

**CENTRO UNIVERSITÁRIO UNIDADE DE ENSINO SUPERIOR DOM BOSCO  
CURSO ENGENHARIA DE SOFTWARE**

**JOÃO PEDRO DE OLIVEIRA BRANDÃO**

**O IMPACTO DA ANÁLISE DE DADOS NO DESEMPENHO DAS EQUIPES DE  
FÓRMULA 1**

São Luís

2023

**JOÃO PEDRO DE OLIVEIRA BRANDÃO**

**O IMPACTO DA ANÁLISE DE DADOS NO DESEMPENHO DAS EQUIPES DE  
FÓRMULA 1**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia de Software do Centro Universitário Unidade de Ensino Superior Dom Bosco como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia de Software.

Orientador: Prof. Dr. Giovanni Lucca França da Silva.

São Luís

2023

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
Centro Universitário - UNDB / Biblioteca

Brandão, João Pedro de Oliveira

O impacto da análise de dados no desempenho das equipes de fórmula 1. / João Pedro de Oliveira Brandão. \_\_ São Luís, 2023.  
55 f.

Orientador: Prof. Dr. Giovanni Lucca França da Silva  
Monografia (Graduação em Engenharia de Software) – Curso de Engenharia de Software - Centro Universitário Unidade de Ensino Superior Dom Bosco – UNDB, 2023.

1. Fórmula 1. 2. Telemetria. 3. Análise de dados. 4. Aprendizado de máquina. 5. Desempenho. I. Título.

CDU 621.08:796.7

**JOÃO PEDRO DE OLIVEIRA BRANDÃO**

**O IMPACTO DA ANÁLISE DE DADOS NO DESEMPENHO DAS EQUIPES DE  
FÓRMULA 1**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia de Software do Centro Universitário Unidade de Ensino Superior Dom Bosco como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia de Software.

Aprovada em: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_.

**BANCA EXAMINADORA:**

---

**Prof. Dr. Giovanni Lucca França da Silva**

Dr. Em Engenharia Elétrica - UFMA

Centro Universitário Unidade de Ensino Superior Dom Bosco (UNDB)

---

**Prof<sup>a</sup>. Me. Suzane Carvalho dos Santos**

Mestra em Engenharia Elétrica – UFMA

Centro Universitário Unidade de Ensino Superior Dom Bosco (UNDB)

---

**Prof. Me. Alisson Jorge Almeida Silva**

Mestre em Inteligência Artificial - UFMA

Centro Universitário Unidade de Ensino Superior Dom Bosco (UNDB)

Dedico a minha mãe, meu avô e  
minha madrinha.

## **AGRADECIMENTOS**

Quero expressar minha sincera gratidão a todas as pessoas que me apoiaram ao longo desta jornada acadêmica. Este trabalho não teria sido possível sem o amor, apoio e orientação de pessoas muito especiais em minha vida.

Primeiramente, gostaria de agradecer à minha mãe, que tem sido minha maior inspiração e força motriz ao longo de todos esses anos. Sua dedicação, amor incondicional e encorajamento constante foram fundamentais para me manter focado e determinado durante todo o processo de pesquisa e escrita deste TCC.

Também quero prestar homenagem ao meu querido avô, cuja sabedoria e experiência de vida me ensinaram lições valiosas sobre perseverança e resiliência. Seu apoio emocional e incentivo foram fundamentais para eu superar os desafios ao longo deste caminho acadêmico.

À minha tia Jaqueline, quero expressar minha gratidão pela sua orientação e paciência ao me ajudar a refinar minhas ideias e aprimorar meu trabalho. Sua visão crítica e conhecimento na área foram inestimáveis para a qualidade deste TCC.

Gostaria expressar minha mais profunda gratidão ao Professor Giovanni Lucca França da Silva, meu orientador extraordinário. Sua orientação foi fundamental para o sucesso deste trabalho. Sou imensamente grato por sua generosidade em compartilhar conhecimento, incentivar a excelência e por ser um guia excepcional neste trajeto educacional.

Por último, mas não menos importante, quero agradecer a Lewis Hamilton, sua trajetória inspiradora como piloto de Fórmula 1 e seu compromisso com causas sociais me motivaram a ser uma pessoa melhor. Sua luta pela justiça social e igualdade de oportunidades é um exemplo poderoso de como uma pessoa pode usar sua plataforma para fazer a diferença no mundo.

Agradeço a todos por acreditarem em mim, por me apoiarem e por fazerem parte deste capítulo importante da minha vida acadêmica. Sem o apoio de vocês, este TCC não seria o que é hoje. Vocês são verdadeiramente os pilares do meu sucesso, e estou profundamente grato por cada um de vocês.

“Sinto que as pessoas esperam que eu falhe, portanto, espero vencer.”  
- *Lewis Hamilton*

## RESUMO

Este trabalho de conclusão de curso visa investigar a aplicação da análise de dados e do aprendizado de máquina no contexto da Fórmula 1. A Fórmula 1 é uma competição altamente técnica e competitiva, onde a busca por desempenho é constante. A utilização de tecnologias avançadas, como a análise de dados e o aprendizado de máquina, tornou-se uma parte crucial na otimização do desempenho das equipes. Os objetivos específicos deste trabalho são: analisar os benefícios competitivos e as vantagens proporcionadas pela análise de dados e o aprendizado de máquina na Fórmula 1, examinar o papel da telemetria e de outras tecnologias usadas para este fim. Utilizou-se a metodologia descritiva e explicativa. Os resultados da pesquisa oferecem insights valiosos que explicam como a análise de dados e o aprendizado de máquina podem impactar positivamente o desempenho das equipes de Fórmula 1, contribuindo para a evolução contínua e a competitividade nesse cenário exigente e dinâmico.

Palavras-chave: Fórmula 1. Telemetria. Análise de dados. Aprendizado de máquina. Desempenho.



## **ABSTRACT**

This undergraduate thesis aims to investigate the application of data analysis and machine learning in the context of Formula 1. Formula 1 is a highly technical and competitive competition where the pursuit of performance is constant. The use of advanced technologies, such as data analysis and machine learning, has become a crucial part in optimizing team performance. The specific objectives of this work are to analyze the competitive benefits and advantages provided by data analysis and machine learning in Formula 1, and to examine the role of telemetry and other technologies used for this purpose. Descriptive and explanatory methodology was employed. The research results provide valuable insights into how data analysis and machine learning can positively impact the performance of Formula 1 teams, contributing to continuous evolution and competitiveness in this demanding and dynamic scenario.

Keywords: Formula 1. Telemetry. Data analysis. Machine learning. Performance.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> - Esquema de fluxo de Telemetria. ....	15
<b>Figura 2</b> - Sensores no carro. ....	16
<b>Figura 3</b> - Dados da pista ....	17
<b>Figura 4</b> - Dados disponíveis ....	19
<b>Figura 5</b> - Exemplo de Undercutting ....	21
<b>Figura 6</b> - Exemplo de Overcutting ....	22
<b>Figura 7</b> - Tipos de Pneus ....	25
<b>Figura 8</b> - Pneus para pista molhada.....	27
<b>Figura 9</b> - AWS Cloud. ....	28
<b>Figura 10</b> - Análise de Qualificação. ....	30
<b>Figura 11</b> - Análise de batalha entre dois pilotos. ....	30
<b>Figura 12</b> - Hamilton X Leclerc ....	31
<b>Figura 13</b> - Pit Stop Undercut ....	34
<b>Figura 14</b> - Batalha de estratégia no Pit Stop. ....	35
<b>Figura 15</b> - Análise de curva entre HAM x LEC. ....	37
<b>Figura 16</b> - Frenagem entre Hamilton e Verstappen.....	40
<b>Figura 17</b> - Análise de Frenagem em diferentes curvas.....	41
<b>Figura 18</b> - Análise 0-100 e 0-200.....	44

