

**CINZAS VULCÂNICAS E O GERENCIAMENTO DO TRÁFEGO AÉREO: O CASO DO VULCÃO PUYEHUE**Artur Gonçalves Ferreira <sup>1</sup>Fernando Benedicto Mainier <sup>2</sup>**RESUMO**

Uma erupção vulcânica pode depositar na atmosfera milhares de toneladas de substâncias constituídas por partículas sólidas e vários gases. As partículas menores e os gases são levados pelos ventos em altitude e podem ser transportados por centenas, às vezes, milhares de quilômetros, causando danos ambientais e ocupando grandes extensões do espaço aéreo utilizado pela aviação comercial. Por ser raro esse tipo de abordagem, este trabalho tem o objetivo de analisar o impacto causado ao gerenciamento do tráfego aéreo, em função da nuvem de cinzas vulcânicas expelidas pelo vulcão Puyehue, localizado no sul do Chile, em junho de 2011, que se deslocaram em direção ao espaço aéreo brasileiro, causando sérios transtornos e prejuízos financeiros às companhias aéreas. Com relação à metodologia de pesquisa, o presente trabalho se enquadra no estudo de caso. As considerações finais deverão ajudar no processo de tomada de decisão colaborativa entre os gestores do tráfego aéreo e das companhias de aviação, com intuito de mitigarem o impacto com uso das ferramentas e das informações adequadas para esse tipo de evento.

**Palavras-chave:** Nuvem de cinzas vulcânicas. Navegação aérea. Aviação.

<sup>1</sup> Assessoria de Segurança Operacional do Controle do Espaço Aéreo (ASOCEA), Rio de Janeiro, Brasil. E-mail: arturagf@fab.mil.br

<sup>1</sup> Universidade Federal Fluminense (UFF), Niterói, Brasil. E-mail: mainier@uff.br

# **ANALYSIS OF THE VOLCANIC ASH CLOUD IMPACT INTO THE AIR TRAFFIC MANAGEMENT**

## **ABSTRACT**

*A volcanic eruption can release into the atmosphere thousands of tons of substances consisted of solid particles and several gases. The smaller particles and gases are blown away in the higher altitudes and can be transported through hundreds, sometimes, thousands of kilometers, causing environmental damages and occupying large extensions of aerospace utilized by commercial aviation. As this approach is seldom, this study aims to analyze the impact into the air traffic management caused by the ash cloud spewed from the Puyehue Volcano, from southern Chile, in July, 2011, which has traveled towards the Brazilian aerospace causing severe troubles and financial losses to airlines. With respect to research methodology, this study fits in case study. The final considerations should assist the process of collaborative decision making of air traffic managers and airlines in order to mitigate this impact using suitable tools and information for this type of event.*

**Keywords:** *Volcanic ash cloud. Air navigation. Aviation.*

**RBAC & CIA**  
Revista Brasileira de Aviação Civil  
& Ciências Aeronáuticas

ISSN 2763-7697

## **1 INTRODUÇÃO**

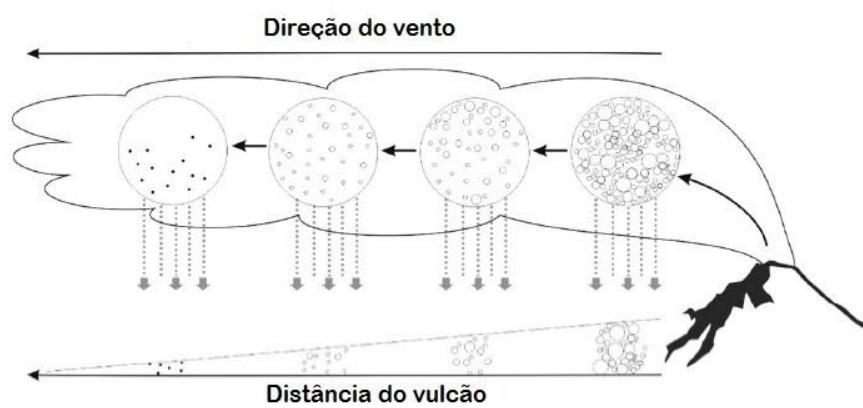
Segundo Vagner (2010) e Showstack (2011), as nuvens de cinzas vulcânicas têm causado um grande impacto à navegação aérea internacional. Os custos associados a esses incidentes são difíceis de determinar, pois incluem os custos diretos, como o dano às aeronaves em voo e no solo, os atrasos, os cancelamentos, o realinhamento da malha aérea, o fechamento e a limpeza dos aeroportos e dos equipamentos de auxílio à navegação (CASADEVALL; DELOS REYES; SCHNEIDER, 1996).

Nesse cenário, os aviões comerciais a jato são os que sofrem os danos mais graves, quando voam através de nuvens que contêm detritos de rochas finamente fragmentadas e gases ácidos produzidos por explosivas erupções vulcânicas. Essas nuvens não podem ser detectadas por radares meteorológicos

a bordo das aeronaves e são difíceis de distinguir visualmente das nuvens meteorológicas (CASADEVALL; DELOS REYES; SCHNEIDER, 1996).

