PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE GOIÁS

ESCOLA POLITÉCNICA

CURSO DE CIÊNCIAS AERONÁUTICAS

**O MISTÉRIO POR TRÁS DA SÍNDROME AEROTÓXICA**

GOIÂNIA

2021

RONALLDO RODRIGUES PARREÃO JUNIOR

**O MISTÉRIO POR TRÁS DA SÍNDROME AEROTÓXICA**

GOIÂNIA

2021

RONALLDO RODRIGUES PARREÃO JUNIOR

**O MISTÉRIO POR TRÁS DA SÍNDROME AEROTÓXICA**

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

Orientador: Prof. Raul Francé Monteiro.

GOIÂNIA

2021

RONALLDO RODRIGUES PARREÃO JUNIOR

**O MISTÉRIO POR TRÁS DA SÍNDROME AEROTÓXICA**

GOIÂNIA-GO, 7/12/2021.

**BANCA EXAMINADORA**

M. Sc. Raul Francé Monteiro \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_CAER/PUC-GO \_\_\_\_\_\_\_\_

 Assinatura Nota

Esp. Andréluiz da Silva Fernandes \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_CAER/PUC-GO \_\_\_\_\_\_\_

 Assinatura Nota

Esp. William de Carvalho Xavier\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ CAER/PUC-GO \_\_\_\_\_\_\_

 Assinatura Nota

**AGRADECIMENTOS**

A Deus, todo a minha gratidão por esta caminhada intelectual que me permitiu chegar a este trabalho final. Uma jornada que me ensinou o valor do foco, da persistência, da coragem, e, sobretudo, da fé. A Ele – que foi meu suporte, minha esperança e meu guia – toda a honra: o resultado desse trabalho é para a glória do Seu nome.

Agradeço profundamente aos meus pais, Ronaldo Rodrigues Parreão e Maria da Paz Barros Parreão, que tanto se sacrificaram, se dedicaram e abdicaram de seu tempo e de muitos projetos pessoais para que eu tivesse a oportunidade de estudar e ter uma boa formação profissional, mas também pessoal. Eu devo tudo que sou a vocês, e se sintam orgulhosos do lugar aonde cheguei. Se isso está acontecendo, é porque sei que vocês vieram segurando a minha mão.

Ao meu orientador, Prof. Raul Francé Monteiro, um agradecimento especial pela parceria que mantivemos e pela crença no potencial e na importância do meu tema de pesquisa, por trilhar esse caminho intelectual comigo e por ter sido inspiração teórica e metodológica para o alcance dos resultados aqui apresentados.

Meu agradecimento pelas amizades que fiz ao longo do curso, em especial ao Marcel Benfica, ao José Negreiros e ao Mateus Freitas. Obrigado pelo apoio, carinho, amor e parceria durante todo esse tempo e por todas as coisas que me proporcionaram. Nem sempre foi fácil enfrentar os desafios, mas partiu de vocês o incentivo para continuar lutando e não pensar em desistir.

Ao Comandante Francisco Dreher Mansur e ao meu amigo Piero Martelli, um agradecimento especial pela gentileza das contribuições oferecidas a este trabalho.

À revisora Ludmila Déroulède, pelas contribuições finais ao meu texto, dando-lhe mais fluidez, coerência e precisão. Sou grato, ainda, pelas suas palavras de incentivo e por manter-me motivado nessa reta final.

**O MISTÉRIO POR TRÁS DA SÍNDROME AEROTÓXICA**

***THE MYSTERY BEHIND THE AEROTOXIC SYNDROME***

RONALLDO RODRIGUES PARREÃO JUNIOR[[1]](#footnote-1)

RAUL FRANCÉ MONTEIRO[[2]](#footnote-2)

**RESUMO**

O termo Síndrome Aerotóxica foi adotado para definir doenças decorrentes da exposição da tripulação ao ar contaminado do avião por óleo sintético e outros aditivos lubrificantes de motores de aeronaves a jato. O processo de contaminação ocorre quando alguma parte do sistema de ventilação tem sua eficácia de operação reduzida por conta do desgaste da vedação. Em seguida, o óleo do motor pode vazar e, caso isso ocorra, irá se juntar ao ar sangrado do motor, que é enviado à cabine por meio do sistema de ventilação. Após inalado, o ar contaminado tem o potencial de acarretar problemas neurológicos, respiratórios e déficit cognitivo por conter substâncias tóxicas, como o Fosfato Tricesilo (TCP), presente nos vapores de óleos. Desta forma, a principal finalidade da abordagem dessa temática é informar a comunidade aeronáutica, como também os usuários mais assíduos do transporte aéreo, quanto aos males que essa modalidade de intoxicação pode causar. Ademais, o estudo busca relacionar os meios existentes para amenizar este problema. Para a construção deste trabalho, foram coletados dados em fontes bibliográficas – artigos, manuais, livros, publicações científicas, teses e dissertações – e documentais à procura de casos concretos confirmados ou de indícios de perigo à saúde relatados em voos. Evidenciou-se que entre as alternativas conhecidas é possível migrar para um sistema já utilizado em aeronaves do transporte regular de longo curso, qual seja, um sistema de compressores elétricos para o ar climatizado da cabine (CACs), com o benefício de não produzir gases tóxicos e nefastos à saúde dos usuários e tripulantes.

**Palavras-chave:** Síndrome Aerotóxica; Fumaça Tóxica; Organofosforados; Substâncias Químicas.

***ABSTRACT***

*The expression Aerotoxic Syndrome was adopted to conceptualize illnesses resulting from the exposure of the crew to air contaminated by synthetic oil and other lubricating additives from jet aircraft engines. The contamination process that generates the syndrome occurs when some part of the ventilation system has its operating efficiency reduced due to seal wear. The engine oil can then leak and, if it happens, it will join the engine's bleed air, which is sent to the cabin through the ventilation system. After inhaling, this contaminated air has the potential to cause neurological, respiratory, and cognitive impairment problems because it contains toxic substances, such as Tricesyl Phosphate (TCP), present in oil vapors. Thus, the main purpose of addressing this issue is to inform the aeronautical community, as well as the most frequent users of air transport, about the harm that this type of intoxication can cause. Furthermore, the study intends to list the existing means aimed at alleviating this problem. For the construction of this work, data were collected from bibliographical sources – articles, manuals, books, scientific publications, theses, and dissertations – and documental ones in search of confirmed concrete cases or signs of health hazards reported in flights. It was evident that among the known alternatives, it is possible to migrate to a system already used in long-haul regular transport aircraft, that is, a system of electric compressors for the air-conditioned cabin air (CACs), with the benefit of not producing toxic gases harmful to the users’ and crew’s health.*

