

A CORROSÃO COMO UMA CONSTANTE NA MANUTENÇÃO DE AERONAVES DE ASAS ROTATIVAS¹

CORROSION IS A CONSTANT CHALLENGE IN THE MAINTENANCE OF ROTARY-WING AIRCRAFT

Arthur Bastos de Mattos Ferreira²

RESUMO

A corrosão é um processo que ocorre naturalmente em diversos tipos de materiais, seja ele metálico, cerâmico ou polímero, devido à interação com o ambiente. Esse processo ocasiona mudanças nas propriedades físico-químicas dos materiais e, conseqüentemente, modifica as características mecânicas, afetando diretamente a sua finalidade e função. Por se tratar de um processo constante em aeronaves de asas rotativas, o presente estudo visa explorar as formas de corrosão e métodos de preveni-las. O trabalho consistiu em uma pesquisa do tipo básica, com abordagem qualitativa e, utilizando-se de leituras exploratórias, foi realizada a revisão bibliográfica para coleta, análise e interpretação dos dados obtidos. Foi abordado pelo trabalho as diferentes formas de se classificar o processo corrosivo, os fatores que afetam no ataque, os meios corrosivos e as formas de minimizar e prevenir a corrosão. Por conclusão percebe-se como a corrosão é algo inerente aos materiais, se fazendo essencial a adoção de métodos preventivos e a manutenção constante.

Palavras-chave: corrosão; aeronaves; asas; rotativas.

ABSTRACT

Corrosion is a process that naturally occurs in various types of materials, whether they are metallic, ceramic, or polymer, due to interaction with the environment. This process causes changes in the physicochemical properties of materials and, consequently, modifies the mechanical characteristics, directly affecting their purpose and function. As it is a constant process in rotary-wing aircraft, this study aims to explore the forms of corrosion and methods to prevent them. The work consisted of a basic type of research, with a qualitative approach, and using exploratory readings, a literature review was conducted to collect, analyze, and interpret the data obtained. The work addressed the different ways of classifying the corrosive process, the factors that affect the attack, the corrosive media, and the ways to minimize and prevent corrosion. In conclusion, it is clear that corrosion is something inherent to materials, making it essential to adopt preventive methods and constant maintenance.

Keywords: corrosion; aircraft; rotatory-wing.

1 Artigo apresentado em 15 de setembro de 2023 ao Centro de Instrução de Aviação do Exército como requisito parcial para obtenção do Grau Tecnólogo em Sistemas Mecânicos de Aeronaves.

2 Aluno do Curso de Formação e Graduação de Sargentos – Av Mnt. Centro de Instrução de Aviação do Exército.

1 INTRODUÇÃO

A corrosão é um processo que ocorre naturalmente em diversos tipos de materiais, seja ele metálico, cerâmico ou polímero, devido à interação com o ambiente. Esse processo ocasiona mudanças nas propriedades físico-químicas dos materiais e, conseqüentemente, modifica as características mecânicas, afetando diretamente a sua finalidade e função (CALLISTER JR.; RETHWISCH, 2016).

Os problemas associados a corrosão estão presentes em diferentes nichos, desde as indústrias pesadas até os meios de transportes. Os impactos econômicos oriundos desse processo são classificados em dois tipos: direto ou indireto. O primeiro está relacionado ao custo de substituição de peças e de maquinários, assim como aos processos de proteção contra corrosão (manutenção e prevenção). As perdas indiretas são mais complexas de serem mensuradas, breve análise desse tipo de perda permite concluir que totalizam custos mais elevados, são exemplos de perdas indiretas: paralisações acidentais, perda de produtos, diminuição de eficiência, contaminação, entre outros (GENTIL, 1997).

Por isso, é primordial analisar a corrosão como uma constante na manutenção de aeronaves de asas rotativas. Além disso, este trabalho científico almejou responder a razão pela qual as aeronaves de asas rotativas sofrerem com o processo de corrosão e quais as formas mais recorrentes. Para isso, o artigo objetivou explorar os tipos de corrosão e as formas de prevenção.