## LISTA DE GRÁFICOS

<b>Gráfico 1</b> - Análise de Pitstop de Hamilton.....	22
<b>Gráfico 2</b> - Dados de voltas por loops.....	24
<b>Gráfico 3</b> - Análise de Pitstop nas pistas de Cingapura e da Holanda.....	26
<b>Gráfico 4</b> - Força dos pneus.....	32
<b>Gráfico 5</b> - Telemetria Bélgica TL1.....	38
<b>Gráfico 6</b> - Telemetria Bélgica Curvas 10 e 11.....	39
<b>Gráfico 7</b> - Dados de tempo.....	45
<b>Gráfico 8</b> - Telemetria de Partida.....	45
<b>Gráfico 9</b> - Telemetria de Largada de Todos os Pilotos.....	46
<b>Gráfico 10</b> - Tempos Treino Livre 3 e Qualificatória.....	48
<b>Gráfico 11</b> - Telemetria Verstappen TL3 x Quali.....	49

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO .....	12
1.1 Justificativa .....	13
1.2 Objetivo Geral .....	13
1.3 Objetivos Específicos .....	13
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....	14
2.1 Telemetria .....	14
2.2 Telemetria na Fórmula 1 .....	15
2.2.1 Coleta de dados .....	16
2.2.2 Fastf1 .....	17
2.3 Estratégias de Corrida .....	19
2.3.1 PitStop .....	20
2.3.1.1 Pneus .....	24
3 APRENDIZADO DE MÁQUINA .....	27
3.1 Aprendizado de Máquina na Fórmula 1 .....	28
3.2 F1 Insights .....	29
3.2.1 Performance de pilotagem .....	30
3.2.2 Undercut Threat .....	33
3.2.3 Análise de curvas .....	36
3.2.4 Desempenho de frenagem .....	39
3.2.5 Análise de Partida .....	42
4 METODOLOGIA .....	47
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES .....	48
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	51
REFÊRENCIAS .....	53

## 1 INTRODUÇÃO

A Fórmula 1, uma das categorias mais prestigiadas e tecnicamente avançadas do automobilismo, representa o auge da engenharia automotiva e do automobilismo. Com carros de velocidade vertiginosa, equipes de classe mundial e pilotos de elite, a Fórmula 1 é um campo de batalha onde a busca incansável pela excelência é levada ao seu auge. No entanto, por trás do barulho dos motores e da emoção das corridas existe um mundo invisível, mas extremamente importante: a análise de dados.

A análise de dados e o aprendizado de máquinas tornaram-se elementos essenciais no arsenal das equipes de Fórmula 1. A capacidade de coletar, processar e extrair informações valiosas de grandes quantidades de dados tornou-se uma das principais fontes de vantagem competitiva nas pistas. Através do uso de algoritmos avançados, aprendizado de máquina e análise preditiva, as equipes otimizam o desempenho dos carros, melhoraram a estratégia de corrida e elevam os padrões de tomada de decisões.

Este trabalho tem como objetivo explorar a intersecção entre Fórmula 1, análise de dados e o aprendizado de máquina. Analisar como as equipes de Fórmula 1 aplicam e implantam essas tecnologias para melhorar sua estratégia e desempenho. Ao longo desta investigação serão estudados diferentes aspectos desta revolução tecnológica, desde a recolha de dados em tempo real durante as corridas até à aplicação de algoritmos para a otimização de pit stops, aerodinâmica dos carros e estratégias de corrida.

A relevância deste assunto transcende o esporte propriamente dito, ressalta como os dados estão transformando o mundo em várias áreas, desde o setor automotivo até a análise de dados esportivos como instrumento de tomada de decisão. À medida que a Fórmula 1 continua a funcionar como um laboratório para inovações tecnológicas, como por exemplo a suspensão ativa, a transmissão semi-automática e até mesmo o espelho retrovisor. Todas essas foram inovações que migraram dos carros de Fórmula 1 para os veículos de passeio. E esta pesquisa visa contribuir para um entendimento mais aprofundado das implicações e oportunidades que a análise de dados proporciona em um ambiente altamente competitivo.

Com pilotos alcançando velocidades de até 370 km/h, realizando pit stops em menos de dois segundos e enfrentando curvas com uma força de 5G, a Fórmula

1 necessitava de uma tecnologia tão veloz quanto seu esporte. A Fórmula 1 é um confronto entre os melhores pilotos do mundo, mas também é um embate entre alguns dos engenheiros mais criativos do planeta.

### **1.1 Justificativa**

A Fórmula 1 é a categoria automobilística mais prestigiada e tecnologicamente avançadas do mundo, que atrai a atenção de milhares de fãs e entusiastas em todo o planeta. Ela representa o topo quando se trata de aerodinâmica, engenharia de ponta e estratégia de equipe. No entanto, o que muitos espectadores talvez não tenham conhecimento é que, nos bastidores, a análise de dados por telemetria desempenha um papel importante e cada vez mais crucial nas vitórias e no bom desempenho nas pistas.

### **1.2 Objetivo Geral**

Analisar o impacto da análise de dados e aprendizado de máquina na estratégia e no desempenho das equipes de Fórmula 1, mostrando como esta tecnologia pode ser aplicada para otimizar o desempenho das equipes e influenciar os resultados das corridas.

### **1.3 Objetivos Específicos**

- a) Analisar os benefícios competitivos e as vantagens estratégicas proporcionadas pela análise de dados e o aprendizado de máquina nas equipes de Fórmula 1.
- b) Pesquisar tecnologias e ferramentas de aprendizado de máquina utilizadas pelas equipes de Fórmula 1 para coletar, processar e analisar dados durante corridas e treinos.
- c) Investigar como a análise de dados é utilizada para otimizar a gestão de pneus, estratégias de pit stop e táticas de ultrapassagem durante as corridas.
- d) Examinar o papel da telemetria na análise de dados em tempo real, ajudando as equipes a tomarem decisões estratégicas durante as corridas.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O uso de dados na Fórmula 1 remonta às décadas de 1970 e 1980, quando as equipes começaram a adotar a tecnologia de telemetria para coletar informações sobre o desempenho dos carros em tempo real. No entanto, estes primeiros sistemas eram muito mais simples do que as tecnologias avançadas de hoje.

A telemetria básica permite que as equipes monitorem dados como velocidade, rotação do motor, temperatura e pressão dos pneus diretamente de seus carros durante a corrida. Isso proporciona uma melhor compreensão do desempenho dos carros em diferentes condições e ajuda as equipes a tomar decisões estratégicas durante as corridas.

Os dados se tornaram fatores cruciais para a Fórmula 1 nos dias atuais. Com a imensa quantidade de dados de telemetria obtidos de cada carro e em cada circuito, a Fórmula 1, a partir desses dados, obteve sucesso em resgatar a atratividade do esporte, tornando-o mais seguro para os pilotos (SMEDLEY, 2019, p. 3). À medida que a tecnologia avançou ao longo dos anos, os sistemas de telemetria tornaram-se muito mais complexos. Hoje, os carros de Fórmula 1 estão equipados com vários sensores para recolher dados detalhados sobre todos os aspectos do desempenho do carro, incluindo aerodinâmica, consumo de combustível, gestão do motor e muito mais.

