



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
FACULDADE DE METEOROLOGIA



TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

FLÁVIO MENDES SOARES

**ANÁLISE DE ACIDENTES AÉREOS ASSOCIADOS ÀS
CONDIÇÕES METEOROLÓGICAS NO BRASIL: UMA
ANÁLISE SINÓTICA**

304

BELÉM-PA

JANEIRO - 2012

FLÁVIO MENDES SOARES

**ANÁLISE DE ACIDENTES AÉREOS ASSOCIADOS ÀS
CONDIÇÕES METEOROLÓGICAS NO BRASIL: UMA
ANÁLISE SINÓTICA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado a Faculdade de Meteorologia do Instituto de Geociências (IG) da Universidade Federal do Pará – UFPA, em cumprimento às exigências para obtenção do grau superior de Bacharel em Meteorologia.

Orientadora: Prof^ª. Maria Isabel Vitorino

BELÉM-PA

JANEIRO - 2012

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
Biblioteca Geólogo Raimundo Montenegro Garcia de Montalvão

- S676a Soares, Flávio Mendes
Análise de acidentes aéreos associados às condições meteorológicas no Brasil: uma análise sinótica / Flávio Mendes Soares; Orientadora: Maria Isabel Vitorino – 2012
43f. : il.
Trabalho de Conclusão de Curso (graduação em meteorologia) – Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências, Faculdade de Meteorologia, Belém, 2012.
1. Meteorologia em aeronáutica. 2. Condições meteorológicas adversas. 3. Análise sinótica. I. Vitorino, Maria Isabel, *orient.* II. Universidade Federal do Pará. III. Título.

CDD 22° ed.: 629.1324

FLÁVIO MENDES SOARES

**ANÁLISE DE ACIDENTES AÉREOS ASSOCIADOS ÀS
CONDIÇÕES METEOROLÓGICAS NO BRASIL: UMA
ANÁLISE SINÓTICA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado a Faculdade de Meteorologia do Instituto de Geociências (IG) da Universidade Federal do Pará – UFPA, em cumprimento às exigências para obtenção do grau superior de Bacharel em Meteorologia.

Aprovado em: 05 / 01 / 2012.

Banca examinadora:



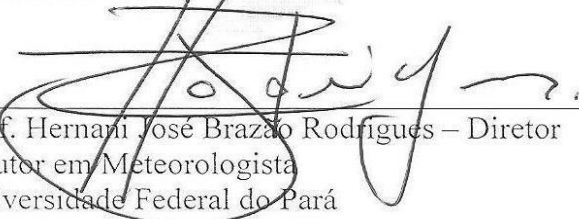
Prof. Maria Isabel Vitorino – Orientadora
Doutora em Meteorologia
Universidade Federal do Pará



Prof. Paulo Afonso Fischer Kuhn – Membro
Doutor em Meteorologia
Universidade Federal do Pará



Prof. Jose Danilo Costa Souza Filho – Membro
Mestre em Meteorologia
Universidade Federal do Pará



Prof. Hernani José Brazão Rodrigues – Diretor
Doutor em Meteorologista
Universidade Federal do Pará

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por cada dia da minha vida e por todas as vitórias que obtive até hoje.

Aos meus pais Josafá de Sousa Soares e Maria Alice Mendes Soares, que sempre estiveram ao meu lado, sendo minha base e proteção, me incentivando nos estudos e me apoiando nas realizações dos meus sonhos. E ao meu irmão Fábio Mendes Soares pelo seu companheirismo e atenção em suas horas vagas.

Aos meus familiares por acreditarem no meu potencial para conclusão desta graduação, em especial aos meus queridos primos paternos: Adriano Soares e Jacqueline Soares, André Soares, Davyanny Soares, Danielly Soares, Eliane Soares, Joseane Soares, Thiago Soares, as minhas queridas primas maternas: Ana Paula Mendes, Ana Daniele Mendes, Niagara Ferreira e Mara Perla Ferreira, e a todos os meus tios e tias paternos e maternos.

A minha namorada Mayara Rocha pelo seu amor e carinho, que sempre me apoiou nos meus estudos e na minha carreira na aviação civil, e aos seus pais Carlos Rocha e Leila Rocha, por terem me acolhido como um filho em sua família.

Aos meus amigos e amigas de faculdade que sempre estavam prontos e dispostos a me ajudar: Amanda Campos, Ana Paula Santos, Dayse Fernanda, Francisco Alves, Giordani Rafael, Karol Lima, Maurício Moura, Sérgio Santos, Silvia Garcêz, Thamiris Brandão, que, sem dúvida, são grandes amigos para longas datas.

Aos meus amigos e amigas da aviação civil que estiveram por perto nos momentos difíceis, me apoiando e incentivando a conclusão do curso de Meteorologia: Leonardo Cochete, Luís Barradas, Gessany Verena, Gisele Soares, em especial ao Maj. Esp. Met. Felipe Sá Gille, por sua amizade e apoio no desenvolvimento deste trabalho.

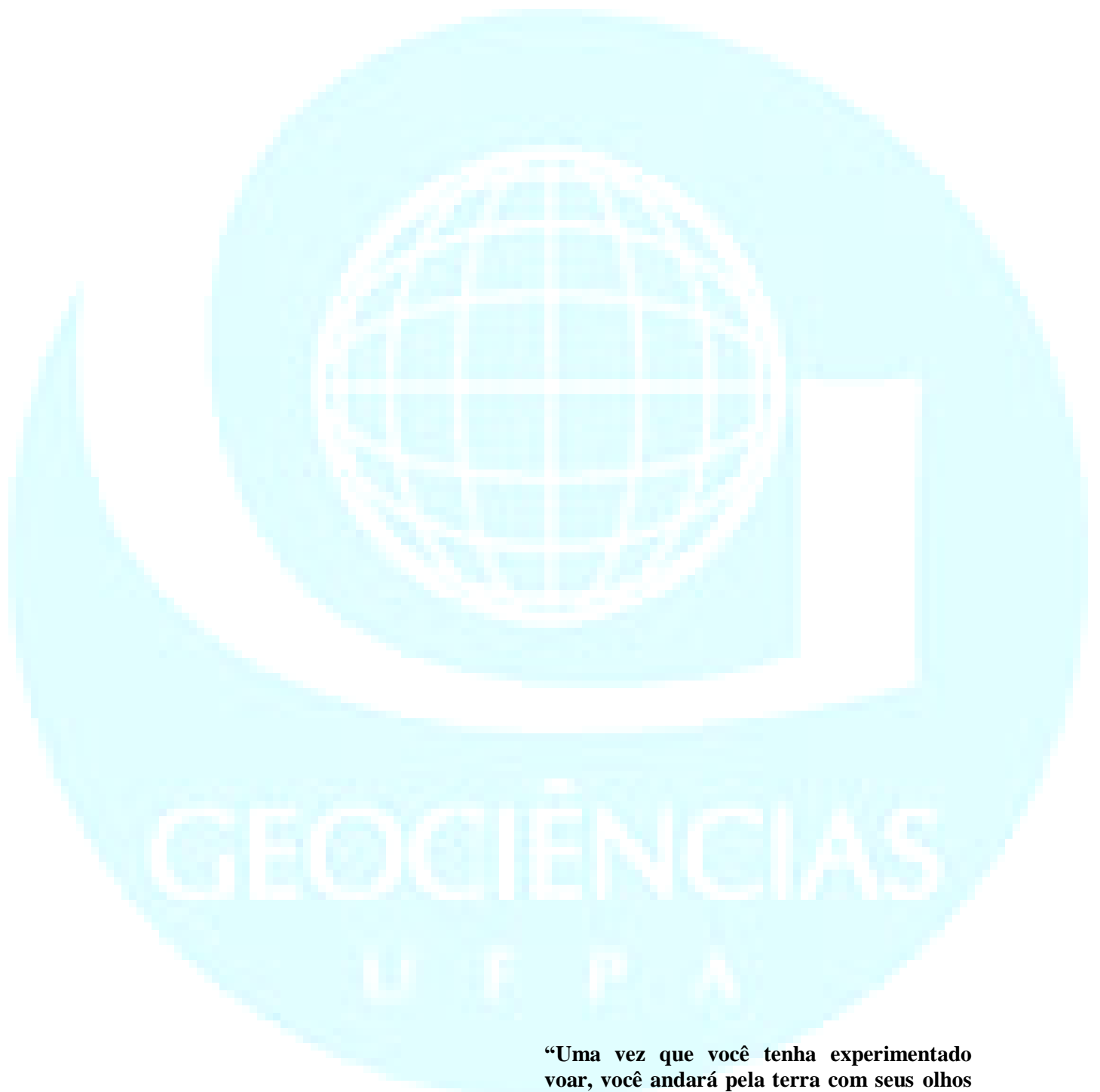
A professora e orientadora Maria Isabel Vitorino por seus ensinamentos nas disciplinas: Meteorologia Sinótica II, Análise e Previsão de Tempo, pelo seu conhecimento prático da Meteorologia repassado a mim que, com certeza, ampliou minha visão sobre esta ciência extraordinária, e por sua orientação neste trabalho de conclusão de curso, que foi de grande importância para conclusão da minha graduação.

Aos membros da banca de avaliação, professores Danilo Filho e Paulo Kuhn, por suas avaliações, críticas e sugestões, que, certamente, foram de grande valor para a finalização deste trabalho.

Aos professores da faculdade de Meteorologia, por terem repassado seus vastos conhecimentos de suas respectivas disciplinas, são eles: Dimitrie Nechet, Everaldo Souza, Hernani Brazão, Isabel Vitorino, Júlia Cohen, Midori Makino, Paulo Kuhn, Paulo Souza, Ricardo Souza.

Por fim, minha sincera gratidão a todos.





“Uma vez que você tenha experimentado voar, você andar pela terra com seus olhos voltados para o céu, pois l você esteve e para lá você desejar voltar.”

Leonardo Da Vinci

RESUMO

Através de publicações oficiais do Centro de Investigação e Prevenção de Acidentes Aeronáuticos (CENIPA) foi feito um levantamento quantitativo dos acidentes aeronáuticos que ocorreram por contribuição de condições meteorológicas adversas na década de 1990. Observou-se que a maioria dos acidentes ocorreram nas regiões sul e sudeste do Brasil, durante os meses de primavera e verão. Esse fato pode está associado às instabilidades atmosféricas que ocorrem devido às condições locais e de grande escala. Para tentar entender essas condições foi feito um estudo de caso para um incidente aéreo que ocorreu em Itaituba/PA no dia 18 de dezembro de 1990, onde, segundo relatos do CENIPA, uma aeronave teve perda de controle no solo ao executar um pouso em condições de baixa visibilidade. Para a análise sinótica deste caso, foram utilizados dados de reanálise do NCEP/NCAR (*National Center for Environmental Prediction/National Center for Atmospheric Research*) de radiação de onda longa (ROL) e componentes zonal (u) e meridional (v) do vento dos níveis de 200, 700 e 850 hPa da atmosfera, imagens de satélite GOES 7 no canal infravermelho pertencente ao NOAA (*National Oceanic and Atmospheric Administration*). Os resultados mostraram que houve uma interação da atuação de um sistema frontal com a circulação da Alta da Bolívia (AB) e o Cavado de Altos Níveis (CAN), os quais contribuíram para uma intensificação dos efeitos locais de convecção, que são comuns sobre a região tropical.

Palavras-chaves: Meteorologia em aeronáutica. Condições meteorológicas adversas. Análise sinótica.