O procedimento de coleta de dados adotado foi o de revisão bibliográfica, posto que leituras exploratórias e seletivas foram realizadas em fontes publicadas. No que tange a finalidade da pesquisa, ela foi básica pura, uma vez que os conhecimentos teóricos serviram para explicar os processos corrosivos. Sendo o objetivo explorar os tipos e as formas de corrosão de forma geral e facilitar a correlação desse processo com o que ocorre nas aeronaves, utilizou-se do método indutivo.(FACHIN, 2006).

A corrosão é um problema constante na mecânica e exige medidas de controle e de prevenção. Ao realizar uma análise dos tipos de corrosão mais comuns em aeronaves de asas rotativas, o trabalho contribuirá para ampliar e promover os conhecimentos acerca desse assunto, facilitando a identificação dos processos corrosivos e possíveis formas de prevenção e tratamento.

2 O QUE É CORROSÃO

A corrosão é um processo que ocorre pela interação do material, geralmente metálico, com o meio, o que ocasiona a deterioração, corroborando com mudança nas propriedades físico-químicas do metal. Esse desgaste ocorre por ação química ou eletroquímica do ambiente em que está inserido, podendo estar associado ou não a esforços mecânicos (GENTIL, 1997).

Os metais, nos processos de corrosão, reagem com substâncias não metálicas presente no meio, normalmente oxigênio, enxofre, ácido sulfúrico e gás carbônico. Nesse processo, o metal é convertido em óxido, hidróxido ou sulfato, retornando para o estado original que são encontrados na natureza. Exemplo desse processo é a corrosão do zinco metálico em presença de ácido sulfúrico (MERÇON *et al.*, 2004)

A corrosão eletroquímica é encontrada com maior facilidade na natureza e apresenta como característica presença de água no estado líquido, temperaturas abaixo do ponto de orvalho da água e formação de pilha ou célula de corrosão. Nesse processo, o metal está em contato com o eletrólito, o que gera no material regiões catódicas e anódicas (MERÇON *et al.*, 2004).

A corrosão química difere da corrosão eletroquímica, por não ocorrer a transferência de elétrons, ou seja, não ocorre a formação de uma corrente elétrica, portanto o ataque do agente corrosivo atua diretamente sobre o material. Como resultado, forma-se uma camada sobre o material, esse processo corrosivo é muito recorrente em ambientes com altas temperaturas como nas indústrias metalúrgicas (FRAUCHES-SANTOS *et al.*, 2013).

3 MEIOS CORROSIVOS

As variáveis do meio ambiente como temperatura, velocidade e composição do fluido impactam diretamente em como cada material sofrerá o processo corrosivo. Os meios mais comuns de serem encontrados são: atmosfera, águas naturais, produtos químicos e microrganismos (MATLAKHOV; MATLAKHOVA, 2011).

3.1 ATMOSFERA

Em breve análise da atmosfera, encontra-se alguns fatores fundamentais para que esse meio se torne mais ou menos corrosivo, são eles: umidade relativa, substâncias poluentes e temperatura (MATLAKHOV; MATLAKHOVA, 2011).

3.2 ÁGUAS NATURAIS

A ação corrosiva desse meio está ligada aos contaminantes presentes, sendo os mais comuns: gases dissolvidos, sais dissolvidos, matéria orgânica, microrganismos e sólidos em suspensão (GENTIL, 1997).

3.3 PRODUTOS QUÍMICOS

Ao lidar com equipamentos expostos a produtos químicos é importante considerar duas situações possíveis: a deterioração do material metálico e a contaminação do produto. Diversos fatores influenciam essas situações, e algumas vezes eles são complexos. Alguns desses incluem a qualidade do metal, o contato entre metais diferentes, a natureza da superfície metálica, a pureza do produto químico, sua concentração, a temperatura e a exposição ao ar (GENTIL, 1997).

3.4 MICRORGANISMOS

Alguns microrganismos podem ocasionar corrosão, seja pela excreção de produtos metabólicos ou por se aderirem à superfície do material formando os biofilmes, em aeronaves podem ocorrer, principalmente, nos tanques de combustível e em tubulações de óleo.

4 OS TIPOS DE CORROSÃO

Também conhecido como formas de corrosão, para classificá-las é necessário levar em consideração o formato ou a aparência, a causa e o mecanismo. Entender a morfologia ou a como a corrosão se apresenta auxilia na compreensão dos mecanismos de formação que auxiliam no desenvolvimento e na aplicação de métodos preventivos e corretivos. (FERREIRA *et al.*, 2002).