Conforme Wilson *et al.* (2012), a cinza vulcânica mais grosseira e os piroclastos (pedras lançadas do vulcão) se precipitam rapidamente nas proximidades do vulcão, a não ser na presença de correntes ascendentes muito fortes, mas a cinza mais fina e leve pode ser levada pelos ventos, em seus diversos níveis, a grandes distâncias (Figura 1).

Figura 1 – Dispersão das cinzas pelo vento



Fonte: Wilson *et al.* (2012)

O primeiro caso conhecido que afetou a aviação foi em 1944, durante a Segunda Guerra Mundial, conforme relata Ferreira (2006), na ocasião da erupção do vulcão Vesúvio, quando foram danificados 88 bombardeiros B-25 norte-americanos, deixando-os completamente fora de combate. Após esse fato, vários eventos foram relatados por pilotos e investigadores de acidentes aeronáuticos.

De acordo com Mendonça (2011), na aviação comercial, o problema das cinzas vulcânicas não é tão novo quanto parece. Em 1980, um Boeing 727 e um DC-8 tiveram problemas com vários dos seus sistemas e para-brisas, após encontrarem cinzas vulcânicas provenientes do Monte Santa Helena, nos Estados Unidos, porém conseguiram pousar sem maiores problemas.

Mas, o primeiro caso relacionado às cinzas vulcânicas que alcançou enorme atenção da indústria aeronáutica foi em 1982, quando o mundo soube do drama envolvendo um avião Boeing 747 da British Airways, que perdeu a

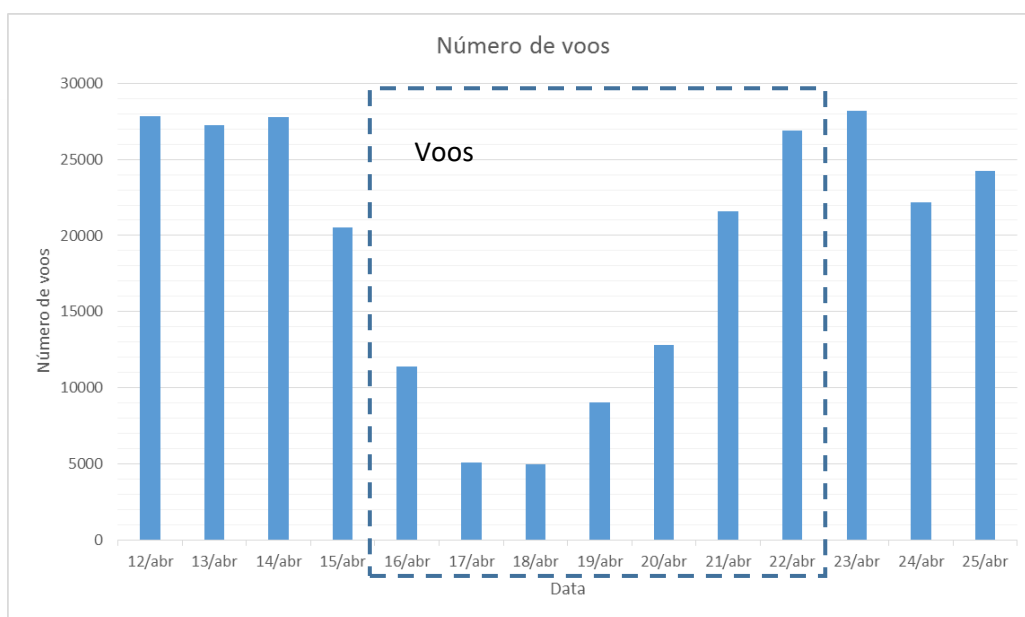
potência em todos os quatro motores, durante o voo, a 37.000 pés (FL 370), entre a Malásia e a Austrália. Durante dezesseis minutos, o avião desceu de 37.000 pés para 12.000 pés, altura em que o piloto foi capaz de reiniciar três dos quatro motores e fazer um pouso de emergência em Jacarta, na Indonésia (DE GRANDIS *et al.*, 2012).

Outro evento de repercussão foi 1989, no voo KLM 867, operado por outro Boeing 747- 406M, o PH-BFC, que havia decolado de Amsterdam com destino ao Aeroporto de Narita, no Japão, transportando 231 passageiros e 14 tripulantes. Nesse caso, quando sobrevoava o Monte Redoubt, no Alasca, que havia entrado em erupção apenas um dia antes, a aeronave se encontrou em uma enorme nuvem de cinzas vulcânicas. As cinzas provocaram a parada completa de todos os quatro motores, e o 747 da KLM se tornou, então, um enorme planador (MENDONÇA, 2011).

Segundo Budd *et al.* (2011), o risco das cinzas vulcânicas para a navegação aérea ficou muito mais evidente quando, em abril de 2010, o vulcão Eyjafjallajökull, localizado na Islândia, expeliu uma enorme nuvem de cinzas, o que provocou a interdição completa do tráfego aéreo sobre a maioria dos países europeus entre os dias 14 e 23 de abril (Gráfico 1). Essa medida foi inédita e afetou o tráfego aéreo mundial mais do que os ataques terroristas de 11 de setembro de 2001 nos Estados Unidos.



