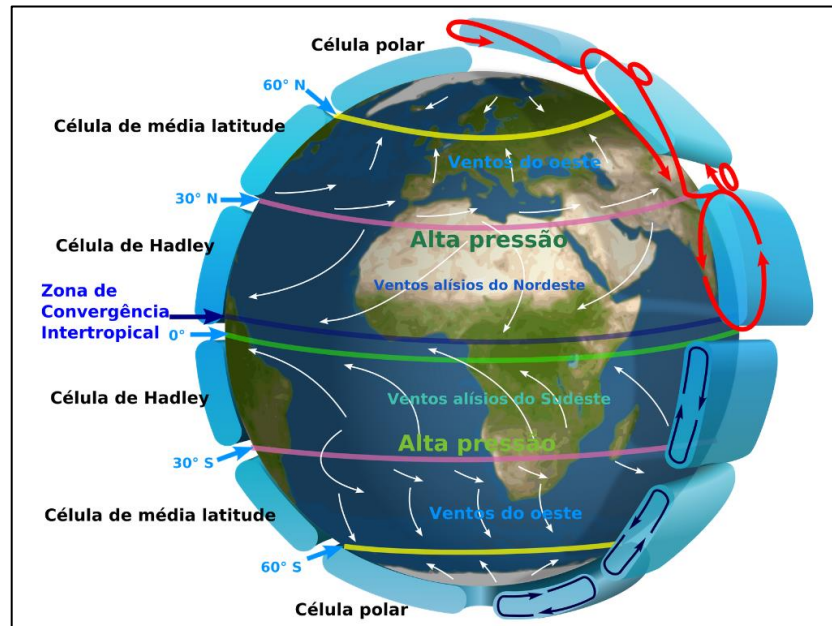
- *célula Ferrel (célula de latitudes médias)*: nesta célula o ar flui no sentido dos polos nos níveis inferiores e no sentido do Equador nos níveis superiores. Aproximadamente na latitude 30° o ar vindo do Equador, no sentido dos polos, se resfria o suficiente para cair e descer de volta à superfície, quando então passa a se dirigir em direção aos polos em níveis mais baixos. A célula Ferrel fica localizada entre as latitudes 30° e 60° de cada hemisfério.

- *célula polar*: o ar desloca-se dos polos em direção aos trópicos, onde se aquece e retorna novamente aos polos em níveis superiores. A célula polar fica localizada entre as latitudes 60° e 90° de cada hemisfério (BIANCHINI, 2017, p. 67).

A Figura 2 a seguir apresenta a distribuição dessas células ao longo do globo terrestre:

¹⁴ Ou momento angular: a unidade de massa de um corpo que gira em torno de um eixo fixo é proporcional à sua velocidade e a sua distância do eixo de rotação. Com a Terra e a atmosfera girando uniformemente, há conservação do momento angular, isto é, o momento angular total permanece constante (AYOADE, 2002, p. 80).

Figura 2 – Distribuição global das células Hadley, Ferrel e polar que compõem a circulação geral da atmosfera e de seus ventos correlatos



Fonte: Moura (2019).

Observa-se, por meio da Figura 2, que os cinturões (células) da circulação geral da atmosfera são compostos por três tipos de ventos: os alísios (latitudes tropicais), os de oeste (médias latitudes) e os polares (fluem nas latitudes polares). Tal conjunto de ventos atua no sentido de transferir calor e umidade da região tropical para as médias e altas latitudes (MASTER, 2010; BIANCHINI, 2017; SONNEMAKER, 2017).

Nesse sentido, de acordo com Master (2010), os ventos alísios de sudeste, vindos do Hemisfério Sul (HS), e os ventos alísios de nordeste, vindos do Hemisfério Norte (HN), convergem em níveis baixos. A elevação desses ventos provoca o resfriamento em níveis mais altos, perdendo toda sua umidade por condensação e precipitação. Esse fenômeno ocorrerá em uma altitude em sentido ao contrário dos ventos alísios até a zona dos cinturões anticiclônicos. Ocorre, assim, a separação espontânea de um sólido para o líquido, formando novamente os alísios e retomando o processo dos ventos que fluem nas células de Hadley.

Neste sentido, verifica-se, também a teor do ilustrado na Figura 2, que a circulação (vento, umidade, temperatura) das duas células de Hadley atuam tanto nos trópicos quanto próximas ao Equador, e isto irá produzir algumas consequências meteorológicas nestas regiões.

Cabe, aqui, um adendo sobre essas células tropicais. A origem do nome está associada a George Hadley e, segundo Moura (2019), esta célula corresponde a uma das maiores

encontrada ao longo do Equador. É nesta região que se observam os ventos alísios (Figura 2) fluindo em direção ao Equador nos dois hemisférios que, ao se encontrarem, convergem e ascendem formando uma linha de nuvens de tempestades, conhecida como Zona de Convergência Intertropical ou ZCIT.

Do mesmo ponto de vista, Ferreira (2006) entende que essa Zona resulta da convergência dos ventos de ambos os hemisférios no sentido do Equador, desenvolvendo várias nuvens convectivas, o que origina uma banda de nebulosidade sobre toda a região, com uma largura de até 500 km (a ZCIT). O autor ressalta que a ZCIT não é contínua e passa por interrupções e quebras, principalmente sobre os continentes, sendo mais definida e intensa sobre os oceanos, sempre acompanhada de mau tempo.