4.1 CORROSÃO PUNTIFORME

Esse tipo de corrosão ocorre de forma localizada e cria no material cavidades de pequena extensão em relação à profundidade (figura 01). É considerado um dos piores tipos de corrosão no que tange a detecção, pois o desgaste do material não fica evidenciado. O ataque ocorre inicialmente na superfície do material e se propaga quase que verticalmente para o interior. (CALLISTER JR.; RETHWISCH, 2016)

De acordo com Gentil (1997), este tipo de corrosão pode ser denominado como corrosão em placa ou alveolar, pois nem sempre as características morfológicas dessa corrosão será idêntica ao que foi descrito anteriormente.

Os materiais que possuem películas protetoras, geralmente, são atacados por esse tipo de corrosão, pois a camada passiva ao ser rompida resulta em uma ilha ativa-passiva e cria-se um mecanismo similar ao da corrosão em frestas, ou seja, resulta em uma pilha ativa-passiva (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CORROSÃO, 2011).

Figura 01: Corrosão puntiforme



Fonte: SULCROMO, 2021.

4.2 CORROSÃO GALVÂNICA

A pilha galvânica ocorre quando dois metais ou ligas com composições distintas estão em contato, ou imersos em um mesmo eletrólito. O metal com maior potencial de eletrodo atua como a região anódica, ou seja, cede elétrons e, portanto é corroído, enquanto o metal que apresenta maior potencial estará protegido, isso permite que se utilize um metal com potencial baixo para servir de sacrifício e proteger uma determinada área. Exemplo desse processo é a utilização de zinco, magnésio e alumínio que apresentam alta tendência a ceder elétrons (GENTIL, 1997). Esse processo é muito comum em atmosfera marinha, principalmente em plataformas petrolíferas *offshore* (figura 02).

Figura 02: Corrosão galvânica



Fonte: SULCROMO, 2020.

4.3 CORROSÃO EM FRESTAS

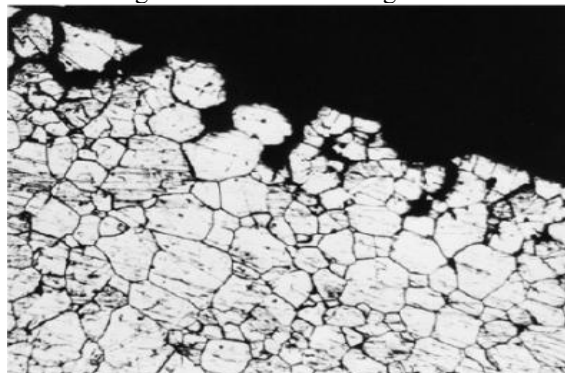
Segundo Callister Jr. e Rethwisch (2016), as frestas e reentrâncias criam regiões com diferentes concentrações de íons ou de gases dissolvidos em uma solução eletrolítica, em um mesmo material metálico, nesse tipo de corrosão, o desgaste ocorrerá no local de menor concentração.

Quando o meio é líquido a pilha formada é denominada pilha de concentração iônica diferencial, ao mudar para um meio majoritariamente gasoso, a pilha será de aeração diferencial. As frestas são comuns em juntas soldadas com chapas sobrepostas e em juntas rebitadas (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CORROSÃO, 2011).

4.4 CORROSÃO INTERGRANULAR

É a corrosão que ocorre entre os cristais ou grãos da rede cristalina por ocasião da presença de impurezas nos contornos de grão ou do aumento da concentração de elementos de liga do material metálico, levando a desintegração ao longo do contorno dos grãos, consequentemente, o material sofre alterações significativas em suas propriedades mecânicas sendo a fratura algo recorrente devido aos esforços mecânicos sob o material (figura 03). A partir do momento em que há a fratura, a corrosão é denominada como corrosão sob tensão. Em aços inoxidáveis, ao serem aquecidos em temperaturas entre 500°C e 800°C ficam suscetíveis ao ataque intergranular e surge pequenas partículas precipitadas de carbeto de cromo que são determinantes na diminuição à resistência aos ataques corrosivos (OLIVEIRA, 2012).