### 2.1 Telemetria

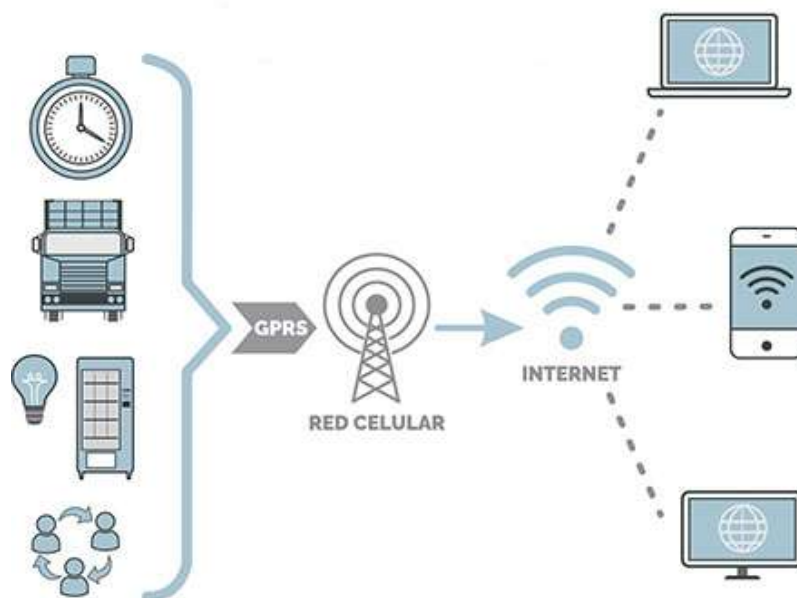
Telemetria vem da união de duas palavras gregas. *Tele* que significa longe e *meter* que significa medir. Por isso telemetria tem a função de realizar medições à distancia. A telemetria surgiu da necessidade de obter dados em locais inacessíveis como por exemplo a temperatura de dentro de um forno e evoluiu ao ponto de poder realizar medições dentro de um míssil (MATTOS, 2004).

Telemetria é a gravação e transmissão de dados por sensores externos para um servidor, que serão utilizadas para análises e monitoramento em tempo real de sistemas, dispositivos ou máquinas.

Os dados recebidos por esses sensores podem ser retransmitidos através de satélite, rádio, infravermelho, GSM, ultrassônico, redes de comunicação sem fio ou

cabo. A telemetria pode ser utilizada em várias áreas como aeronáutica, medicina, monitoramento ambiental e o automobilismo.

**Figura 1** - Esquema de fluxo de Telemetria.



Fonte: Tecplate Comunicações, 2020.

No contexto automotivo, a telemetria tem se destacado ao possibilitar o rastreamento preciso de parâmetros como velocidade, consumo de combustível e condições do motor, não apenas melhora a eficiência operacional, mas também contribui para a segurança do condutor. Além disso, em ambientes industriais, a telemetria é essencial para monitorar o status de máquinas e prever possíveis falhas, permitindo a manutenção proativa e a redução de tempo de inatividade.

## 2.2 Telemetria na Fórmula 1

Em 1978, o fundador da equipe Tyrrell, Ken Tyrrell, contratou o físico americano Dr. Karl Kempf para equipar os carros de sua equipe com vários sensores para registrar a maior quantidade possível de dados, tecnologia até então desconhecida na Fórmula 1, permitindo que Tyrrell tivesse vantagem nas corridas por um bom tempo, já que seus engenheiros poderiam utilizar desses dados para aprimorar e otimizar os carros da equipe.



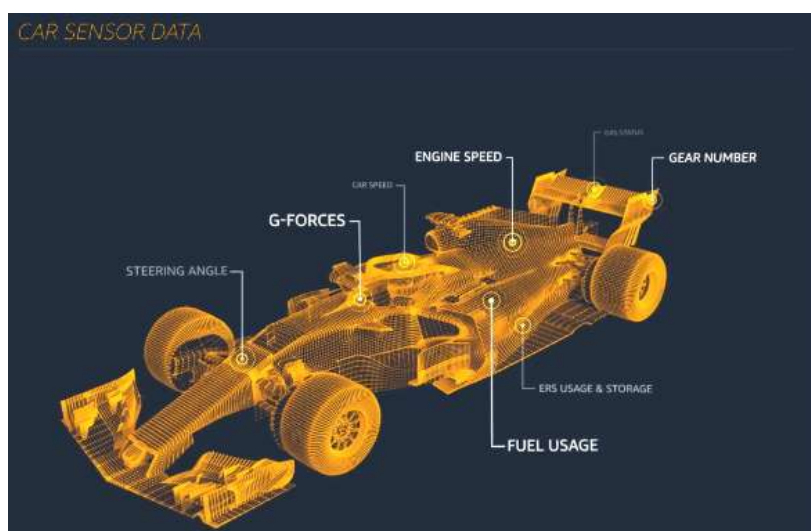
Essa tecnologia evoluiu muito e se tornou bem mais sofisticada e mais fácil de ser interpretada. Quando foi introduzida nas corridas revolucionou o esporte, que desde então vem contribuindo para o processo de desenvolvimento tecnológico dentro e fora das pistas, se tornando um fator crucial no que fez a Fórmula 1 se tornar e atingir o patamar que ela está hoje (BLACKSTOCK, 2020).

### 2.2.1 Coleta de dados

Cada carro de Fórmula 1 contém aproximadamente 300 sensores por toda sua estrutura (Figura 2), que geram entorno de 1,1 milhão de dados de telemetria a cada segundo, sendo eles transmitidos dos carros para os boxes, aonde são analisados pelas equipes. A quantidade total desses dados pode chegar a 1 terabyte ou mais por carro (AWS Amazon, 2023).

Esses 300 sensores são divididos em três categorias principais: controle, instrumentação e monitoramento, todos os quais fornecem dados de pressão, temperatura, inércia e deslocamento. Além disso, há pequenos sensores de imagem térmica montados nas asas e no assoalho para medir a temperatura da superfície e o desgaste dos pneus dianteiros e traseiros, respectivamente (Christine Steven, 2022).

**Figura 2** - Sensores no carro.

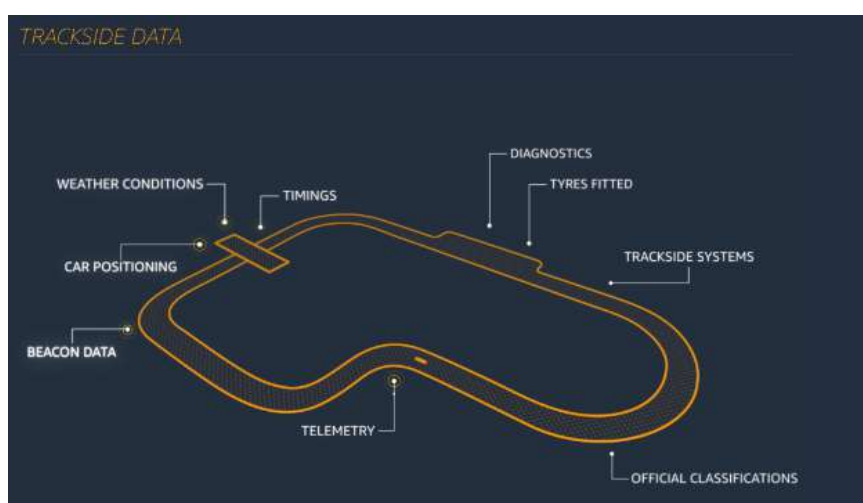


Fonte: F1 Insights AWS, 2019.

Depois de coletados os dados dos carros, tudo é sincronizado para que as equipes tenham conhecimento do que está acontecendo em um momento preciso em

cada um desses sensores. Os dados são então criptografados e transmitidos de volta para os boxes para então ser utilizados no sistema de telemetria. O sistema de telemetria é algo comum para todas as equipes de Fórmula 1 atualmente, portanto, há uma infraestrutura significativa montada ao redor de cada circuito (Figura 3), para garantir que todos tenham uma cobertura quase de 100%, mesmo em pistas difíceis como Mônaco, onde há a presença de túneis (Evan Short, 2022).

**Figura 3 - Dados da pista**



Fonte: F1 Insights AWS, 2019.

Esse sistema é comum a todas as equipes, pois não tem sentido competir na configuração de antenas e sistemas de telemetria.