***Keywords:*** *Aerotoxic Syndrome; Fume Events; Toxic Smoke; Organophosphates; Chemical Substances.*

**INTRODUÇÃO**

É de conhecimento público e notório que a aviação está em constante desenvolvimento e, com as inovações da tecnologia, foram possíveis às aeronaves voos em maiores altitudes, nas quais a oxigenação torna-se mais restrita a bordo. Para resolver esse impasse, criaram-se as cabines pressurizadas onde o ar é acumulado e pressionado a partir de um estágio das turbinas do próprio motor da aeronave. O problema começa a surgir por conta da possibilidade de contaminação do ar sangrado (extraído) que pode ser contaminado por óleos ou fluidos aeronáuticos sintéticos utilizados na lubrificação de componentes dos motores a jato; esses elementos dão margem à criação do que se denomina como *fume events*, resultando na Síndrome Aerotóxica.

É de suma importância que os tripulantes estejam aptos para exercerem suas funções a bordo e lidarem com quaisquer situações relacionadas à operação de voo e que tenham noção de que os óleos sintéticos dos motores ou seus fluidos hidráulicos possuem em sua composição organofosforados tóxicos, como os Fosfato Tricesilo e Fosfato de Tributilo. A aspiração indevida destas substâncias poderá trazer prejuízos substanciais para a saúde das tripulações que fazem dos voos uma atividade continuada e podem ser levadas a realizar ações indevidas durante o voo, com possibilidade de impacto na segurança de todos a bordo.

Na hipótese de exposição a esta inalação, a pessoa poderá experimentar consequências que atingem seus sistemas respiratórios, neurológicos e neuropsicológicos durante o exercício de sua atividade profissional, o que pode se prolongar por muitos e muitos anos. Na expectativa de ocorrência dessa adversidade, métodos foram criados para moderar e mitigar a exposição aos gases tóxicos identificados, pois os pilotos e comissários de empresas aéreas são personagens constantes das cabines de aeronaves à reação, e a possibilidade de ocorrências de *fume events*, por certo, os torna mais suscetíveis que os usuários eventuais, como os passageiros, que ainda assim podem ser indiretamente atingidos.

O estudo sobre o tema tem como primeiro propósito apurar as consequências que os elementos químicos podem ocasionar na saúde dos tripulantes e passageiros, além de mencionar algumas soluções para atenuar o problema. Também expõe o conceito da Síndrome Aerotóxica, suas razões e efeitos na vida daqueles que são por ela acometidos e investiga as diferentes origens de contaminação e as doenças que ela pode causar. Em seguida, intenciona informar os tripulantes das aeronaves sobre essa temática de suma relevância para a preservação da saúde durante o exercício das atividades laborais e da própria segurança de voo.

Quanto à metodologia científica adotada neste estudo, observa-se o método de abordagem geral, revisão bibliográfica e relatórios de ocorrências. O ambiente de busca para a argumentação prevista consiste em livros, manuais, teses, dissertações e documentos voltados para a área da toxicologia. Desta maneira, o trabalho utiliza o método hipotético-dedutivo, pois uma problemática foi pré-estabelecida e propõe hipóteses que poderão ser comprovadas ou não.

A pesquisa foi organizada de forma compartimentada para corresponder aos propósitos apresentados. No início, esclarecimentos sobre as origens e causas da Síndrome Aerotóxica são feitos. Na sequência, disserta-se sobre as preocupações com a exposição humana ao ar contaminado que pode ocasionar dificuldades futuras àqueles que se utilizam, rotineiramente, deste modal de transporte. Prossegue-se com a exposição de relatos, sintomas, chamando-se a atenção dos tripulantes sobre o *modus operandis* de alguma possível contaminação que pode levar a doenças. Na última parte do *corpus* textual, são expostos os meios utilizados para tentar eliminar a toxidade do ar dentro das aeronaves.

Em vista disso, nota-se que ações de prevenção devem ser tomadas para salvaguardar os usuários até que se defina uma alternativa para o problema, como, por exemplo, utilizar compressores elétricos de ar de cabine (CACs) abastecidos diretamente com o ar da atmosfera, já implantados pela Boeing Industry em suas aeronaves B-787.

**1 O PRINCÍPIO DA SÍNDROME AEROTÓXICA**

Segundo a Associação Brasileira de Pilotos da Aviação Civil (ABRAPAC), a Síndrome Aerotóxica foi a expressão adotada em 1999 pelos pesquisadores Harry Hoffman, Chris Winder e Jean Christophe para caracterizar indícios respiratórios e neurológicos detectados em aeronautas.

Com o avanço da tecnologia, as novas aeronaves foram dotadas de condições para voar em altitudes mais elevadas, onde sua performance seria melhor e o voo mais confortável. Por outro lado, a oxigenação é limitada nesse ambiente, isto é, o ar é rarefeito, resultando na dificuldade de respiração para a fisiologia humana. Assim, tornou-se necessário a adoção de cabines pressurizadas.

Resume-se o processo de reciclagem do ar nas cabines das aeronaves da seguinte forma: o ar é sangrado (*bleed air*) do motor e encaminhado para sistemas que cuidarão de sua climatização, com a pressão e temperatura apropriados às pessoas a bordo (ABRAPAC, 2020).

O ar mencionado tem origem em seções de compressão dos motores que utilizam lubrificação por algum fluido hidráulico. Vale destacar que os primeiros aviões de propulsão a jato utilizavam óleos minerais na lubrificação destes motores. Todavia, com as inovações, os motores passaram a aumentar, cada vez mais, a sua temperatura interna e, assim, foi preciso substituir o lubrificante mineral devido à sua baixa eficiência. Desta forma, em meados dos anos de 1950, foi criado um óleo de laboratório (sintético), que, respondendo às necessidades por meio de experiências químicas, logo foi empregado nos motores a jato. Porém, os óleos sintéticos trouxeram uma quantidade de elementos preocupantes, como os Fosfatos de Tricesilo (TCP) e os organofosforados[[3]](#footnote-3), considerados danosos à fisiologia humana (GCAQE, 2014).