Gráfico 1 – Demonstração do número de voos no período



Fonte: Adaptado de BUDD *et al.*, 2011.

Infelizmente, para a aviação, as erupções vulcânicas e as nuvens de suas cinzas são eventos mais comuns do que se imagina. O caso do vulcão Eyjafjallajökull foi realmente dramático, mas eventos menores acontecem com frequência, várias vezes ao ano, no mundo inteiro. Muitos vulcões ativos ficam em rotas muito voadas, como é o caso do Monte Soufrière, na Ilha de Montserrat, no Caribe, que fica bem na rota entre o Brasil e a Costa Leste dos Estados Unidos e que entrou em erupção em 1995.

Na América do Sul, existem muitos vulcões, como na Argentina e, especialmente, no Chile, mas são observados vulcões ativos em toda a região dos Andes. Um serviço permanente de alerta contra nuvens de cinzas atualmente é prestado pelos Centros de Avisos de Cinzas Vulcânicas para proteger a aviação desse tipo de risco. No mundo inteiro, existem nove desses centros que monitoram cinzas baseadas em informações de terra, relatórios de pilotos, imagens de satélites e modelos numéricos de dispersão.

No Brasil, apesar de não existirem vulcões, as nuvens de cinzas vulcânicas produzidas em países como Argentina, Chile, Peru, Equador e Colômbia podem influenciar no gerenciamento do tráfego aéreo,



---

principalmente nas aerovias da Região de Informação de Voo, de Curitiba (FIR- CW), a mais movimentada no espaço aéreo brasileiro. Nas últimas duas décadas, alguns eventos causaram sérios problemas à navegação aérea na Argentina, no Brasil, no Chile e no Uruguai, principalmente o que aconteceu em 2011, com as erupções do vulcão chileno Puyehue.

As erupções do vulcão Puyehue começaram na sexta-feira (04/06/2011). Já na noite da segunda-feira (06/06/2011), ao menos cinco companhias aéreas decidiram cancelar seus voos, como medida preventiva, a partir do Aeroporto Internacional de Ezeiza (SAEZ), localizado na província de Buenos Aires, na Argentina, em direção às cidades brasileiras e chilenas, em razão da presença de cinzas vulcânicas na atmosfera (BBC, 2011).

Segundo Stewart *et al.* (2013), nesse evento, o aeroporto de San Carlos de Bariloche ficou fechado até o dia 5 de julho, devido ao depósito de cinzas vulcânicas nas instalações aeroportuárias e nas aeronaves que estavam estacionadas no pátio (Figura 2). Esse fato gerou a paralisação das atividades turísticas nessa cidade argentina, localizada a 100 quilômetros do vulcão, e o cancelamento de vários voos, inclusive do Brasil. Segundo a Força Aérea Brasileira (FAB), a fumaça do vulcão do Chile atingiu o espaço aéreo brasileiro no dia 7 de junho, mais precisamente, na fronteira com o Uruguai.

Raga *et al.* (2013) relatou que, dois dias após a erupção, a nuvem já havia se deslocado aproximadamente 1.400 km, no sentido nordeste, causando o fechamento dos dois principais aeroportos de Buenos Aires: Aeroparque (AEP) e Ezeiza (EZE). Na semana mais crítica do evento, entre os dias 6 e 13 de junho, somente no aeroporto de Ezeiza (EZE), em Buenos Aires, foram cancelados mais de 300 voos (BBC, 2011).

Figura 2 – Imagem de satélite indicando cinzas vulcânicas



Fonte: NASA, 2011.

Mas, durante praticamente todo o mês de junho de 2011, uma grande quantidade de voos foi cancelada e dezenas de aeroportos permaneceram fechados, por vários dias, devido ao depósito de material vulcânico sobre as aeronaves, pátios e pistas, causando grande prejuízo financeiro a várias companhias aéreas da Argentina, do Brasil e do Chile, principalmente.

No Brasil, somente as duas maiores empresas aéreas que, juntas, na época, representavam quase 90% do tráfego aéreo nacional, tiveram suas escalas de voos impactadas, com sucessivos atrasos e cancelamentos, o que trouxe vários inconvenientes às companhias e ao sistema de tráfego aéreo brasileiro (BBC, 2011).

O Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA) informou que a nuvem de cinzas chegou ao espaço aéreo da Argentina e do Uruguai, incluindo as capitais Buenos Aires e Montevideú, deslocando-se entre 7 e 10 km de altitude. Ainda de acordo com o boletim, o Centro de Gerenciamento da Navegação Aérea (CGNA) “estava monitorando atentamente a evolução do quadro, pela proximidade com a Região Sul do Brasil” (BBC, 2011).