### 2.2.2 Fastf1

O FastF1 é um pacote Python utilizado para acessar e analisar os resultados, o cronograma, os dados de tempo e a telemetria da Fórmula 1. É utilizado a API Ergast como base de dados, uma vez que ela possui um extenso registro de dados de corridas automobilísticas, incluindo a Fórmula 1, com informações que remontam ao início dos campeonatos mundiais em 1950 (FastF1, 2023).

Os dados de tempo, as sessões de treinos, as telemetrias do carro e os dados de cada posição dos pilotos estão disponíveis apenas a partir de 2018 e serão atualizados até o final de 2024. Geralmente, esses dados ficam disponíveis dentro de 30 a 120 minutos após o término de cada sessão, mas também é possível obtê-los

em tempo real por meio da funcionalidade de gravação de tempo ao vivo integrada ao FastF1 (FastF1, 2023). As principais características FastF1, são:

1. Acesso a dados de cronometragem da F1, telemetria, resultados de sessões e muito mais
2. Suporte total para a API Ergast acessar dados atuais e históricos da F1
3. Todos os dados são fornecidos na forma de Pandas DataFrames estendidos para facilitar o trabalho com os dados e, ao mesmo tempo, ter ferramentas poderosas disponíveis
4. Adiciona funções personalizadas aos objetos Pandas especificamente para tornar o trabalho com dados F1 rápido e simples
5. Integração com Matplotlib para facilitar a visualização de dados
6. Implementa cache para todas as solicitações de API para acelerar seus scripts

Isso nos permitir obter os dados (Figura 4), de cada corrida em inúmeras formas diferentes, desde como foi o tempo de volta na volta 35 do piloto número 44, até como foi cada pisada no acelerador e no freio de seu carro (FastF1, 2023).

**Figura 4 - Dados disponíveis**

Topic	Data	References
Event Schedule	event names, countries, locations, dates, scheduled starting times,... (previous and current season including upcoming events)	<a href="#">events</a> <a href="#">get_event_schedule()</a> <a href="#">get_event()</a>
Results	driver names, team names, finishing and grid positions, points, finishing status,...	<a href="#">SessionResults</a> , <a href="#">DriverResult</a>
Timing Data	sector times, lap times, pit stops, tyre data and much more	<a href="#">laps</a> <a href="#">Laps</a>
Track Status	flags, safety car	<a href="#">track_status</a>
Session Status	started, finished, finalized	<a href="#">session_status</a>
Race Control Messages	investigations, penalties, restart announcements,...	<a href="#">race_control_messages</a>
Telemetry	speed, rpm, gear, normalized track position, ...	<a href="#">Telemetry</a> <a href="#">get_car_data()</a>
Track Markers	corner numbers, marshall sectors, marshall lights	<a href="#">get_circuit_info()</a> , <a href="#">Circuit Information</a>
Ergast API	all endpoints that are provided by Ergast	<a href="#">Ergast API Interface</a>

Fonte: FastF1 Documentacion, 2019.

Por ser construído com Pandas DataFrames, o FastF1, se torna uma plataforma de fácil utilização para trabalhar com os dados das corridas de Fórmula 1, mas há também a presença de métodos únicos em cada script (FastF1, 2023).

### 2.3 Estratégias de Corrida

As equipes de Fórmula 1 utilizam a telemetria para otimizar, regular e obter informações sobre como os pilotos estão guiando os carros. Neste ponto atual, não há nada que não possa ser monitorado, seja o piloto fazendo um movimento por menor que seja, ou o carro passando por cima de um detrito e dando um pequeno pulo (BLACKSTOCK, 2020). Esses dados são transmitidos para os boxes. Tudo pode ser visto por meio da telemetria. Alguns exemplos são:

1. Velocidade do carro
2. Velocidade da roda para cada roda
3. Ângulo de viragem
4. Aceleração

5. Frenagem, dianteira e traseira
6. Seleção de marcha
7. Equilíbrio do freio
8. Rotações do motor
9. Pressão dos pneus para cada pneu, incluindo avisos de furos
10. Se o DRS está ativado ou não
11. Modo motor
12. Torque
13. Combustível
14. Delta até a última volta
15. Forças centrífugas
16. Posição da embreagem
17. Força descendente
18. Pressão hidráulica
19. Pressão do óleo
20. Temperatura do motor
21. Transmissão
22. Escape

Durante todo o final de semana de um grande prêmio, e principalmente durante os treinos livres, esses dados ajudam as equipes a fazer o acerto do carro conforme o modo de pilotagem de cada piloto naquela pista, além de criar estratégias de parada nos boxes para poderem chegar nas melhores posições na corrida (BLACKSTOCK, 2020).

### **2.3.1 PitStop**

Os pit stops são um dos momentos mais emocionantes da Fórmula 1, capazes de demonstrar a perfeita combinação entre desempenho humano e tecnologia, uma vez que os mecânicos são capazes de trocar quatro pneus em menos de dois segundos (SMEDLEY, 2021).

Para compreender melhor, vamos utilizar um gráfico e explicá-lo detalhadamente, o que ajudará a entender cada evento que antecede um pit stop. O gráfico contém todos os detalhes necessários para otimizar a estratégia dos boxes,

mas a parte que vamos analisar é o piloto e sua pilotagem antes das trocas de pneus, pois muitas vezes ultrapassagens são feitas durante o pit stop, o que chamamos de undercutting e overcutting.

- **Undercut:** o carro que está perseguindo o outro da frente faz uma parada antecipada (Figura 5) na tentativa de ganhar tempo, com pneus novos, em relação ao carro da sua frente.

**Figura 5** - Exemplo de Undercutting



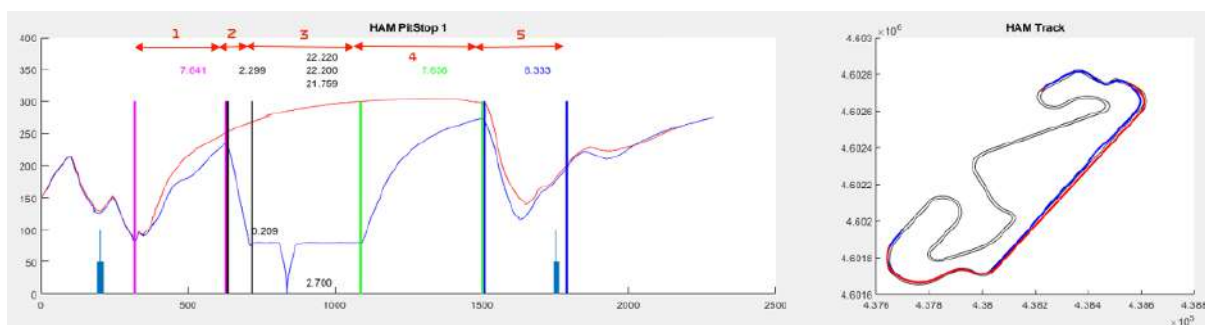
Fonte: Accelerating The Fan Experience, 2021.

- **Overcut:** Em uma estratégia de overcut, o carro perseguidor leva seus pneus ao limite, permitindo que o carro a sua frente faça sua parada primeiro, concedendo-lhe a vantagem tanto de liderança quanto de uma pista vazia sem a presença de ar sujo (Figura 6). Caso o piloto consiga construir uma vantagem suficiente ao longo da próxima volta, pode ser capaz de manter sua posição de liderança quando finalmente fizer sua parada.

**Figura 6 - Exemplo de Overcutting**

Fonte: Accelerating The Fan Experience, 2021.

Para analisar o gráfico, é necessário saber quais são os pontos de referência entre uma volta normal e uma volta de entrada e saída dos boxes.

**Gráfico 1 - Análise de Pitstop de Hamilton**

Fonte: AWS, Desempenho no Pitlane, 2019.