Com a evolução do processo, atualmente, grande parte das aeronaves usa o ar extraído dos compressores do motor de turbina a gás, o que requer a utilização de óleos lubrificantes, abrangendo aditivos antidesgastantes para impedir a corrosão. Como mencionado, o fosfato tricesilo é um complexo organofosfato neurotóxico bastante empregado nesses tipos de óleos. Por sua vez, o ar resultante é escoado em elevada temperatura e, após sair do motor, poderá ser contaminado pelo próprio escapamento de óleo. Em seguida, dirige-se sem desvios para um sistema refrigerador denominado *ar conditioning pack*, que cuidará de atender à demanda de ar-condicionado na temperatura selecionada pelos tripulantes (ABRAPAC, 2020).

O sistema de ar-condicionado prevê uma mistura composta de, aproximadamente, 50% do ar pré-existente na cabine e que serão direcionados pelos *fans* para a unidade de mistura, e por iguais 50% de ar proveniente do ambiente externo via compressores dos motores. Ao passar pelos compressores, o ar poderá vir a encontrar a eficiência dos retentores (selos) de vedação do óleo reduzida, com vazamentos, e se contaminar para, em seguida, circular no interior da aeronave (ABRAPAC, 2020).

Esse processo de reciclagem feito na cabine das aeronaves tem a finalidade de limitar o ar retirado na sangria dos compressores e extraído dos motores. Para garantir a limpeza, filtragem e reciclagem do ar a bordo, são utilizados os filtros HEPA[[4]](#footnote-4) (*High Efficiency Particulate Arrestance*) para eliminar vírus e bactérias. Porém, essa filtragem não possui a função de extirpar as substâncias químicas consideradas perigosas, como o monóxido de carbono. Desse modo, o fornecimento de ar pode estar contaminado sem que as aeronaves tenham um sistema capaz de detectar tal exposição e alertar para uma situação de perigo à saúde e, até mesmo, à segurança do voo (GCAQE, 2014).

O ar sangrado do motor também é utilizado para atender a algumas demandas de serviços pneumáticos de outros sistemas da aeronave, além da climatização da cabine: ele é utilizado para arrefecimento do motor, pressurização da cabine, vedação dos selos do óleo da câmara de rolamento, controle das folgas das válvulas da turbina, controles de carga da cavidade de ventilação dos rolamentos, sistema antigelo e para ventilação da cabine (3% a 4% do ar do núcleo do compressor são destinados a essa função). Ademais, o ar sangrado dos compressores é equilibrado e minimizado devido a alguma atenuação que possa causar na eficiência e potência dos motores (HOWARD, 2018).

As aeronaves de propulsão a jato, no geral, são vulneráveis a *fume events*[[5]](#footnote-5). Alguns casos concretos podem ser citados, como os ocorridos com uma BAe 146, um Boeing 757 e um Hércules C-130. O incidente com a BAe 146, da companhia aérea Ansett Airlines, ocorreu no ano de 1994. Na ocasião, a tripulação de voo ficou parcialmente incapacitada devido a um problema na qualidade do ar que circulava na cabine. Os pilotos sofreram dores de cabeça, náuseas, faltar de ar, dor de garganta, febre e euforia, mas conseguiram pousar a aeronave com segurança. Já no caso ocorrido com um B-757, em 2001, a tripulação sentiu cheiro e gosto de metal no ar da cabine de comando e tiveram efeitos adversos durante o voo. Ambos os pilotos sentiram tontura na aproximação para pouso e logo após, durante o taxiamento. Mas o primeiro episódio atestado da história ocorreu em 1977, quando um tripulante de um C-130 Hércules teve dificuldades para respirar em seu *deck* de voo. Vale destacar que as propriedades neurotóxicas dos organofosforados, uma das substâncias liberadas nos eventos de fumaça, ficaram conhecidas antes da II Segunda Guerra Mundial e a toxicidade do óleo de aviação aquecido é conhecida desde 1954 (ABRAPAC, 2020).

Outro mecanismo que pode colaborar com a possível contaminação é a APU (Unidade de Potência Auxiliar), um pequeno motor a jato instalado na cauda das aeronaves. Sua finalidade é fornecer energia elétrica e pressão pneumática para a aeronave. Em geral, é acionado no momento em que a aeronave está parada no pátio ou após os pousos, durante o táxi pelas pistas, mas também é capaz de causar vazamentos de fluidos, isto é, gerar o *fume event*, contagiando o ar no interior da cabine (CUTILLAS, 2017).

Outra razão para a contaminação do ar é o uso do ar-condicionado externo, ou seja, fornecido por meio de um carro externo oriundo do sistema de ar do terminal do aeroporto, alimentado por meio de uma mangueira dúctil de grande amplitude para o sistema de ar-condicionado da aeronave (CUTILLAS, 2017).

Após realizadas algumas verificações e medições sobre a qualidade de ar dos terminais de aeroportos que fornecem a Unidade de Potência Auxiliar, identificaram-se partículas que podem contagiar a cabine da aeronave com fumaça de combustíveis dos carros no solo, com fuligem e com monóxido de carbono, ameaçando a preservação do sistema respiratório. Os aeroportos possuem uma deficiência na filtragem apropriada de elementos dos sistemas de ar-condicionado e este mesmo ar pode ser fornecido de modo direto para a cabine das aeronaves, como visto, o que só reforça a contaminação em razão de estar em um local fechado (HOFFMAN, 2018).

* 1. A INALAÇÃO DO AR TÓXICO A BORDO DAS AERONAVES

Como já pontuado, o ar respirado a bordo de uma aeronave é proveniente dos motores e pode ser contaminado por monóxido de carbono, aldeídos, hidrocarbonetos aromáticos, hidrocarbonetos alifáticos, compostos clorados, fluorados, metilados, fosfatos, nitrogênio, ésteres, óxidos, sendo que a maior parte dos passageiros desconhece esse fato. É sabido que tripulantes passaram por complicações em seu quadro de saúde após terem inalado ar contaminado originado dos compressores dos motores a jato. Pesquisas mostraram que quando a temperatura do reservatório de óleo aumenta, geram-se variadas substâncias tóxicas e, em 73% dos voos, foi constatado o Fosfato (TPB), altamente perigoso à saúde (MICHAELIS, 2018).

Os elementos químicos acima citados, encontrados em fluidos lubrificantes sintéticos, contêm abundante conjunto de aditivos tóxicos, entre eles, os Organofosfatos (OP), de caráter antioxidante e antidetonantes. Um fragmento desse óleo se decompõe, passando por modificações químicas causadas por elevadas temperaturas, comumente chamado de Pirólise[[6]](#footnote-6) do motor.