GEOCIÊNCIAS

U T P A

ABSTRACT

Through official publications of the Centre for Research and Prevention of Aeronautical Accidents (CENIPA) a quantitative survey was made of aircraft accidents that occurred by contribution of adverse weather conditions in the 1990s. It was observed that most accidents occurred in southern and southeastern of Brazil, during the months of spring and summer. This fact may be associated with atmospheric instabilities that occur due to local conditions and large scale. To try to understand these conditions was made a case study for an incident that occurred in Itaituba/PA on December 18, 1990, where, according to reports of CENIPA, an aircraft had lost control on the ground while performing a landing in conditions with low visibility. For the synoptic analysis of this case, we used data from reanalysis of NCEP / NCAR (National Center for Environmental Prediction / National Center for Atmospheric Research) for long wave radiation (OLR) and zonal (u) and meridional (v) wind levels of 200, 700 and 850 hPa of the atmosphere, GOES 7 satellite images in infrared channel belonging to the NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration). The results showed that there was an interaction of the performance of a frontal system with the circulation of the Bolivian High (AB) and high levels Dug (CAN), which contributed to an intensification of the local effects of convection, which are common on the tropical region.

Keywords: aeronautical meteorology, weather, Synoptic Analysis.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Fatores contribuintes nos 1.127 acidentes da aviação civil, 1990 – 1999.....	18
Figura 2 - Fatores contribuintes nos 757 acidentes da aviação civil, 2000 – 2009.....	18
Figura 3 - Percentual de eventos de acidentes e incidentes por fase de vôo, registrados entre 1959 e 1996, em voos de até 01h30m de duração.....	20
Figura 4 - Esquema de uma Frente de Rajada.....	23
Figura 5 - Estágios de desenvolvimento de uma célula de trovoadas (as setas representam o movimento vertical do ar).....	25
Figura 6 – Localização da área de estudo.....	30
Figura 7 - Total dos 136 acidentes divulgados pelo CENIPA, por regiões brasileiras.....	32
Figura 8 - Quantitativo de acidentes aéreos por estações do ano.....	33
Figura 9 - Diagrama de Hovmöller, Longitude x Tempo, ROL em Wm^{-2}	35
Figura 10 - Satélite GOES 7, canal Infravermelho, banda 10.3-12.1 μm . Em vermelho as nuvens convectivas e em azul a frente fria.....	36
Figura 11 - Circulação no dia do incidente.....	37

GEOCIÊNCIAS
U T P A

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AB – Alta da Bolívia

CAN – Cavado de Altos Níveis

CB - *Cumulunimbus*

CENIPA – Centro de Investigação e Prevenção de Acidentes Aeronáuticos

ICA – Instrução do Comando da Aeronáutica

ICEA – Instituto de Controle do Espaço Aéreo

INT - Intermitente

MCA – Manual do Comando da Aeronáutica

MOD – Moderada

NAS – National Academic of Sciences

NCAR – National Center for Atmospheric Research

NCDC – National Climatic Data Center

NCEP – National Center for Environmental Prediction

NOAA – National Oceanic and Atmospheric Administration

PRP – Precipitação

ROL – Radiação de Onda Longa

SBIH – Indicador de localidade do aeroporto de Itaituba

SCM – Sistema Convectivo de Mesoescala

SF – Sistema Frontal

SYNOP – Observações Sinóticas à Superfície

TABA – Transportes Aéreos Região da Bacia Amazônica

TAC – Turbulência de Ar Claro

TRV – Trovoada

VCAN – Vórtice Ciclônico de Altos Níveis

Wm² - Watt por metro quadrado

ZCAS – Zona de Convergência do Atlântico Sul

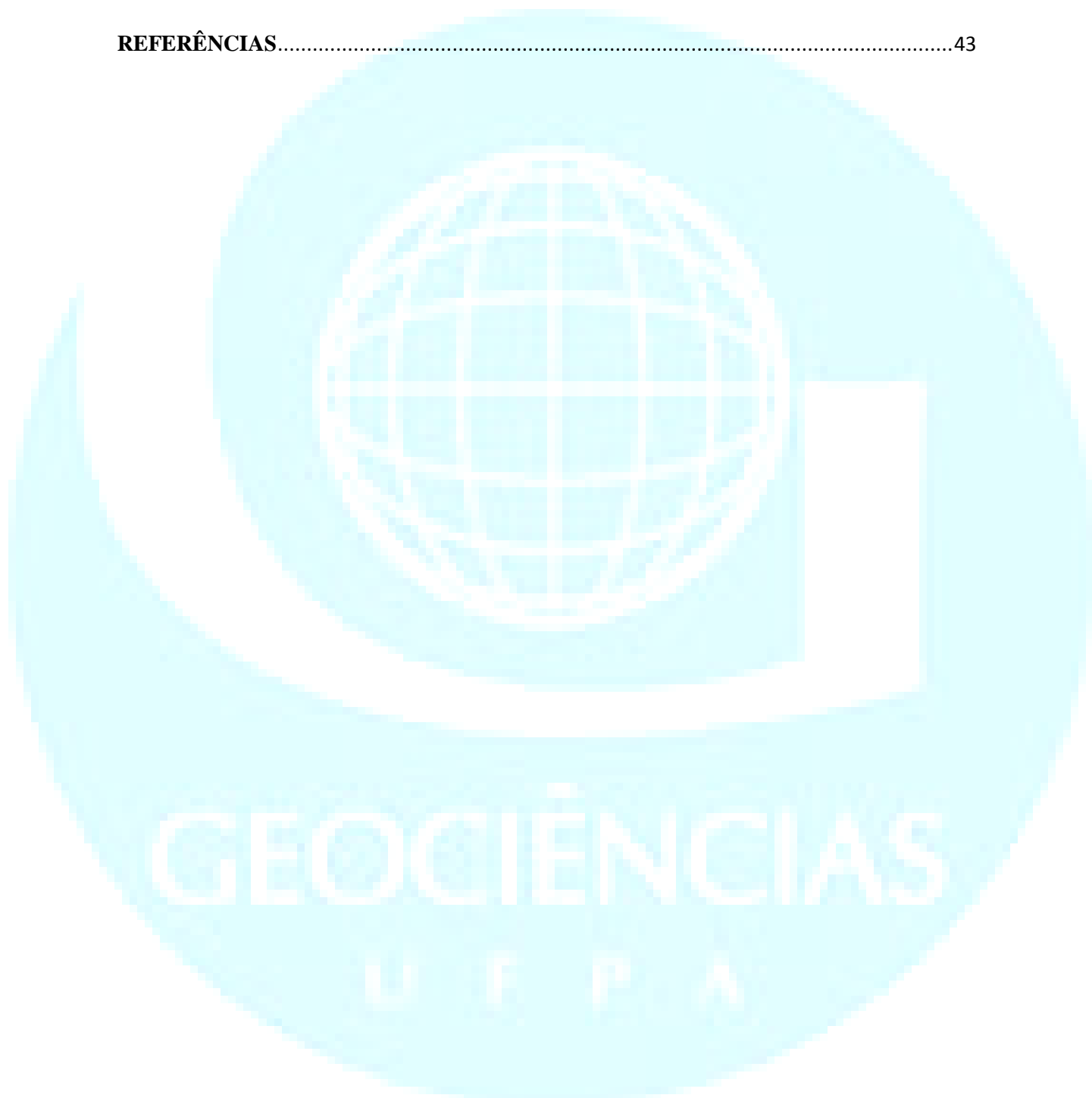
ZCIT – Zona de Convergência Intertropical



SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
1.1 OBJETIVO GERAL	16
1.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS	16
2 ELEMENTOS TEÓRICOS E OBSERVACIONAIS	17
2.1 ESTUDOS ANTERIORES	17
2.2 DEFINIÇÕES	19
2.2.1 Acidente aeronáutico	19
2.2.2 Incidente aeronáutico	19
2.3 FENÔMENOS METEOROLÓGICOS QUE AFETAM A AVIAÇÃO	20
2.3.1 Turbulência de ar claro – TAC	20
2.3.2 Onda de montanha	21
2.3.3 Nevoeiro	21
2.3.4 Frente de rajada	23
2.3.5 Windshear	24
2.3.6 Trovoada	24
2.4 SISTEMAS METEOROLÓGICOS ATUANTES NO BRASIL.....	26
2.4.1 Alta da bolívia	26
2.4.2 Vórtice ciclônico de altos níveis	26
2.4.3 Zona de convergência intertropical	27
2.4.4 Zona de convergência do atlântico sul	27
2.4.5 Sistema frontal	28
3 MATERIAIS E MÉTODOS	29
3.1 MATERIAIS.....	29
3.2 ÁREA DE ESTUDO	29
3.3 MÉTODOS.....	30
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	32

4.1 ANÁLISE GERAL DOS ACIDENTES (1990-1999).....	32
4.2 ESTUDO DE CASO	34
5 CONCLUSÕES.....	41
REFERÊNCIAS.....	43



1 INTRODUÇÃO

O transporte aéreo é a locomoção de pessoas e mercadorias pelo ar, isso por meio de aeronaves, como aviões e helicópteros, de um ponto de origem a um ponto de destino predeterminado, onde esses dois pontos podem ser, exceto em caso de acidentes, dois aeroportos (SILVA, 1991). O uso desse tipo de transporte se intensificou após a Segunda Guerra Mundial, com a expansão do comércio internacional e das empresas multinacionais e/ou transnacionais. Esse é o meio de deslocamento em massa mais rápido, isso pelo fato de percorrer grandes distâncias em tempo reduzido se comparado com os transportes terrestre e marítimo, por exemplo.

Para que o transporte de pessoas e mercadorias seja seguro, é de extrema importância conhecer o meio aonde irá se locomover: a atmosfera. Sabe-se que a atmosfera é dinâmica e sofre alterações a todo o momento. Desse modo, tudo que nela contém, conseqüentemente, será influenciado. Neste sentido, a Meteorologia tem um papel importantíssimo, tanto na área de pesquisas, voltado para ciência, quanto na área operacional, voltada para a sociedade. Dessa maneira, a área operacional está relacionada à Meteorologia Aeronáutica, que é um ramo da Meteorologia aplicado à aviação que se preocupa principalmente com a sua operacionalidade, visando à segurança, economia e eficiência dos voos.

É comum pensar que os acidentes aeronáuticos ocorrem apenas por falhas mecânicas nas aeronaves ou erros dos pilotos. Porém, além desses fatores existe também um fator importante que pode contribuir para a ocorrência dos acidentes aeronáuticos: as condições adversas de tempo. Essas condições podem ser representadas por fenômenos meteorológicos que prejudicam e/ou impactam, de forma direta ou indireta, na aviação. Como por exemplo: Nevoeiro, Trovoada, *Windshear*, etc. Vale ressaltar que, além desses e de outros fenômenos meteorológicos, há também sistemas meteorológicos de diferentes escalas de tempo que podem favorecer para formação ou intensificação de uma condição adversa de tempo. São estes: Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), Alta da Bolívia (AB), Vórtice Ciclônico de Altos Níveis (VCAN), Sistema Frontal (SF) Sistemas Convectivos de Mesoescala (SCM), etc. Esses sistemas meteorológicos modulam as condições atmosféricas de acordo com seu período ou fase de atuação. Por esse motivo, ter o conhecimento desses sistemas e fenômenos meteorológicos, além de outras

características da atmosfera, é indispensável, a fim de aumentar a segurança e eficiência dos voos e evitar acidentes aeronáuticos.

1.1 OBJETIVO GERAL

- Mostrar a importância dos estudos sinóticos e dinâmicos da atmosfera voltados para a segurança da aviação;

1.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Investigar com base em registros históricos o quantitativo de acidentes aéreos por região e estação do ano;
- Analisar as condições sinóticas da atmosfera para casos de acidentes aeronáuticos ocorridos na década de 90 (1990 – 1999);
- Constatar se as condições sinóticas e locais estão relacionadas com os acidentes aéreos;
- Verificar as condições meteorológicas para um estudo de caso de um acidente ocorrido Itaituba em 1990.

GEOCIÊNCIAS
U T P A

2 ELEMENTOS TEÓRICOS E OBSERVACIONAIS

2.1 ESTUDOS ANTERIORES

Alguns estudos sobre Meteorologia Aeronáutica foram realizados na Universidade Federal do Pará. Porém ainda há pouca demanda a respeito deste assunto, se comparado a outras áreas de atuação da Meteorologia, como: agrometeorologia, climatologia, micrometeorologia, meteorologia sinótica, sensoriamento remoto, etc.

