

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE AERONÁUTICA  
DIVISÃO DE CIÊNCIAS FUNDAMENTAIS  
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE AERONÁUTICA

BRIAN CLARK ZANFELICE

METHODOLOGY FOR DEVELOPING A FIRST-PRINCIPLE DIGITAL TWIN WITH AI  
INTEGRATION FOR GAS TURBINES

Final Paper

SÃO JOSÉ DOS CAMPOS

2025

**BRIAN CLARK ZANFELICE**

**METHODOLOGY FOR DEVELOPING A  
FIRST-PRINCIPLE DIGITAL TWIN WITH AI  
INTEGRATION FOR GAS TURBINES**

Mechanical Aeronautics Engineering

Advisor:

Prof. Dr. Franco Jefferds dos Santos Silva

Co-advisor:

Prof. Dr. Cleverson Bringhenti

SÃO JOSÉ DOS CAMPOS

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE AERONÁUTICA

2025

**Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)**

**Divisão de Informação e Documentação**

<p>Zanfelic, Brian Clark</p> <p>Methodology for Developing a First-Principle Digital Twin with AI Integration for Gas Turbines / Zanfelic, Brian Clark - São José dos Campos, 2025.</p> <p>24 f.</p> <p>Final Paper - Curso de Mechanical Aeronautics Engineering, Área de Engenharias III - Instituto Tecnológico de Aeronáutica, 2025.</p> <p>Advisor: Prof. Dr. Prof. Dr. Franco Jefferds dos Santos Silva.</p> <p>1. palavra 1. 2. palavra 2. 3. palavra 3. 4. palavra 4. 5. palavra 4. I. Prof. Dr. Franco Jefferds dos Santos Silva. II. Instituto Tecnológico de Aeronáutica. III. Instituto Tecnológico de Aeronáutica. IV. Methodology for Developing a First-Principle Digital Twin with AI Integration for Gas Turbines</p> <p>CDU 621.438</p>
---

**REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA**

ZANFELIC, Brian Clark. Methodology for Developing a First-Principle Digital Twin with AI Integration for Gas Turbines. 2025. 24 f. Final Paper - Curso de Mechanical Aeronautics Engineering, Área de Engenharias III - Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos, 2025.

**CESSÃO DE DIREITOS**

**NOME DO AUTOR:** Brian Clark Zanfelic

**TÍTULO DO TRABALHO:** Methodology for Developing a First-Principle Digital Twin with AI Integration for Gas Turbines

**TIPO DO TRABALHO/ANO:** Final Paper / 2025.

É concedida ao{à} Instituto Tecnológico de Aeronáutica a permissão para reproduzir cópias desta Final Paper para emprestar ou vender cópias, exclusivamente para fins acadêmicos e científicos. O autor reserva os demais direitos de publicação, e nenhuma parte desta dissertação ou tese poderá ser reproduzida sem sua autorização.

Brian Clark Zanfelicé

Endereço Eletrônico: [brian.zanfelic@ga.ita.br](mailto:brian.zanfelic@ga.ita.br)

São José dos Campos-SP

BRIAN CLARK ZANFELICE

METHODOLOGY FOR DEVELOPING A FIRST-PRINCIPLE DIGITAL TWIN WITH AI  
INTEGRATION FOR GAS TURBINES Final Paper

Composição de Banca Examinadora:

Prof. Dr.	Presidente	-	ITA
Prof. Dr. Franco Jefferds dos Santos Silva	Advisor	-	ITA
Profa. Dra. Cleverson Bringhenti	Co-advisor	-	ITA

São José dos Campos  
2025

*Este trabalho é dedicado às crianças adultas  
que, quando pequenas, sonharam em se tornar  
cientistas.*

*"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**

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, que me deu o dom da vida e me abençoa todos os dias com o seu amor infinito. Sou grato aos meus pais que me apoiaram muito com palavras de incentivo. Agradeço aos mestres que serviram de exemplo para que eu me tornasse um profissional melhor a cada dia. Aos amigos meu muito obrigado (a), por torcerem e vibrarem com a minha conquista.



## Resumo

[O resumo é escrito em um único parágrafo contendo visão rápida e clara do conteúdo e conclusões do trabalho, constituindo-se em uma sequência de frases concisas e objetivas, não ultrapassando 500 palavras.] Exemplo: O Ciclo Rankine Orgânico é um processo de geração de energia que utiliza um fluido térmico orgânico, como o metano, como meio de trabalho. Ele é composto por uma série de componentes que trabalham em conjunto para converter a energia térmica do fluido em energia mecânica, que é, por sua vez, convertida em energia elétrica por meio de um gerador.