Em razão de sua localização associada diretamente no ramo ascendente da célula de Hadley, a ZCIT atua no sentido de transferir calor e umidade dos níveis inferiores da atmosfera das regiões tropicais para os níveis superiores da troposfera e para médias e altas latitudes, o que resulta em uma região de baixa pressão e fonte principal de precipitação e mau tempo nos trópicos, com a formação de nuvens CB (MASTER, 2010, SONNEMAKER, 2017; BIANCHINI, 2017).

Assim, fenômenos típicos dessa região acontecem devido à sua localização. Master (2010) acrescenta afirmando a ZCIT está inserida em uma região específica onde ocorre a interação de características marcantes atmosféricas e oceânicas: zona de confluência dos Alísios; zona de máxima temperatura da superfície do mar; zona de máxima convergência de massa; zona do cavado equatorial; e zona de máxima cobertura de nuvens convectivas de crescimento vertical. Todos esses fenômenos interagem próximo à faixa equatorial, mas não necessariamente ao mesmo tempo, nem sobre as mesmas latitudes.

Em razão de estes eventos estarem interligados diretamente a ZCIT, fenômenos significativos ocorrem. Neste sentido, para localizar e identificar a intensidade da ZCIT são usadas diferentes variáveis físicas, sendo as principais delas: cobertura de nuvens; componente meridional do vento; pressão ao nível médio do mar; radiação de onda longa; e brilho e Temperatura da Superfície do Mar (TSM). Vistas por satélites, são encontradas facilmente pela sua constante formação (MASTER, 2010).

De acordo com a Meteorologia Aplicada a Sistemas de Tempo Regionais (MASTER, 2010), a ZCIT é considerada um dos mais importantes sistemas meteorológicos atuando nos trópicos, devido à sua estrutura física. Para a MetSul Meteorologia (2015), ela apresenta diferentes condições de tempo e de clima em diversas áreas da região tropical do planeta, condições estas já expostas.

À vista disso, é importante conhecer sobre o espaço aéreo brasileiro e as rotas aéreas que saem do Brasil e passam pela ZCIT, assunto desenvolvido no próximo item.

1.3 Rota Brasil-Europa e sua passagem pela Zona de Convergência Intertropical

O espaço aéreo de um país é a porção da atmosfera que se sobrepõe ao seu território sendo de sua responsabilidade a gestão desse espaço. No Brasil, o espaço aéreo se estende sobre seu território continental e alcança uma parte do Oceano Atlântico, totalizando uma extensa área de aproximadamente 22 milhões de Km². O controle de todo esse espaço aéreo se torna um desafio e uma atribuição estratégica e de segurança nacional (DECEA, 2016).

A organização do Comando da Aeronáutica responsável pelo controle da área de responsabilidade do Brasil (espaço aéreo) é o DECEA, que tem a função de prover segurança e os fluxos dos voos, além de disponibilizar e reunir equipamentos, meios acessórios, infraestrutura e recursos humanos para executar suas atividades. Devido à extensão do espaço aéreo brasileiro, para o controle do fluxo do tráfego aéreo nacional, o DECEA conta com quatro órgãos a ele subordinados, conhecidos como Centro Integrado de Defesa Aérea e Controle de Tráfego Aéreo (CINDACTA), divididos em I, II, III e IV, cada um tendo por responsabilidade gerenciar uma região de informação de voo (FIR)¹⁵.

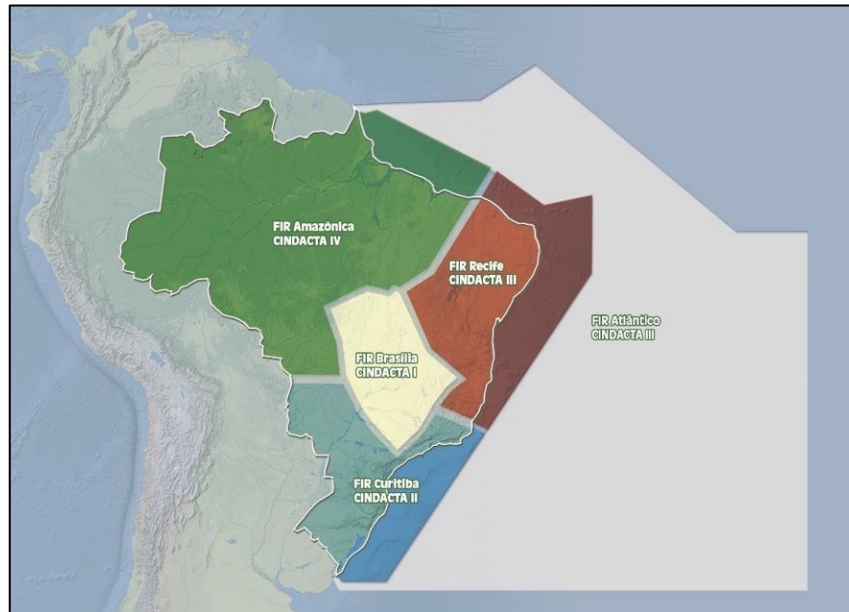
No Brasil existem cinco FIRs: Brasília (SBBS), Curitiba (SBCW), Amazônica (SBAZ), Recife (SBRE) e Atlântico (SBAO), porém, apenas quatro delas operam CINDACTA. O Quadro 1 e a Figura 2 a seguir demonstram a jurisdição das FIRs e dos CINDACTAS:

Quadro 1 – Responsabilidade dos CINDACTAS por FIR e região

CINDACTA	FIR	Região do Brasil
I	Brasília	Central
II	Curitiba	Sul e Centro-sul
III	Recife e Atlântico	Nordeste e área no Atlântico
IV	Amazônica	Amazônica

Fonte: elaborado pelas autoras (2022).