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 ERUPÇÕES VULCÂNICAS

A América do Sul é uma das regiões que registra o maior número de desastres provocados por eventos naturais no mundo, destacando-se, na última década, os terremotos e as erupções vulcânicas, principalmente no Chile, no Equador e no Peru. Esses eventos são responsáveis pela perda de milhares de vidas, pelo impacto na infraestrutura instalada e por grandes danos sociais e econômicos (ROMERO, 2013).

Segundo Lopes (2008), a definição clássica de vulcão é uma abertura na superfície da Terra por onde o magma emerge. Magma é rocha derretida, contendo gases dissolvidos e cristais, que se formaram em grandes profundidades. As erupções vulcânicas são pequenas manifestações de eventos que acontecem em grandes profundidades. Nessas manifestações, o vulcão expelle fragmentos sólidos minúsculos, em forma de cinzas. As nuvens dessas erupções se propagam rapidamente, com a direção e a velocidade do vento predominante.

As erupções vulcânicas consistem essencialmente na saída, para a superfície terrestre e para a atmosfera, de magma ou material fluido gerado no interior do vulcão e também na liberação de grande quantidade de gases, que são responsáveis pelos fenômenos explosivos da atividade vulcânica (ÁLVAREZ, 2012).

### 2.2 ERUPÇÃO DO VULCÃO PUYEHUE

Um vulcão do Chile, denominado Puyehue, entrou em erupção no dia 4 de junho de 2011, lançando uma grande quantidade de fumaça de gases vulcânicos na atmosfera, conforme informações do Ministro de Mineração do Chile, Laurence Golborne. A explosão do Puyehue gerou uma coluna de cinzas e gases com 10 km de altura e com largura de 5 km, a qual atingiu rapidamente uma extensão aproximada de 3.300 km (LIMA *et al.*, 2012). A última erupção desse vulcão havia sido em 1960.



O vulcão Puyehue faz parte da cadeia *Puyehue-Cordón Caulle* e tem 2.236 metros de elevação. Está localizado no sul do Chile (40,59° S / 72,117° W), perto da fronteira com a Argentina e, desde 4 de junho de 2011, tem provocado várias erupções. Esse complexo vulcânico está localizado na Cordilheira dos Andes, a cerca de 950 quilômetros de distância da cidade de Santiago, capital chilena. Essa região é pouco povoada, no entanto, essa erupção obrigou a retirada de mais de 3,5 mil pessoas do local (SMITHSONIAN, 2016).

Francisco (2016) relatou que a atividade eruptiva do vulcão Puyehue foi precedida por uma crise sísmica nos dias 3 e 4 de junho de 2011, chegando a mais de 230 terremotos por hora, com 50 eventos acima de 3 graus na escala Richter. No mesmo dia 4 de junho, uma explosão gerou a coluna de cinza vulcânica de aproximadamente 12 km de altitude, que foi transportada pelos ventos no território argentino, causando queda de cinza na cidade de San Carlos de Bariloche. A coluna de cinza vulcânica continuou nos dias seguintes (Figura 2) e o material vulcânico transportado pelos ventos chegou até o oceano Atlântico, gerando problemas para a navegação aérea durante vários dias e causando cancelamentos de mais de 300 voos na Argentina.

### 2.3 CARACTERÍSTICAS DAS CINZAS VULCÂNICAS

Segundo Alves (2005), já na Antiguidade, o filósofo Sêneca (60 a.C.) reconhecia que as cinzas libertadas nas erupções vulcânicas constituíam a causa da turvação atmosférica. No entanto, somente no século XVIII se descobriu que os aerossóis vulcânicos podiam ser transportados a longas distâncias. Invocando o ano de 1783, Benjamin Franklin escreveu que “a época sem verão podia dever-se a uma erupção de um vulcão na Islândia”.

Os vulcões são fontes esporádicas relativamente importantes de aerossóis e gases. Estima-se que a atividade vulcânica seja responsável pelo lançamento, para a atmosfera, de 15 a 90 Tg por ano de partículas. A cinza vulcânica é constituída de minúsculas partículas, com menos de 1/16

mm de diâmetro. Uma fração importante das partículas produzidas por estas fontes apresenta dimensões bastante reduzidas ( $\approx 1 \mu\text{m}$ ), permanecendo por longos períodos na atmosfera (ALVES, 2005).

A mais abrangente classificação dos produtos vulcânicos tem em conta o seu aspecto químico, designadamente os seus teores em sílica e em álcalis. Assim, as rochas ácidas são as que apresentam maiores teores em sílica. As rochas siliciosas são compostas predominantemente por quartzo e feldspato e por pequenas quantidades de mica ou de anfíbola (NUNES, 2002).

#### 2.4 EFEITOS DAS CINZAS VULCÂNICAS NAS AERONAVES

As aeronaves afetam a nossa maneira de viver de diferentes maneiras. Estão cada vez mais seguras, porém muito mais sofisticadas e automatizadas do que antes. A indústria aeronáutica evoluiu da época de máquinas barulhentas, que voavam em baixas velocidades, para aeronaves comerciais que transportam centenas de passageiros em voos intercontinentais (MENDONÇA, 2011).