Diversas histórias associadas aos ambientes de cabines de passageiros tiveram início na década de 1950, e as implicações têm efeitos de curto e longo prazo. Tais efeitos são denominados de “Síndrome Aerotóxica” e desencadeiam consequências sensibilizantes, irritantes, respiratórias, deformações neurológicas e neuropsicológicos, entre outras. Esta síndrome descreve problemas de saúde agudos e crônicos causados pela exposição ao ar tóxico contaminado por óleo na maioria dos jatos comerciais (ASSOCIAÇÃO AEROTÓXICA, 2018).

A causa da Síndrome[[7]](#footnote-7) Aerotóxica se dá pela ausência de uma filtragem completa do ar que surge diretamente dos compressores do motor. Constantemente, nota-se que muitos profissionais da saúde, principalmente os médicos, desconhecem a Síndrome, o que é preocupante, pois concluem que os pacientes estão com outras doenças como ansiedade, estresse, desordem de sono, depressão ou infecção por vírus. Ainda que muitas dessas complicações possam fazer parte do *fume events*, dificilmente será possível identificar precisamente a origem do problema quando um sintoma surgir, ou melhor, concluir que a causa seja por intoxicação devido aos componentes do óleo lubrificante do motor (CUTILLAS, 2017).

1.2 NARRATIVAS E INDÍCIOS DA CONTAMINAÇÃO

Muitas pessoas podem apresentar um quadro de saúde grave após um voo e outras possivelmente nunca manifestarão qualquer sintoma após vários voos, enquanto os sinais podem mostrar-se de forma gradual. Dito de outro modo, mas talvez em algumas horas ou dias (MICHAELIS, 2017).

Muitos especialistas da saúde parecem não reconhecer de forma efetiva a síndrome aerotóxica e, por consequência, poderão diagnosticar incorretamente um paciente, repita-se, o que pode resultar em novas complicações na saúde do paciente em virtude da prescrição de tratamento inadequado. Por outro lado, os profissionais da “medicina aeronáutica” têm vasto conhecimento sobre a mencionada síndrome. Embora já se tenha revelado que os compostos químicos ameaçam a saúde e, de efeito, a própria segurança para os ocupantes da aeronave, muitas indústrias discordam dessas alegações e oferecem outras narrativas, pois há inúmeras ocorrências neurológicas relacionadas aos voos que não se associam à inalação de gases tóxicos derivados do óleo (CUTILLAS, 2017).

Nesse sentido, cabe destacar que os indícios mais comuns da ocorrência da síndrome aerotóxica são principalmente os neurológicos, como: dores de cabeça, déficit cognitivo com problema de concentração, sensação de tontura, cansaço excessivo, desconforto nasal, dificuldade para respirar e tosse (CUTILLAS, 2017).

Com relação às manifestações crônicas, a mais significativa e problemática é a clínica neurológica com presença de anticorpos no sangue contra neurônios e células do tecido nervoso cerebral; são descobertas em marcadores de degeneração neural, assim como na identificação de alterações na matéria branca cerebral nos indivíduos afetados. Esses sintomas neurológicos são controversos em razão da dificuldade de diferenciá-los em relação a outras doenças, como as neurológicas e neurodegenerativas (CUTILLAS, 2017).

De acordo com o Sistema de Comunicação Obrigatória de Ocorrências do Reino Unido, há um registro de pelo menos uma ocorrência de fumaça nos voos a cada dois dias. Cálculos rápidos mostram que 180 casos de fumaça multiplicadas pelo número de passageiros, com uma média de 100 deles por voo, resulta imediatamente em 18.000 indivíduos expostos por ano a produtos químicos tóxicos. Desse total, cerca de apenas 4% das ocorrências de fumaça a bordo são reportadas. A University College London (UCL) ainda calculou no ano de 2006 que cerca de 196.000 passageiros de voos do Reino Unido estão anualmente sob exposição a gases tóxicos (HOYTE, 2009).

Desse modo, pode-se afirmar que as pessoas correm grande risco de serem acometidas por tal toxidade dentro de uma aeronave, sejam pilotos, comissários ou passageiros; contudo, as companhias aéreas não oferecem qualquer forma de proteção contra as ocorrências de fumaça tóxica, apenas máscaras de oxigênio para manter um fluxo de oxigênio mínimo com suprimento próprio para até 20 minutos. Contudo, esse material não é voltado para a eliminação de toxinas no ar. Se o passageiro a estiver usando, ainda aspirará as toxinas no interior da cabine e poderá se contaminar (ASSOCIAÇÃO AEROTÓXICA, 2018).

Reforça-se que, como não há sensores que possam indicar o aparecimento de gases nas aeronaves modernas, o olfato é a melhor e mais simples forma de detectar os *fume events*. O cheiro de uma pequena quantidade de óleo pode ser identificado grande parte das vezes, e as descrições mais normais se assemelham a odor de “meia suja”, “cachorro molhado”, “vômito” ou “óleo queimado”. Porém, nem sempre a contaminação poderá ser detectada via olfato. Uma fumaça ou névoa azulada também pode ser visível no interior da aeronave e, assim, quem estiver a bordo, notará o evento (ABRAPAC, 2020).

De acordo com a Federal Aviation Administration (FAA), em 1981 ocorreram vários acidentes com aeronaves turboélice. A suposição era de que esses acidentes sucederam por incapacitação dos pilotos após respirarem os gases tóxicos provenientes do sistema de pressurização. Na ocasião, pesquisas foram elaboradas para verificar e analisar dois dutos de fornecimento de ar da cabine desses aviões e, em resposta, foi averiguada a contaminação com componentes químicos e produtos de degradação dos óleos dos motores, lubrificantes e fluidos hidráulicos. Tais dutos foram retirados de duas aeronaves, cujas superfícies interiores estavam revestidas por um material anticorrosão (FAA, 2009).

A partir do exame microscópico executado com o material supramencionado, foi constatada a presença de variados produtos químicos na aeronave, como o alumínio, fósforo, silício e enxofre. Se manifestados em alta temperatura, estes elementos de proteção podem ter uma reação química negativa. Desta maneira, o material poderá se tornar uma partícula sólida microscópica no ambiente da cabine, vale dizer, um aerossol[[8]](#footnote-8) sólido que pode conter intensidade tóxica (FAA, 2009).