Figura 03: Corrosão intergranular



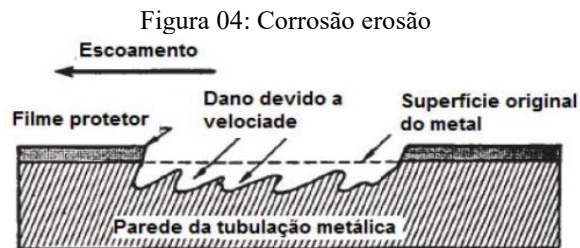
Fonte: GENTIL, 1997.

4.5 CORROSÃO-EROSÃO

Esse tipo de corrosão combina o ataque químico com processos mecânicos, o material metálico ao ser exposto a um escoamento de fluido (figura 04), seja ele gás ou líquido, irá aos

poucos perdendo a película protetora formada sobre a sua superfície e tem-se como resultado uma corrosão mais severa (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CORROSÃO, 2011).

A corrosão-erosão ocorre com frequência em tubulações, rotores, pás de helicóptero e turbinas, para minimizar esse processo é necessário que haja uma modificação no projeto visando diminuir a turbulência e a colisão com o fluido (CALLISTER JR.; RETHWISCH, 2016).



Fonte: RECLA, 2013.

4.6 CORROSÃO SOB TENSÃO FRATURANTE

Ao longo do tempo, a exposição do metal aos ataques de agentes corrosivos somados à tração sob ele corroboram para que inicie o processo de corrosão. A corrosão sob tensão como intergranular ou transgranular. Como resultado há o surgimento de trincas que progridem em sentido perpendicular à tensão sofrida (GENTIL, 1997).

4.7 CORROSÃO POR ATRITO

Esse tipo de corrosão está relacionado com o movimento relativo entre peças metálicas e com a vibração a que elas estão expostas (figura 05). Tem como principal característica o surgimento de produtos pulverulentos, descoramento da superfície e o surgimento de pites (GENTIL, 1997).

Os metais mais suscetíveis a esse tipo de corrosão são o alumínio, o aço inoxidável e as ligas de titânio. Para reduzir esse processo indica-se a redução do movimento relativo por meio de lubrificantes ou aperto.

Figura 05: Corrosão por atrito



Fonte: SIGAGNA, 2014.

4.8 CORROSÃO MICROBIOLÓGICA

É um processo induzido por microrganismos como algas, bactérias e fungos que ao secretam substâncias metabólicas alteram a superfície do metal ocasionando mudanças nas propriedades eletroquímicas do material. Além dessas substâncias, a formação de biofilmes podem reter umidade favorecendo o processo corrosivo. Algumas bactérias são capazes de metabolizar sulfato e compostos orgânicos que geram como produtos ácidos e íons sulfureto, substâncias que aceleram o ataque (FURLAN, 2013).

5 CONSEQUÊNCIAS DA CORROSÃO PARA A AVIAÇÃO

Atualmente os materiais compósitos são amplamente aplicados na aviação, pois trazem flexibilidade para o projeto, apresentam maior resistência a corrosão e diminuem o peso da aeronave. Todavia, não substituem completamente os materiais metálicos que ainda compoem diversos sistemas e equipamentos essenciais, dessa forma ainda são encontrados diversos acidentes e incidentes relacionados à corrosão em aeronaves de asas rotativas (REZENDE; BOTELHO, 2000).

5.1 ACIDENTE COM A AERONAVE AS565 PANTHER - ATALEF

Em janeiro de 2022, um acidente ocorreu envolvendo um Atalef da Força Aérea israelense durante um voo noturno (figura 06). O incidente resultou na perda de duas vidas de pilotos e deixou uma pessoa ferida. Após a queda da aeronave no mar, uma investigação foi conduzida, e os fragmentos do helicóptero foram encaminhados para inspeção na Airbus Helicopters (CENTENO, 2022).

