



ESCOLA DE APERFEIÇOAMENTO DE OFICIAIS DA AERONÁUTICA
DIVISÃO DE ENSINO
CURSO DE APERFEIÇOAMENTO DE OFICIAIS 1º/2024

TAIRONE FALHEIROS DO NASCIMENTO, Cap Esp Com

**O uso da Inteligência Artificial no monitoramento de radares de controle de
tráfego aéreo**

Rio de Janeiro

2024

ESCOLA DE APERFEIÇOAMENTO DE OFICIAIS DA AERONÁUTICA
DIVISÃO DE ENSINO
CURSO DE APERFEIÇOAMENTO DE OFICIAIS 1º/2024

TAIRONE FALHEIROS DO NASCIMENTO, Cap Esp Com

O uso da Inteligência Artificial no monitoramento de radares de controle de tráfego aéreo

Trabalho de conclusão de curso apresentado no Curso de Aperfeiçoamento de Oficiais da Aeronáutica como requisito parcial para aprovação no Curso de Pós-graduação *Lato Sensu* em Liderança com Ênfase em Gestão no COMAER.

Linha de Pesquisa: Segurança de Voo
Orientador: Eduardo Mendes Marcondes, Maj Av

Rio de Janeiro

2024

TAIRONE FALHEIROS DO NASCIMENTO, Cap Esp Com

O uso da Inteligência Artificial no monitoramento de radares de controle de tráfego aéreo

Trabalho de conclusão de curso apresentado no Curso de Aperfeiçoamento de Oficiais da Aeronáutica.

Aprovado por:

Eduardo Mendes Marcondes, Maj Av
EAOAR

Ísis Beltrão Pereira, Cap Int
EAOAR

Rio de Janeiro

2024

RESUMO

A eficiência do Sistema de Controle do Espaço Aéreo Brasileiro (SISCEAB) é um fator preponderante para garantia da segurança operacional e depende diretamente da qualidade na manutenção dos equipamentos de controle de tráfego aéreo. Assim, visando assegurar que os serviços de manutenção de equipamentos como os radares acompanhem a evolução constante do tráfego aéreo, o DECEA busca aplicar novos modelos de manutenção. Com isso, este ensaio defende que a utilização de Inteligência Artificial (IA) na previsão de falhas técnicas em radares gerará aumento da disponibilidade de meios e redução de custos de manutenção. Primeiramente, argumenta-se que esta ferramenta de IA antecipará a resposta das equipes de manutenção, possibilitando preparar missões de manutenção com antecedência e, conseqüentemente, proporcionará a redução do tempo de indisponibilidade do equipamento. Em segundo lugar, argumenta-se que a IA fornecerá dados para manutenção preditiva e apontará a probabilidade de falha antecipada, permitindo otimizar mão de obra e controle de estoque, o que resultará em redução de custos na manutenção. Conclui-se que a utilização de técnicas de IA na realização de manutenção preditiva não apenas beneficiará a Força Aérea Brasileira, bem como contribuirá tecnologicamente para instituições no Brasil e para os signatários da Organização de Aviação Civil Internacional (OACI).

Palavras-chave: Disponibilidade. Inteligência Artificial. Manutenção Preditiva. Radares. Redução de Custos.

1 INTRODUÇÃO

A constante evolução do tráfego aéreo influencia diretamente nos investimentos em equipamentos para que o controle de tráfego possa garantir a máxima segurança operacional no espaço aéreo. Esse fato traz muitos desafios, principalmente em um país de tamanho continental como o Brasil. Nesse escopo, o Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA) é o órgão responsável por manter e operar os meios de controle, incluindo equipamentos e recursos humanos.

Um dos grandes objetivos do DECEA é a manutenção da disponibilidade de seus radares, equipamentos vitais para o Sistema de Controle do Espaço Aéreo Brasileiro (SISCEAB). Estes estão distribuídos por todo o território nacional e, em muitos casos, situam-se em locais com poucos ou nenhum recurso humano para manutenção corretiva emergencial.