Outro caso emblemático relatado pela FAA foi o ocorrido com um Piper Dakota N8263Y, em 1997. A aeronave saiu de Long Island, Nova Iorque, em direção à Saranac Lake, Nova Iorque. Após 30 minutos de voo, o piloto em comando sentiu-se mal, tornando-se incapaz de pilotar. Logo depois, o outro ocupante/passageiro da aeronave, que também era piloto, entrou em contato via rádio para o Centro Boston após sentir-se também cansado e com náuseas. Ele relatou, ainda, que o piloto estava vomitando. Em seguida, a aeronave caiu e ambos morreram. Testes toxicológicos elaborados no laboratório da FAA em Oklahoma City revelaram que o sangue do piloto tinha uma saturação de carboxihemoglobina (CO) de 43%, e o passageiro mediu 69%. O Conselho Nacional de Segurança nos Transportes (NTSB) determinou à época que a causa provável do acidente foi incapacitação do piloto em comando por meio de envenenamento por monóxido de carbono (BOYLE, 2006).

No ano de 2012, um Airbus da companhia aérea Germanwings por pouco não sofreu uma queda em solo alemão. Após os dois pilotos inalarem ar contaminado, apresentaram sinais de intoxicação e quase chegaram a desmaiar. Com muita dificuldade, conseguiram pousar o avião no Aeroporto de Colônia-Bonn. Todavia, esse não é um caso isolado. Segundo a Agência Federal Alemã para Investigação de Acidentes Aéreos (BFU), entre os anos de 2006 e 2013, foram apontados cerca de 660 registros de *fume events*, sendo que em dez deles os contaminados apresentaram problemas de saúde de longo prazo, declara a pesquisa (DW MADE FOR MINDS, 2014).

Uma matéria anunciada pelo jornal Welt am Sonntag expõe outra comprovação de que há elementos tóxicos em cabines de aviões. A companhia aérea Condor pediu ao Instituto Fresenius para testar a presença de Fosfato de Tricresilo (TCP), usado como aditivo em combustíveis em suas aeronaves. Segundo o jornal, a partir de amostras recolhidas nos aviões, o estudo indicou a contaminação em 11 de 12 Airbus modelo A-320, em cinco de 13 Boeing 757 e em seis de nove Boeing 767. Desde 2009, a Condor mantém o estudo sob sigilo (DW MADE FOR MINDS, 2014).

No ano de 2017, o jornal *The Guardian* divulgou a morte de um piloto que possivelmente tenha sido causada por intoxicação de organofosfatos. Richard Westgate de 43 anos, era copiloto da *British Airways* e morreu em dezembro de 2012 após procurar ajuda em uma clínica especializada para seus sintomas, pois ele acreditava que eram causados por síndrome aerotóxica. Segundo a família de Westgate, ele sofria com dor angustiante e apresentava problemas digestivos, fadiga, dor geral, dores de cabeça, perda de capacidade cognitiva e incapacidade de sentir temperatura. Após a autópsia no corpo do piloto, especialistas detectaram lesões no seu sistema nervoso provocado por intoxicação (THE GUARDIAN, 2017).

**2 POSSÍVEIS SOLUÇÕES PARA A SÍNDROME AEROTÓXICA**

Apesar do gradativo, porém lento, aumento da tomada de consciência a respeito da existência da Síndrome Aerotóxica e dos alegados riscos para a saúde humana associados a uma falha na concepção das aeronaves, poucos esforços têm sido envidados para o aprofundamento dos estudos sobre a questão e para lidar seriamente com o problema. Com efeito, há pouco apoio à investigação científica necessária à demonstração irrefutável da ocorrência da síndrome, de modo a apontar, sem respaldo de dúvidas, se há ou não a exposição tóxica das pessoas durante os voos e, em caso afirmativo, qual a forma mais indicada e responsável de lidar com a questão.

Desse modo, sem o interesse em afastar por completo as dúvidas em torno da questão, a saúde e a segurança de milhares de pessoas seguem potencialmente ameaçadas, pois poucos profissionais de saúde estão efetivamente cientes dos males da síndrome (não é uma doença ainda reconhecida pelas organizações de saúde) e não há diretrizes estabelecidas para processos de diagnóstico (PARLAMENTO EUROPEU, 2009).

No entanto, a qualidade do ar pode ser melhorada nas aeronaves modernas e o risco de contaminação pelo óleo aeronáutico pode ser reduzido significativamente com a adoção de algumas medidas. A instalação de sistemas mais eficazes para filtragem do ar que é encaminhado para a cabine é uma delas, com intuito de extinguir algum risco de contaminação (ABRAPAC, 2020).

De acordo com Panrotas (2017), a *Low Cost Easyjet* irá investir em sistemas de filtragem para eliminar a entrada de fumaças tóxicas nas cabines de passageiros e nos *cockpits*. Essa ação é tida como a primeira da indústria aérea adotada em virtude da síndrome mencionada, conforme informações do jornal *The Sunday Times.* A empresa de controle de contaminação *Pall Aerospace* será a parceira que desenvolverá um sistema de filtragem do ar da cabine.

O sindicato *Unite*, que representa mais de 25 mil tripulantes no Reino Unido e na Irlanda, aplaudiu a investida da companhia Easyjet e ainda mencionou que toda a indústria aeronáutica deveria seguir os mesmos passos. Segundo o sindicato, esta ação descreve o potencial de “segurança em primeiro lugar”, quando cuida de trabalhar a filtragem do ar da cabine como uma demonstração de sua preocupação em favor dos usuários das modernas aeronaves. A vida dos passageiros e tripulantes tem de merecer maior atenção para o desenvolvimento dessa indústria de serviços (PANROTAS, 2017).

Eliminar o organosfosfato (OP), o fosfato tricresilo (TCP) e outras substâncias tóxicas do óleo de motores aeronáuticos a reação ou empregar um método menos tóxico como sendo uma ação positiva é outra medida possível.

A instalação de sensores químicos para alertar os pilotos sobre a contaminação do ar nos dutos de entrada do ar sangrado para a cabine também é uma medida que possibilita uma ação rápida e eficiente por parte dos tripulantes em busca de proteção. Além disso, deve-se encorajar a prática de exames periódicos de saúde a partir da perspectiva de possível contaminação do ar sangrado (ABRAPAC, 2020).

É significativo destacar que os primeiros aviões de passageiros permitiam que as pessoas pudessem fumar a bordo das aeronaves e, com isso, imagina-se que inúmeros casos de *fume events* provenientes do motor foram disfarçados por muito tempo, até que a regulamentação de proibição do fumo a bordo entrou em vigência entre o final da década de 1980 e início de 1990 (GCAQE, 2014).