Com isso, esses sistemas complexos tendem a ficar ainda mais suscetíveis, o que, por sua vez conduz ao aumento do risco de acidentes. Estes eventos não acontecem por azar, e sim, como consequência de fatores ou falhas múltiplas, todos interconectados, que resultam em um resultado inesperado (STRAUCH, 2002).

Segundo Ferreira (2006), quando um vulcão entra em erupção, uma enorme quantidade de partículas é lançada na atmosfera, tornando a atividade aérea perigosa, em todos os níveis da troposfera. As nuvens de cinzas vulcânicas permanecem por muito tempo e podem se deslocar por milhares de quilômetros, o que pode causar sérios transtornos às aeronaves, principalmente as movidas por motores a jato, por voarem nos níveis mais altos e a grandes distâncias. Essas cinzas, em grande concentração, podem danificar as estruturas das aeronaves e causar perda

no desempenho dos motores, ocasionando até seu o completo apagamento.

As cinzas vulcânicas provocam danos em todas as superfícies da aeronave, quando em contato com elas. Conforme García Pérez (2010), os danos mais graves são nos para-brisas da cabine de comando, com a perda de visibilidade, pelos pilotos, e a não confiabilidade das informações de velocidade, devido à obstrução dos tubos de Pitot (Figura 3).

Figura 3 – Danos causados pelas cinzas vulcânicas



Fonte: García Pérez (2010).

A cinza também pode danificar outros instrumentos no exterior da aeronave, como as antenas de rádio, impedindo a comunicação e o pouso por instrumentos, além de bloquear o sistema de resfriamento e causar alarmes falsos de incêndio no compartimento de carga.

Nos motores, efetivamente, são três os efeitos que contribuem para os danos: erosão dos rotores do compressor, formação de silicatos fundidos nas câmaras de combustão e nas turbinas e a obstrução do sistema de combustível e de resfriamento do motor.

## 2.5 PROBLEMAS CAUSADOS PELA CINZA VULCÂNICA NO GERENCIAMENTO DO TRÁFEGO

Com o crescente aumento do tráfego aéreo internacional, houve uma preocupação maior do monitoramento do movimento das nuvens de cinzas vulcânicas, pois a ameaça dos vulcões à segurança de voo atraiu a atenção da comunidade aeronáutica, quando várias aeronaves comerciais sofreram danos graves após se depararem com cinzas vulcânicas. Dados da *Flight Safety Foundation - FSF* (1993), mostram que os vulcões ativos lançam vários produtos na atmosfera, dentre eles o *tephra*, pedaços de rocha e vidro menores que 2 milímetros de diâmetro. Tais fragmentos raramente ultrapassam 20.000 pés de altitude (FL 200) e geralmente se dispersam a até cem milhas do vulcão. Porém, durante algumas erupções, tais produtos podem ultrapassar 100.000 pés de altitude e, em algumas situações, quando associados às correntes de ar, podem circular o globo terrestre.

A explosão do vulcão islandês *Eyjafjallajökull*, em abril de 2010, permitiu avaliar as dificuldades impostas ao uso do espaço aéreo, quando na presença de um imenso volume de cinzas vulcânicas e gases (LIMA, 2012). A maioria dos encontros de aeronaves com cinzas vulcânicas foi reportada em altitudes maiores que 7.500 metros (FL 250), nas quais os jatos comerciais fazem procedimentos para os seus voos (GUFFANTI, 2010).

Segundo Guffanti (2009), desde 1980, cinco aeroportos, em média, foram afetados por atividade vulcânica, o que indica que os riscos para essas infraestruturas não são tão raros assim, em termos mundiais.

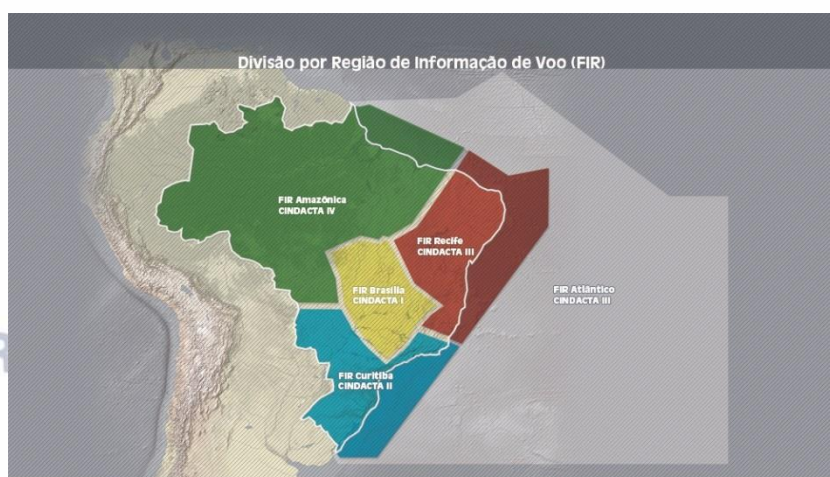
## 2.6 GERENCIAMENTO DO TRÁFEGO AÉREO

O principal objetivo do Gerenciamento do Tráfego Aéreo é garantir voos seguros, regulares e eficazes, respeitando as condições meteorológicas reinantes e as limitações operacionais da aeronave. O provimento deste serviço no país está baseado nas normas e nos métodos

recomendados pela Organização de Aviação Civil Internacional (OACI), a fim de manter o Brasil no patamar de segurança desejado para a navegação aérea e garantir a prestação de um serviço eficiente a todas as aeronaves que utilizam o nosso espaço aéreo (DECEA, 2011).