O Gráfico 1 mostra a diferença na velocidade entre uma volta normal passando pela reta dos boxes (linha vermelha) e uma volta que antecede a entrada nos boxes (linha azul). Isso também envolve a identificação de fases:

Etapa 1 - Nesta fase, o piloto ainda está seguindo a trajetória normal de corrida dentro da pista, mas começa a se afastar da linha de corrida ideal à medida que se aproxima da entrada do pitlane.

Etapa 2 - Depois de passar pela primeira parte da entrada mais estreita do pitlane, o piloto é obrigado a desacelerar até o limite de velocidade do pitlane (80 ou 60 km/h, dependendo do circuito).

Etapa 3 - Esta fase ocorre entre as linhas de entrada e saída do pitlane. O piloto percorre a pista “rápida” em velocidade constante antes de se aproximar de sua equipe de box. Eles então precisam frear para a posição de pit stop onde o carro é reparado antes de acelerar e voltar para a pista rápida em velocidade constante.

Etapa 4 - O piloto desativa o limitador de velocidade do pit lane na saída dos boxes e depois volta à linha de corrida, posicionando o carro para frear na primeira curva.

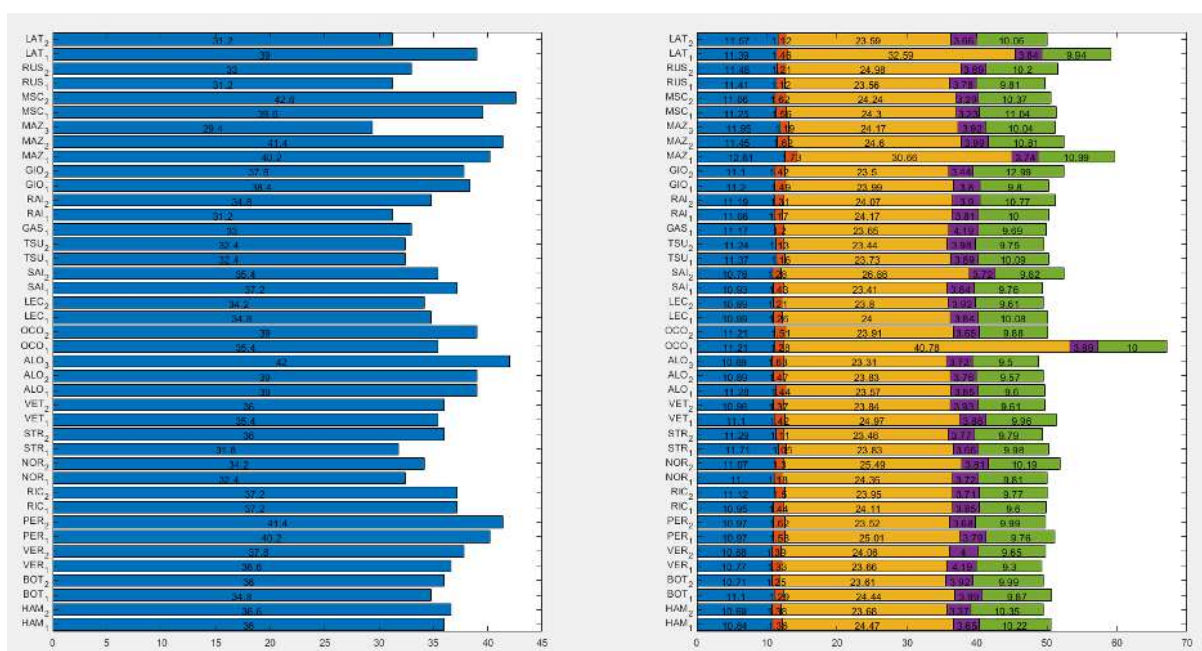
Etapa 5 - O piloto agora precisa extrair o máximo desempenho do carro na primeira curva, lembrando que os pneus ainda não estão em ótimas condições de funcionamento.

Para obter a referência correta de todos os pilotos do grid, todas as posições de todos os pilotos no circuito são registradas por meio da telemetria. Usando os loops de cronometragem, é possível determinar onde cada carro está em relação à linha de entrada dos boxes e, assim, criar os possíveis cenários com base nas fases relatadas (SMEDLEY, 2021).

Cada parada nos boxes possui um tempo individual, o que permite que seja calculado e organizado em um banco de dados, como exemplificado no gráfico abaixo.



Gráfico 2 - Dados de voltas por loops



Fonte: AWS, Desempenho no Pitlane.

À esquerda, são mostradas as distâncias de frenagem até a linha de entrada do pitlane e, à direita, o tempo percorrido por cada fase. O número indicado ao lado do nome do piloto refere-se a um número sequencial de sua parada nos boxes (SMEDLEY, 2021).

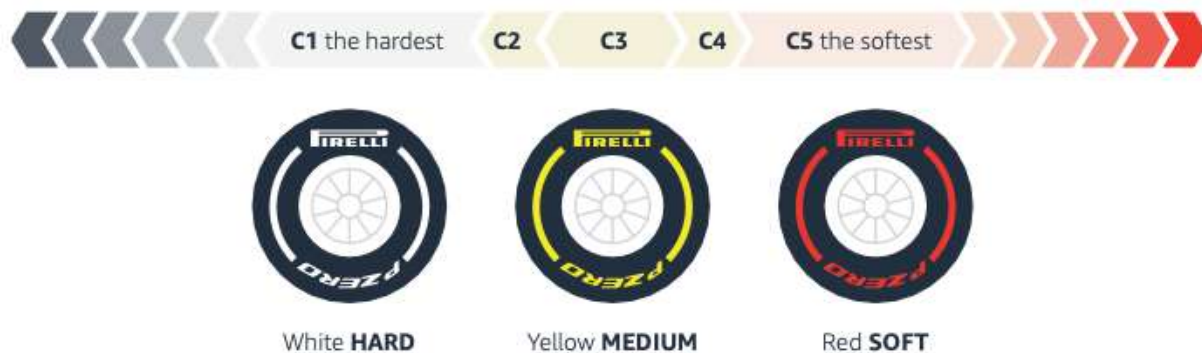
O desempenho de cada piloto é observado em cada fase. Na fase de início, os pilotos mais rápidos são Lewis Hamilton e Max Verstappen, ambos completam a seção com um tempo de 0,01s em relação um ao outro. Nota-se que todos os outros pilotos são mais lentos, pelo menos 0,02s mais lentos, sendo o mais lento de todos quase 1,0s mais lento que Hamilton e Verstappen (SMEDLEY, 2021).

### 2.3.1.1 Pneus

As equipes de Fórmula 1 têm a permissão de usar três tipos de compostos de pneus para pista seca e dois tipos de compostos para pista molhada, sendo obrigatória a utilização de pelo menos dois compostos diferentes durante a corrida. Os compostos (Figura 7), se diferenciam entre desempenho e resistência, sendo os compostos mais macios (C5) os que têm menos resistência, mas oferecem maior aderência e permitem que o carro vá mais rápido, enquanto os mais duros (C1)