¹⁵ *Flight Information Region.*

Figura 3 – Distribuição dos CINDACTAS no Brasil

Fonte: DECEA (2022a).

Além do CINDACTA, existe um Centro de Controle do Espaço Aéreo Sudeste (CRCEA-SE) que controla uma área de maior fluxo no Brasil, os terminais de São Paulo e Rio de Janeiro. Com a demanda alta nos aeródromos e setores de controle, uma outra unidade foi criada, o Centro de Gerenciamento da Navegação (CGNA), com intuito de agilizar o fluxo em caso de necessidade (DECEA, 2022b).

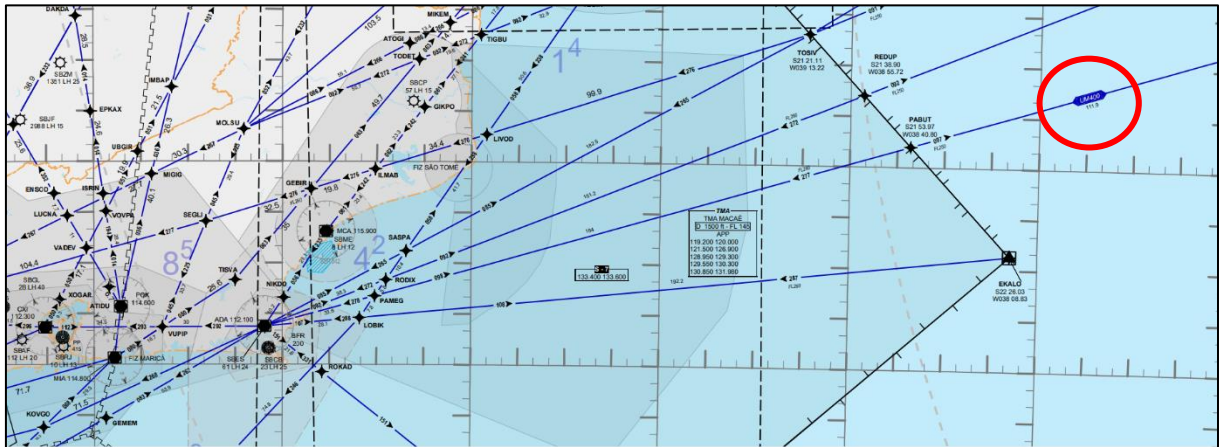
Entretanto, além da estrutura, para que a navegação flua ela é exercida com base em orientações de instrumentos e dispositivos que norteiam o voo das aeronaves, conforme rotas, procedimentos e planos de voo preestabelecidos. “O DECEA provê esses meios, sem os quais seria impossível a existência de um grande fluxo de tráfego aéreo, como o atual, sobretudo, no que tange às chegadas e às saídas dos aeroportos”. Vale ressaltar que esses sistemas e dispositivos que dão suporte à navegação aérea estão distribuídos ao longo de toda a extensão do território nacional (DECEA, 2022c).

A respeito das rotas, importante destacar que os voos são conduzidos em aéreas conhecidas como aerovias. De acordo com o Ministério da Defesa (2016), aerovia é uma Área de Controle¹⁶, ou parte dela, disposta em forma de corredor. Tais aerovias são disponibilizadas para voos em níveis inferiores e superiores, com limites laterais e verticais, e

¹⁶ Espaço aéreo controlado que se estende para cima a partir de um limite especificado sobre o terreno. O conceito de Área de Controle abrange, além das aerovias, a Área de Controle Terminal (TMA) (MINISTÉRIO DA DEFESA, 2016).

estão plotadas nas cartas aeronáuticas conhecidas como Cartas de Rota (ENRC)¹⁷. Estas cartas estão disponíveis para consulta pelo site AIS. A Figura 4 é um fragmento da carta de rota do espaço aéreo superior, intitulada H2:

Figura 4 – Fragmento da carta de rota (ENRC) H4



Fonte: AISWEB (2022).

Na Figura 4, as linhas azuis representam as aerovias superiores que fluem sobre o continente e sobre o Oceano Atlântico, traçadas para uma parte do sudeste brasileiro e outras áreas do espaço aéreo. No exemplo, tem-se a aerovia superior UM400 (circulada em vermelho), entre outras. Logo, entende-se que a navegação e as aerovias no Brasil são organizadas, separadas e controladas.