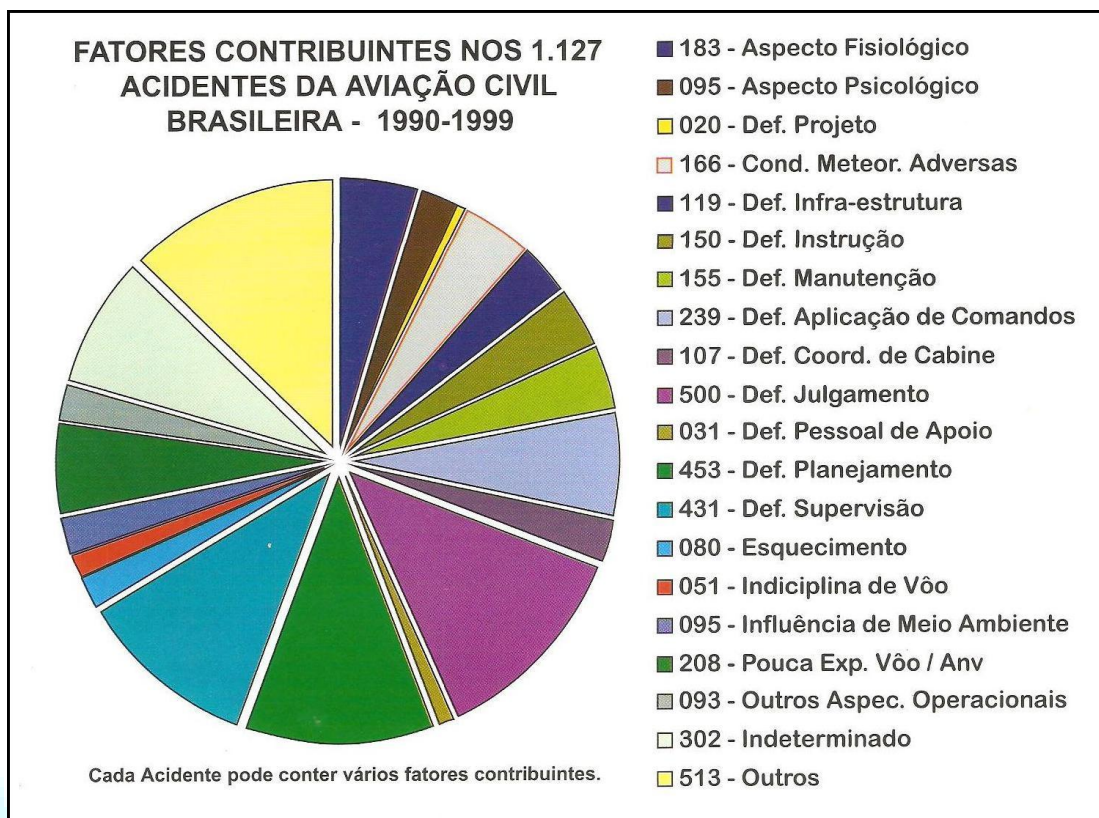
Esses estudos mostraram, de uma maneira geral, as características da atmosfera, destacando os fenômenos meteorológicos que afetam a operacionalidade da aviação. Barros (1992) descreveu situações meteorológicas adversas que afetam a navegação aérea, tais como: trovoadas, restrições à visibilidade por hidrometeoro e litometeoro, cortante de vento, turbulência em nuvem e turbulência em ar claro, formação de gelo, trilhas de condensação, ventos em vales e montanhas e altimetria, e sugeriu procedimentos que visam a maneira mais correta e eficiente para enfrentá-las. Uma dessas condições é muito freqüente na região de Belém/PA: a trovoada. Simões Neto (1992) estudou quatro casos de trovoadas na região de Belém/PA utilizando o Radar do Controle de Tráfego Aéreo, visando dar condições de se fazer previsões de curto prazo para dar apoio à navegação aérea.

Costa (2008) mostrou a influência de determinadas condições de tempo no desempenho de aeronaves e relatou um caso em que um piloto entrou em condições de *windshear* nas proximidades de Belém/PA. Além dessas condições de *windshear*, outras também podem contribuir para ocorrência de acidentes aéreos.

De acordo com o Centro de Investigação e Prevenção de Acidentes Aeronáuticos (CENIPA), na década de 90 (1990-1999), ocorreram 1127 acidentes aeronáuticos (Figura 1), sendo que 14,8% desse total foram causados por condições meteorológicas adversas como fatores contribuintes. Silva (2007) analisou 33 acidentes ocorridos por contribuição de condições meteorológicas adversas, dos 136 acidentes divulgados através de publicações oficiais do CENIPA.

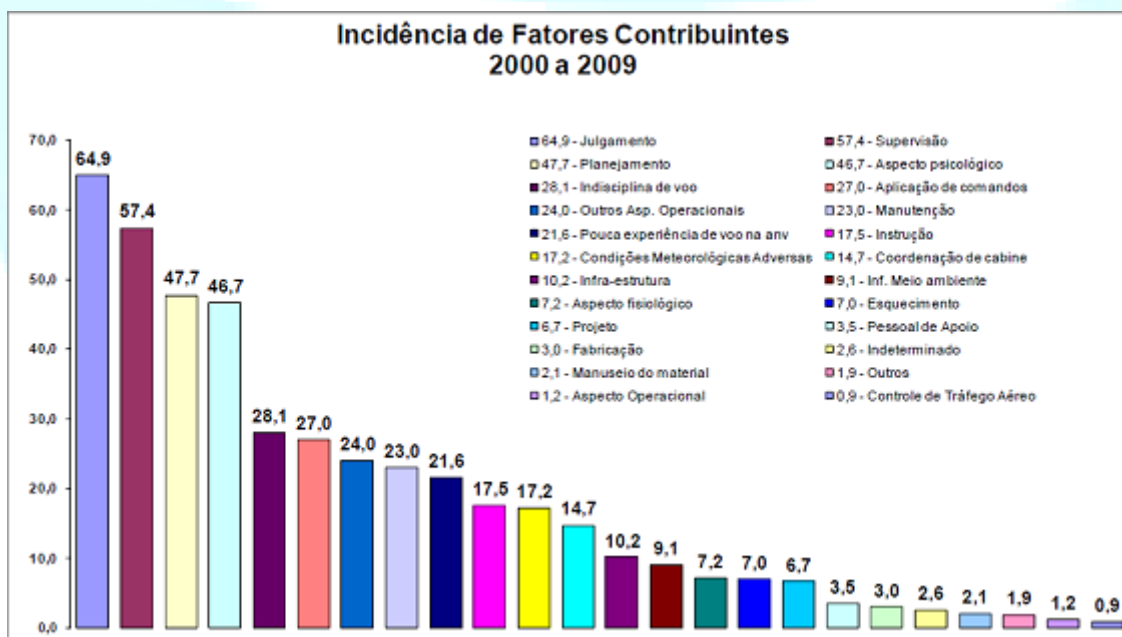
Na década seguinte, de 2000 a 2009, o número de acidentes aéreos causados por contribuição das condições meteorológicas sofreu um aumento 14,8 para 17,2% de um total de 757, segundo CENIPA (Figura 2).

Figura 1: Fatores contribuintes nos 1.127 acidentes da aviação civil, 1990 – 1999.



Fonte: (CENIPA, 2000).

Figura 2: Fatores contribuintes nos 757 acidentes da aviação civil, 2000 – 2009.



Fonte: (CENIPA, 2010).

2.2 DEFINIÇÕES

2.2.1 Acidente aeronáutico

Conforme a Instrução do Comando da Aeronáutica (ICA) n.º 63-7 de 21 de março de 2002, acidente aeronáutico: é toda ocorrência relacionada com a operação de uma aeronave, havida entre o momento em que uma pessoa nela embarca com a intenção de realizar um voo, até o momento em que todas as pessoas tenham dela desembarcado e, durante o qual, pelo menos uma das situações abaixo ocorra:

a) uma pessoa sofra lesão grave ou morra como resultado de estar,

- na aeronave;

- em contato direto com qualquer parte da aeronave, incluindo aquelas que dela tenham se desprendido; ou - submetida à exposição direta do sopro de hélice, rotor ou escapamento de jato, ou às suas consequências;

NOTA: Exceção é feita quando as lesões resultarem de causas naturais forem auto ou por terceiros infligidas, ou forem causadas a pessoas que embarcaram clandestinamente e se acomodaram em área que não as destinadas aos passageiros ou aos tripulantes.

b) a aeronave sofra dano ou falha estrutural que,

- afete adversamente a resistência estrutural, o seu desempenho ou as suas características de voo; e normalmente, se exija a realização de grande reparo ou a substituição do componente afetado;

NOTA: Exceção é feita para falha ou danos limitados ao motor, suas carenagens ou seus acessórios, ou para danos limitados a hélices, pontas de asas, antenas, pneus, freios, carenagens do trem ou amassamentos leves e perfurações no revestimento da aeronave.

c) a aeronave seja considerada desaparecida ou o local onde se encontrar for, absolutamente, inacessível.

2.2.2 Incidente aeronáutico

De acordo com a ICA n.º 63-7 de 21 de março de 2002, incidente aeronáutico: é toda ocorrência associada à operação de uma aeronave em que haja intenção de vôo,

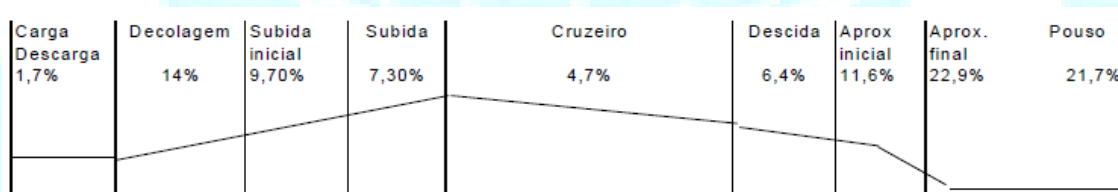
que não chegue a se caracterizar como um acidente, mas que afete ou que possa afetar a segurança da operação.

2.3 FENÔMENOS METEOROLÓGICOS QUE AFETAM A AVIAÇÃO

Segundo Bechwith (1985), os fenômenos meteorológicos podem interferir na segurança e economia do voo, na arremetida e no pouso das aeronaves.

Um estudo realizado por Matheus (1998), para evento de acidentes e incidentes em um período de 37 anos, revelou que “os riscos que as aeronaves estão sujeitas durante os procedimentos operacionais são maiores nas fases de aproximação inicial, aproximação final e pouso, que corresponde, respectivamente, a 11,6%; 22,9% e 21,7% do total de eventos de acidentes.” (Figura 3).

Figura 3 - Percentual de eventos de acidentes e incidentes por fase de voo, registrados entre 1959 e 1996, em voos de até 01h30m de duração.



Fonte: Matheus (1998).

A seguir, serão descritos os fenômenos meteorológicos que podem favorecer para condições adversas de tempo na aviação.

2.3.1 Turbulência de ar claro – TAC

A Turbulência de Ar Claro – TAC, ou no idioma inglês CAT – *Clear Air Turbulence*, segundo OMM, 1977, é geralmente descrita como um solavanco que uma aeronave sofre quando está voando em região de céu claro, e por isso é denominada, por vezes, de Turbulência de Céu Claro. A sensação dos ocupantes da aeronave é semelhante a de estar em um veículo trafegando em rodovia com buracos na pista ou quando o veículo passe de forma abrupta por um “quebra molas”. A definição mais precisa da TAC é toda turbulência que ocorre na atmosfera livre do interesse para as operações aéreas, desde que não ocorra em região adjacente a atividade convectiva

visível, isto é, nuvens tipo *cumulus*, mas podendo ocorrer na presença de nuvens tipo *cirrus* ou em suas proximidades. A TAC é causada por ondas estacionárias a sotavento de uma barreira de montanhas, isto é, onda de montanha e por intenso cisalhamento vertical do vento em altitude em uma camada de ar estável, isto é, nas proximidades de uma corrente de jato na atmosfera.