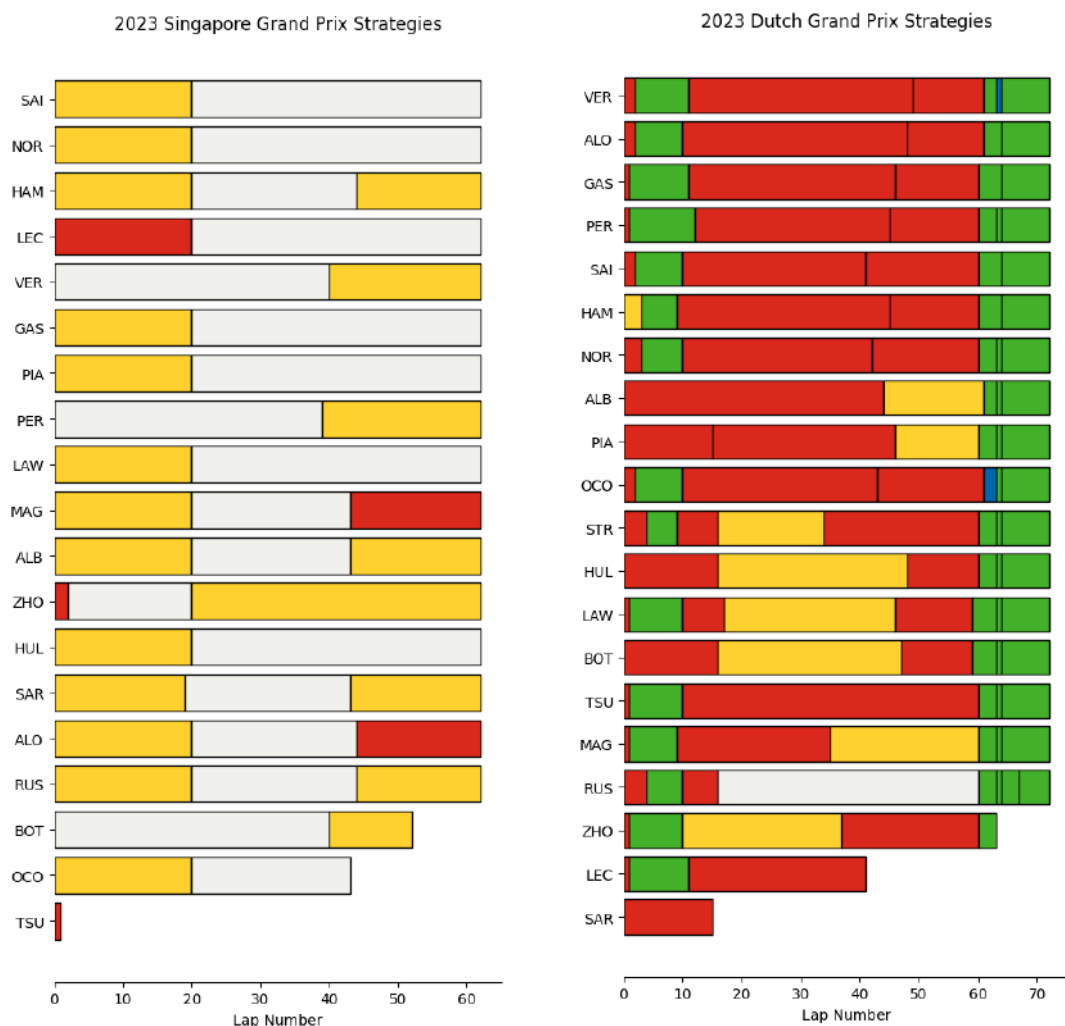
oferecem maior durabilidade, o que limita a velocidade dos carros nas curvas e sua tração (SMEDLEY, 2021).

**Figura 7 - Tipos de Pneus**



Fonte: Accelerating The Fan Experience, 2019.

As equipes decidem, com base nos dados obtidos e analisados por meio da telemetria, nas sessões de treinos, quais serão os melhores compostos a serem utilizados na corrida, levando em consideração as condições da pista, temperatura, abrasividade e desgaste, como exemplificado neste gráfico de duas corridas diferentes:

**Gráfico 3 - Análise de Pitstop nas pistas de Cingapura e da Holanda**

Fonte: Elaboração própria

No gráfico de Cingapura, pode-se notar que apenas dois compostos foram utilizados pela maioria dos pilotos, sendo eles o médio e o duro. Apenas os pilotos como Charles Leclerc (LEC), Magnussen (MAG), Zhou (ZHO) e Alonso (ALO) utilizaram o composto macio. Também é possível observar que Hamilton (HAM), Russell (RUS), Sargent (SAR) e Albon (ALB) fizeram a utilização de dois compostos médios. Essas trocas foram realizadas entre as voltas 42 e 45, indo até a volta final, o que indica que podem ter sido realizadas durante o VSC (Virtual Safety Car) ou Safety Car.

No Grande Prêmio da Holanda, é possível notar que as equipes utilizaram vários tipos de compostos, incluindo os para chuva, indicados pelas cores verde (intermediário) e azul (chuva pesada), como é mostrado na Figura 8.

**Figura 8** - Pneus para pista molhada



Fonte: Google Imagens

A escolha do pneu correto e o momento certo para a troca de compostos podem ser fatores cruciais na hora de ganhar posições e a corrida, por isso a análise desses dados por meio da telemetria é tão importante na estratégia de pit stops das equipes.

### **3 APRENDIZADO DE MÁQUINA**

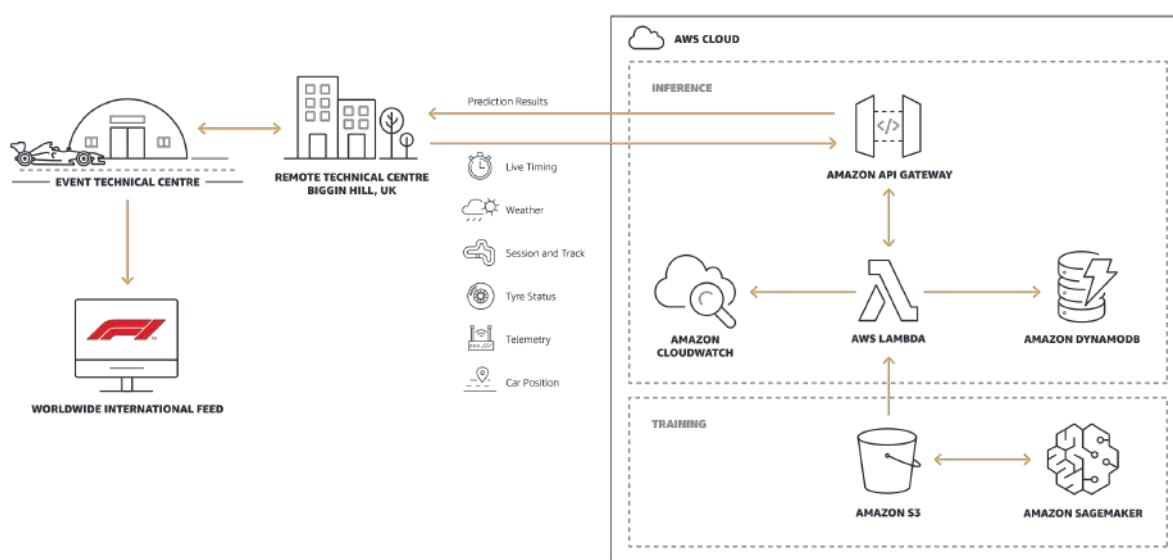
O aprendizado de máquina é um subcampo extremamente importante da inteligência artificial pois, a capacidade de aprender é essencial, para um comportamento inteligente. O aprendizado de máquina utiliza o aprendizado por meio de métodos computacionais para adquirir novos conhecimentos, novas habilidades e novas formas de organizar o conhecimento existente (Mitchell, 1997). A investigação sobre técnicas de aprendizagem baseadas em computador também pode fornecer informações sobre o nosso próprio processo de raciocínio (Monard, Batista, Kawamoto, & Pugliesi, 1997).

Como exemplo básico de aprendizado de máquina, podemos citar um programa de computador que precisa realizar uma tarefa simples, como distinguir entre três flores diferentes da mesma espécie. Em vez de criar um código de um programa que faz uso de todo o conhecimento sobre tipos de flor em questão, apresentamos as características botânicas dessas três espécies de flores um programa que implementa um algoritmo de aprendizado de máquina, e graças a um duro e intenso treinamento aprenderá como descrever as características de uma flor com base em suas características. Assim como os humanos aprendem a diferenciar variedades de flores observando suas características, programa AM também aprenderá a tarefa por meio dessas características (Cerri & Carvalho, 2017).

