



---

## PROPOSTA DE ORIENTAÇÃO DE TCC I

**Aluno:** Marcos Paulo de Oliveira Pereira

**Matrícula:** 21.1.1090

**Orientador/Departamento:** Prof. Alexandre Magno de Sousa – DECSI

**Coorientador/Departamento:**

**Disciplina:** CSI495 – Trabalho de Conclusão de Curso 1

**Título Provisório:** Análise Preditiva e Otimização de Estratégias na Fórmula 1 Utilizando Aprendizado de Máquina

**Área de pesquisa:**

Código	Nome
1.02.02.08-0	Análise de Dados
1.03.03.04-9	Sistemas de Informação

## 1. Introdução

A estratégia na Fórmula 1 moderna é um problema de otimização multivariável executado sob alta incerteza. Fatores como o desgaste dos pneus, condições climáticas e eventos estocásticos, como a entrada do *Safety Car*, criam um cenário de alta complexidade onde decisões ótimas precisam ser tomadas em tempo real [3].

Este trabalho teve como ponto de partida o desenvolvimento de uma aplicação semelhante na disciplina de Projeto e Análise de Experimentos (PAE), que utilizou análise exploratória de dados e modelos de regressão linear para criar um “Strategy Score”. Esse Strategy Score seria uma métrica quantitativa para determinar a qualidade de uma estratégia, se baseando em posições ganhas e posição de chegada. Conforme detalhado na apresentação final do projeto, essa abordagem inicial, embora útil para identificar variáveis-chave, possui uma natureza determinística e estática, sendo incapaz de modelar com precisão a performance volta a volta.

A literatura recente explora soluções mais sofisticadas para este desafio, como Redes Neurais Profundas (EDNN) [3] e Aprendizado por Reforço (RL) [8]. Este TCC, portanto, surge como uma evolução e aprofundamento da análise inicial de PAE. O objetivo é desenvolver um modelo de aprendizado de máquina robusto que auxilie na \*\*previsão dos tempos de volta\*\*, considerando fatores como o tipo e a idade dos pneus, as condições de pista e o piloto. O diferencial deste trabalho reside em focar na criação de um modelo preditivo acurado utilizando exclusivamente ferramentas *open-source* (Python, FastF1, Scikit-learn), para demonstrar que *insights* valiosos podem ser gerados sem a necessidade de infraestruturas computacionais massivas ou conjuntos de dados privados.

## 2. Motivação e Justificativa

A investigação deste tema fundamenta-se nos seguintes pilares:

1. **Limitação de Modelos Estáticos:** A investigação inicial, realizada na disciplina de Projeto e Análise de Experimentos, demonstrou que modelos determinísticos como a regressão linear são insuficientes para capturar a natureza dinâmica e as não-linearidades de uma corrida. Modelos como redes neurais apresentam desempenho superior a esse tipo de abordagem [9] até mesmo em uma simples previsão de tempo de volta. Essa limitação é corroborada pela literatura, que aponta que a performance é altamente influenciada por fatores complexos, exigindo abordagens mais sofisticadas para uma análise robusta [4].
2. **Oportunidade de Inovação Acessível:** A literatura recente confirma a viabilidade de técnicas avançadas para o problema, como a aplicação de Aprendizado por Reforço (RL) para otimização em tempo real [8]. No entanto, tais abordagens demandam alto custo computacional e possuem elevada complexidade de implementação. Este trabalho se justifica ao propor um modelo focado na previsão de tempo de volta, uma etapa fundamental para qualquer sistema de estratégia, buscando democratizar a análise de dados esportivos avançada, utilizando ferramentas de código aberto e oferecendo uma alternativa viável à complexidade dos sistemas de RL ou proprietários.

### 3. Definição do Problema

O problema central consiste em desenvolver um modelo preditivo robusto, capaz de **estimar o tempo de volta** de um piloto durante uma corrida de Fórmula 1, considerando as variáveis dinâmicas e estáticas disponíveis. Para tal, o modelo deverá ser alimentado por um conjunto de dados públicos e ser capaz de prever o desempenho volta a volta com base nas condições atuais do carro e da pista.