Durante a análise dos destroços, identificou-se a presença de corrosão na parte interna do motor esquerdo. Essa corrosão foi um fator desencadeador para uma fratura sob fadiga nas lâminas internas da turbina, o que ocasionou o surgimento de rachaduras. Essa falha levou à quebra de uma das lâminas e provocou o incêndio subsequente (CENTENO, 2022)

Durante a investigação, descobriu-se que a aeronave havia passado por uma inspeção realizada pelo fabricante em 2017, após acumular 1.650 horas de voo. No momento do acidente, o avião havia registrado 1.400 horas desde a última revisão. É relevante ressaltar que o problema ocorreu em uma parte interna que não estava inclusa nas verificações diárias, como as inspeções pré-voo, intervoo e pós-voo (FABIAN, 2022).

Figura 06: Destroços do AS 565 Atalef



Fonte: Alon Nadav

5.2 ACIDENTE EUROCOPTER EC225 LP SUPER PUMA G-REDW

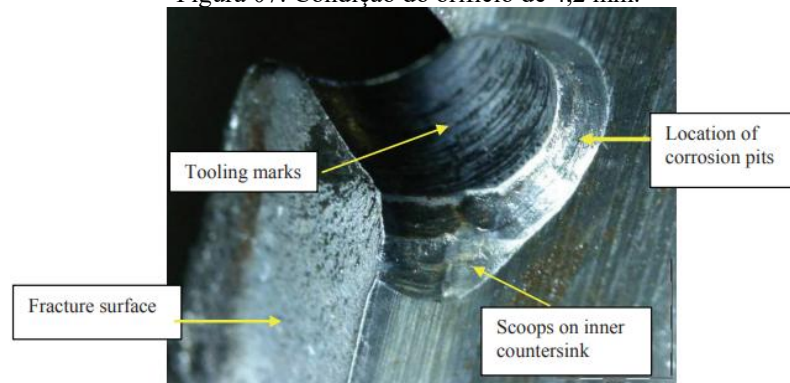
No ano de 2012, durante um voo de transporte de passageiros do aeroporto de Aberdeen para a plataforma Maerks no mar do Norte, a aeronave apresentou falha no sistema de lubrificação da caixa de transmissão principal (CTP), em seguida, a tripulação acionou o sistema de lubrificação de emergência que logo se mostrou estar em pane. O piloto seguiu o procedimento previsto, pousar a aeronave, iniciando um pouso de emergência sobre a o mar, nenhum tripulante se feriu gravemente (*AIR ACCIDENTS INVESTIGATION BRANCH, 2012*)

A investigação do acidente foi conduzida pela *Air Accidents Investigation Branch* (AAIB) que indicou uma falha no orifício de 4,2 mm da engrenagem cônica do eixo vertical ocasionando uma ruptura e separando o eixo em dois (figura 07). A parte inferior se moveu para baixo danificando os rolamentos inferiores, consequentemente o pinhão desengajou parcialmente das engrenagens da bomba de óleo e acionou o detector magnético de limalha da CTP (CONRAD, 2014).

Ao analisar a superfície de ambas as partes rompidas da engrenagem cônica do eixo vertical, notou-se a presença de três pontos danificados. Em um dos pontos havia a presença de corrosão por pites que podem ter influenciado na falha por fadiga. Além desses pontos, encontrou-se também corrosão no orifício de 4,2 mm, apesar de ainda estarem no estágio inicial (*AIR ACCIDENTS INVESTIGATION BRANCH, 2012*).

Ao final do relatório, chegou-se a conclusão que a falha por fadiga no eixo de engrenagens vertical foi um dos fatores que corroboraram para que o acidente ocorresse. Os pontos de corrosão encontrados, apesar de pequenos, foram correlacionados com o processo de falha na CTP.

Figura 07: Condição do orifício de 4,2 mm.



Fonte: *Air Accidents Investigation Branch, 2012.*

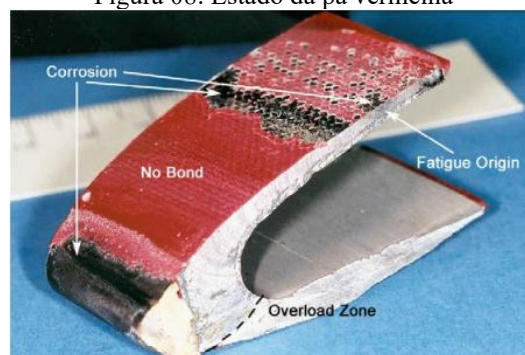
5.3 FALHA NO ROTOR PRINCIPAL MD HELICOPTER 369D C-GXON

Em outubro de 2000, uma falha no rotor principal fez com que ele seccionasse o cone de cauda, ocasionando a queda da aeronave. O piloto era o único embarcado na aeronave e foi ferido fatalmente. A investigação do acidente foi conduzida pela *Transportation Safety Board of Canada (TSB)*.