### 3.1 Aprendizado de Máquina na Fórmula 1

Por meio da plataforma AWS, a Fórmula 1 é capaz de analisar dados em tempo real e dizer, por exemplo, se um piloto está no seu limite de desempenho durante a corrida. Junto da Amazon ProServ, a F1 pôde trabalhar com a AWS para alinhar uma variedade de resultados e metas estratégicas. O ProServ utiliza notebooks no Amazon SageMaker (Figura 9) para analisar e visualizar grandes quantidades de dados de cronometragem, pneus e meteorologia enviados para o Amazon S3 (SMEDLEY, 2021).

**Figura 9 - AWS Cloud.**



Fonte: Accelerating The Fan Experience, 2019.

A AWS e a F1 conseguiram manter os custos relativamente baixos usando serviços de nuvem nativos da. Assim que o sinal é detectado na pista, ele começa a se mover, primeiro fazendo uma chamada HTTP para a nuvem AWS por meio da infraestrutura F1 (Figura 9). AWS e F1 usaram o Amazon API Gateway como ponto de entrada para o aplicativo, hospedado como uma função no AWS Lambda para implementar a lógica de corrida. Quando a função recebe uma mensagem de entrada, ela primeiro atualiza o status da corrida (como alterações na posição do motorista) armazenado no Amazon DynamoDB. Se a função determinar que aciona uma previsão, ela usará um modelo treinado no Amazon SageMaker para criar e retornar

uma previsão em resposta à chamada (Accelerating The Fan Experience, 2019). Tudo isso em menos de 500ms.

Ao projetar uma arquitetura de aprendizado de máquina, foi preciso otimizar a precisão e o desempenho do tempo de execução, além de ferramentas que mantivessem os custos baixos e, ao mesmo tempo, permitissem experimentação rápida. Ao analisar cuidadosamente os dados da corrida e as previsões do modelo, foi possível extrair recursos dos dados de corrida de diferentes anos (SMEDLEY, 2021). Depois que o modelo foi criado, a Fórmula 1 usou um recurso do Amazon SageMaker chamado Training Jobs para treinar o modelo com base em dados de corridas anteriores (Accelerating The Fan Experience, 2019). Isso implementa total e automaticamente o provisionamento e desprovisionamento de recursos, permitindo que os cientistas de dados das equipes de Fórmula 1 se concentrem na otimização de seus modelos para o uso nas estratégias de corrida e assim também foi criado o F1 Insights.

### **3.2 F1 Insights**

Pensando mais além e não somente nas equipes, a Fórmula 1 também decidiu trazer o uso de aprendizado de máquina aos fãs, por meio do F1 Insights, que é nada mais que várias tecnologias e iniciativas introduzidas pela AWS e a Fórmula 1 para fornecer análises e insights avançados (Figura 10) durante as corridas de Fórmula 1 e fornecem inúmeros detalhes sobre vários aspectos da corrida, utilizando dados que são recebidos em tempo real, como informações sobre o desempenho dos carros, a posição dos pilotos, condições meteorológicas e outros fatores relevantes (Accelerating The Fan Experience, 2019).

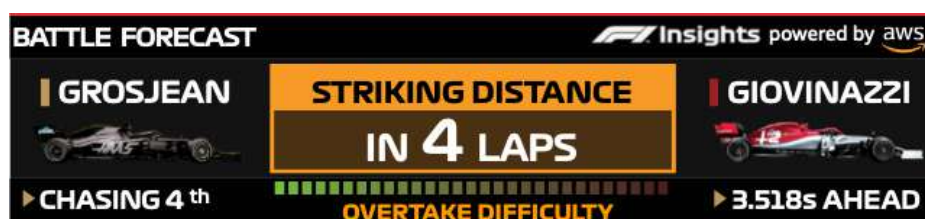
Figura 10 - Análise de Qualificação.



Fonte: F1 Insights, 2020.

Utilizando modelos de aprendizado de máquina construídos no Amazon SageMaker, a Fórmula 1 obtém gráficos, como na (Figura 11) que analisam as batalhas entre os pilotos durante a corrida, que mostram a distância de ataque e a dificuldade prevista de ultrapassagem (Accelerating The Fan Experience, 2019).

Figura 11 - Análise de batalha entre dois pilotos.



Fonte: Accelerating The Fan Experience, 2019.

Os insights podem abranger diversos tópicos, como estratégias de corrida, previsões de ultrapassagem, análise de desempenho dos pilotos, tempo de reação de largada, undercut, análise de curvas, entre outros. Ao fornecer essas informações aos telespectadores, equipes e comentaristas, a F1 busca melhorar a experiência dos fãs e oferecer uma visão mais aprofundada e informativa do espetáculo (Accelerating The Fan Experience, 2019).

### 3.2.1 Performance de pilotagem

A análise de pilotagem permite que os fãs e as equipes tenham uma visão mais aprofundada de como cada piloto está explorando o desempenho de seus carros, mas para analisar o desempenho de cada piloto, o fator carro é tirado de questão e pra isso um simples exemplo, seria:

Se o piloto X que está liderando no melhor carro, faz uma volta de 1m30s extraindo 100% do desempenho do carro, então caso ele não force carro ao máximo, suas voltas serão mais lentas. Então para fazer uma análise mais precisa, diremos que o piloto X extrai apenas 91% do desempenho máximo, e assim o resultado de sua volta será 3 segundos mais lento, resultando então em uma volta de 1m33s. Agora, se pegamos o piloto Y que está no pior carro do grid, mesmo forçando seu carro a 100%, ele somente vai conseguir atingir um tempo de volta de 1m32s, e caso explore apenas 91% do desempenho, esse tempo de volta cai para 1m35s.

Vamos dar um exemplo do resultado de qualificação do valor nominal dos pilotos X e Y como sendo tempos de volta de 1'31,1s e 1'32,3s, respectivamente. Se usarmos uma interpolação linear simples dos números fornecidos acima, isso resultaria no seguinte:

- O condutor X está a explorar o seu carro a 96,7% do máximo
- O condutor Y está a explorar o seu carro a 99,1% do máximo

Acabaríamos com a situação em que, aparentemente, o piloto Y está 1,2 segundos atrás do piloto X no grid. Mas, na realidade, o condutor mais lento explorou o seu carro num grau muito mais elevado (99,1% versus 96,7%). Na figura 12 a um bom exemplo disso, aonde é mostrando como Lewis Hamilton que está no melhor carro está explorando o desempenho máximo e como Charles Leclerc em um carro inferior está indo até os limites de desempenho.