Para atingir este objetivo, o DECEA desenvolveu um novo modelo logístico de manutenção para o SISCEAB (Brasil, 2020), baseado na terceira geração de manutenção, focado no monitoramento remoto das condições técnicas e operacionais dos equipamentos, incluindo modos de falhas e análise dos efeitos. Nesse sentido, o Centro de Gerenciamento Técnico do SISCEAB (CGTEC) tem concentrado, em âmbito nacional, o monitoramento em tempo real da condição de diversos equipamentos, abrindo bilhetes, para que as equipes técnicas locais realizem as manutenções corretivas pertinentes.

Esse modo de operação da manutenção possui característica reativa, pois depende diretamente da ação dos técnicos, após acionamento ocorrido por meio da geração dos bilhetes. Em contrapartida, tem-se que a manutenção preditiva considera a previsão de potenciais falhas nos sistemas, permitindo antecipar possíveis problemas técnicos que possam afetar os meios operacionais. Nesse enfoque, as atuais tecnologias de Inteligência Artificial (IA) podem claramente servir ao propósito de analisar e prever possíveis falhas críticas nos sistemas de radares com base na quantidade de informações já obtidas atualmente.

Nesse contexto, este ensaio defende que a utilização de IA na predição de falhas técnicas em radares de controle de tráfego aéreo gerará aumento na disponibilidade de meios para o SISCEAB e redução de custos na manutenção.

Argumenta-se que esta ferramenta de IA antecipará a resposta das equipes de manutenção, possibilitando preparar missões de manutenção com antecedência e, conseqüentemente, proporcionará a redução do tempo de indisponibilidade do equipamento.

Salienta-se, também, que a IA fornecerá dados para manutenção preditiva e apontará a probabilidade de falha antecipada, permitindo otimizar mão de obra e controle de estoque, o que resultará em redução de custos na manutenção.

2 DESENVOLVIMENTO

Os radares utilizados no controle de tráfego aéreo estão sob gestão do DECEA, por meio dos Centros Integrados de Defesa Aérea e Controle de Tráfego Aéreo (CINDACTA). Como referência, observou-se que os radares do CINDACTA II ficaram indisponíveis por cerca de oito mil horas para realização de manutenção (preventiva e corretiva) durante o ano de 2023. Com isso, obteve-se um índice de disponibilidade de equipamentos (IDE) de 97,36%, conforme dados extraídos do Sistema Integrado de Logística de Material e de Serviços (SILOMS). Embora esse índice esteja consoante com as diretrizes do DECEA, ele pode ser aumentado por meio do uso da IA, o que contribuirá para manter os altos índices de operacionalidade dos radares empregados no controle de tráfego aéreo.

A IA é uma ferramenta valiosa para prever falhas técnicas em radares, auxiliando na gestão de custos de manutenção no SISCEAB. Ao analisar constantemente o desempenho dos equipamentos, a IA pode identificar padrões e tendências que sinalizam possíveis falhas antecipadas. Isso permite que as equipes de manutenção atuem de forma proativa, intervindo apenas quando necessário, o que resulta em redução de custos.

2.1 Aumento da disponibilidade

A disponibilidade dos radares é um aspecto crítico para a segurança operacional no âmbito do SISCEAB. A interrupção no funcionamento desses equipamentos pode afetar a segurança de voo e a eficiência das operações aéreas.

Assim, é vital minimizar o tempo de inatividade desses sistemas. O CGTEC monitora os radares por meio de parâmetros técnicos como energia, climatização, eletrônica e eletromecânica. Uma ferramenta de IA pode cruzar esses parâmetros para realizar uma análise probabilística de falha, prevendo quando e onde uma falha crítica pode ocorrer.

Essa capacidade de antecipação e planejamento reduz significativamente o tempo de indisponibilidade dos radares. Em vez de aguardar a ocorrência de uma falha para iniciar o processo de reparo, as equipes de manutenção podem entrar em ação assim que a IA identificar um potencial problema. Isso minimiza o tempo necessário para diagnosticar a falha e implementar as soluções adequadas, garantindo que os radares estejam operacionais pelo máximo de tempo possível.

Segundo Da Silva e Santos (2020), o futuro da gestão e planejamento da manutenção aeronáutica terá cada vez mais a presença da IA, visto que a manutenção preditiva permite a análise prévia da fadiga de materiais, reduzindo o tempo de análise e a indisponibilidade das aeronaves, já que o tempo de manutenção corretiva será menor. Tal conceito é analogamente aplicável às práticas utilizadas na manutenção dos equipamentos de controle de tráfego aéreo sob responsabilidade do DECEA.