Este fenômeno é particularmente perigoso às operações aéreas, porque podem provocar danos estruturais nas aeronaves e em alguns casos perda temporária dos comandos de vôo por parte do piloto. Quanto à intensidade a TAC é classificada em moderada, quando a aeronave em vôo sofre acelerações da ordem de 0,5 a 1 G, isto é, valor da aceleração devido à gravidade, ou severa quando o valor dessa aceleração é maior que 1 G. A TAC pode ser prevista mediante coleta de dados da atmosfera por RADAR, sondagens aerológicas ou por radiômetro, e é mais intensa em regiões próximas a cordilheiras no inverno e na primavera, em ambos os hemisférios da Terra.

2.3.2 Onda de montanha

As ondas de montanhas induzem ondulações de alta amplitude ou ondas de montanha na corrente de ar que circula sobre elas, (LILLY, 1978; LILLY AND ZIPSER, 1972). Essas ondas estão associadas com forte turbulência e cisalhamento do ar e sua influência pode se estender do nível do solo a altitudes elevadas na atmosfera. Em geral, elas induzem os ventos catabáticos, que são ventos descendentes de uma montanha, tais como: os ventos do tipo Foehn na Suíça, Suécia e Noruega. Esses ventos são fortes e ocorrem em rajadas à superfície da Terra, produzem *Windshear* e turbulência nos aeroportos localizados na região de sotavento das montanhas, e são frequentes nos meses de outono, inverno e primavera. A onda de Montanha pode trazer riscos à segurança das aeronaves que operam em aeroportos sujeitos a esse fenômeno, em especial se as aeronaves estão na fase de aproximação e pouso, e durante a decolagem, segundo National Academic of Sciences – NAS (1983).

2.3.3 Nevoeiro

Suspensão de gotículas de água na camada atmosférica contígua à superfície terrestre, reduzindo a visibilidade horizontal a menos de 1 km ou 1000 m (Varejão-Silva, 2006).

Os nevoeiros de radiação, os mais comuns, são assim chamados porque sua gênese é devida ao arrefecimento noturno do solo por emissão de energia radiante. O ar, em contato com o solo arrefecido, perde calor por condução, tornando-se mais frio que a camada atmosférica imediatamente acima. Próximo à superfície, portanto, a temperatura do ar aumenta com a distância ao solo, estabelecendo-se uma inversão térmica a certa altura. Abaixo do nível de inversão a camada atmosférica é, por conseguinte, estável. O resfriamento, se suficiente para ultrapassar a temperatura do ponto de orvalho, provocará condensação de vapor.

Nevoeiros desse tipo se formam em noites sem nuvens, ou com poucas nuvens altas, condição necessária ao rápido resfriamento do solo por irradiação. A presença de nuvens inibe o arrefecimento noturno, face ao efeito estufa. Além disso, é requerida a presença de vento, não muito forte, capaz de gerar alguma turbulência, ampliando a espessura da camada resfriada e, portanto, aumentando a espessura do nevoeiro. Caso não haja vento, haverá formação de orvalho (se a temperatura à superfície for superior a 0°C) ou de geada (se inferior a 0°C). Por outro lado, se o vento for bastante forte, a camada de inversão pode ser suficientemente elevada dando margem à formação de estratos baixos.

Os nevoeiros de advecção surgem quando o ar úmido escoar sobre uma superfície fria (solo ou água). O ar, perdendo calor por condução para a superfície, se arrefece de baixo para cima o que propicia a formação de uma camada atmosférica estável, justaposta à superfície. Se há vento fraco a diferença entre a temperatura do ar e da superfície tende a diminuir e o resfriamento atinge apenas uma camada atmosférica bastante delgada. Havendo vento um pouco mais forte, a mistura turbulenta do ar inibe o equilíbrio térmico, mas aumenta a espessura da camada resfriada. Como no caso anterior, o aparecimento do nevoeiro acontecerá quando a temperatura dessa camada tornar-se inferior a do ponto de orvalho inicial.

Os nevoeiros orográficos podem surgir quando o ar úmido e estável se eleva ao longo de uma encosta, expandindo-se (e, por conseguinte, se resfriando) adiabaticamente. Se o aclave for suficientemente extenso, o ar ascendente se tornará saturado a uma certa altura. A partir desse nível, até o topo da elevação, haverá um nevoeiro.

Os nevoeiros sempre caracterizam uma condição de risco em relação ao transporte terrestre e à navegação marítima e aérea, exatamente por causarem redução da visibilidade, (Varejão-Silva, 2006). Para a aviação, este fenômeno restringe as operações de pouso e decolagem, afetando a segurança das aeronaves e de seus passageiros.

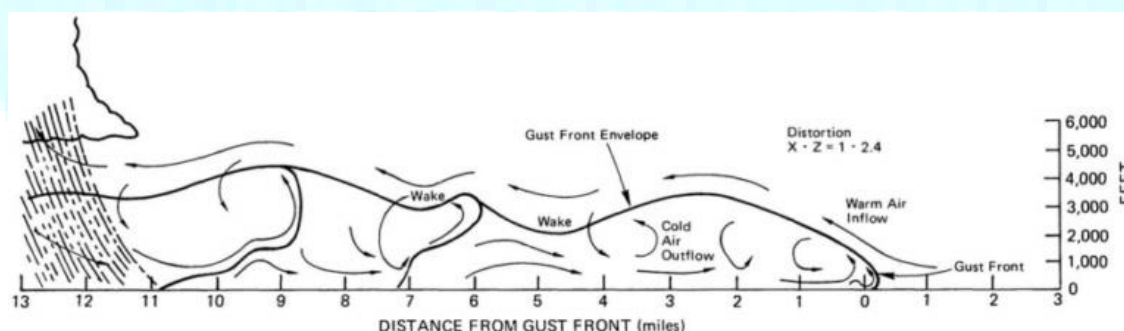
No histórico de acidentes com fator meteorológico contribuinte no Brasil, cabe lembrar, por exemplo, do acidente ocorrido com o Boeing 737 da VASP Prefixo (PP-SME) no Aeroporto de Guarulhos (São Paulo) em 28 de janeiro de 1986, que teve como causa direta a ocorrência de nevoeiro.

2.3.4 Frente de rajada

Frente de Rajada é a extremidade de uma cunha de ar junto ao solo da massa de ar frio, que se originou do ar descendente de uma trovoadas ou nuvem convectiva, segundo NAS – 1983.

Conforme mostrado na Figura 4, o ar frio próximo à frente de rajada, o que pode ser de até uma milha de profundidade, é caracterizada por fortes ventos turbulentos. A profundidade da frente de rajada, o cisalhamento do vento ea turbulência associada, e sua velocidade de avanço sobre o solo depende da natureza da nuvem pai e a distribuição do vento através da camada em que a nuvem está embutida.

Figura 4: Esquema de uma Frente de Rajada.



Fonte: NAS (1983)

Esse Fenômeno pode trazer sérios riscos à segurança do voo, principalmente durante as fases de decolagem, aproximação e pouso, e pode ser detectado e monitorado por um Radar instalado nas proximidades do aeródromo.

2.3.5 Windshear

Conhecido como cisalhamento do vento, cortante do vento, tesoura do vento ou gradiente do vento, a variabilidade do vento em baixos níveis, ou "wind-shear", é definido como a diferença da velocidade do vetor vento (\vec{V}) em dois pontos dividido pela distância entre eles, National Research Council - NRC (1983).

A ocorrência de "wind-shear" pode estar associada a sistemas frontais, jato de baixos níveis, atividade convectiva, trovoada isolada, brisa marítima ou terrestre, tornado e frente de rajada, segundo FUJITA (1985).

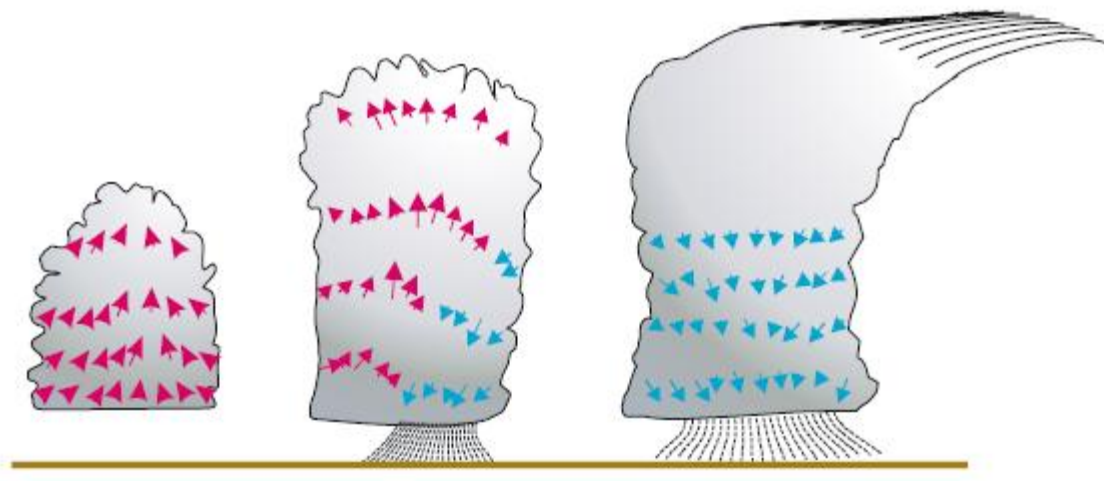
2.3.6 Trovoada

Uma trovoada é constituída por um conjunto de células convectivas (nuvens *Cumulunimbus*), em diferentes estágios de desenvolvimento, Varejão-Silva (2006). Esse fenômeno pode ser previsto e monitorado mediante sondagens aerológicas, modelos numéricos de previsão do tempo de escala local, imagens obtidas por RADAR e satélite meteorológico. São comuns nas regiões tropicais, sobre os continentes e podem ocorrer em todas as estações do ano, em especial, no verão e na primavera, segundo Fujita (1985).

O ciclo evolutivo de uma célula convectiva de trovoada é dividido em três estágios que, segundo Riehl (1965) são: estágios de *cumulus*, de maturidade e de dissipação.

No estágio inicial a célula convectiva trata-se de um simples *cumulus* em crescimento, com acentuadas correntes convectivas ascendentes (Figura 5), cuja velocidade varia de 1 a 2 m/s, na base, até cerca de 10 m/s nas vizinhanças do topo. O conteúdo de água no interior da nuvem também aumenta da base para o topo. Percebe-se claramente o crescimento, observando-se a rápida formação de torres que surgem e logo depois se abatem, sendo substituídas por outras maiores, que também se abatem mas atingindo um nível mais elevado que o anterior e, assim, sucessivamente. Nessa fase do desenvolvimento não ocorre precipitação.

Figura 5: Estágios de desenvolvimento de uma célula de trovoadas (as setas representam o movimento vertical do ar).



Fonte: Varejão-Silva (2006).

O início do estágio de maturidade é considerado quando a precipitação atinge à superfície. Nessa fase coexistem correntes ascendentes e subsidentes muito intensas no interior da nuvem. O aumento da frequência de relâmpagos e trovões denuncia o clímax da atividade da célula convectiva neste estágio.

Durante a fase de dissipação a intensidade da precipitação diminui, ficando progressivamente mais raras as descargas elétricas. O topo do *cumulunimbus* apresenta nitidamente o aspecto “cirroso”. No interior da nuvem existem apenas correntes subsidentes, mais acentuadas na porção central da base, onde a velocidade vertical alcança valores da ordem de 3 m/s. A chuva passa de moderada a fraca e toda a nuvem começa a se desagregar.

Uma pesquisa realizada por Fujita (1985), onde foram reanalisados os dados do estudo feito pela NAS (1983), revelou que cerca de 78% dos casos de acidentes/incidentes aeronáuticos estavam associados a presença da trovoadas, isto é, nuvem tipo *Cumulunimbus* – CB, sobre o aeroporto ou em suas proximidades.