Nesse modelo de helicóptero, o rotor principal é equipado com cinco pás, sendo identificadas por meio de cores (vermelha, azul, verde, amarela e branca). Após análise visual e de microscopia de varredura eletrônica, identificaram-se pontos de formação de corrosão por pites na superfície da pá vermelha (figura 08), o que permitiu a propagação de rachaduras por fadiga através do material até que ficasse enfraquecido suficiente para ocorrer uma falha por sobrecarga, sendo o resultado a quebra da pá (*TRANSPORTATION SAFETY BOARD OF CANADA, 2000*).

A conclusão do relatório definiu que a pá vermelha foi o ponto de início do acidente, no momento em que ela se partiu, todo o balanceamento da aeronave foi afetado, dificultando o controle sob a aeronave até o momento em que se perde o total controle, quando o rotor principal atinge e rompe o cone de cauda, perdendo o controle sobre o rotor de cauda (*TRANSPORTATION SAFETY BOARD OF CANADA, 2000*).

Figura 08: Estado da pá vermelha



Fonte: *Transportation Safety Board of Canada, 2000.*

6 MÉTODOS DE PREVENÇÃO

Ao se estudar as diferentes formas e mecanismos de corrosão, percebe-se que alguns fornecem intuitivamente métodos para minimizar ou prevenir o ataque corrosivo. Todavia, é essencial que esse estudo não ocorra de maneira isolada, pois apesar de existir meios gerais de prevenção, ainda assim pode-ser que seja necessário um método mais específico de intervenção.

6.1 INIBIDORES

Os inibidores também são conhecidos como catalisador negativo, visto que ao contrário do que os catalisadores fazem, acelerar reações, os inibidores desaceleram a corrosão (FERREIRA *et al.*, 2002)

Um inibidor é uma substância ou mistura de substâncias que, aplicada em pequena concentração a um determinado meio, reduz a taxa de corrosão. Pode-se considerar um inibidor como um catalisador negativo. A maioria dos inibidores foi desenvolvido empiricamente e muitos deles são fabricados sob patente, sem o conhecimento de sua composição química (FERREIRA *et al.*, 2002, p. 13).

No que diz respeito à utilização dos inibidores, para que os inibidores sejam utilizados com maior eficiência é de suma importância compreender quatro aspectos: a causa da corrosão, o custo da utilização, as propriedades e mecanismos de ação do inibidor e as condições de controle (GENTIL, 1997). Por serem altamente específico, normalmente são aplicados em ambientes fechados para eliminar determinado elemento, exemplo disto é a presença de inibidor no radiador dos carros e em caldeiras a vapor (CALLISTER JR.; RETHWISCH, 2016).

Quanto a classificação dos inibidores, eles podem ser diferenciados pela composição ou pelo comportamento. O primeiro é dividido em inibidores orgânicos e inibidores inorgânicos, a principal diferença está na estrutura molecular (CALLISTER JR.; RETHWISCH, 2016)

6.2 MODIFICAÇÃO DAS PROPRIEDADES DOS MATERIAIS

Esse método visa combinar propriedades de diferentes metais para obter uma liga que apresente boa resistência à corrosão, assim como propriedades mecânicas adequadas ao

projeto. Há alguns metais como o alumínio que, quando expostos a meio oxidante, formam uma película de óxido que protege o material contra a corrosão (GENTIL, 1997)

O molibdênio quando adicionado ao aço carbono, aumenta sua resistência ao meio ácido, assim como tungstênio e o silício que promovem resistência aos ácidos sulfúrico e clorídrico. Todavia, no caso em que o material seja exposto ao meio alcalino, é necessário o emprego de outros elementos como níquel, magnésio e prata (GENTIL, 1997)

6.3 REVESTIMENTO

Como a formação de películas protetoras não ocorre de forma homogênea, logo a presença de discontinuidades e de pontos permeáveis faz com que o material fique suscetível à corrosão, portanto surge a necessidade de utilizar os revestimentos (GENTIL, 1997).