Além disso, ao reduzir o tempo de indisponibilidade dos equipamentos, o uso da IA na predição de falhas contribui para a eficiência geral do sistema de controle de tráfego aéreo. Com a maior disponibilidade dos radares, é possível melhorar o gerenciamento do espaço aéreo, otimizando rotas e aumentando a capacidade de lidar com o tráfego aéreo em crescimento.

A IA exibe um enorme potencial para análise de grandes quantidades de dados, permitindo otimizar a disponibilidade dos sistemas, reduzir custos de manutenção e, conseqüentemente, aumentar o desempenho operacional e a tomada de decisão (Cardoso, 2020).

Conforme Torres Jr, Machado e Souza (2005), a aplicação de modelos de previsão de falhas em manutenção industrial utilizando IA demonstrou a capacidade dessas redes em prever falhas em sistemas com forte componente de não-linearidade, contribuindo para a prolongação do tempo de operação e o aumento da disponibilidade dos equipamentos.

Como resultado dessa análise, as equipes técnicas de manutenção poderão solicitar antecipadamente itens de estoque junto ao suprimento técnico e definir missões de manutenção antes que o radar fique indisponível. Além disso, existe a possibilidade de coordenação prévia com o órgão operacional para definir dia e horário com menor impacto operacional para a realização do serviço.

Portanto, o uso da IA na previsão de manutenções técnicas desempenha um papel fundamental para pronta resposta das equipes de manutenção, permitindo o aumento da disponibilidade dos radares e proporcionando uma série de benefícios que afetam positivamente a segurança de voo nas operações aéreas no Brasil.

2.2 Redução de custos

Os radares empregados no controle do espaço aéreo brasileiro são infraestruturas complexas e vitais para as operações aéreas em todo o país. Para assegurar a eficiência desses sistemas, é necessário realizar serviços de manutenção ao longo do tempo.

Essas manutenções podem ocorrer de três formas distintas: preventivas, corretivas e preditivas. Quando realizadas de maneira preditiva, ou seja, antecipando-se às falhas, os custos associados à manutenção são consideravelmente reduzidos. Isso ocorre porque podemos planejar previamente quais peças precisam ser substituídas, realizar processos de licitação para aquisição dessas peças, escalonar a equipe de manutenção de forma adequada e conduzir o serviço de forma planejada, sem a necessidade de intervenções emergenciais.

No modelo atual, a equipe técnica realiza manutenções preventivas periódicas com base em boletins técnicos emitidos pelo Parque de Material de Eletrônica da Aeronáutica do Rio de Janeiro (PAME-RJ). Este documento detalha os procedimentos a serem seguidos, os materiais necessários, os instrumentos de medição requeridos, e outros aspectos relevantes para execução da manutenção preventiva, conforme a periodicidade estabelecida. Nesse tipo de manutenção, ocorre eventualmente substituição de módulos que atingiram o tempo limite de operação. Com isso, mesmo que o item não apresente falha naquele momento, ele será substituído devido ao tempo de uso.

Com a utilização da IA, podemos realizar a manutenção preditiva, a qual consiste em atuar tecnicamente no equipamento apenas quando houver indícios de mau funcionamento em determinado item e/ou módulo. Dessa forma, os intervalos entre cada manutenção preventiva poderão ser estendidos.

Barbosa (2023) conduziu uma pesquisa relacionada à manutenção de turbinas eólicas utilizando a IA associada à manutenção preditiva. Foi constatada por meio desse estudo a redução de custos associados à manutenção, pois ao prever falhas, foi possível realizar a manutenção no item defeituoso antes que outros itens fossem afetados. Esse fato reflete diretamente nos custos de manutenção, uma vez que haverá uma quantidade menor de deslocamento de equipe e redução de consumo de itens de estoque.

Ainda nesse sentido, Pinto (2023), por meio de um estudo conduzido sobre a manutenção de usinas hidrelétricas, observou que a aplicação de IA nas rotinas de manutenção possibilitou a redução de custos indiretos das falhas dos hidrogeradores, diminuição de custos diretos e indiretos de manutenção, devido à redução de consumo de insumos e da diminuição de homem-hora.