O Brasil tem a responsabilidade de administrar o espaço aéreo territorial (8.511.965 km<sup>2</sup>) e o espaço aéreo sobrejacente à área oceânica, que se estende até o meridiano 10<sup>o</sup> W, perfazendo um total de 22 milhões de km<sup>2</sup> (Figura 4). Manter a segurança da navegação aérea nessa enorme área é uma tarefa delicada, fundamental e contínua.

Figura 4 – Espaço aéreo brasileiro



Fonte: DECEA, 2016.

Nesse imenso espaço, existem diversos eventos acontecendo ao mesmo tempo, tais como: voos comerciais, voos militares, ensaios de voo, lançamentos de sondas e foguetes, voos de asa delta, saltos de paraquedas, treinamentos de tiros antiaéreos, entre outros.

Para garantir a convivência segura desses eventos, visando a estabelecer estruturas, procedimentos e regras de utilização do espaço aéreo, deve-se conhecer a demanda de tráfego aéreo atual e futura e a infraestrutura instalada.

Da análise dessas informações, são estabelecidas as ações adequadas para cada segmento do espaço aéreo; as estruturas para o uso



eficaz do espaço aéreo e suas aerovias; os procedimentos de subida e descida, a delimitação de áreas condicionadas que restringem, proíbem ou alertam sobre possíveis perigos aos aeronavegantes; as necessidades operacionais que irão balizar as diversas concepções de empreendimentos para a implantação de órgãos de controle do trafego aéreo, radares, auxílios à navegação aérea, equipamentos de telecomunicação, bem como o dimensionamento de pessoal operacional, os espaços onde os controladores de tráfico poderão prover a separação das aeronaves, dentre outros (DECEA, 2016).

O Gerenciamento de Tráfego Aéreo não é uma atividade única. Ramifica-se em três segmentos especializados: Gerenciamento do Espaço Aéreo, Gerenciamento de Fluxo de Tráfego Aéreo e Serviço de Tráfego Aéreo.

### **3 METODOLOGIA**

A pesquisa é descritiva, pois sua abordagem está preocupada com o aprofundamento da compreensão sobre o impacto provocado pela erupção do vulcão Puyehue no gerenciamento do tráfico aéreo no Brasil, no período compreendido de 4 a 13 de junho de 2011.

Na visão de Gil (2012), esse tipo de pesquisa tem como objetivo primordial a descrição das características de determinada população, fenômeno ou o estabelecimento de relações entre variáveis, assim como, no presente estudo, busca-se descrever a relação entre os impactos à navegação aérea e a erupção do vulcão chileno Puyehue, por isso o caráter descritivo desse estudo, em um estudo de caso. Sendo assim, quanto à natureza, a pesquisa, por se tratar de estudo de caso, caracteriza-se como sendo qualitativa.

A primeira fase da pesquisa contou com o levantamento de documentos acerca das erupções vulcânicas e suas relações com a navegação aérea, quando foi realizada a pesquisa bibliográfica que propiciou o levantamento de fontes referentes ao tema de estudo,

publicadas em livros, periódicos científicos brasileiros e internacionais, revistas, textos para jornais, bem como documentos oficiais e arquivos disponíveis na internet e em bibliotecas virtuais.

Na segunda fase, foram levantados dados do Relatório de Voos da INFRAERO, como o número de movimentos diários no período, assim como os voos cancelados e atrasados, que, em função da infraestrutura do espaço aéreo e dos aeroportos nacionais, provocam impactos no gerenciamento da navegação aérea, causando transtornos às companhias aéreas e aos passageiros, como última instância desse processo.

#### 4 RESULTADOS

A erupção do vulcão chileno Puyehue afetou milhares de voos com destino às regiões atingidas pelas cinzas vulcânicas. Mesmo diante da escassez de ferramentas que pudessem auxiliar o acompanhamento do fenômeno, utilizaram-se todos os recursos existentes nessa área, mantendo uma vigilância constante, disponibilizando informações com a situação observada e prevista, possibilitando, assim, uma tomada de decisão no Gerenciamento de Fluxo, visando minimizar os impactos causados.

A Tabela 1 mostra o número de voos programados diariamente, no período de 4 a 13 de junho de 2011, de acordo com o histórico dos voos da INFRAERO. Estavam programados 51.694 voos comerciais.