2.4 SISTEMAS METEOROLÓGICOS ATUANTES NO BRASIL

A seguir será apresentado um breve resumo dos sistemas meteorológicos que atuam no Brasil.

2.4.1 Alta da Bolívia

A Alta da Bolívia (AB) é uma circulação anticiclônica de grande escala que se forma nos altos níveis da troposfera sobre a América do Sul (KRUELS et al., 1975; SADLER, 1975; VIRJI, 1981). Alguns estudos observacionais e outros numéricos sugerem que a intensa atividade convectiva e a consequente liberação de calor latente fornecem o mecanismo necessário para manter a circulação anticiclônica em altos níveis (GANDU; GEISLER, 1990; GUTMAN; SCHWERDTFEGER, 1965; MARIA, 1985; SILVA DIAS et al., 1983). No período de verão, a AB contribui para as chuvas que ocorrem que ocorrem principalmente nas regiões Norte, parte do Nordeste e Centro Oeste do Brasil. Posteriormente, Lenters e Cook (1997) analisaram as características da circulação da troposfera sobre a América do Sul usando um modelo de circulação global atmosférico, com base em um modelo linear e em dados observados sobre a América do Sul. Esses autores concluíram que a variabilidade da precipitação no verão sobre o Altiplano está diretamente associada à posição e à intensidade da AB, que, por sua vez, reflete-se como uma resposta do calor latente oriundo da convecção da Amazônia, Andes Central e ZCAS. Eles sugeriram ainda que o efeito da topografia, em razão dos Andes, tem um papel secundário na variabilidade da precipitação. Lenters e Cook (1999) encontraram uma relação próxima, nas escalas intrassazonal e interanual, entre as chuvas do Altiplano e a AB. Por sua vez, Chen, Weng e Schubert (1999), analisando a manutenção da circulação de verão na alta troposfera tropical da América do Sul, concluíram que o sistema AB/VCAN é mantido pela fonte de calor dessa região e também por fontes remotas de calor da África, concordando, assim, com os resultados de Lenters e Cook (1997).

2.4.2 Vórtice ciclônico de altos níveis

Os Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis (VCAN) são definidos como sistemas fechados de baixa pressão, de escala sinótica, que se formam na alta troposfera (GAN; KOUSKY, 1982).

Os VCAN podem ser classificados de duas maneiras: vórtices do tipo Palmén, que se originam nas latitudes subtropicais e os vórtices do tipo Palmer, também chamados de vórtices de origem tropical por originarem-se nessa região. Os vórtices ciclônicos de origem tropical formam-se nos meses de primavera, verão e outono e, passam a maior parte de suas vidas nos trópicos (PALMER, 1951). Segundo este autor, os vórtices ciclônicos de origem tropical apresentam as seguintes características: originam-se acima de 9000 m nas latitudes mais baixas, são persistentes, crescem e intensificam-se durante a passagem para as latitudes mais altas e, no Hemisfério Norte, deslocam-se para Nordeste ou Leste-nordeste no cinturão de 20° - 30° de latitude. Os vórtices ciclônicos na vizinhança do Nordeste do Brasil formam-se devido à intensificação simultânea da crista associada à Alta da Bolívia e o cavado corrente abaixo sobre o Oceano Atlântico (KOUSKY; GAN, 1981).

2.4.3 Zona de convergência intertropical

A Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) é uma banda zonal associada à atividade convectiva que oscila entre 5°S e 10°N, aproximadamente (UVO, 1989; WALISER; GAUTIER, 1993). Este sistema meteorológico caracteriza-se por uma faixa de nebulosidade descontínua, pois é composta de aglomerados distintos de nuvens, os quais são separados por regiões de céu claro (UVO, 1989; MENDONÇA, 2007).

Considerando a região do Atlântico Equatorial, a ZCIT migra sazonalmente, em anos considerados normais, de sua posição mais ao norte (em torno de 14°N), durante agosto-setembro, para sua posição mais ao sul (em torno de 2°S), durante março-abril. Essa migração sazonal da ZCIT, associada aos fatores que causam o fortalecimento ou enfraquecimento dos alísios de nordeste e sudeste, tem papel importante na determinação da estação chuvosa do norte da região Nordeste. Em anos chuvosos, a ZCIT pode atingir até 5°S, perto da costa nordestina e propiciando elevados totais de precipitação.

2.4.4 Zona de convergência do atlântico sul

Persistente faixa de nebulosidade orientada no sentido noroeste-sudeste, que se estende do sul da Amazônia ao Atlântico Sul-Central por alguns milhares de km (Kousky, 1988) ou ainda em padrões de distribuição de radiação de onda longa (Carvalho et al., 1989). Segundo Figueroa (1997) é um fenômeno que se estende desde

a região sul da Amazônia até o Oceano Atlântico Subtropical, orientada no sentido NW-SE.

A Zona de Convergência do Atlântico Sul pode ser caracterizada por sua estacionaridade por, pelo menos quatro dias, provocando assim, a alteração no regime de chuvas das regiões afetadas (Quadro, 1994). É bem caracterizada nos meses de verão, associada a uma zona de convergência na baixa troposfera.

2.4.5 Sistema frontal

O encontro de massas de ar com propriedades distintas formam o sistema frontal. Um sistema frontal é composto classicamente por uma frente fria, uma frente quente e um centro de baixa pressão em superfície, denominado ciclone (que gira no sentido horário no HS). Este ciclone desenvolve-se a partir de uma pequena perturbação em uma frente quasi-estacionária que separa o ar frio do ar quente, levantando-o na região de fronteira entre essas duas massas, ocasionando um decréscimo da pressão nesta região. A ascensão do ar quente causa convergência em baixos níveis e formação de circulação ciclônica. A frente fria avança sobre a frente quente formando a região denominada frente oclusa. Com o aumento da região de oclusão o sistema frontal atinge seu estado terminal, o ciclone aumenta seu tamanho e transforma-se num vórtice frio na baixa troposfera. A fricção e a falta de mecanismos dinâmicos na atmosfera encarregam-se de dissipar o restante do ciclone e, portanto, do sistema frontal.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste tópico serão apresentados os materiais, a área de estudo e os métodos utilizados para a análise sinótica das condições meteorológicas associadas a acidentes aeronáuticos.

3.1 MATERIAIS

O material utilizado para o desenvolvimento deste trabalho foi obtido através de publicações oficiais do CENIPA, o qual se trata do resumo dos relatórios finais de 136 acidentes dos 1.127 ocorridos na aviação civil na década de 1990. Esses relatórios contêm informações a respeito dos acidentes aeronáuticos, mostrando o histórico, a análise sobre o fato e a conclusão.

Para a análise sinótica, foram utilizados dados de reanálise do NCEP/NCAR (*National Center for Environmental Prediction/ National Center for Atmospheric Research*) obtidos através do site NOAA (*National Oceanic and Atmospheric Administration*) do governo dos Estados Unidos. Esses dados possuem uma grade global com resolução espacial de $2,5^\circ \times 2,5^\circ$, equivalente a 300 km^2 e resolução temporal de seis horas.

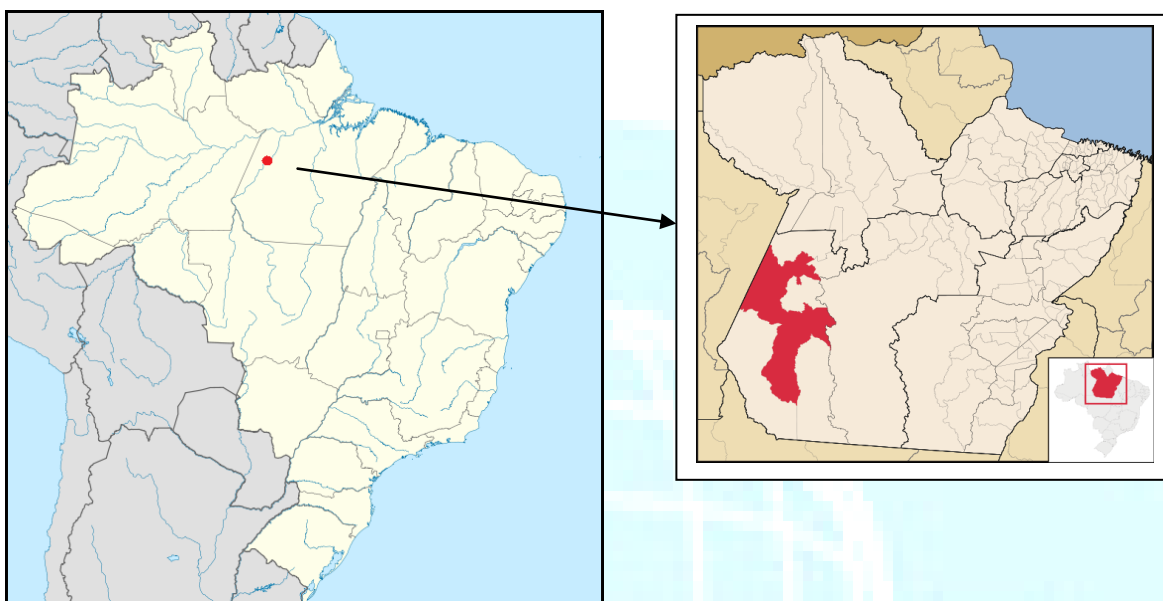
Os dados locais de superfície foram obtidos através das Observações Sinóticas à Superfície – SYNOP, do Instituto de Controle do Espaço Aéreo – ICEA. Esses dados contêm informações da direção e velocidade do vento, visibilidade horizontal, condições gerais de tempo, nuvens, temperatura do ar e do ponto de orvalho, e pressão ao nível médio do mar.

As imagens de satélite utilizadas para a análise sinótica foram obtidas através do site NCDC (*National Climatic Data Center*) pertencente ao NOAA do governo dos Estados Unidos. As imagens são do satélite GOES 7 nos canais infravermelho e vapor d'água.

3.2 ÁREA DE ESTUDO

Foi escolhida a cidade de Itaituba/PA, localizada nas coordenadas geográficas: latitude $04^\circ 16' 33'' \text{S}$ e longitude $55^\circ 59' 02'' \text{W}$ e altitude de 13m (Figura 6).

Figura 6: Localização da área de estudo.



Fonte: Wikipédia (2011).

As características climáticas do Município não diferem muito das de sua região. A temperatura do ar é sempre elevada, com média anual de 25,6° C, e valores médios para as mínimas de 22,5° C. Quanto à umidade relativa, apresenta valores acima de 80% em quase todos os meses do ano. A pluviosidade se aproxima dos 2.000 mm anuais. Entretanto, é um tanto irregular durante o ano. As estações chuvosas coincidem com os meses de dezembro a junho e, as menos chuvosas, com os meses de julho a novembro.

A cidade foi selecionada por ter sido alvo de um incidente aéreo ocorrido por contribuição de condições meteorológicas adversas, na década de 1990.

3.3 MÉTODOS

Foi feito um levantamento quantitativo dos acidentes aeronáuticos, da década de 1990, por região e estação do ano, utilizando os dados históricos do CENIPA.

Dos 136 acidentes divulgados por meio do CENIPA, foram selecionados dois acidentes ocorridos em diferentes regiões do Brasil, com objetivo de mostrar as diferentes condições sinóticas associadas a termodinâmica da atmosfera na região norte e sul do Brasil.

Foi feita uma análise sinótica utilizando imagens do satélite GOES 7 nos canais infravermelho pertencente ao NOAA, e dados do NCEP/NCAR de médias diárias das componentes zonal (u) e meridional (v) do vento, nos horários sinóticos (00, 06, 12 e 18UTC). Foi feito um diagrama de Hovmöller de Longitude x Tempo com dados

sinóticos da radiação de onda longa (ROL), os quais foram trabalhados no software GrADS (*Grid Analysis and Display System*).

Foi feita uma análise observacional das condições meteorológicas locais da cidade estudada utilizando os dados de superfície obtido através do ICEA.