No que se refere às rotas, a primeira que ligou o Brasil à Europa tinha como partida o Rio de Janeiro e como destinos Lisboa, Madrid, Monróvia, Ilha do Sal, Dakar, entre outras localidades, muitos desses destinos até hoje existentes. Porém, devido à sua extensão, a autonomia das aeronaves na época por vezes não permitia que chegassem até o seu destino final, o que as levava a cumprir escalas no continente africano para reabastecimento. A VARIG assumiu esses destinos em fevereiro de 1965 (VARIG, s.d.).

As rotas podem ser traçadas com o auxílio do site SkyVector¹⁸. Para verificar o rumo, é necessário acessar o site e clicar no aeródromo de saída e, em seguida, selecionar a opção “plan”. Ao fazer isso, uma caixa de diálogo será aberta e nela devem-se informar a aeronave,

¹⁷ *Enroute Chart*.

¹⁸ O SkyVector é a principal fornecedora de cartas aeronáuticas mundiais, mapeamento *online* e produtos e serviços de planejamento de voo relacionados. Por meio de seu conjunto de planejamento de voo, o site combina o mapeamento aeronáutico com sobreposições de dados e clima, informações de aeroportos, entre outros elementos (SKYVECTOR, 2022).

o nível de voo pretendido, a velocidade, autonomia, o aeródromo de destino, entre outros elementos; ao final do processo, a rota será apresentada (SKYVECTOR, 2022).

A rota Brasil-Europa (e vice-versa) utiliza, por exemplo, os cursos 27, 28 graus, entre outros. Além disso, os níveis de voo das aeronaves comerciais podem atingir o FL400 (dependendo da aeronave) e isto pode ser visualizado em tempo real pelo aplicativo Flightradar¹⁹ (2022), conforme se verifica na Figura 5.

Figura 5 – Visualização de voos e rotas em tempo real pelo *Flightradar 24*



Fonte: Flightradar (2022).

Pela Figura 5, observa-se que as aeronaves nesta rota em direção ao Brasil passam pela ZCIT. O outro sentido da rota também expressa a mesma passagem e, normalmente, ocorre no período noturno. Este fluxo entre os continentes flui diariamente durante o ano todo.

Como mencionado, para voar é obrigação do piloto executar o planejamento meteorológico antes do voo. Para isso, o Comando da Aeronáutica (COMAER), por meio do DECEA, disponibiliza um site com essa finalidade. O estudo sobre esta ferramenta é realizado a seguir.

1.4 REDEMET e as cartas de previsão do tempo

¹⁹ Flightradar24 é um serviço global de rastreamento de voos que fornece informações em tempo real sobre milhares de aeronaves em todo o mundo (FLIGHTRADAR, 2022).

No Brasil, a divulgação das informações meteorológicas destinadas à aviação procede da Rede de Meteorologia do Comando da Aeronáutica (REDEMET), um site de consulta pública mantido e atualizado pelo DECEA. A REDEMET prioriza o acesso rápido, eficiente e seguro. Diversos órgãos nacionais e internacionais cooperam com o meio oficial do COMAER, que divulga tais informações (DECEA, 2019).

São utilizados pela REDEMET alguns recursos gráficos e, principalmente, o georreferenciamento. O georreferenciamento facilita a identificação de fenômenos meteorológicos que interferem na navegação aérea. Assim, os usuários têm as informações direcionadas para o exato local onde está acontecendo o fenômeno no mapa. A classificação dos produtos é por cores e plotados no mapa georreferenciado (DECEA, 2019).

A tela inicial apresenta os serviços, conforme o mapa do site: aeródromos, satélite, radares, SIGMET, Tempo Severo Convectivo (TSC), plotagens, produtos e facilidades. Na aba “Produtos”, constam os *links* para cartas, mensagens, METAR, modelagem, satélite e radares. Na aba “Facilidades”, são apresentados os artigos, Centro Cinzas, cobertura VOLMET, decode METAR, glossário e publicações de Meteorologia (DECEA, 2022d).

É possível ainda ter acesso às cartas disponíveis no site e entre as opções estão: Cartas Auxiliares, cartas de Vento e as Cartas de Previsão de Fenômenos (SIGWX)²⁰. As Cartas Auxiliares identificam os níveis de pressão atmosférica conforme a distribuição por período do dia. As cartas de superfície demonstram as pressões atmosféricas e os fenômenos meteorológicos delas decorrentes. Já as cartas de vento são encontradas na mesma plataforma, ao lado direito na tela, postadas a cada seis horas para os FL050, FL100, FL180, FL240, FL300, FL340, FL390, FL450 e FL630 (REDEMET, 2022d).

As SIGWX apresentam as previsões de tempo significativo identificando os fenômenos meteorológicos por meio de símbolos e siglas. Tais informações pautam-se em horários sinóticos (de seis em seis horas) e são atualizadas conforme a necessidade. Importante ressaltar que as SIGWX se destinam ao Brasil, Américas e Europa, compreendendo, respectivamente, os níveis da superfície até o FL250, do FL250 ao FL630 e do FL100 ao 400. Estas cartas fornecem previsões sobre tempestades, nuvens e seu desenvolvimento; ventos; centro de pressões, entre outras condições meteorológicas (REDEMET, 2022d).