Tabela 1 - Números de voos programados

<b>Dia</b>	<b>Voos</b>
04/06 - Sábado	4.519
05/06 - Domingo	4.678
06/06 - Segunda-feira	5.455
07/06 - Terça-feira	5.664
08/06 - Quarta-feira	5.491
09/06 - Quinta-feira	5.494
10/06 - Sexta-feira	5.528
11/06 - Sábado	4.702
12/06 - Domingo	4.671
13/06 - Segunda-feira	5.492

Fonte: INFRAERO, 2016.

A Tabela 2 mostra o número de voos cancelados durante o período de 4 a 13 de junho de 2011. Houve o cancelamento de 5.017 voos comerciais. Na terça-feira (07/06), aumentou consideravelmente o número de voos cancelados, com um total de 771, culminando com 814 voos que deixaram de ser realizados na sexta-feira (10/06). Os cancelamentos continuaram no sábado (11/06), com 684 voos que deixaram de partir de seus destinos (INFRAERO, 2016).

Tabela 2 – Voos cancelados

Data	Números de Voos cancelados
04/06 - Sábado	324
05/06 - Domingo	141
06/06 - Segunda-	290
07/06 - Terça-feira	771
08/06 - Quarta-feira	598
09/06 - Quinta-feira	647
10/06 - Sexta-feira	814
11/06 - Sábado	684
12/06 - Domingo	290
13/06 - Segunda-feira	458

Fonte: INFRAERO, 2016.

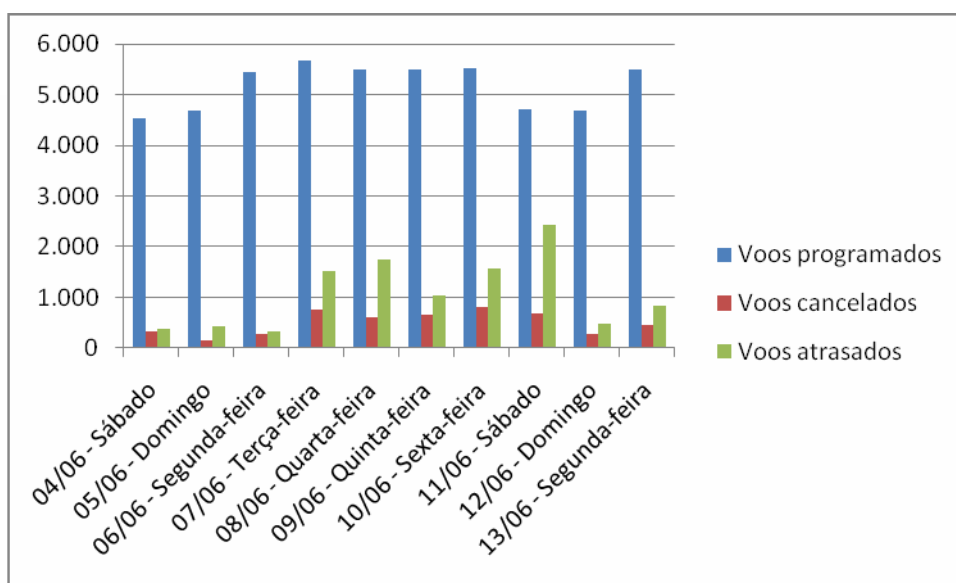
A Tabela 3 mostra o número de voos atrasados de 4 a 13 de junho de 2011. Saíram ou chegaram, com atraso de mais de 30 minutos, 10.726 voos.

Tabela 3 - Números de voos atrasados

Dia	Voos
04/06 - Sábado	370
05/06 - Domingo	422
06/06 - Segunda-feira	320
07/06 - Terça-feira	1.523
08/06 - Quarta-feira	1.739
09/06 - Quinta-feira	1.027
10/06 - Sexta-feira	1.574
11/06 - Sábado	2.428
12/06 - Domingo	479
13/06 - Segunda-feira	844

Fonte: INFRAERO, 2016.

Gráfico 2 - Comparativo dos voos programados, cancelados e atrasados



Fonte: INFRAERO, 2016.

No gráfico comparativo, fica claro o impacto à navegação aérea, principalmente no período de 7 a 11 de junho de 2011, quando 3.514 voos foram cancelados e 8.291 voos chegaram com atrasos de mais de 30 minutos em seus destinos.

## 5 CONCLUSÕES

No desenvolvimento deste trabalho, foi detectado o impacto operacional no espaço aéreo brasileiro, o que causou transtornos ao gerenciamento da navegação aérea, com sucessivos atrasos e cancelamento de diversos voos nacionais e internacionais, o que também, provavelmente, provocou prejuízos financeiros às companhias aéreas.

As informações apresentadas nesta pesquisa podem ser de grande utilidade para os órgãos responsáveis pelo gerenciamento da navegação aérea, por ter sido mais bem compreendido o comportamento das emissões das cinzas vulcânicas através da erupção do vulcão Puyehue.

Por fim, oportunamente, mais investigações sobre os meios de detecção, densidade, monitoramento e previsão do deslocamento da nuvem devem ser realizadas para a mitigação dos possíveis impactos à navegação

aérea, assim como problemas operacionais às empresas aéreas e, por fim, transtornos aos passageiros.