Os dados para este trabalho serão extraídos por meio da API *FastF1*, uma biblioteca Python de código aberto que fornece acesso a dados detalhados de sessões de Fórmula 1. As principais variáveis disponíveis e que serão consideradas incluem:

- **Dados de Telemetria por Volta:** Tempo de volta, tempos de setor, velocidade máxima;
- **Dados dos Pneus:** Composto do pneu (macio, médio, duro), idade do pneu (número de voltas), composto da pirelli (C1, C2, C3, C4, C5, C6);
- **Dados da Corrida:** Posição no grid, posição a cada volta, informações sobre pit stops (volta da parada, duração), informações do controle de prova;
- **Dados de Clima e Temperatura:** Temperatura de pista, temperatura do ar, umidade, pressão do ar, probabilidade de chuva;
- **Eventos Estocásticos:** Períodos de *Safety Car* (real ou virtual).

Existem restrições importantes a serem consideradas. A solução deve ser computacionalmente eficiente, projetada para ser executada em hardware de consumidor padrão. Além disso, o modelo se restringirá aos dados publicamente disponíveis, o que exclui telemetrias internas e dados em tempo real que as equipes possuem.

Diante deste contexto, o problema de pesquisa que este trabalho busca responder é:

*Como modelos de aprendizado de máquina podem prever com acurácia a degradação dos pneus e os tempos de volta na Fórmula 1, utilizando dados públicos e ferramentas acessíveis, e quais variáveis se mostram mais impactantes para essa previsão?*

## 4. Objetivos Geral e Específicos

O objetivo geral desse trabalho é o desenvolvimento e a validação de um modelo de aprendizado de máquina visando a análise e previsão de tempos de volta na Fórmula 1, de forma computacionalmente eficiente e com o uso de dados públicos, através do *FastF1*. Para que o objetivo geral seja alcançado, os seguintes objetivos específicos deverão ser cumpridos:

- Estudar e aplicar técnicas para a coleta, tratamento e análise de dados de corridas de Fórmula 1, utilizando a biblioteca *FastF1*;
- Desenvolver modelos de aprendizado de máquina para estimar variáveis dinâmicas da corrida, como a degradação dos pneus e os tempos de volta esperados;
- Realizar uma análise de *feature engineering* para determinar o impacto de variáveis como idade do pneu, composto, temperatura da pista e status da pista no tempo de volta;
- Treinar e comparar diferentes algoritmos de aprendizado de máquina (ex: Regressão Linear, Random Forest, Gradient Boosting) para a tarefa de previsão de tempo de volta;
- Realizar a validação do modelo preditivo, comparando os tempos de volta previstos com os tempos reais de corridas passadas para aferir sua acurácia (ex: RMSE, MAE) e potencial.

## 5. Trabalhos Relacionados

Diversos trabalhos têm buscado abordar o problema de otimização de estratégias na Fórmula 1. A Tabela 1 apresenta um resumo de contribuições relevantes, evidenciando suas principais características e limitações.

Observa-se na literatura que, enquanto os trabalhos com modelos preditivos e de aprendizado por reforço avançam no campo da otimização, ainda há uma lacuna em soluções que sejam simultaneamente eficazes e acessíveis. Este TCC parte da limitação identificada no trabalho anterior do autor (PAE), cuja abordagem de regressão linear se mostrou insuficiente. A proposta deste trabalho busca, portanto, focar em um componente essencial para qualquer sistema de estratégia – a previsão precisa do tempo de volta – por meio de modelos de aprendizado de máquina mais robustos, como o *Gradient Boosting* ou *Random Forest*.

Tabela 1: Resumo dos trabalhos relacionados à análise e otimização de estratégias na Fórmula 1.