Percebe-se então a importância de se anular o *fume events* no âmbito da aviação, mas isso pode acarretar despesas significativas, pois a implantação de sistemas mais complexos de filtragens e sensores para fazer o controle contínuo da qualidade do ar seria dispendioso e dificultoso para as companhias aéreas, pois seria preciso remover o modo de sangria de ar dos compressores do motor, substituindo-os por sistemas de ventilação elétricos, de modo a impedir o contágio por fluidos hidráulicos, combustíveis e óleos lubrificantes (DW, 2014).

Segundo o regulamento obrigatório de Classificação de Rotulagem e Embalagem (CLP), as especificações de risco para as composições químicas presentes nos óleos lubrificantes para motores a jato compreendem as subsequentes cautelas:

MOBIL JET OIL II – Aviso: contém fosfato tricresilo; a inalação deste produto poderá causar transtorno no sistema nervoso. Riscos para a saúde: o contato com o produto sob alta pressão com a pele poderá causar danos. Com técnicas adequadas de higiene pessoal, este produto não produzirá resultados adversos à saúde considerando condições normais de uso (MOBIL JET OIL, s.d.).

Além do mais, o fabricante adverte que o produto pode se dissolver em altas temperaturas ou em condições de incêndio e emitir gases prejudiciais e irritantes, como monóxido de carbono, vapores e fumaça. Indícios da exposição a esses produtos de decomposição em espaços confinados podem gerar dor de cabeça, náusea, irritação na garganta, olhos e nariz. Com base em estudos de saúde, a exposição química pode provocar riscos iminentes à saúde humana que podem variar de pessoa para pessoa (EXXON MOBIL, 2018). A Figura 1 ilustra o tipo de óleo em debate:

**Figura 1 –** Exemplo de lubrificante sintético para turbinas a gás de aeronaves



Fonte: acervo do autor (2021).

Por conta disso, métodos devem ser elaborados para reconhecer as pessoas que são expostas ao ar de sangria contaminado e esforços envidados para monitorar sua saúde apropriadamente, pois, à medida que providências vão sendo adiadas, mais intensos podem se tornar os sintomas e mais difícil será a recuperação. A propósito, a primeira etapa para anular alguma contaminação de forma corretiva é restringir a exposição relacionada ao ambiente da cabine, suscetível aos gases tóxicos da mencionada síndrome (CANNON, 2016).

Há pesquisas e mensurações de amostras de ar para examinar a frequência do *fume events,* uma vez que passageiros relatam a contaminação do ar da cabine em voos normais. De acordo com um estudo do Reino Unido (2011), foram feitas coletas de amostras em 100 voos e em 73 deles foi revelada a presença de organofosfatos sob forma de TCP e Fosfato de Tributila (TBP) (MICHAELIS, 2010).

A indústria aeronáutica, contudo, rebate, dizendo que os eventos contaminantes são escassos e poucos deles podem se confirmar. Esse embate em relação ao problema demanda, portanto, estudos mais aprofundados a fim de afastar qualquer alegação de não contaminação, como já fartamente mencionado, e uma fiscalização para que seja determinada, via medição, a gravidade ou não dos eventos. Estima-se que menos de 4% deles são reportados pelos pilotos das companhias aéreas (MICHAELIS, 2010).

Isso porque o ar da cabine não é frequentemente monitorado em relação à presença de contaminantes químicos, sendo então difícil determinar a ocorrência de contaminação. Assim, a periodicidade dos eventos de fumaça é difícil de se qualificar, somada à falta de reportes mais esclarecedores pelos tripulantes. Em vista disso, as narrativas de exposição à substância contaminante no ar da cabine podem ser subestimadas, minimizadas e vulgarizadas. Alia-se a isso o fato de que as aeronaves, repita-se, não dispõem de equipamentos apropriados para detectar tais eventos de fumaça como um alerta de que o ar está contaminado. Além disso, vários produtos químicos não possuem odor e os informes são superficiais, não permitindo que se afirme que esses acontecimentos não sejam habituais. Por conta disso, é possível considerá-los como motivos para que a frequência dos eventos seja uma incógnita (AEROTOXIC TEAM, 2019).

Vale relembrar que em casos de longo tempo de exposição ou com razoável constância, poderá haver sintomas graves, como, por exemplo, danos neurológicos, para os quais não existe melhora total. Já em situações nas quais se identifica menor tempo de exposição, os sintomas normalmente desaparecem sozinhos. Todavia, algumas doenças já possuem tratamentos eficientes asseguradas por especialistas em pneumologia e alergia, que podem ajudar a analisar métodos para a recuperação desses quadros (CANNON, 2016).

A desintoxicação de organofosforado é feita por meio de enzimas que atuam no fígado e uma delas é a paraoxonase[[9]](#footnote-9) (PON1); ela é habitual por ser favorável na desintoxicação e, caso uma pessoa tenha um problema na fabricação de enzimas, ela estará em maior perigo se comparada com as outras. A eliminação das toxinas de organofosfatos ou qualquer incapacidade derivada sempre carecem de uma atenção maior. A maioria das vias de desintoxicação envolvem variadas etapas, inclusive as enzimas e membros do citocromo[[10]](#footnote-10) P450 superfamília, proteínas que oxidam um número de substâncias para torná-las mais solúveis e polares (CANNON, 2016).

Outra solução está relacionada à substituição de alguns sistemas. Isso porque os sistemas de sangria de ar têm sido usados por várias décadas em jatos de passageiros. Melhorias recentes nos equipamentos eletrônicos, no entanto, permitiram que os sistemas pneumáticos fossem substituídos por sistemas elétricos. Logo, acredita-se que eliminar o ar de sangria e substitui-lo por geração elétrica proporciona uma melhoria na qualidade do ar da cabine, na eficiência do motor e resultaria em menor peso e facilidade de manutenção da aeronave (STRINGFIXER, s. d).

Atualmente é sabido que algumas aeronaves, como o Boeing 757, utilizam sistemas de filtragem por carvão ativado situado nas saídas de ar, apesar de esta não ser uma solução totalmente eficaz. O novo Boeing 787 “Dreamliner” emprega compressores elétricos abastecidos diretamente do ar da atmosfera em vez de utilizar o ar sangrado do motor, ou seja, o ar não tem contato com a superfície do motor, situação que propicia a contaminação por lubrificantes ou fluidos hidráulicos (ABRAPAC, 2020).