O revestimento metálico é um tipo de revestimento em que o objetivo do processo não se limite só a proteção do material, mas também tem função decorativa (ouro, prata e cromo), diminuição do atrito (índio e cobre), endurecimento superficial (cromo) e recuperação de peças desgastadas (cromo) (GENTIL, 1997).

Já o revestimento não metálico inorgânicos, são revestimentos inorgânicos que são depositadas sobre a superfície do material ou que se formam sobre ela. Os mais comuns são os esmaltes vitrosos, óxidos, nitretos, carbetos, boretos e silicetos (GENTIL, 1997).

Os esmaltes vitrosos apresentam, principalmente, em sua constituição o borossilicato de alumínio, esse revestimento apresenta boa ação anticorrosiva em meio ácido, exceto quando exposto ao ácido fluorídrico (GENTIL, 1997).

Os óxidos (Al_2O_3 , BeO , Cr_2O_3 , ZrO_2 e ThO_2), carbetos (TiC e B_4C , WC e WC-Co), nitretos (AlN e BN), boretos (ZrB_2 e TiB_2) e silicetos (NbSi_2 , WSi_2 e MoSi_2) são revestimentos resistentes a corrosão e a altas temperaturas. O carbeto de boro, de titânio, de tungstênio e de cobalto ao serem empregado como elementos de liga ainda aumentam a resistência à abrasão (GENTIL, 1997).

As tintas e os polímeros também são formas de revestimentos que são classificados como revestimento não metálico orgânico e, assim como os revestimentos metálicos, abrangem diversas finalidades: estética, sinalização, impedir a incrustação de microrganismos, impermeabilização, diminuir a absorção de calor e diminuir a rugosidade da superfície (GENTIL, 1997).

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A corrosão é um processo natural que afeta os materiais alterando suas propriedades mecânicas, podendo contribuir significativamente para falhas em equipamentos e estruturas. As aeronaves são majoritariamente constituídas por ligas metálicas e materiais compósitos e ambos são suscetíveis aos ataques corrosivos. Apesar da engenharia utilizar-se de ligas que apresentem maior resistência à corrosão, ainda assim, elas sofrem com esse processo com maior facilidade do que os compósitos, principalmente quando seus métodos de proteção já apresentam falhas (descontinuidades). Somado a isso, o meio corrosivo no qual o material está submetido impacta diretamente na forma e no processo de corrosão que se dará na peça e equipamento, sendo primordial a compreensão desses fatores para a adoção de métodos mais eficazes. Logo, as inspeções preventivas são ferramentas que desempenham papel essencial na identificação e na tomada de ações corretivas antes que os danos causados pelo processo corrosivo se tornem grande suficiente para ocasionar acidentes.

REFERÊNCIA

AIR ACCIDENTS INVESTIGATION BRANCH, AAIB Bulletin: S3/2012. Inglaterra, 2012. PDF. Disponível em:

https://assets.publishing.service.gov.uk/media/5422ee0540f0b6134200019d/S3-2012_EC225_LP_Super_Puma_G-REDW__08-12.pdf. Acesso em 27 mar 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CORROSÃO. **Corrosão - uma abordagem geral**. p. 1-13 Disponíveis em: http://paginapessoal.utfpr.edu.br/israel/teoria/Teoria%20-%20Corrosao.pdf/at_download/file. Acesso em 27 mar 2023.

CALLISTER JR, W. D.; RETHWISCH, D. G. **Ciência e engenharia de materiais: uma introdução**. 9. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016.

CENTENO, G. Corrosão rara está entre as causas de acidente fatal com helicóptero Airbus AS565 de Israel. *IN: Aeroflap*. [S.l.], 5 jul. 2022. Disponível em: <https://www.aeroflap.com.br/corrosao-rara-esta-entre-as-causas-de-acidente-fatal-com-helicoptero-airbus-as565-de-israel/>. Acesso em 02 maio 2023.