²⁰ *Significant Weather.*

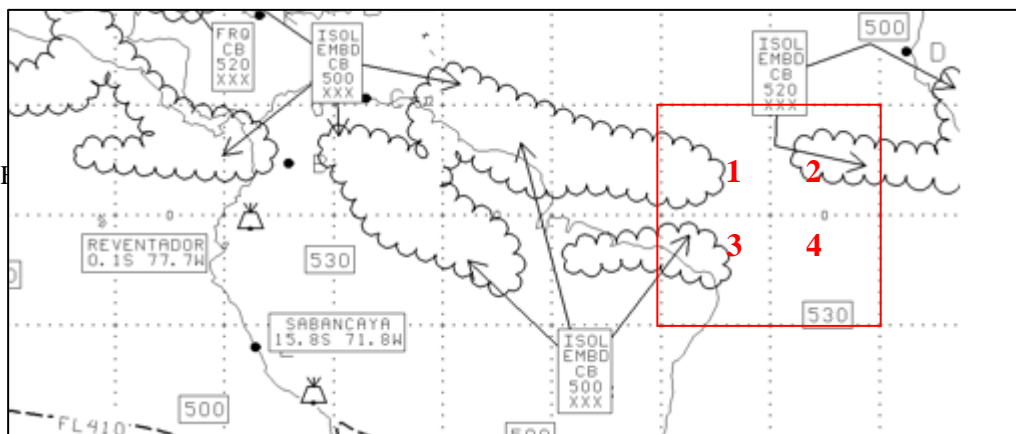
Por fim, o piloto pode consultar todas as informações disponíveis em um único ambiente no site e fazer seu planejamento meteorológico. Ao optar pelo “Planeje seu Voo”, o piloto preenche os dados que geram um documento em PDF, com observações e previsões meteorológicas, contendo informações indispensáveis para um voo seguro e eficiente, geradas antes da partida (DECEA, 2022d).

2 METODOLOGIA

Para esta pesquisa, optou-se por utilizar as cartas SIGWX disponíveis na REDEMET, isto é, adotar esses documentos como procedimentos de estudo. A esse respeito, Marconi e Lakatos (2013) entendem que este método de pesquisa trabalha com documentos que se classificam principalmente por indexação, baseando-se em matérias que nunca receberam tratamento analítico, deixando-as em aberto para reelaboração, conforme os objetivos da pesquisa.

As cartas da SIGWX selecionadas abrangeram o período entre primeiro de janeiro de 2012 e 31 de dezembro de 2021 e, assim, foi realizado um mapeamento de 10 anos. Com o intuito de verificar a ocorrência e frequência de nuvens CB, selecionaram-se as coordenadas de 10 graus de latitude norte e 10 graus de latitude sul, 40 graus e 20 graus do lado oeste, resultando em quatro quadrantes, indicados pelos números 1, 2, 3 e 4, destacados em vermelho na Figura 6 a seguir:

Figura 6 – Seleção dos quadrantes da pesquisa



Fonte: REDEMT (2022d).

À vista disso, a SIGWX adotada foi a carta norte-americana (FL250 ao 630), disponível para às 18 horas UTC²¹ em função da dinâmica atmosférica ao final da tarde e início da noite.

3 MAPEAMENTO DA FORMAÇÃO DE NUVENS DE TEMPESTADES NA ZCIT ENTRE 2012 E 2021

A partir da seleção e análise das cartas SIGWX disponibilizadas para o período e horário selecionados, foi possível construir tabelas que demonstrassem os resultados das ocorrências de nuvens CB de forma mensal, considerando todos os dias no mês. Como exemplo dessa estruturação, tem-se a Tabela 1 que apresenta os dados catalogados para o mês de janeiro de 2012, os quais identificam o tipo de CB, os quadrantes e o FL (topo), conforme se verifica a seguir:

Tabela 1 – Resultado da frequência de CB na ITCZ do mês de janeiro de 2012

Dias	CB	Quadrante	FL
1	ISOL/EMB	1/2	420
2	ISO / EMB	1/2	450
3	ISO / EMB	1/2	420
4	ISO / EMB	1	420
5	OCNL	1	480
6	ISO / EMB	2/4	440
7	ISO / EMB	2	450
8	ISO / EMB	1/2	420
9	ISO / EMB	1/2	450
10	ISO / EMB	1	430
11	ISO / EMB	2	380
12	ISO / EMB	1	420
13	-	-	-
14	ISO / EMB	1	450
15	ISO / EMB	1	480
16	ISO / EMB	1/3	460/420
17	ISO / EMB	4	460
18	ISO / EMB	3/4	450
19	ISO / EMB	1/2/4	530
20	ISO / EMB	1/2/3/4	520
21	ISO / EMB	1/3	520
22	ISO / EMB	1/3	530
23	ISO / EMB	1/2	500
24	ISO / EMB	1/2	460/480
25	ISO / EMB	1/2/3/4	480
26	ISO / EMB	1/2	480
27	ISO / EMB	1/3	480
28	ISO / EMB	1/2	480

²¹ Tal horário é adotado em termos sinóticos, isto é, utilizam a o Tempo Universal Coordenado (UTC) que corresponde à hora que está no meridiano de Greenwich, conhecido como meridiano zero.

29	ISO / EMB	1/2	450
30	ISO / EMB	1	420
31	ISO / EMB	1	420
TOTAL	30	1/2	

Fonte: elaborada pelas autoras (2022).