A implementação de IA para manutenção preditiva em processos industriais aumenta a eficiência operacional. A análise de dados permite antecipar falhas em válvulas, otimizando o planejamento de manutenção, reduzindo custos e evitando paradas não programadas. Isso contribui para a segurança dos equipamentos e reduz custos operacionais, pois as manutenções planejadas envolvem serviços de menor magnitude (Pinto, 2021).

Diante do exposto, a IA como ferramenta preditiva possibilita antever possíveis ocorrências de falhas técnicas, permitindo otimizar mão de obra e controle de estoque, resultando na redução de custos na manutenção.

3 CONCLUSÃO

A evolução do tráfego aéreo impulsiona investimentos em equipamentos para garantir a segurança operacional. O DECEA, responsável pelo controle do espaço aéreo no Brasil, enfrenta o desafio de manter a disponibilidade de seus radares, vitais

para o SISCEAB. Esses radares, distribuídos nacionalmente, muitas vezes estão em locais com recursos humanos limitados para manutenção.

Para superar isso, o DECEA implementou um novo modelo de manutenção para o SISCEAB, focado no monitoramento remoto das condições dos equipamentos. O CGTEC monitora em tempo real a condição desses equipamentos, emitindo bilhetes para manutenção corretiva.

Este método reativo depende da ação dos técnicos após a geração dos bilhetes. Em contrapartida, a manutenção preditiva, que prevê falhas potenciais, permite antecipar problemas técnicos. Nesse contexto, a IA pode ser usada para analisar e prever falhas críticas nos sistemas de radares.

Dessa forma, foi argumentado que a IA antecipará a resposta das equipes de manutenção, possibilitando preparar missões de manutenção com antecedência e, conseqüentemente, proporcionará a redução do tempo de indisponibilidade do equipamento.

Ademais, argumentou-se que a IA fornecerá dados para manutenção preditiva e apontará a probabilidade de falha antecipada, permitindo otimizar mão de obra e controle de estoque, o que resultará em redução de custos na manutenção.

Assim, a utilização de IA na predição de falhas técnicas em radares de controle de tráfego aéreo gerará aumento na disponibilidade de meios para o SISCEAB e redução de custos na manutenção.

Por fim, com a utilização das técnicas de IA na realização de manutenção preditiva em radares de controle de tráfego aéreo, a Força Aérea Brasileira contribuirá significativamente com amplos conhecimentos e experiência na otimização de recursos humanos e materiais, destacando-se como uma Força tecnológica. Além disso, oferecerá valiosas lições e práticas para outras instituições no Brasil. Esse conhecimento compartilhado poderá ser aproveitado por países signatários da Organização de Aviação Civil Internacional (OACI), promovendo padrões mais elevados de segurança e eficiência.

REFERÊNCIAS

BARBOSA, J. D. M. **Manutenção preditiva com recurso a inteligência artificial**. 2023. Dissertação (Mestrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores) – Universidade de Coimbra, Coimbra, 2023.

BRASIL. Ministério da Defesa. Comando da Aeronáutica. Portaria DECEA nº 239/DGCEA, de 18 de dezembro de 2019. Aprova a reedição do PCA 66-1 - Plano de Implementação da Prova de Conceito para validação do novo modelo logístico de manutenção proposto na DCA 66-3 “Governança para Manutenção no SISCEAB”. **Boletim do Comando da Aeronáutica**. Rio de Janeiro n. 007, f. 517, 14 jan. 2020.

CARDOSO, D. E. R. **Aplicação de conceitos de manutenção preditiva com aplicação de ferramentas de Inteligência Artificial**. 2020. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade do Porto, Porto, 2020.

DA SILVA, D. G. M.; SANTOS, L. H. **Aspectos positivos do uso da inteligência artificial/machine learning na gestão e planeamento da manutenção aeronáutica**. 2020.

PINTO, M. C. **Sistema de manutenção preditiva de falhas em válvulas em um processo industrial utilizando inteligência artificial**. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Controle e Automação) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2021.

PINTO, M. M. **Análise da aplicação de técnicas de inteligência artificial no diagnóstico de máquinas elétricas**. 2023. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2023.

TORRES JR, R. G.; MACHADO, M. A. S.; SOUZA, R. C. Previsão de séries temporais de falhas em Manutenção industrial usando redes neurais. **Engevista**, v. 7, n. 2, p. 29-37, 2005.