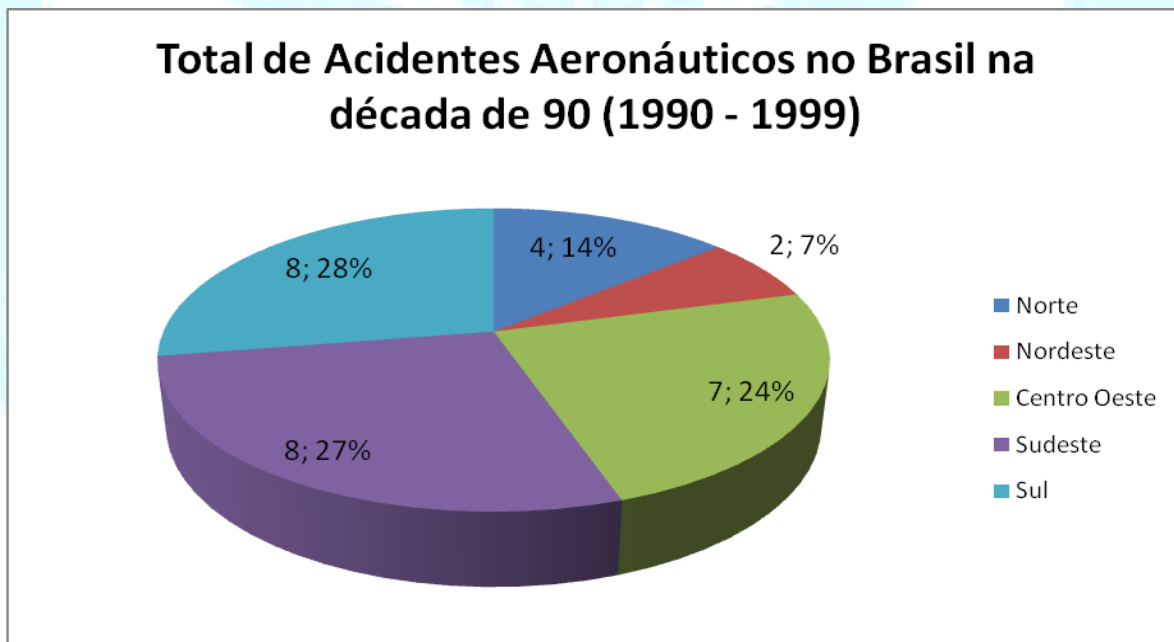
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 ANÁLISE GERAL DOS ACIDENTES (1990-1999)

NOTA: Os acidentes referidos neste trabalho envolvem apenas as aeronaves pertencentes à classe da Aviação Geral, isto é, aeronaves de transporte não regular, como por exemplo: serviços de taxi aéreo, de instrução, aeronaves particulares, aeronaves de pequeno porte, etc.

A Figura 7 mostra o total de 29 acidentes aeronáuticos que ocorreram por contribuição de condições meteorológicas adversas, onde se observou que, das cinco regiões brasileiras, as regiões Sul e Sudeste tiveram o maior número de acidentes aéreos, devido à baroclinicidade da atmosfera que há nessas regiões. Em latitudes médias os gradientes de pressão e temperatura são mais acentuados, se comparado às regiões tropicais. Essa característica baroclínica favorece para que os sistemas e os fenômenos meteorológicos atuantes nessas regiões sejam mais intensos, o que prejudica os meios de transporte, como: rodoviário, aéreo, marítimo, etc.

Figura 7: Total dos 136 acidentes divulgados pelo CENIPA, por regiões brasileiras.

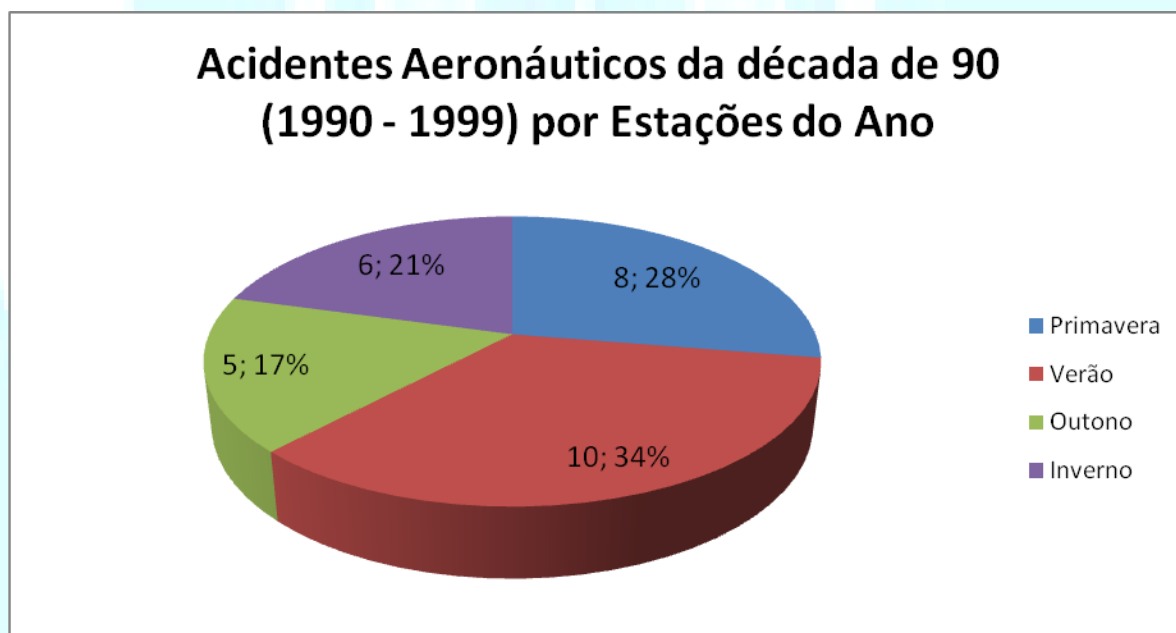


Fonte: do autor.

A Figura 8 mostra uma divisão dos acidentes por estações do ano, e observou-se que ocorreram mais acidentes durante os meses de Verão (dezembro, janeiro e

fevereiro) e Primavera (setembro, outubro e novembro). Isto pode está associado à maior disponibilidade de energia solar nesse período, que favorece os efeitos movimentos turbulentos próximos a superfície, a evaporação e a convecção, resultando na formação de nuvens e intensificação dos sistemas meteorológicos. A Tabela 1 mostra o quantitativo dos acidentes em cada região por estação do ano. Observou-se que apenas na região sudeste houve acidentes durante as quatro estações do ano, devido à instabilidade atmosférica dessa região por conta dos sistemas meteorológicos atuantes, topografia acentuada, etc.

Figura 8: Quantitativo de acidentes aéreos por estações do ano.



Fonte: do autor.

Tabela 1: Quantitativo de acidentes por estação do ano e região brasileira.

ESTAÇÃO / REGIÃO	NORTE	NORDESTE	CENTRO OESTE	SUDESTE	SUL
PRIMAVERA	-	1	2	3	2
VERÃO	2	1	3	2	2
OUTONO	2	-	2	1	-
INVERNO	-	-	-	2	4

A tabela 2 mostra um levantamento quantitativo das vítimas fatais em decorrência dos acidentes aéreos ocorridos por condições meteorológicas adversas na década de 1990.

Tabela 2: Vítimas fatais dos acidentes da década de 1990 por regiões do Brasil.

REGIÕES	VITIMAS FATAIS
NORTE	24
NORDESTE	17
CENTRO OESTE	34
SUDESTE	17
SUL	25
TOTAL	117

4.2 ESTUDO DE CASO

Este tópico apresentará o estudo de caso de um incidente aeronáutico que ocorreu durante a década de 1990. O caso ocorreu na região Norte, na cidade de Itaituba/PA.

a) Histórico do Incidente

De acordo com o relatório de acidentes do CENIPA, no dia 18 de dezembro de 1990, às 17h05min (hora local), ocorreu um incidente no aeroporto de Itaituba/PA, quando uma aeronave operada pela TABA (Transportes Aéreos Região da Bacia Amazônica) executou uma aproximação com excesso de velocidade e rampa acentuada, com objetivo de evitar uma nuvem *Cumulunimbus* (CB) que havia nas proximidades do aeroporto. Esta manobra executada pelo piloto gerou perda de controle da aeronave no solo, o que provocou a parada da aeronave além da pista. Não houve vítimas fatais neste incidente.

b) Análise Sinótica

As características dinâmicas de grande escala sobre a região de Itaituba se mostraram propícias para a formação de nuvens convectivas. A instabilidade da região

durante os quatro dias de estudo foi observada através dos campos de radiação de onda longa (ROL) e linhas de corrente.

Para as regiões tropicais, baixos valores de ROL registrados pelo satélite no topo da atmosfera terrestre são utilizados para caracterizar regiões de convecção profunda, enquanto que em médias latitudes, similares valores de ROL podem representar nuvens do tipo *Stratus* (Dutton et al., 2000). A convecção tropical, geralmente corresponde a regiões de ROL abaixo de 240 Wm^{-2} (Lau et al., 1997).

O gráfico de Longitude x Tempo (Figura 9) de ROL, conhecido como Diagrama de Hovmoller, mostra a evolução das condições locais antes, durante e depois do dia do incidente. Observou-se que um dia antes do incidente, as condições da atmosfera sobre a cidade de Itaituba apresentavam atividade convectiva, com valores de ROL entre 220 e 180 Wm^{-2} . No dia do acidente, foi encontrado valores entre 160 e 170 Wm^{-2} de ROL, o que caracteriza intensa atividade convectiva com nuvens do tipo *cumuliformes*, como mostra a imagem de satélite (Figura 10).

