



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

JIMMY NOGUEIRA DE CASTRO, Maj Esp Met

**Inteligência Artificial no auxílio às previsões meteorológicas aplicadas às
atividades de lançamento de foguetes na FAB**

Rio de Janeiro

2024

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

JIMMY NOGUEIRA DE CASTRO, Maj Esp Met

**Inteligência Artificial no auxílio às previsões meteorológicas aplicadas às
atividades de lançamento de foguetes na FAB**

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: Ciência, Tecnologia e Inovação

Orientador: Allison Nunes Fernandes, Maj Eng

Rio de Janeiro

2024

JIMMY NOGUEIRA DE CASTRO, Maj Esp Met

Inteligência Artificial no auxílio às previsões meteorológicas aplicadas às atividades de lançamento de foguetes na FAB

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

Aprovado por:

Thiago Diorgilis Ribeiro **DANIEL** Ten Cel Av
EAOAR

ALLISON Nunes Fernandes Maj Eng
EAOAR

Rio de Janeiro

2024

RESUMO

Este estudo se propôs a analisar a integração inovadora da Inteligência Artificial (IA) em sistemas de previsão meteorológica aplicados às atividades de lançamento de foguetes, destacando o potencial para a melhoria do serviço de meteorologia na Força Aérea Brasileira (FAB). Destacou que a acurácia e a confiabilidade das previsões meteorológicas são cruciais para o êxito e a segurança dos lançamentos de veículos espaciais, especialmente devido aos elevados riscos impostos pelas ocorrências de fenômenos meteorológicos adversos como ventos fortes, chuvas intensas e descargas elétricas, que podem afetar negativamente estas operações. Os modelos desenvolvidos pela Cátedra de Meteorologia Aeronáutica (CMA) demonstraram o potencial de aprimoramento dos serviços meteorológicos em lançamentos de foguetes. Além disso, destacou-se que a aplicação de IA em modelos de previsão pode aumentar significativamente a segurança durante as fases de transporte, preparação e abastecimento dos foguetes, conforme destacado pela proposta de adaptação desses modelos em sistemas de alerta e previsão para fenômenos meteorológicos críticos. Propôs-se, também, a ampliação do escopo da CMA da FAB para incluir o setor espacial, uma estratégia fundamental para fomentar a implementação das ferramentas de IA discutidas, visando promover o desenvolvimento contínuo de pesquisas e inovações e estabelecendo uma base sólida para a utilização efetiva dessas tecnologias em operações de lançamento de foguetes.

Palavras-chave: Previsão Meteorológica. Inteligência Artificial. Lançamentos de Foguetes.

1 INTRODUÇÃO

A Inteligência Artificial (IA) desempenha um papel fundamental na transformação do mundo contemporâneo, impulsionando notáveis avanços tecnológicos e científicos em diversos setores da sociedade. Sua influência tem se expandido de maneira significativa, sendo destacada nas atividades de lançamento de foguetes (Russo; Lax, 2022) e inovadora, como uma ferramenta de auxílio às previsões meteorológicas (França; Albuquerque; Velho, 2023).

O serviço de meteorologia desempenha um papel crucial em várias áreas da Força Aérea Brasileira (FAB), incluindo a Aviação, a Meteorologia de Defesa, o Monitoramento do Clima Espacial e as operações de lançamento de foguetes. Em um movimento estratégico para ampliar sua atuação no setor espacial, a FAB destacou-se recentemente com a abertura do Centro Espacial de Alcântara (CEA). Essa iniciativa tem como objetivo transformar o Centro de Lançamento de Alcântara (CLA) em um renomado espaçoporto internacional, dedicado a veículos espaciais. Tal desenvolvimento não somente reforçou a posição do Brasil no cenário da exploração espacial, mas também consolidou o país como um importante centro de colaboração internacional no campo aeroespacial.

A acurácia das previsões meteorológicas é essencial para o êxito das operações de lançamento de foguetes, impactando diretamente na segurança e eficiência. A IA surge como uma ferramenta valiosa nesse contexto, analisando vastas quantidades de dados para melhorar a precisão dessas previsões. Apesar das limitações dos modelos tradicionais, especialmente para previsões de curto e médio prazo, a IA tem potencial para otimizar esse processo, utilizando dados de diversas fontes para identificar padrões e aprimorar a previsão meteorológica para lançamentos de foguetes.