A partir dos dados apresentados na Tabela 1, é possível perceber que apenas em um dia do mês de janeiro de 2012 não ocorreu nuvem CB e que os quadrantes mais afetados pelas formações foram o 1 e o 2. Além disso, a média do topo da formação é no nível 480, sendo que os mais baixos ocorreram no FL420 e o mais elevado foi o 530.

Seguindo essa linha, o mesmo procedimento foi adotado para todos os meses, compilando-se os dados mensais para o ano. A Tabela 2 resume as ocorrências para o ano de 2012, com base nos dados mensais.

Tabela 2 – Resultados do ano de 2012

Mês	CB/dia	OCNL	FL -	FL +	Ausente
1	28	1	420	530	1
2	26	1	420	520	2
3	31	3	400	530	0
4	30	2	450	540	0
5	28	1	400	530	3
6	26	2	400	550	3
7	29	4	430	530	1
8	30	5	380	520	2
9	26	2	450	530	4
10	30	4	450	550	1
11	30	4	420	520	2
12	29	2	400	530	2
TOTAL	343	31	380	550	21

Fonte: elaborada pelas autoras (2022).

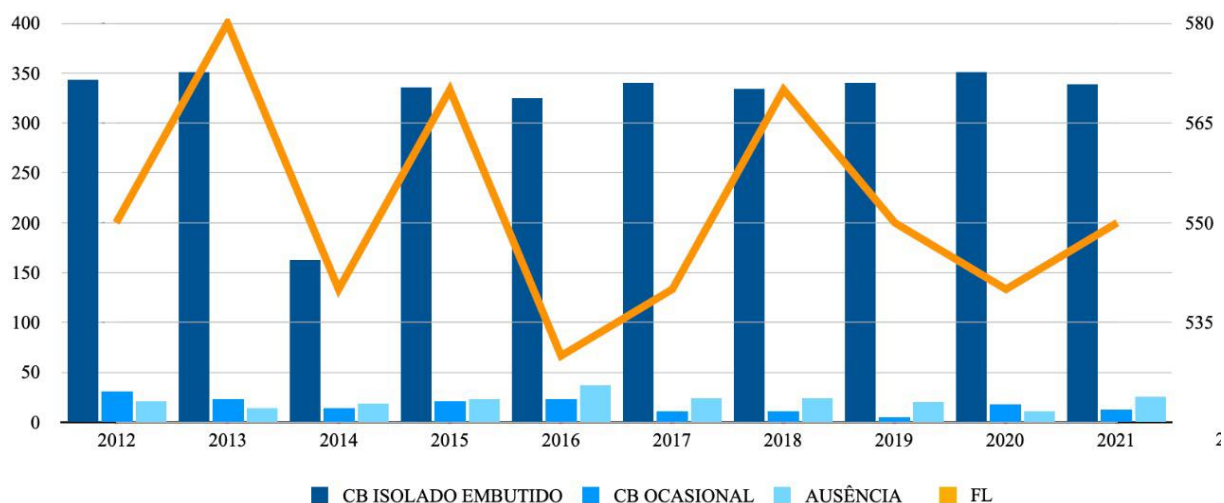
Como a Tabela 2 compila todos os meses do ano de 2012, nota-se que de 365 dias, em 343 registrou-se a formação de CB isolada embutida e em 31 dias do mesmo ano houve CB ocasional. Além disso, verifica-se que o maior topo da formação de CB alcançou o FL550 e o menor nível esteve no FL380. Durante o ano, apenas 21 dias não apresentaram formações significativas na ZCIT para o horário observado.

A partir dos exemplos das Tabela 1 e 2, os outros meses e anos foram catalogados da mesma forma. Como resultado, foram construídas 120 tabelas mensais e compiladas 10 tabelas anuais. Vale ressaltar que no ano de 2014 as informações não foram coletadas

mensalmente devido a uma falha no site da REDEMET, que indisponibilizou as cartas entre 15 de fevereiro e 31 de julho. Em consequência, para o ano de 2014, os resultados apresentam uma queda em relação aos demais.

Com base nos dados anuais, foi construído o Gráfico 1, a seguir:

Gráfico 1 – Resultados da ocorrência de CB entre janeiro de 2012 e dezembro de 2021



Fonte: elaborado pelas autoras (2022).

Sobre os dados apresentados no Gráfico 1, pode-se notar que a formação de nuvens CB, na região explorada, esteve presente em quase todos os dias no ano (os dias estão indicados na coluna à esquerda, de zero a 400), sendo ausente em poucos períodos. Quanto ao topo da formação (indicado na coluna à direita do gráfico), o maior foi o FL580, registrado em 2013, e o mais baixo ocorreu no FL310, verificado em 2016.

Neste sentido, o alto nível atmosférico das CB observado no levantamento e na análise dos dados confirmam os aspectos descritos por Bianchini (2017) e Sonnemaker (2017), que ressaltam a elevação expressiva dessas nuvens. Ademais, a frequente ocorrência de CB na ZCIT demonstrada pelo estudo é corroborada por Moura (2019), Ferreira (2006), Master (2010), Sonnemaker (2017) e Bianchini (2017), que indicam se tratar de uma região que promove o constante mau tempo, principalmente sobre o oceano.

