

**INSTITUTO TECNOLÓGICO DE AERONÁUTICA**



**Brian Clark Zanfelicce**

**METHODOLOGY FOR DEVELOPING A LEVEL 1  
DIGITAL TWIN WITH AI INTEGRATION FOR GAS  
TURBINES**

Final Paper

2025

**Course of Mechanical Aeronautics  
Engineering**

*"No que diz respeito ao empenho, ao compromisso, ao esforço, à dedicação, não existe meio-termo. Ou você faz uma coisa bem-feita ou não faz."*

**AYRTON SENNA**

# Resumo

As turbinas a gás são cruciais na geração de energia e na aviação, tornando sua modelagem precisa essencial para a otimização do desempenho e manutenção preditiva. Abordagens de modelagem tradicionais podem ser computacionalmente intensivas ou, se puramente baseadas em dados, podem carecer de consistência física. Esta tese apresenta o desenvolvimento de um gêmeo digital de primeiro nível para uma turbina a gás em escala de laboratório utilizando Redes Neurais Informadas pela Física (PINNs). Este trabalho envolve o aproveitamento de dados experimentais coletados da microturbina de laboratório do Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA), incluindo parâmetros operacionais chave como temperaturas e pressões em vários estágios, fluxo de combustível, velocidade do compressor e empuxo. Estes dados empíricos são integrados com princípios termodinâmicos fundamentais e as equações algébricas governantes que descrevem o comportamento dos principais componentes da turbina a gás: o compressor, a câmara de combustão, a turbina e o bocal. Ao incorporar estas leis físicas diretamente na função de perda da rede neural, a PINN é treinada não apenas para se ajustar aos dados experimentais observados, mas também para aderir à física inerente do sistema. O gêmeo digital desenvolvido visa prever com precisão as principais saídas de desempenho, como a temperatura de saída da câmara de combustão, a temperatura dos gases de escape e o empuxo, sob diversas condições operacionais definidas pelo fluxo de combustível e pela velocidade do compressor. Além disso, o modelo é projetado para prever temperaturas e pressões intermediárias ao longo da turbina, garantindo consistência termodinâmica em todo o processo simulado. Esta pesquisa contribui com uma metodologia para a criação de um gêmeo digital robusto, computacionalmente eficiente e fisicamente fundamentado. Espera-se que o modelo resultante sirva como uma ferramenta valiosa para análise de desempenho aprofundada, compreensão das sensibilidades do sistema e, potencialmente, para o desenvolvimento futuro de estratégias de controle e otimização para a turbina a gás.

**Palavras-chave:** Turbina a Gás. Gêmeo Digital. Inteligência Artificial. Aprendizado de Máquina Informado pela Física. First-Principle Modeling.

# Abstract

Gas turbines are crucial in power generation and aviation, making their accurate modeling essential for performance optimization and predictive maintenance. Traditional modeling approaches can be computationally intensive or, if purely data-driven, may lack physical consistency. This thesis presents the development of a Level 1 (L1) digital twin for a laboratory-scale gas turbine using Physics-Informed Neural Networks (PINNs). This work involves leveraging experimental data collected from the Aeronautical Institute of Technology (ITA) laboratory microturbine, including key operational parameters such as temperatures and pressures at various stages, fuel flow, compressor speed, and thrust. These empirical data are integrated with fundamental thermodynamic principles and the governing algebraic equations describing the behavior of the main gas turbine components: the compressor, combustion chamber, turbine, and nozzle. By incorporating these physical laws directly into the neural network's loss function, the PINN is trained not only to fit the observed experimental data but also to adhere to the inherent physics of the system. The developed digital twin aims to accurately predict key performance outputs, such as combustor outlet temperature, exhaust gas temperature, and thrust, under various operating conditions defined by fuel flow and compressor speed. Furthermore, the model is designed to predict intermediate temperatures and pressures throughout the turbine, ensuring thermodynamic consistency across the simulated process. This research contributes a methodology for creating a robust, computationally efficient, and physically grounded digital twin. The resulting model is expected to serve as a valuable tool for in-depth performance analysis, understanding system sensitivities, and potentially for the future development of control and optimization strategies for the gas turbine.

**Keywords:** Gas Turbine. Digital Twin. Artificial Intelligence. Physics-Informed Machine Learning. First-Principle Modeling.

## TABLE OF CONTENTS

# Bibliography