Trabalho	Contribuição Principal	Limitação / Diferença
Fatima e Johrendt [3]	Propõe uma Rede Neural (EDNN) para prever o ranking final e a volta ótima do pit stop.	Foco em previsão, não em otimização de múltiplos cenários. Alto custo computacional.
Thomas et al. [8]	Aplica Aprendizado por Reforço (RL) para otimização de estratégia em tempo real, com foco em explicabilidade.	Altíssima complexidade e custo computacional, sendo pouco acessível para pesquisa independente.
Aguad e Thraves [1]	Usa Teoria dos Jogos para modelar a estratégia como um duelo 1x1, otimizando decisões relativas a um oponente.	Modelo complexo para escalar para um grid completo; não aborda a incerteza geral da corrida (acidentes, clima).
Piccinotti (2021) [6]	Introduz um planejador com Monte Carlo Tree Search (MCTS) para otimização de estratégia.	Exige simuladores dedicados e possui limitações de escalabilidade com a profundidade da busca.
Heilmeier et al. [4]	Valida o uso de Monte Carlo para modelar incertezas (Safety Car) e avaliar a robustez das estratégias.	Foca na simulação, mas não usa ML para prever o desempenho dinâmico (ex: degradação de pneus).
Zhao (2024) [9]	Usa uma Rede Neural Profunda (DNN) para a tarefa específica de prever o tempo de volta na qualificação.	Foco muito restrito na previsão de uma única métrica; não simula a corrida ou a interação estratégica.
Bansal et al. [2]	Usa Gradient Boosting para prever o resultado da corrida, mostrando a posição de largada como fator dominante.	Abordagem estática e puramente preditiva; não simula nem otimiza a estratégia para alterar o resultado.
Quiroga García [7]	Desenvolve um modelo de otimização determinístico (MIQP) para achar a estratégia ótima em um cenário perfeito.	Ignora eventos aleatórios, resultando em uma solução que pode ser muito arriscada em um cenário real.
Jafri (2024) [5]	Usa Redes LSTM para prever resultados, concluindo que prever o tempo de volta não é suficiente para prever o final.	Foco em previsão. A própria conclusão reforça a necessidade de simular a interação estratégica.
Projeto de PAE (Autor)	Propôs um <i>Strategy Score</i> inicial com regressão linear para identificar variáveis-chave de desempenho.	Modelo determinístico e estático, incapaz de simular cenários probabilísticos e incertezas da corrida.

# 6. Cronograma de Atividades

O desenvolvimento do Trabalho de Conclusão de Curso I seguirá o cronograma de atividades apresentado na Tabela 2.

Tabela 2: Cronograma de Atividades - TCC I.

Etapa da Metodologia	10/25	11/25	12/25	01/26	02/26	03/26
1. Revisão Sistemática da Literatura	✓	✓				
2. Coleta e Pré-processamento dos Dados	✓	✓				
3. Modelagem e Engenharia de Atributos		✓	✓			
4. Treinamento e Validação dos Modelos			✓	✓		
5. Análise Comparativa dos Modelos				✓	✓	
6. Avaliação de Métricas e Análise de Features					✓	✓
7. Escrita da Monografia			✓	✓	✓	✓
8. Apresentação do TCC I nos seminários						✓

# Referências

[1] Felipe Aguad and Charles Thraves. Optimizing pit stop strategies in formula 1 with dynamic programming and game theory. *European Journal of Operational Research*, 319(3):908–919, 2024.

[2] Aayam Bansal, Aadit Arora, Lakshay Bhati, Kushagra Sethia, Ishani Verma, and Naisha Kapoor. Advanced machine learning approaches for formula 1 race performance prediction: A comprehensive analysis of championship point forecasting. *ResearchGate*, July 2025. Preprint.

[3] Syeda Sitara Wishal Fatima and Jennifer Johrendt. Deep-Racing: An Embedded Deep Neural Network (EDNN) Model to Predict the Winning Strategy in Formula One Racing. *International Journal of Machine Learning*, 13(3):97–103, July 2023.

[4] Alexander Heilmeyer, Michael Graf, Johannes Betz, and Markus Lienkamp. Application of monte carlo methods to consider probabilistic effects in a race simulation for circuit motorsport. *Applied Sciences*, 10(12):4229, 2020.

[5] Ali Jafri. Predicting formula 1 race outcomes: A machine learning approach. Technical report, New York University Abu Dhabi, 2024. Capstone Project.

[6] Diego Piccinotti. Open loop planning for formula 1 race strategy identification. Master’s thesis, Politecnico di Milano, Milan, Italy, April 2021. Master of Science in Computer Science and Engineering.

[7] Mariana Paz Quiroga García. Optimization of pit stop strategies in formula 1 racing: a data-driven approach. Master’s thesis, Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, 2024.

[8] Devin Thomas, Junqi Jiang, Avinash Kori, Aaron Russo, Steffen Winkler, Stuart Sale, Joseph McMillan, Francesco Belardinelli, and Antonio Rago. Explainable reinforcement learning for formula one race strategy. *arXiv preprint arXiv:2501.04068*, 2025. To be published in SAC 2025.

- [9] Zhixuan Zhao. Deep neural network-based lap time forecasting of formula 1 racing. In *Proceedings of the 4th International Conference on Signal Processing and Machine Learning*, 2024.