**Palavras Chaves:** palavra 1. palavra 2. palavra 3. palavra 4. palavra 5.

## Abstract

[The abstract is written in a single paragraph containing a quick and clear overview of the work's content and conclusions, consisting of a sequence of concise and objective sentences, not exceeding 500 words.] Example: The Organic Rankine Cycle is an energy generation process that uses an organic thermal fluid, such as methane, as the working medium. It is composed of a series of components that work together to convert the fluid's thermal energy into mechanical energy, which is, in turn, converted into electrical energy by means of a generator.

**Keywords:** keyword 1. keyword 2. keyword 3. keyword 4. keyword 5.

## Lista de Figuras

Figura 1 – Exemplo de figura: um peixe. . . . .	17
---	----

## Lista de Tabelas

Tabela 1 – Exemplo de tabela: dados de pessoas . . . . .	17
--	----

## Lista de Códigos

1.1	Customers Query . . . . .	18
1.2	Exemplo de código em Julia . . . . .	18

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
abnTeX	ABsurdas Normas para TeX

## LISTA DE SÍMBOLOS

Letra grega Gama

Lambda

Letra grega minúscula zeta

Pertence

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>17</b>
<b>1.1</b>	<b>Uso de figuras</b>	<b>17</b>
1.1.1	Tabelas	17
1.1.2	Equações	17
1.1.3	Código em Julia	18
1.1.4	Citando referências	18
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b>	<b>19</b>
<b>2.1</b>	<b>Tema</b>	<b>19</b>
<b>2.2</b>	<b>Subtema</b>	<b>19</b>
2.2.1	Conceitos importantes	19
2.2.2	Etc	19
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA</b>	<b>20</b>
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES</b>	<b>21</b>
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO</b>	<b>22</b>
<b>6</b>	<b>TRABALHOS FUTUROS</b>	<b>23</b>



# 1 Introdução

O Quarto permite tecer o conteúdo e o código executável em um documento final. Para saber mais sobre o quarto ver <https://quarto.org>.

## 1.1 Uso de figuras

Um exemplo de figura é a Fig. 1 abaixo.

**Figura 1** – Exemplo de figura: um peixe.



Fonte: Google imagens

### 1.1.1 Tabelas

Tabelas são usadas para mostrar dados tabulares. Um exemplo de tabela é a Tab. 1 abaixo.

**Tabela 1** – Exemplo de tabela: dados de pessoas

Nome	Idade	Sexo
João	20	M
Maria	25	F

### 1.1.2 Equações

Black-Scholes (Equation 1.1) é um modelo matemático que busca explicar o comportamento dos derivativos financeiros, mais comumente opções:

$$\frac{C}{t} + \frac{1}{2} \sigma^2 S^2 \frac{\partial^2 C}{\partial S^2} + rS \frac{\partial C}{\partial S} = rC \quad (1.1)$$

### 1.1.3 Código em Julia

A seguir um código em Julia:

---

**Código 1.1** Customers Query

---

```
x = 1 + 1
```

---

Este foi um exemplos do suporte a figuras, tabelas, equações e código em Julia. Para mais informações sobre o suporte a figuras, tabelas, equações e código (Cód. 1.1) em Julia, consulte [<https://quarto.org>](https://quarto.org).

---

**Código 1.2** Exemplo de código em Julia

---

```
x = 1 + 1
```

---

Este foi um exemplos do suporte a figuras, tabelas, equações e código em Julia (Cód. 1.2).

### 1.1.4 Citando referências

A seguir um exemplo de citação de referências:

A citação de referências é feita como segue: Grote and Antonsson ((??))

## 2 Referencial Teórico

APRESENTAÇÃO TEÓRICA, BASEADA EM REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS, SOBRE O TEMA DO TRABALHO.

### 2.1 Tema

### 2.2 Subtema

#### 2.2.1 Conceitos importantes

#### 2.2.2 Etc

### 3 Metodologia

DESCRIÇÃO DO QUE FOI FEITO NO TRABALHO.

## 4 Resultados e discussões

RESULTADOS OBTIDOS E O QUE ELES SIGNIFICAM.

## 5 Conclusão

### CONCLUSÕES ENCONTRADAS NO TRABALHO

## 6 Trabalhos Futuros

## REFERÊNCIAS

Grote, Karl-Heinrich, and Erik K Antonsson. 2009. *Springer Handbook of Mechanical Engineering*. Vol. 10. Springer.