Diante disso, este ensaio defende que a adoção de IA em sistemas de previsão meteorológica pode proporcionar melhorias significativas no serviço de meteorologia aplicado às atividades de lançamento de foguetes na FAB.

Para apoiar esta tese, argumenta-se que a adoção de IA em modelos de previsão meteorológica pode transformar e elevar a qualidade do serviço de meteorologia aplicado às atividades de lançamento de foguetes.

Além disso, defende-se, também, que o uso de IA em modelos de previsão meteorológica contribui expressivamente para o aumento da segurança nas atividades de lançamento de foguetes na FAB.

2 DESENVOLVIMENTO

A previsão do tempo é uma área complexa e desafiadora, com um alto grau de incerteza. As previsões são elaboradas por meteorologistas que, além de considerarem uma grande quantidade de dados coletados de diversas fontes, como modelos numéricos, imagens de satélite e observações em superfície, também se baseiam em sua experiência e conhecimento para interpretar tais dados e formular os prognósticos.

No entanto, essa subjetividade inerente ao processo de previsão pode levar a variações na precisão das previsões, especialmente em situações complexas e de alta incerteza. Diante disso, torna-se evidente a necessidade de ferramentas auxiliares que possam apoiar os meteorologistas na tomada de decisões e na elaboração de previsões mais precisas. O desenvolvimento de tais ferramentas, como sistemas baseados em IA e algoritmos avançados de análise de dados, pode contribuir significativamente para a redução da subjetividade e para a melhoria da qualidade dos prognósticos.

Nesse contexto, a IA, por meio de técnicas avançadas, tem a capacidade de analisar grandes volumes de dados não estruturados e heterogêneos, identificando e explorando relações complexas entre eles, sem a necessidade de um tratamento analítico explícito, como ocorre nos dados utilizados para as previsões meteorológicas (Dewitte *et al.*, 2021).

Embora os modelos de previsão do tempo, baseados em métodos numéricos e físicos, ainda apresentem limitações em termos de precisão e confiabilidade, a IA abre novas possibilidades para aprimorar previsões de curto e médio prazo para locais específicos. Ela pode ser empregada na análise de grandes conjuntos de dados históricos e em tempo real, como dados de satélites, radares, sensores terrestres e modelos numéricos, para identificar padrões e aprender com eles.

2.1 IA para o incremento da qualidade do serviço de meteorologia

A aplicação da IA em modelos de previsão meteorológica vem crescendo no Brasil nos últimos anos, com diversos estudos demonstrando sua efetividade como ferramenta de auxílio à tomada de decisões.

A FAB tem se empenhado em melhorar a qualidade dos serviços de meteorologia para a aviação, dedicando esforços significativos no desenvolvimento de modelos preditivos baseados em IA. Esse trabalho de pesquisa e desenvolvimento teve início com a formação da Cátedra de Meteorologia Aeronáutica (CMA), um colegiado acadêmico estabelecido por meio de uma parceria entre o Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), a Universidade da Força Aérea (UNIFA) e a Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ).

No âmbito dos trabalhos realizados na CMA, demonstrando o potencial da IA para previsões de *nowcasting*¹, Almeida, França e Velho (2020) desenvolveram um método inovador baseado em Aprendizado de Máquina² (AM) para prever eventos convectivos meteorológicos. Os resultados obtidos foram promissores, apresentando estatísticas de desempenho do modelo, com probabilidade de detecção de 91%, falso alarme 15% e um viés³ de 1,03.

Ainda pela CMA, destacando-se de forma promissora e com alta potencialidade de aplicação operacional, Castro *et al.* (2022) criaram um modelo de previsão para eventos severos convectivos (tempestades) utilizando AM, para prever até 12 horas, ocorrências de tempestades, apresentando, como melhores resultados, índice de acerto de 96,7%. Este estudo apresentou, também, análises dos erros do modelo desenvolvido, permitindo o seu aprimoramento para a implantação de um modelo de previsão operacional.