FABIAN, E. Never-before-seen corrosion caused deadly January chopper crash, IDF concludes. *IN: THE TIMES OF ISRAEL*. [S.l.], 3 jul 2022. Disponível em: <https://www.timesofisrael.com/never-before-seen-corrosion-caused-deadly-january-chopper-crash-idf-concludes/>. Acesso em 02 maio 2023.

FACHIN, O. **Fundamentos de metodologia**. 5. ed. São Paulo: Saraiva, 2006.

FERREIRA, L. A.; COSTACURTA, R. F.; ALBERTI, S. M.; ZDEBSKY, S. R. **Química aplicada - corrosão**. Curitiba: Petrobras: Unicenp, 2002. PDF. Disponível em: <https://docs.google.com/viewer?a=v&pid=sites&srcid=aWZwci5lZHUuYnJ8ZmFiaWFuby1kcm96ZGF8Z3g6NTI3YjBmY2M4NDlhZTM1MA>. Acesso em 25 mar 2023.

FRAUSCHES-SANTOS, C. *et al.* A Corrosão e os agentes anticorrosivos. **Revista Virtual de Química**., Seropédica, v. 6, n. 2, p. 293-309, dez 2013. Disponível em: <https://rvq-sub.sbq.org.br/index.php/rvq/article/view/490/422>. Acesso em: 28 mar 2023.

FURLAN, B. G. **Corrosão microbiana**. Monografia (requisito parcial para a conclusão do Curso de Graduação de Engenharia Bioquímica) - Escola de Engenharia de Lorena da Universidade de São Paulo, 2013. Disponível em: <https://sistemas.eel.usp.br/bibliotecas/monografias/2013/MBI13008.pdf>. Acesso em 01 ago 2023.

GENTIL, V. **Corrosão**. 3. ed. Rio de Janeiro: LTC, 1997.

MATLAKHOV, A.N., MATLAKHOVA, L. A. **Corrosão e proteção dos materiais**. 1. ed. Jundiaí, SP: Paco e Littera, 2021.

MERÇON, F. *et al.* Corrosão: Um Exemplo de Usual de Fenômeno Químico. **Química Nova na Escola**., Rio de Janeiro, n. 19, p. 11-14, abr 2004. Disponível em: <http://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc19/a04.pdf>. Acesso em 30 mar 2023.

OLIVEIRA, A. R. **Corrosão e tratamento de superfície**. Belém: IFPA, 2012. PDF.

Disponível em:

http://redeetec.mec.gov.br/images/stories/pdf/eixo_ctrl_proc_indust/tec_metal/corr_trat_superf/161012_corr_trat_superf.pdf. Acesso em: 14 maio 2023.

RECLA, F.M. **Caracterização de escoamento em teste de corrosão-erosão utilizando eletrodo disco rotatório através de cfd**. 2013. 57 f. Projeto de Graduação - Curso de

Engenharia Mecânica, Centro Tecnológico, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2013. Disponível em:

https://mecanica.ufes.br/sites/engenhariamecanica.ufes.br/files/field/anexo/2013-1_felipe.pdf. Acesso em: 27 jun. 2023.

REZENDE, M. C.; BOTELHO, E, C. O uso de compósitos estruturais na indústria

aeroespacial. **Polímeros**, [S.L.], v. 10, n. 2, p. 4-10, jun. 2000. FapUNIFESP (SciELO).

<http://dx.doi.org/10.1590/s0104-14282000000200003>.

SIGAGNA *et al.* **Corrosão em aeronaves**. 2014. 24 f. Tese (Doutorado) - Curso de Pós

Graduação em Engenharia Aeronáutica da Universidade de Taubaté, Universidade de Taubaté, Taubaté, 2014. Disponível em: 10.13140/RG.2.2.27591.09120. Acesso em: 14 maio 2023.

SULCROMO. **8 tipos de corrosão mais comuns na indústria e como revertê-las**. [S.L.],

2020. Disponível em: <https://www.sulcromo.com.br/blog/corrosao-por-pites-como-evitasse-problema-na-industria/>. Acesso em: 20 maio 2023.

TRANSPORTATION SAFETY BOARD OF CANADA, Aviation Investigation Report A00P0208. Canadá, 2000. Disponível em:

<https://www.tsb.gc.ca/eng/rapportsreports/aviation/2000/a00p0208/a00p0208.html>. Acesso em 25 maio 2023.