## REFERÊNCIAS

- ÁLVAREZ, J. A. A. **Methodology simulate the dispersion of volcanic ash in the atmosphere.** Revista Unimar, n. 60, p. 21-41, 2012.
- ALVES, C. **Aerossóis atmosféricos: perspectiva histórica, fontes, processos químicos de formação e composição orgânica.** Quim. Nova, Vol. 28, n. 5, p. 859-870, 2005.
- BBC. **Cancelamento dos voos devido às cinzas vulcânicas.** Disponível em <<http://www.bbc.com/portuguese>>. Acesso em 23 abr. 2016. 2011.
- BUDD, L. S. et al. **A fiasco of volcanic proportions? Eyjafjallajökull and the closure of European airspace.** Mobilities, 6 (1), p. 31-40, 2011.
- CASADEVALL, T. J.; DELOS REYES, P. J.; SCHNEIDER, D. J. **The 1991 Pinatubo eruptions and their effects on aircraft operations. Fire and Mud: eruptions and lahars of Mount Pinatubo.** Philippines, p. 625-636, 1996.
- DECEA. **Gerenciamento do tráfego aéreo.** Disponível em <<http://www.decea.gov.br/espaco-aereo/gerenciamento-de-trafego-aereo/>>. Acesso em 24 abr. 2016.
- DE GRANDIS, E. et al. **Managing risk in real contexts with scarcity of data and high potential hazards: the case of flights in airspace contaminated by volcanic ash.** Proceedings of PSAM-11 – ESREL, p. 25-29, 2012.
- FERREIRA, A. G. **Meteorologia prática.** São Paulo: Oficina de textos, 2006.
- FLIGHT SAFETY FOUNDATION. **Volcanic hazards and aviation safety: lessons of the past decade.** Estados Unidos, maio, 1993. Disponível em: <[http://flightsafety.org/fsd/fsd\\_may93.pdf](http://flightsafety.org/fsd/fsd_may93.pdf)>. Acesso em 25 abr. 2016.
- FRANCISCO, W. C. **Vulcão do Chile.** Brasil Escola. Disponível em <<http://brasilecola.uol.com.br/geografia/vulcao-chile.htm>>. Acesso em 05 jun. 2016.



GARCÍA PÉREZ, Alberto. **El efecto de las cenizas volcánicas el la aeronave**. Manual formativo, La revista de ACTA, n. 57, p. 17-28, 2010.

GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2012.

GUFFANTI, M. et al. **Volcanic hazards to airports**. *Natural hazards*, v. 51, n. 2, p. 287-302, 2009.

INFRAERO. **Relatório de histórico dos voos**. Disponível em <<http://www.infraero.gov.br/hstvoos/Relatorio.aspx>>. Acesso em 10 jun. 2016.

LIMA, E. F. et al. **Morfologia e química de cinzas do vulcão Puyehue depositadas na região metropolitana de Porto Alegre em junho de 2011**. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 42, n. 2, p. 265-280, 2012.

LOPES, R. **Turismo de aventura em vulcões**. São Paulo: Oficina de textos, 2008.

MENDONÇA, F. A. C. **Cinzas vulcânicas e a segurança de voo**. *Conexão SIPAER*, v. 3, n. 1, p. 77-90, 2011.

NUNES, J. C. **Novos conceitos em vulcanologia: erupções, produtos e paisagens vulcânicas**. *Geonovas*, v. 16, n. 2002, p. 5-22, 2002.

OXFORDECONOMICS. **The Economic Impacts of Air Travel Restrictions Due to Volcanic Ash**. Disponível em <<http://www.oxfordeconomics.com>>. Acesso em 26 abr. 2016.

RAGA, G. B. et al. **The environmental impact of the Puyehue–Cordón Caulle 2011 volcanic eruption on Buenos Aires**. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, v. 13, n. 9, p. 2319-2330, 2013.

ROMERO, H. **Erupções vulcânicas no Chile**. *Revista Retratos da Escola*, Brasília, v. 7, n. 13, p. 513-527, 2013.

SHOWSTACK, R. **Scientists Outline Volcanic Ash Risks to Aviation**. *Eos, Transactions American Geophysical Union*, v. 92, n. 2, p. 15-15, 2011.

SMITHSONIAN INSTITUTION. **Global Volcanism Program**. National Museum of Natural History. Washington, D.C., 2016. Disponível em <<http://volcano.si.edu/>>. Acesso em 24 abr. 2016.

STEWART, C. et al. **Impacts of the June 2011 Puyehue-Cordón Caulle volcanic complex eruption on urban infrastructure, agriculture and public health**. *GNS Science*, 2013.

STRAUCH, B. **Investigating human error: incidents, accidents, and complex systems.** Aldershot: Ashgate, 2002.

VAGNER, J. **Eruption of the EYJAFJALLAJÖKULL.** Acta Avionica, v. 12, n. 20, 2010.

WILSON, T. M. et al. **Volcanic ash impacts on critical infrastructure.** *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, v. 45, p. 5-23, 2012.