Desse modo, sistemas que foram alimentados por sangria de ar no B-777 são alimentados por um método diferente no novo B-787. O sistema de ar-condicionado fornece ar externo e ar recirculado da cabine para climatização e pressurização a uma temperatura controlada em todo o avião. Este ar exterior é direcionado a quatro compressores elétricos de ar de cabine (CACs) por meio de duas entradas localizadas na asa para carenagens da aeronave. Então, o ar é pressurizado e regulado pelas CACs e propiciado a dois pacotes de ar iguais. Dois CACs são exclusivamente dedicados para cada pacote, no entanto, um único compressor de ar de cabine pode proporcionar ar suficiente para operar em todos os modos operacionais (BOEING, 2020).

A distribuição do ar é feita por ventiladores de recirculação que ajudam os pacotes a manter uma razão de ventilação constante através da cabine. Os ventiladores absorvem o ar da cabine por meio de filtros e, em seguida, reintroduzem o ar no sistema de distribuição de ar-condicionado. Por consequência, a cabine de pilotos recebe ar externo 100% conservado e a cabine de passageiros recebe uma mistura de ar exterior com o ar reciclado. A operação é totalmente automatizada, e, caso um sistema falhe, o controle do pacote muda automaticamente para o outro sistema (BOEING, 2020).

A Boeing acredita que a mudança para um sistema sem ar sangrado do motor reduzirá a complexidade mecânica do B-787 em mais de 35% em comparação com sistemas dos antigos aviões. No projeto sem sangria, os compressores eletricamente acionados fornecem a função de pressurização da cabine, com ar fresco trazido diretamente do ar externo para a bordo por meio de entradas de ar dedicadas da cabine. Esse conjunto é significativamente mais eficiente do que o sistema de sangria tradicional, pois evita a extração excessiva de energia dos motores com o desperdício de energia associado por pré-resfriadores e válvulas modulantes. Não há necessidade de se reduzir, assim, o ar comprimido fornecido. Em vez disso, ele é produzido por motores compressores elétricos de velocidade ajustável na pressão necessária sem desperdício significativo de energia. Isso resulta também em melhorias significativas no consumo de combustível do motor (SINNETT, 2007).

**CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Esta pesquisa mostrou que a cabine de aeronaves com motores à reação pode apresentar contaminantes tóxicos à saúde. Evidenciou-se que tripulantes e passageiros a bordo correm riscos, por conta da possibilidade de inalação de fumaça tóxica oriunda dos óleos lubrificantes, fluidos hidráulicos e combustível contendo substâncias químicas que podem levá-los ao que se denomina como “síndrome aerotóxica”. O quadro proveniente da síndrome pode causar complicações de alta monta à saúde, no aparelho respiratório, funções neurológicas e neuropsicológicas, podendo provocar até mesmo a morte.

Diante disto, observa-se o contínuo, porém ainda insuficiente, desenvolvimento de estudos em busca de dados e de providências que podem ser adotadas pelas empresas aéreas para o bem dos usuários deste modal de transporte.

Pesquisas mencionadas neste estudo também apontaram soluções focadas no controle, fiscalização e eliminação das substâncias químicas contaminantes atualmente utilizados pelas empresas aéreas e pela indústria da aviação. Uma das soluções consiste em utilizar sistemas de filtragem do ar encaminhado para a cabine, eliminar ou usar um óleo menos tóxico, instalar sensores químicos para alertar contaminação e empregar compressores elétricos que forneçam ar direto da atmosfera.

É evidente que o meio mais plausível para evitar esta contaminação seria investir em compressores elétricos de ar de cabine (CACs) e implementá-lo em todas as aeronaves, como feito no novo B-787, uma vez que, como exposto, esse sistema permite que o ar não tenha contato direto com o motor da aeronave, sendo, assim, um conjunto totalmente eficaz e seguro às pessoas a bordo, pois o ar que será fornecido às cabines de pilotos e passageiros provém do ar natural da atmosfera e é pressurizado adequadamente através das CACs.

Por fim, recomenda-se que a discussão travada neste breve estudo se prolongue a fim de resguardar a comunidade aeronáutica e alertar a todos sobre os riscos quase imperceptíveis – por que não dizer, misteriosos – da exposição ao ar contaminado dentro das aeronaves a jato. Sugere-se, ainda, que os relatos de pessoas que possam ter respirado ar com substâncias químicas a bordo das aeronaves sejam incentivados para que a medicina possa oferecer a vigilância e tratamento adequado para doenças que possam ter relação com a Síndrome Aerotóxica.

**REFERÊNCIAS**

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PILOTOS DA AVIAÇÃO CIVIL (ABRAPAC). **Síndrome Aerotóxica**: Efeitos na saúde após a exposição a névoa de óleo de jato durante o voo comercial. 2020. Disponível em: <https://www.pilotos.org.br/post/s%C3%ADndrome-aerot%C3%B3xica-perguntas-e-respostas/>. Acesso em: 27 ago. 2021.

AEROTOXIC ASSOCIATION. **Nine US airline CEO’s are put on notice of the ongoing contaminated Toxic Cabin Air public health scandal**. 2021. Disponível em: <https://www.aerotoxic.org/>. Acesso em: 02 set. 2021.

BOEING. **Air Conditioning System Drescription.** Seattle: Boeing, 2020.

BOYLE, Kevin. **Carbon Monoxide in the Cockpit:** FAA Safety Seminar. 2006. 22 slides. Disponível em: <<https://www.instrumart.com/assets/COintheCockpit.pdf/>>. Acesso em: 13 set. 2021.

CANNON, F. Aircraft Cabin Air Contamination and Aerotoxic Syndrome. **Nanotechnology Perceptions.** 2016, v. 12, p. 1–27. Disponível em: <https:// skybrary.aero/bookshelf/content/bookDetails.php?bookId=3594>. Acesso em: 17 out. 2021.

CUTILLAS, J. R. **Síndrome Aerotóxica**. 2017. Disponível em: <https://www.drjordiroig.com/sindrome-aerotoxica/>. Acesso em: 30 ago. 2021.

DW Made for Minds. **Estudos apontam presença de gases tóxicos na cabine de aviões.** 2014 Disponível em: <<https://www.dw.com/pt-br/estudos-apontam-presen%C3%A7a-de-gases-t%C3%B3xicos-na-cabine-de-avi%C3%B5es/a-17831534>>. Acesso em: 13 set. 2021.