Figura 9: Diagrama de Hovmöller, Longitude x Tempo, ROL em Wm^{-2}

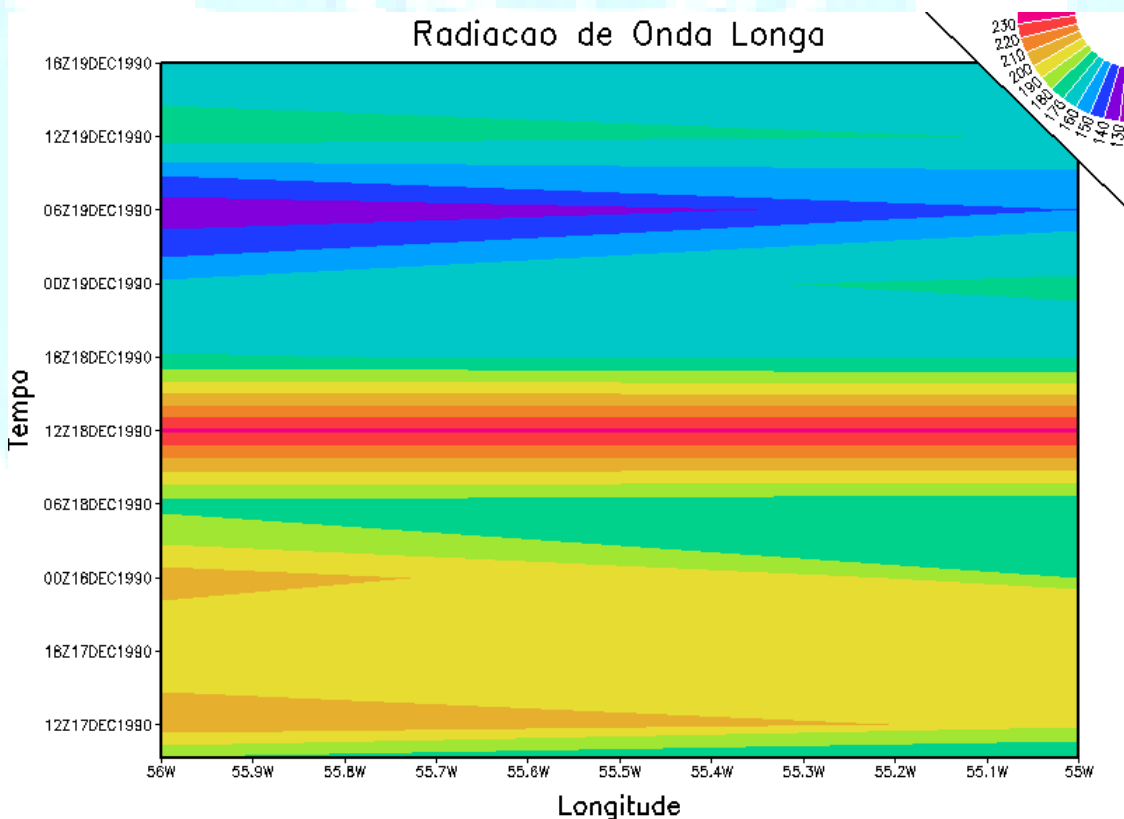
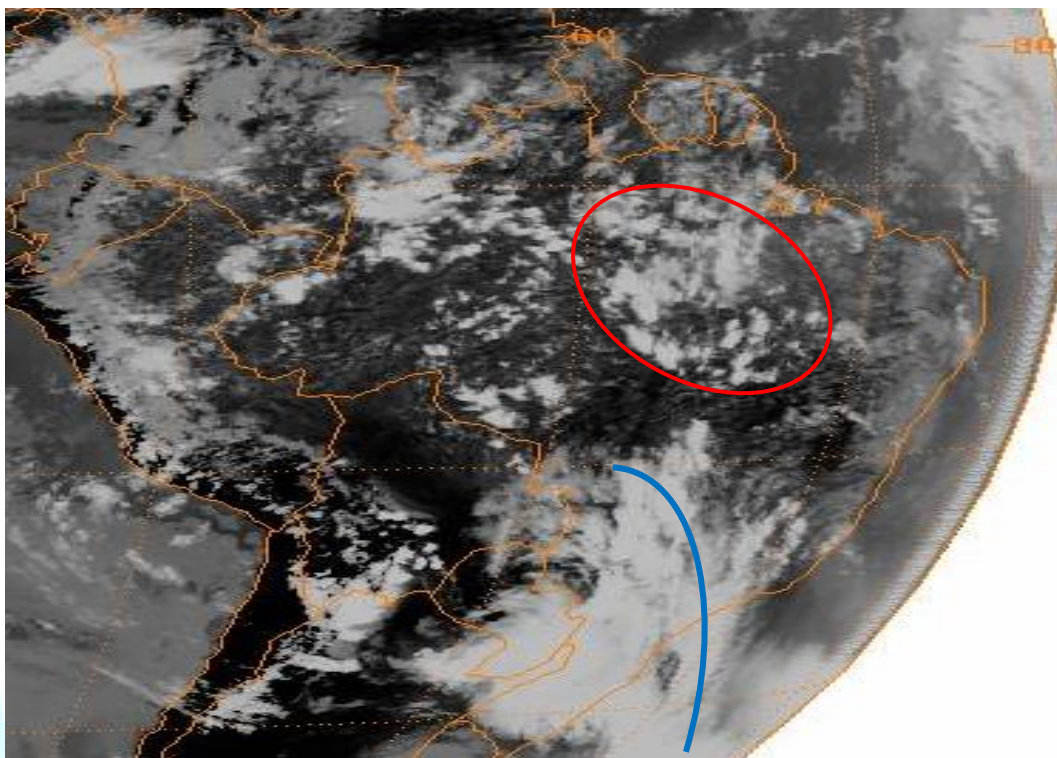
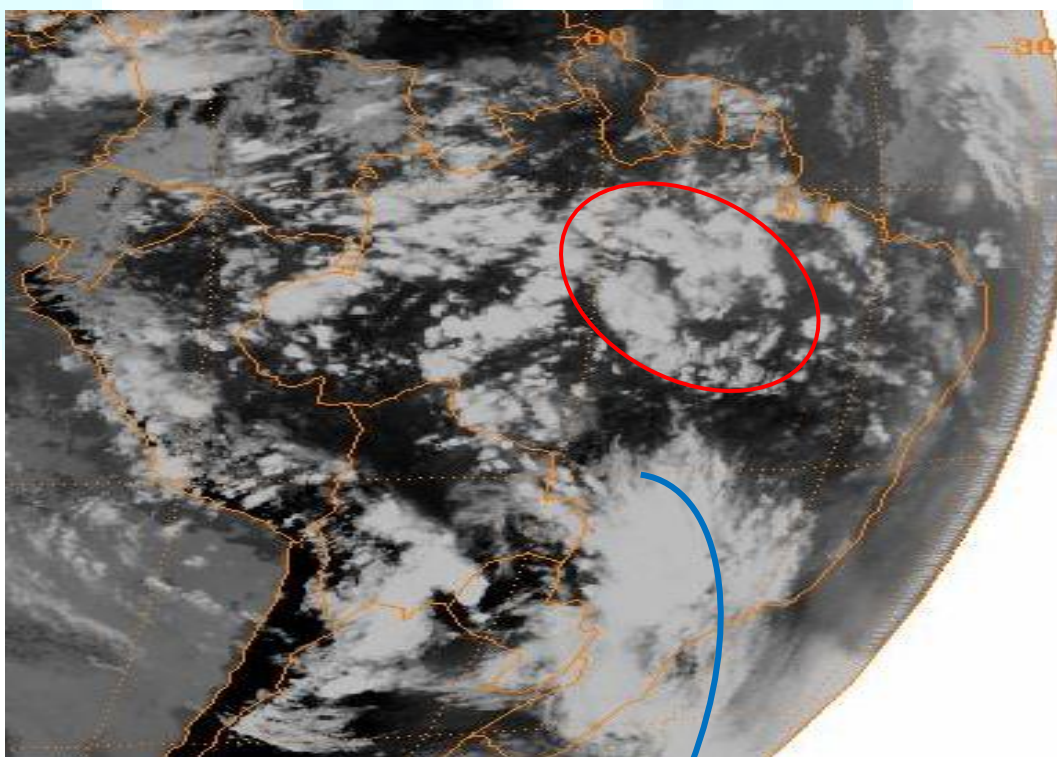


Figura 10: Satélite GOES 7, canal Infravermelho, banda 10.3-12.1 μm . Em vermelho as nuvens convectivas e em azul a frente fria.

a) 18/12/1990 – 18:00 UTC



b) 18/12/1990 – 21:00 UTC

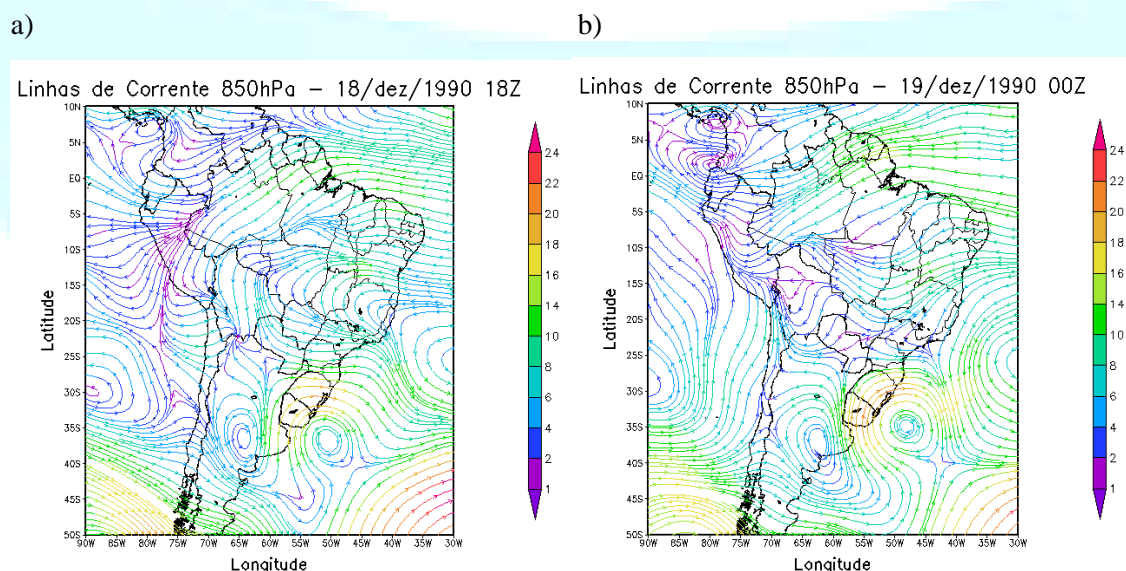


Fonte: (NOAA/NCDC, 1990)

Os campos de linhas de correntes indicam a circulação predominante da atmosfera. Foram observados três níveis da atmosfera: 200, 700, e 850 hPa. Foi observado no nível de 850 hPa, no dia do acidente, uma circulação anticiclônica sobre a Argentina seguida de uma circulação ciclônica sobre o sul do Brasil, o que caracteriza a presença de uma frente fria (Figura 11a e 11b). No nível de 700 hPa, observou-se uma crista e um cavado sobre a Argentina e sul do Brasil, respectivamente (Figura 11c e 11d). Isto significa que este sistema frontal contém nebulosidade bastante profunda, conforme pode ser observado na imagem de satélite da figura 10. No nível de 200 hPa, foi observado um padrão de circulação anticiclônica sobre a América do Sul, denominada de Alta da Bolívia (AB), seguido de um Cavado de Altos Níveis (CAN) sobre o Nordeste Brasileiro (Figura 11e e 11f). Climatologicamente esse padrão de circulação na troposfera superior é comum durante os meses de verão. Observou-se que o posicionamento do centro da AB ficou entre 15 e 20°S e 60 e 65°W, e a banda de nebulosidade que se formou sobre o Estado do Pará coincidiu com a posição a Oeste do CAN.

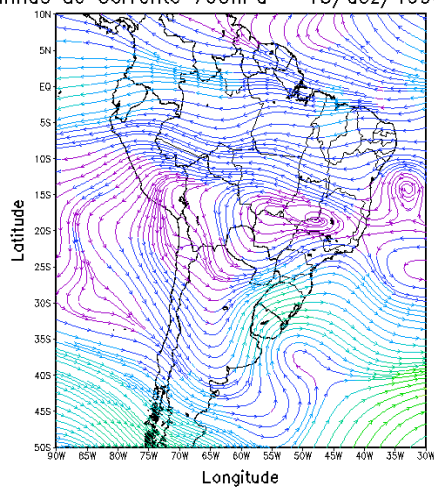
A atuação da frente fria interagiu com o padrão da circulação superior da AB juntamente com o CAN. Isso pode ter favorecido para a organização da nebulosidade na faixa noroeste sudeste do país.

Figura 11: Circulação no dia do incidente.