Isto posto, demonstra-se que, para as operações de lançamento de foguetes, a confiabilidade e precisão das previsões meteorológicas são de vital importância. Fenômenos meteorológicos como descargas atmosféricas, ventos intensos e precipitação podem frequentemente resultar no fracasso de uma missão de lançamento, acarretando impactos financeiros adversos.

Destaca-se, também, que, dos principais fenômenos meteorológicos que impactam as operações de lançamento de foguetes, estão associadas as ocorrências

¹ Previsão meteorológica para poucos minutos ou até 24 horas de validade.

² Segmento da IA e da ciência da computação dedicado ao emprego de dados e algoritmos para replicar o processo de aprendizagem humano, aprimorando continuamente sua exatidão.

³ Desvio sistemático da previsão em relação à realidade. Em outras palavras, as previsões podem ser consistentemente mais altas ou mais baixas do que as condições climáticas reais.

de tempo severo (tempestades) e, como demonstrado neste ensaio, a precisão dos modelos apresentados são superiores 90% de acerto de detecção.

Em síntese, os modelos compilados nesta seção apresentam efetiva aplicação da IA como ferramenta de suporte às previsões meteorológicas, evidenciando seu potencial para aprimorar a precisão dos prognósticos meteorológicos e, conseqüentemente, o aumento da qualidade do serviço de meteorologia aplicado às atividades de lançamentos de foguetes.

2.2 IA no aumento da segurança nas atividades de lançamento de foguetes na FAB

Nas operações de lançamento de foguetes, diversas atividades apresentam elevados riscos à segurança dos profissionais envolvidos, especialmente nas etapas críticas de transporte, preparação e abastecimento dos foguetes.

De acordo com Caruzzo, Belderrain e Fisch (2014), o sucesso nas operações de lançamento de foguetes depende significativamente das condições meteorológicas, destacando a importância de se reconhecer a relevância deste serviço, assim como o impacto das condições meteorológicas sobre esses veículos aeroespaciais.

Nesse contexto, fenômenos meteorológicos como chuva, ventos fortes e descargas atmosféricas, potencializam esse risco, acarretando a imediata paralização dessas atividades. Desta forma, prever as ocorrências dos fenômenos meteorológicos torna-se crucial para o sucesso das operações de lançamento de foguetes.

A CMA desenvolveu modelos de previsão inovadores que podem ser adaptados para as atividades de lançamento de foguetes tornando-se valiosas ferramentas de auxílio a previsão meteorológica. Essas ferramentas também têm um elevado potencial para a implantação de sistemas de alertas que permitam o suporte a tomada de decisão durante as atividades de transporte, preparação e abastecimento dos foguetes.

Como exemplo, para o desenvolvimento de um sistema de previsão e alerta de vento para a área de lançamento de foguetes, pode-se citar o modelo de previsão desenvolvido por França *et al* (2018), com prognósticos de vento com validade de até

45 minutos. Este modelo, baseou-se em Rede Neurais Artificiais (RNA⁴), apresentando resultados promissores, especialmente para previsões de curta duração (15 minutos).

Ainda como proposta para o desenvolvimento de um sistema de alerta de chuva e descargas atmosféricas, pode-se utilizar como base norteadora o trabalho desenvolvido por Bonnet, Evsukoff e Rodriguez (2022), que utilizaram o algoritmo de aprendizado profundo (VPDL PredRNN++)⁵, analisando sequências de imagens de radar para prever futuras imagens de precipitação.

Portanto, é importante destacar que a utilização da IA apresenta um potencial significativo para garantia da segurança para as atividades de lançamento de foguetes, evidenciado pelos trabalhos já realizados no âmbito da FAB.

3 CONCLUSÃO

Como discutido neste trabalho, demonstrou-se que a adoção de IA em sistemas de previsão meteorológica pode proporcionar melhorias significativas no serviço de meteorologia aplicado às atividades de lançamento de foguetes na FAB.