EXXON MOBIL. **Safety Data Sheet**. 2018. Disponível em: <<http://www.msds.exxonmobil.com/IntApps/psims/Download.aspx?ID=743589>>. Acesso em: 02 out. 2021.

FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION (FAA). **Aerospace Toxicology**: an overview. 2009. Disponível em: <<http://dviaviation.com/files/38800966.pdf>>. Acesso em: 13 set. 2021.

GLOBAL CABIN AIR QUALITY EXECUTIVE (GCAQE). **Contaminated Air Overview**. 2015. Disponível em: <https://www.beca.be/images/safety/pdf/GCAQE-CAQ-Brochure-2015.pdf>. Acesso em: 28 ago. 2021.

HOFFMAN, H.; WINDER, C.; CHRISTOPHE, B. J. **What is Aerotoxic Syndrome.** 2018.Disponível em: <https://aerotoxic.org/>. Acesso em: 31 ago. 2021.

HOWARD, C. V.; MICHAELIS, S.; WATTERSON, A. **The Aetiology of ‘Aerotoxic Syndrome’**: A toxic pathological viewpoint. 2018. Disponível em: <https://juniperpublishers.com/oajt/pdf/OAJT.MS.ID.555575.pdf>. Acesso em: 29 ago. 2021.

HOYTE, J. **Síndrome Aerotóxica:** o segredo mais bem guardado da Aviação. 2009. Disponível em: <<https://www.yumpu.com/pt/document/read/12798563/sindrome-aerotoxica-o-segredo-mais-bem-guardado-da-aviacao>>. Acesso em: 10 set. 2021.

MICHAELIS, S. **Action Contaminated air Reference Manual*.*** Ed. Captain Susan Michaelis, 2007.

MOBIL JET. **Mobil Jet Oil II:** Synthetic Jet Engine Oil. [s.d].

PANROTAS. **Easyjet irá reduzir o risco de fumaças tóxicas nas cabines.** 2017. Disponível em: <<https://www.panrotas.com.br/noticia-turismo/aviacao/2017/09/easyjet-ira-reduzir-o-risco-de-fumacas-toxicas-nas-cabines_149646.html>>. Acesso em: 07 out. 2021.

PARLAMENTO EUROPEU. **Síndrome Aerotóxica.** 2009. Disponível em: <<https://www.europarl.europa.eu/doceo/document/P-6-2009-3005_PT.html>>. Acesso em: 07 out. 2021.

SINNETT, Mike. 787 No-Bleed Systems: Saving Fuel and Enhancing Operational Efficiences. [S. L.] **Aeromagazine** [s.I.], v. 8, ed. 4, p. 6, 2007.

STRINGFIXER. **Bleed air.** [s.d]. Disponível em: <<https://stringfixer.com/pt/Bleed_air>>. Acesso em: 07 out. 2021.

THE GUARDIAN. **Piloto da B. A. que temia ar tóxico no cockpit morreu de overdose, informou o Inquérito.** 2017. Disponível em: <[https://www.theguardian.com/ business/2017/apr/13/ba-pilot-who-feared-toxic-cockpit-air-died-of-overdose-inquest-told](https://www.theguardian.com/%20business/2017/apr/13/ba-pilot-who-feared-toxic-cockpit-air-died-of-overdose-inquest-told)>. Acesso em: 23 set. 2021.

WIKIPEDIA (THE FREE ENCYCLOPEDIA). **Fume Event**. 2021. Disponível em: <https://en.wikipedia.org/wiki/Fume\_event>. Acesso em: 27 ago. 2021.

E-mail: flyronalldo@gmail.com

Contato: (62) 99524.4555



1. Ronalldo Rodrigues Parreão Junior, graduando do curso de Ciências Aeronáuticas pela Pontifícia Universidade Católica de Goiás. Endereço eletrônico: flyronalldo@gmail.com. [↑](#footnote-ref-1)
2. Raul Francé Monteiro, Mestre em Psicologia e Especialista em Docência Universitária pela Universidade Católica de Goiás. Professor da Escola de Ciências Exatas e da Computação da Pontifícia Universidade Católica de Goiás. Piloto de Linha Aérea – Avião, EC-PREV pelo CENIPA e credenciada SGSO pela ANAC. Endereço eletrônico: cmterfrance@hotmail.com. [↑](#footnote-ref-2)
3. Organofosforado é um composto degradável abrangendo ligações carbono-fósforo. São utilizados para controle de pragas como uma alternativa para hidrocarbonetos clorados, que persistem no meio ambiente. [↑](#footnote-ref-3)
4. HEPA (*High Efficiency Particulate Arrestance*) é uma tecnologia empregada em filtros de ar com alta eficiência na separação de partículas. [↑](#footnote-ref-4)
5. *Fume events* é um evento de fumaça que ocorre quando o ar de sangria usado para pressurização da cabine e no ar-condicionado em uma aeronave pressurizada é contaminado por fluidos como óleo do motor, fluido hidráulico, fluido antigelo e outros produtos químicos potencialmente perigosos (WIKIPEDIA, 2021). [↑](#footnote-ref-5)
6. Pirólise, é uma [reação](https://pt.wikipedia.org/wiki/Rea%C3%A7%C3%A3o) de análise ou [decomposição](https://pt.wikipedia.org/wiki/Rea%C3%A7%C3%A3o_de_decomposi%C3%A7%C3%A3o) que ocorre pela ação de altas [temperaturas](https://pt.wikipedia.org/wiki/Temperatura). [↑](#footnote-ref-6)
7. Síndrome é um conjunto de sinais e sintomas que define as manifestações clínicas de uma ou várias doenças ou condições clínicas, independentemente da etiologia que as diferencia. [↑](#footnote-ref-7)
8. Aerossol é a suspensão de partículas finíssimas sólidas ou líquidas num gás. Os aerossóis tanto podem ter origem natural como artificial. As nuvens e a contaminação do ar são exemplos de aerossóis. [↑](#footnote-ref-8)
9. Paraoxonases são uma família de enzimas de mamíferos com atividade de organofosfato hidrólise, uma proteína hidrolisada encontrada em organofosfatos e inseticidas. [↑](#footnote-ref-9)
10. Citocromo P450 é uma superfamília ampla e diversificada de proteínas responsáveis por oxidar um grande número de substâncias para torná-las mais polares e hidrossolúveis. [↑](#footnote-ref-10)