Pelo Gráfico 1 também é possível inferir que os anos de maior ocorrência de CB isolado embutido foram os de 2013 e 2020, ao passo que a maior frequência de CB ocasional foi registrada em 2016. Cabe ressaltar que durante a observação dos dados, os fenômenos foram imprevisíveis, e a sua frequência não foi verificada para os mesmos dias de cada mês em relação aos anos subsequentes, ainda que tenham alta frequência.

A este respeito, o fato de a região ser caracterizada pela instabilidade atmosférica mencionada por Bianchini (2017) e Sonnemaker (2017), para a formação da nuvem será necessário um conjunto de condições propícias, além do ar instável, a saber: baixa pressão, alta umidade e alta temperatura. Assim, a CB se formará se a relação entre estes parâmetros ocorrer de forma harmônica, o que nem sempre pode acontecer nos mesmos dias e horários.

À vista disso, o horário mais frequente para a formação da nuvem percebido no estudo foi entre às 18UTC e as 23:45 (UTC). Esse período tem como referência a alta temperatura necessária para a formação da CB (BIANCHINI, 2017), pois é necessário o acúmulo de energia para promover correntes ascendentes.

Já os períodos, de todos os anos, que apresentaram maior recorrência da nuvem CB foram os meses de dezembro e janeiro, época de verão no hemisfério sul. De acordo com Sonnemaker (2017), esse período sazonal é propício para a alta temperatura e umidade.

Sobre os quatro quadrantes investigados e a recorrente formação da CB sobre eles, sob a influência da célula de Hadley e da ZCIT (BIANCHINI, 2017), a convergência dos ventos e da umidade favorecem formações de desenvolvimento vertical e de tempestades (MASTER, 2010). Destarte, constatou-se que 88,27% dos dias apresentaram formação de CB nos quadrantes analisados, sendo que as nuvens isoladas embutidas (CB ISOL EMBD) ocorreram em 3.222 dias, estando ausente em 216, enquanto as ocasionais (CB OCNL) estiveram presentes em 170 dias.

Entre os quadrantes analisados, os de maior frequência da CB foram o 1 e o 2, se comparados ao 3 e 4. Ao se observar estas regiões pelo Flightradar (2022), há rotas entre o Brasil e a Europa que passam justamente nesta localidade. Diante esse fato, sugerem-se algumas ações. A primeira está relacionada ao reforço do uso de radar meteorológico (SOUZA, 2014; BIANCHINI, 2017). A segunda reflete sempre a necessidade do planejamento, sobretudo com atenção à rota voada e à separação horizontal e vertical (BIANCHINI, 2017; ANAC, 2021), além da consulta à REDEMET (ANAC, 2021; DECEA, 2022).

Em última análise, os dados sugerem que como os quadrantes 1 e 2 foram os mais assolados pela formação de nuvens CB, é preciso investigar uma rota alternativa, ainda que isto seja um desafio, considerando há possibilidade de outros quadrantes próximos aos que foram analisados nesta pesquisa (à direita ou à esquerda destes) com vistas a buscar um desvio mais apropriado para a região analisada. Além disso, também é possível considerar a mudança nos horários das rotas que seguem do Brasil para a Europa, visto que em sua

maioria, conforme se verifica pelo Flightradar (2022), são noturnas, período propício para a formação da CB, conforme identificado na pesquisa.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta pesquisa discorreu sobre as nuvens CB, as tempestades produzidas por elas, a região da ZCIT e a rota que liga o Brasil-Europa, que passa por esta região. Assim, o objetivo do estudo foi o de verificar e analisar uma parte da ZCIT (separada em quatro quadrantes) por onde passam as aeronaves na rota que Brasil-Europa e que podem formar nuvens de tempestade.

Os dados foram coletados por intermédio da REDEMET e com o auxílio de cartas SIGWX norte-americanas das 18 UTC disponibilizadas para o período compreendido entre 1º de janeiro de 2012 e 31 de dezembro de 2021, totalizando 10 anos analisados.

Entre os resultados, constatou-se que a maior frequência foi de CB ISOL EMBD para os quadrantes 1 e 2, ocorrida em 3.222 dias ao longo de 10 anos. Os anos que mais formaram CB foram 2013 e 2020 e os meses mais propícios foram os do verão, dezembro e janeiro. Além disso, o topo mais alto dessas nuvens alcançou o FL580 e o mais baixo cresceu até o FL310.

Os dados, portanto, comprovaram a alta frequência dessas nuvens na ZCIT, assim como confirmaram suas principais características para a formação: instabilidade (topo elevado) e alta umidade e temperatura atmosférica, o que pode resultar em trovoadas. Como os quadrantes investigados são trajetos de rotas que ligam Brasil e Europa, observou-se, em razão da extensão dos quadrantes, que o desvio é necessário, assim como o uso de radar meteorológico a bordo e a execução de um planejamento de voo eficiente mediante a utilização das informações de tempo disponíveis no sistema do COMAER.