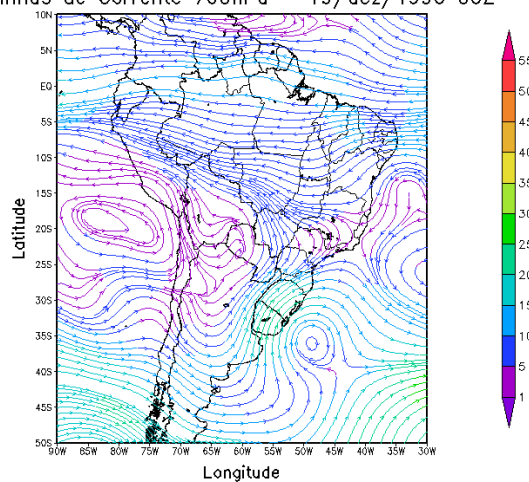
c)

Linhas de Corrente 700hPa – 18/dez/1990 18Z



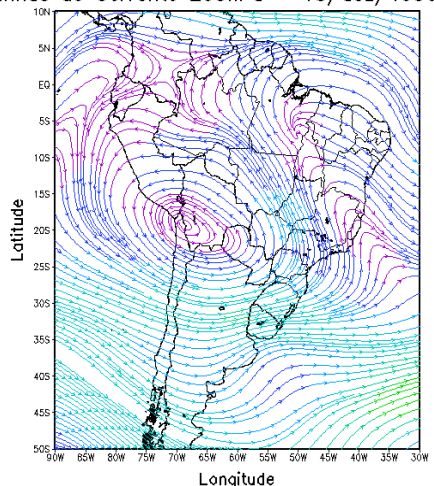
d)

Linhas de Corrente 700hPa – 19/dez/1990 00Z



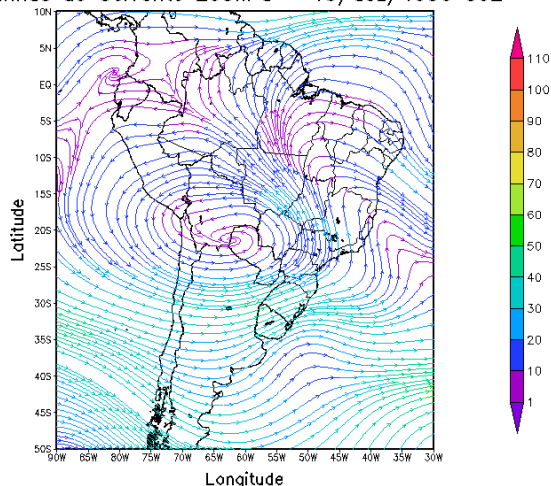
e)

Linhas de Corrente 200hPa – 18/dez/1990 18Z



f)

Linhas de Corrente 200hPa – 19/dez/1990 00Z



Os dados locais de superfície, no dia do acidente, mostraram presença de trovoadas com nuvens CB nas proximidades do aeroporto de Itaituba, conforme dados de superfície do ICEA (Tabela 3).

A tabela 3 mostra os dados de superfície decodificados do código SYNOP. A coluna CGT, padrão WW, informa o tempo presente informado por uma estação meteorológica dotada de pessoal e está descrito na tabela 4677 do Manual do Comando da Aeronáutica – MCA 105-10.

De acordo com a tabela 4677, nas quatro horas que antecederam o incidente, as condições do tempo presente eram de desenvolvimento de nuvens não observado ou não pode ser observado. A visibilidade horizontal era de 20000 m e havia nuvens do tipo *Cumulus*

Congestus (TCU) e *Altostratus* (AS). Já na hora do incidente, por volta das 17:05h (hora local), a visibilidade diminuiu bruscamente para 12000 e logo após para 6000 m. Nesse instante foi observado nuvens do tipo TCU e precipitação (PRP) a vista (VTA) com presença de *Cumulunimbus* (CB) à Sudoeste (SW) da estação. Após a hora do incidente com a aeronave, foi observado, ainda, trovoada (TRV) com chuva (CHV) de moderada (MOD) a intermitente (INT) na região. A precipitação acumulada para o dia do incidente foi observada pela estação meteorológica do INMET, a qual registrou um total de 21,8 mm de chuva para o dia 18/12/1990.

Todos os campos analisados mostraram que o comportamento da atmosfera era de instabilidade na região de Itaituba/PA, devido à convecção local que é bastante intensa sobre a região tropical. A interação da AB com o CAN também contribuem para esta condição de grande nebulosidade sobre a região Norte e Nordeste do país, juntamente com a atuação do Sistema Frontal no sudeste do Brasil. As condições locais observadas através dos dados de superfície mostraram que a nebulosidade impactou de forma direta na visibilidade, prejudicando-a para operações aéreas. Portanto, pode-se dizer que essas condições atmosféricas contribuíram para o incidente da aeronave da TABA no aeroporto de Itaituba/PA.

Tabela 3 - Parâmetros meteorológicos do aeródromo de Itaituba - SBIH, do dia 18 de dezembro de 1990 no período de 13:00h às 18:00h.

Hora Local	Dir (°) Vento	Vel(kt) Vento	Visibilidade (m)	Cgt	qtd nuv1 (oitavos)	tip nuv1	alt(m) nuv1	qtd nuv2 (oitavos)	tip nuv2	alt(m) nuv2	qtd nuv3 (oitavos)	tip nuv3	alt(m) nuv3	Temp (°C)	Temp PO(°C)	QNH (hPa)	OBS
13:00	60	4	20000	0	3	8	600	5	3	3000	-	-	-	32,2	24	1008,5	-
14:00	60	5	20000	0	2	8	600	7	3	3000	-	-	-	32,4	24	1007,2	-
15:00	100	5	20000	0	2	8	600	6	3	3000	-	-	-	32,8	23	1006	-
16:00	180	5	20000	0	3	8	600	1	3	3000	2	1	900	33,4	24	1006,2	-
17:00	210	7	12000	1	3	8	600	3	1	900	-	-	-	31	25	1006,1	PRP VTA CB SW
17:10	180	5	6000	1	3	6	300	3	8	500	6	4	210	26	23	1006	(*)
17:16	90	15	6000	8	3	6	300	3	8	500	1	9	600	25,6	23	1006,1	TRV PRP VTA
17:30	90	12	2000	8	2	7	240	4	6	300	1	9	600	24,2	22	1006,5	TRV CHV MOD/INT
18:00	340	5	2000	8	2	7	240	5	6	300	1	9	600	23,4	22	1007,5	-

5 CONCLUSÕES

O objetivo principal deste trabalho foi mostrar a importância dos estudos sinóticos e dinâmicos da atmosfera voltados para a segurança da aviação. Todo conhecimento que o homem conseguir obter sobre a dinâmica atmosférica é válido tanto para a área de pesquisa quanto para a área operacional. Tal conhecimento pode ser aplicado no ramo da meteorologia aeronáutica, com finalidade de entender mais sobre o meio onde a aviação atua, contribuindo para a segurança e eficiência dos voos.

Nas duas últimas décadas, o total de acidentes aéreos da aviação civil foi de 1884 acidentes, dos quais 1127 ocorreram na década de 1990 (1990-1999) e 757 ocorreram na década de 2000 (2000-2009). Apesar de haver uma redução no número total de acidentes no geral, houve um aumento específico no número de acidentes aeronáuticos ocorridos por condições meteorológicas adversas como fator contribuinte, de 14,8 para 17,2%. Esse aumento pode ter acontecido em decorrência do crescimento da aviação no país ao longo dessas duas décadas.

Foi observado que, dos 136 acidentes divulgados pelo CENIPA na década de 1990, 29 acidentes ocorreram por condições meteorológicas adversas. Das cinco regiões brasileiras, as regiões sul e sudeste tiveram o maior número de casos, devido às condições atmosféricas, nessas regiões, serem mais propícias a instabilidade por conta da baroclinicidade que há em latitudes médias. Observou-se também que a maioria dos acidentes ocorreram durante os meses de primavera e verão. Esse fato pode estar associado à grande disponibilidade de energia solar que há nesses períodos, a qual contribui para intensificação dos efeitos locais de convecção, além dos sistemas meteorológicos que atuam nessas estações.

As condições sinóticas observadas no caso do incidente ocorrido em Itaituba/PA, em 18/12/1990, eram de instabilidade na região de estudo. Esta condição foi causada pelos efeitos locais de convecção, que é comum na região tropical. Outra hipótese considerada foi a atuação de um sistema frontal no sudeste do país, o qual interagiu com a circulação da Alta da Bolívia e o Cavado de Altos Níveis, organizando a nebulosidade na faixa noroeste sudeste do país abrangendo parte do Estado do Pará, contribuindo para intensificação da convecção local em Itaituba.

Portanto pode-se dizer que as condições sinóticas e locais, observadas durante o período de estudo, eram favoráveis a instabilidade atmosférica e contribuíram para a ocorrência do incidente com a aeronave da TABA no aeroporto de Itaituba/PA.



REFERÊNCIAS

- BARROS, E. S. *Condições meteorológicas adversas à navegação aérea*. 1992. 34f. Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – UFPA, CG, Faculdade de Meteorologia, Belem, 1992.
- BECKWITH, W.B. *Handbook of Applied Meteorology*, New York: John Willey e Sons, 1985.
- COSTA, F. R. M. “Influências de Determinadas Condições de Tempo no Desempenho das Aeronaves e Cuidados de Prevenção. 2008. 62f. Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – UFPA, IG, Faculdade de Meteorologia, 2008.
- DUTTON JF, CRIS J POULSEN ; JENNI L EVANS. The effect of global climate change on the regions of tropical convection in CSM1. *Geophys. Res. Lett.*, v.27, n.19, p. 3049-3052. 2000.
- FUJITA, T.T. *The Downburst- microburst and macroburst*. Chicago: The University of Chicago Press, 1985. 122p.
- GAN, M.A; KOUSKY, V.E. Estudo observacional sobre as baixas frias da alta troposfera nas latitudes subtropicais do Atlântico Sul e Leste do Brasil. 1982. INPE, São José dos Campos, 1982. (INPE -2579-PRE/227)
- GANDU, A.W.; GEISLER, J.E. A primitive equations model study of the effect of topography on the summer circulation over South America. *J. Atmos. Sci.*, 48, 1882-1836.
- GUTMANN, G.; SCHWERDTFEGER, W.S. The role of latent and sensible heat for development of a high pressure system over the tropical Andes, in the summer. *Meteor. Rundsch.*, n. 18, p.1-7. 1965.
- KOUSKY, V.E.; GAN, M.A. Upper tropospheric cyclonic vortices in the tropical South Atlantic. *Tellus*, v.36, n.6, p.538-551, Dec. 1981.
- KREULS, R.; FRAEDRICH, K.; RUPRECHT, E.R. An Aerological climatology of South America. *Meteor. Rundsch.*, n.28, p. 17-24. 1975
- LAU K-M, WU H-T; BONY S. The role of large-scale atmospheric circulation in the relationship between tropical convection and sea surface temperature. *J. Climate*, n.10, p. 318-392. 1997.
- LILLY, D. K. A Severe downslope windstorm and aircraft turbulence event induced by a mountain wave. *Journal of Atmospheric Sciences*. v. 35, n. 1, p. 59-77. 1978.

LILLY, D. K.; ZIPSER, E. J. “ The Front range windstorm of 11 January 1972.” *Weatherwise*, v. 25, n. 2, p. 56-63. 1972.

MARIA, M. de Linear response of a stratified tropical atmosphere to convective forcing. *J. Atmos. Sci.*, n. 42, p. 1944-1959. 1985.

MATHEUS, S. Segurança de voo e estatística. São Paulo: SIPAER, 1998.

NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES – NAS. *Low altitude wind shear and its hazards to aviation*. Washignton,D.C., 1983.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL – NRC. Low- altitude wind shear and its hazard to aviation. Washington D.C.: National Academy Press, 1983. 112p.

PALMER, C.E. On high-level cyclones originating in the tropics. *Transactions of Americam Geophysics Union*, v. 32, n.5, p.683-695. 1951.

RIEHL, R. *Meteorologia tropical*. Rio de Janeiro: Ao Livro Técnico, 1965.

SADLER, J. *The upper tropospheric circulation over the global tropics*. Hawaii: University of Hawaii, Dept. of Meteorology, 1975. 35.

SILVA, Adyr. Aeroportos e desenvolvimento. Rio de Janeiro: Vila Rica, 1991. p. 403.

SILVA, M. T. F. da. *A Influência das condições significativas adversas de Meteorologia nos acidentes aeronáuticos*. 2007. 60f. Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – UFPA, CG, Belém, 2007.

SIMÕES NETO, B. *Deslocamento de trovoadas na área de Belém – observação por radar de controle de tráfego aéreo*. 1992. 43f. Trabalho de Conclusão de Curso (graduação)– UFPA, CG, Belém, 1992.

SILVA DIAS, P.L.; SCHUBERT, W.H.; MARIA, M. de. Large-scale response of the tropical atmosphere to transient convection. *J. Atmos. Sci.*, n.40, p. 2689-2707. 1983.

VIRJI, H. A preliminary study of the summertime tropospheric circulation patterns over South America from cloud winds. *Mon. Wea. Rev.*, n.19, p. 599-610. 1981.

WIKIPÉDIA. Disponível em: <<http://pt.wikipedia.org/wiki/Itaituba>>. Acesso em 12/11/2011.