Destacou-se, como evidência para comprovar que o uso de IA em modelos de previsão meteorológica pode transformar e elevar a qualidade do serviço de meteorologia aplicado às atividades de lançamento de foguetes, com base nos modelos de previsão para fenômenos meteorológicos críticos, apresentados neste trabalho, com resultados superiores a 90% de acerto de suas ocorrências.

Além disso, evidenciou-se, também, que o uso de IA em modelos de previsão meteorológica contribui expressivamente para o aumento da segurança nas atividades de lançamento de foguetes na FAB, ressaltando o papel da IA como uma ferramenta de auxílio às previsões meteorológicas. Ficou evidenciado, pelos modelos apresentados, do seu potencial para o desenvolvimento e implantação de sistemas de alerta e previsão dos fenômenos meteorológicos críticos para as operações de lançamento de foguetes.

⁴ São projetadas para emular o funcionamento do cérebro humano, integrando princípios de ciência da computação e estatística para abordar desafios típicos no campo da inteligência artificial (IA).

⁵ Modelo de aprendizado profundo utilizado para previsão de sequências. Ele é uma evolução do modelo PredRNN, que se baseia na arquitetura de memória cíclica para processar sequências de dados e prever elementos futuros.

Por oportuno, propõe-se a expansão do escopo da CMA da FAB, incluindo o setor espacial, como uma estratégia chave para implementar as ferramentas de IA aqui discutidas. Essa expansão facilitaria o desenvolvimento contínuo de pesquisa e inovação, criando uma base sólida para a adoção eficaz de tais tecnologias em operações de lançamento de foguetes.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, V. A.; FRANÇA, G. B.; VELHO, H. F. C. Novel short-range forecasting system for meteorological convective events in Rio de Janeiro using remote sensing of atmospheric discharges. **International Journal of Remote Sensing**, v.41, n. 11, pp. 4372-4388, 2020. Acesso em: 13 mar. 2024.

BONNET, S. M.; EVSUKOFF, A.; RODRIGUEZ, C. A. M. Precipitação em curto prazo com imagens de radar meteorológico e aprendizado profundo em São Paulo, Brasil. **Atmosphere**, v. 11, n. 11, p. 1157, 27 out. 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/atmos11111157>. Acesso em: 13 mar. 2024.

CARUZZO, A.; BELDERRAIN, M. C. N.; FISCH, G. Mapeamento parcial da meteorologia nas operações de lançamentos de foguetes utilizando um Método de Estruturação de Problemas. **Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA)**, São José dos Campos, 23 a 25 de setembro de 2014. ISSN 1983-7402.

CASTRO, J. N.; FRANÇA, G. B.; DE ALMEIDA, V. A.; ALMEIDA, V. M. Previsão de tempo severo convectivo usando modelos de aprendizado de máquina. **Pure and Applied Geophysics**, v. 179, p. 2945-2955, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00024-022-03088-8>. Acesso em: 13 mar. 2024.

DEWITTE, S.; CORNELIS, J.P.; MÜLLER, R.; MUNTEANU, A. A revolução da inteligência artificial na previsão do tempo, monitoramento climático e previsão decadal. **Remote Sensing**, v. 13, n. 3209, 13 ago. 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/rs13163209>. Acesso em: 13 mar. 2024.

FRANÇA, G. B.; ALMEIDA, V. M.; BONNET, S.; ALBUQUERQUE, F. Nowcasting model of low wind profile based on neural network using SODAR data at Guarulhos Airport, Brazil. **International Journal of Remote Sensing**, v. 39, p. 2506-2517, 18 abr. 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/01431161.2018.1425562>. Acesso em: 10 abr. 2024.

FRANÇA, G. B.; ALBUQUERQUE, F. L. N.; VELHO, H. F. C. **Nowcasting usando aprendizado de máquina e modelos determinísticos**: uma iniciativa brasileira para melhorar a meteorologia da aviação. Rio de Janeiro: EDUNIFA, 2023. 1 e-book: il., color. ISBN 978-65-89535-09-6.

RUSSO, A.; LAX, G. Usando inteligência artificial para desafios espaciais: Uma revisão. **Applied Sciences**, v. 12, n. 5106, 19 maio 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/app12105106>. Acesso em: 13 mar. 2024.