Por fim, como sugestão a pesquisas futuras, há a necessidade de investigar uma rota alternativa aos quadrantes 1 e 2, considerados de alta frequência de nuvem CB e por onde uma significativa parcela de aeronaves da rota Brasil-Europa navegam. Ademais, um horário alternativo ao do anoitecer também pode ser investigado, visto que o período analisado neste estudo apresentou nuvem CB na maior parte do ano.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL (ANAC). **Trovoadas**. 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/anac/pt-br/assuntos/seguranca-operacional/meteorologia-aeronautica/condicoes-meteorologicas-adversas-para-o-voe/trovoadas>. Acesso em: 21 abr. 2022.

AISWEB. **Cartas de rota (ENRC): H2**. 2022. Disponível em: https://aisweb.decea.mil.br/cartas/rotas/sbxx_enrc-h2_enrc_20220421.pdf?CFID=6a9f5c2e-4fd2-4818-8df8-c29c6ab2785f&CFTOKEN=0. Acesso em: 20 abr. 2022.

AYOAD, J. O. **Introdução à climatologia dos trópicos**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2002.

BIANCHINI, D. **Meteorologia para pilotos**. São Paulo: Editora Bianch, 2017.

DEPARTAMENTO DE CONTROLE DO ESPAÇO AÉREO (DECEA). **O que é Redemet**. 2019. Disponível em: <https://ajuda.decea.mil.br/base-de-conhecimento/o-que-e-a-redemet/>. Acesso em: 19 mar. 2022.

DEPARTAMENTO DE CONTROLE DO ESPAÇO AÉREO (DECEA). **Performance ATM do SISCEAB: ATM**. 2022a. Disponível em: <http://especiais.decea.mil.br/performance/atm/>. Acesso em: 5 abr. 2022.

DEPARTAMENTO DE CONTROLE DO ESPAÇO AÉREO (DECEA). **CRCEA-SE**. 2022b. Disponível em: <https://www.decea.mil.br/?i=unidades&p=crcea-se>. Acesso em: 5 abr. 2022.

DEPARTAMENTO DE CONTROLE DO ESPAÇO AÉREO (DECEA). **Meios de navegação aérea**. 2022c. Disponível em: <https://www.decea.mil.br/?i=atividades&p=meios-de-navegacao-aerea>. Acesso em: 27 mar. 2022.

DEPARTAMENTO DE CONTROLE DO ESPAÇO AÉREO (DECEA). **Redemet**. 2022d. Disponível em: <https://www.redemet.aer.mil.br/>. Acesso em: 25 mar. 2022.

FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION (FAA). Pilot's Handbook of Aeronautical Knowledge. *In: Chapter 12: weather theory*. Washington: FAA, 2016. Disponível em: https://www.faa.gov/sites/faa.gov/files/2022-03/pilot_handbook.pdf. Acesso em: 15 abr. 2022.

FERREIRA, A. G. **Interpretação de imagens de satélites meteorológicos: uma visão prática e operacional do hemisfério sul**. Brasília: Stilo, 2002.

FERREIRA, A. G. **Meteorologia prática**. São Paulo: Oficina de Textos, 2006.

FLIGHTRADAR (FLIGHTRADAR24). **Live flight tracker – real-time flight tracker map**. 2022. Disponível em: <https://www.flightradar24.com/-21.28,-44.44/5>. Acesso em: 29 mar. 2022.

MARCONI, M. de A.; LAKATOS, E. M. **Metodologia do trabalho científico**. 7 ed. São Paulo: Editora Atlas S. A, 2013.

METEOROLOGIA APLICADA A SISTEMAS DE TEMPO REGIONAIS (MASTER). **Zona de convergência intertropical**: características gerais. 2010. Disponível em: <http://master.iag.usp.br/pr/ensino/sinotica/aula15/>. Acesso em: 8 mar. 2022.

MINISTÉRIO DA DEFESA. COMANDO DA AERONÁUTICA. **ICA 100-12**: regras do ar. 2016. Disponível em: <http://publicacoes.decea.mil.br/api/api/publications/pdf/502>. Acesso em: 26 abr. 2022.

MINISTÉRIO DA DEFESA. COMANDO DA AERONÁUTICA. **ICA 105-17**: centro meteorológicos. 2020. Disponível em: <https://publicacoes.decea.mil.br/api//storage/uploads/files/1625055504-ica-105-17-2021.pdf>. Acesso em: 10 mar. 2022.

SKYVECTOR. **Flight planning, aeronautical charts**. 2022. Disponível em: <https://skyvector.com/>. Acesso em: 29 mar. 2022.

SONNEMAKER, J. de. **Meteorologia**: PP – PC – IFR – PLA. São Paulo. Asa 32ª Edição: s. n., 2017.

SOUZA, W. de. **Meteorologia aeronáutica**: piloto comercial. Brasília: s.n., 2012.

SOUZA, W. de. **Meteorologia aeronáutica**: piloto privado. Brasília: s. n., 2014.

MOURA. D. **A circulação geral da atmosfera terrestre** 2019. Disponível em: <https://www.tempo.com/noticias/ciencia/circulacao-geral-da-atmosfera-terrestre.html>. Acesso em: 11 mar. 2022.

VARIG AIRLINES. **Rotas**. (s.d.). Disponível em: <https://www.varig-airlines.com/pt/rotas.htm>. Acesso em: 11 mar. 2022.