**Figura 12 - Hamilton X Leclerc**

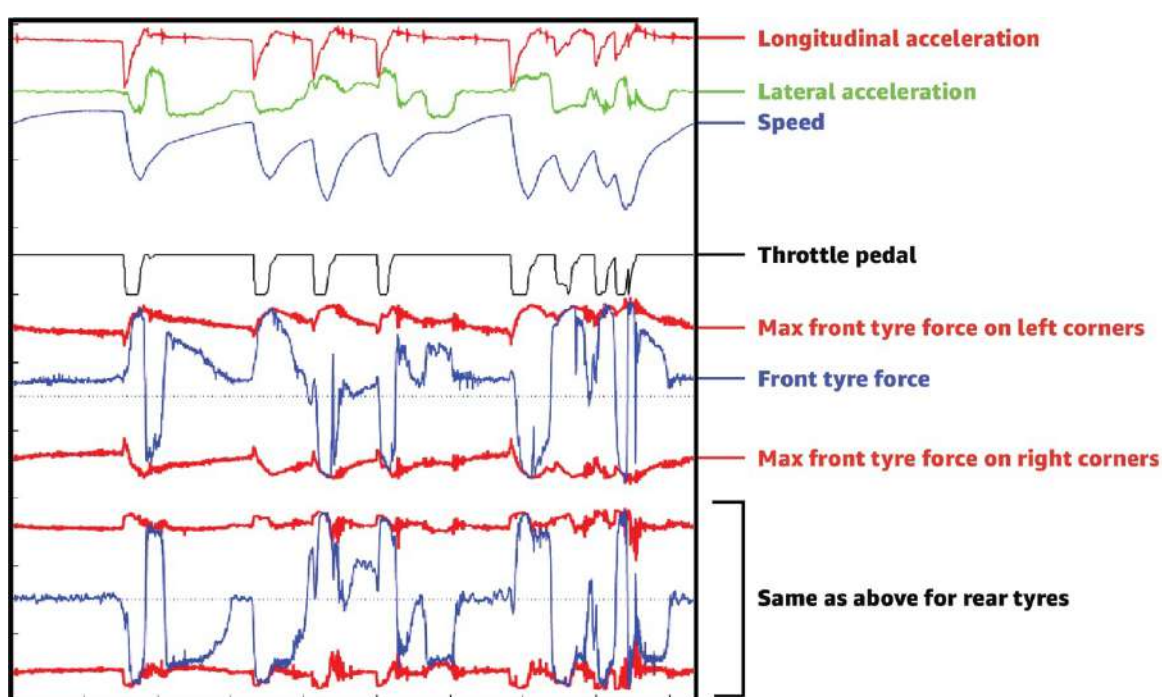


Fonte: F1 Tv, Baku Race, 2019.



Para obter esses dados é criado um modelo que reconstrua as forças dos pneus a partir de sinais de telemetria disponíveis usados em imagens de câmeras de veículos (acelerômetros, sensores de velocidade, etc.). Um modelo paramétrico de pneu pode então ser ajustado aos dados e usado para calcular a força máxima que cada pneu pode gerar sob diferentes condições no veículo (SMEDLEY, 2021). No Gráfico 4 a seguir mostra as forças e limites de uma curva. Isso é chamado de força lateral do pneu.

**Gráfico 4 - Força dos pneus.**



Fonte: F1 Insights, 2019.

Quando um carro de corrida é completamente explorado, sua limitação é sempre definida pela potência do motor ou pela aderência dos pneus. Em termos gerais, se o carro estiver limitado pela potência do motor (por exemplo, em uma reta, onde há excesso de aderência dos pneus para essa condição), adicionar mais potência resultará em maior velocidade. Por outro lado, se estiver limitado pela aderência dos pneus (por exemplo, em uma curva, onde não é possível utilizar toda a potência disponível do motor), mais aderência permitiria ao carro uma maior velocidade na curva. Essas condições são conhecidas como "potência limitada" e "aderência limitada", respectivamente. Quando o carro está na condição de potência

limitada (sem limitação na aderência dos pneus), as forças exercidas pelos pneus são consideravelmente inferiores ao máximo alcançável. Já na condição de aderência limitada (durante frenagem, curvas e aceleração), o desempenho é determinado pela aderência dos pneus (SMEDLEY, 2021). Nesse cenário, cabe ao piloto conduzir o carro até o limite de aderência, mas sem ultrapassá-lo, a fim de maximizar o desempenho.

Em termos gerais, as limitações durante a condução podem derivar dos pneus dianteiros ou traseiros. Se a limitação é nos pneus dianteiros, é conhecida como subviragem, indicando que o carro vira com uma curvatura maior do que o raio ideal da curva. Por outro lado, quando a limitação é nos pneus traseiros, chamamos de sobreviragem, onde o carro vira com uma curvatura menor do que o raio de curva ideal. Em circunstâncias excepcionais, a limitação pode ocorrer simultaneamente na frente e atrás, caracterizando o deslizamento nas quatro rodas. Essa variedade de situações ressalta a importância de o piloto ter um carro com o qual se sinta confortável para explorar toda a aderência disponível dos pneus (SMEDLEY, 2021). Os engenheiros trabalham na configuração para alcançar um equilíbrio que se adapte ao estilo de condução específico do piloto, e é essa combinação de fatores, junto com a habilidade natural do piloto, que permite que a dupla carro/piloto alcance o limite dos pneus.

O modelo em questão realiza o cálculo da proximidade do carro/piloto ao limite de aderência do pneu. Esse cálculo é efetuado nas três fases principais da curva: frenagem, curva (lateral) e aceleração. A expressão desse resultado é em termos percentuais, sendo posteriormente calculada a média de todas as curvas ao longo da volta. Essa abordagem fornece uma análise matemática precisa da proximidade do condutor em relação ao limite do carro, oferecendo uma compreensão detalhada em termos quantitativos (SMEDLEY, 2021).

### **3.2.2 Undercut Threat**

Uma das fases mais cativantes de uma corrida de Fórmula 1 ocorre quando duas equipes se envolvem em um confronto direto, à beira da entrada na janela de pit stop, o momento programado para a troca de pneus. Enquanto os carros se aproximam perigosamente, a questão muitas vezes se resume a quem tomará a

iniciativa primeiro (SMEDLEY, 2021). Como ocorre em diversas ocasiões, os pilotos ousados frequentemente conseguem superar seus adversários menos decididos.

A complexidade da situação aumenta quando os dois carros estão em uma condição conhecida como "proximidade reduzida", como na Figura 13. Nesse momento, há uma clara oportunidade para os estrategistas influenciarem o desfecho da corrida. Tendo ocupado o posto no pit wall em várias ocasiões, seja como o carro da frente defendendo-se de um undercut ou como o carro de trás buscando ganhar posições e, em alguns casos, até mesmo conquistar a vitória, essa é uma das fases mais emocionantes de um Grande Prêmio de Fórmula 1 (SMEDLEY, 2021).

**Figura 13 - Pit Stop Undercut**



Fonte: F1 Insights, 2019.

A lógica por trás disso é relativamente simples: antes das paradas nos boxes, ambos os carros terão experimentado uma certa degradação nos pneus, o que os levará a fazer voltas mais lentas do que no cenário em que pneus novos são instalados. Se o segundo carro da fizer a parada nos boxes primeiro, isso proporcionará ao carro a oportunidade de percorrer pelo menos uma volta com o conjunto de pneus recém-trocados, crucialmente a uma velocidade superior à do carro que permaneceu na pista (Amazon Web Service, 2021). Se a vantagem no tempo de volta dos pneus novos em comparação com os pneus desgastados for maior do que a diferença entre os dois carros antes das paradas nos boxes, então o carro que estava em segundo lugar sairá à frente após as paradas.

É importante notar que o cenário simplificado apresentado acima envolve várias suposições, mas, em termos extremamente básicos, isso esclarece a estratégia. Essa dinâmica é bem representada pelo F1 AWS Insight, conhecido como Pit Strategy Battle, mostrado na Figura 14.

**Figura 14 - Batalha de estratégia no Pit Stop.**



Fonte: F1 Insights, 2019.

Criando um modelo matemático, poderíamos ver o seguinte cenário, aonde A seria o carro da frente e B o carro atrás, mas antes precisaríamos entender que a diferença de ritmo dos compostos (duro, médio, macio), diferença de degradação e o ritmo dos pilotos. Então o modelo ficaria representado assim:

$$TM+1A \geq TM+1B$$

$$TM+1A \geq TMB + LTB (\wedge) + PL$$

$$TMA + LTA(e) + PL \geq TMA + GMAB + PL + LTB (\wedge)$$

$$LTA (e-\wedge) + D \geq GMAB + LTB (\wedge)$$

$$LTA (\wedge) + DA.e \geq GMAB + LTB (\wedge)$$

$$PA + PsTA + DA.e \geq GMAB + PB + PsTB$$

$$GMAB \leq (PA - PB) + (PsTA - PsTB) + DA.e$$

GMAB: Diferença entre A, B na volta M

PA - PB: Ritmo delta dos carros

PsTA - PsTB: Ritmo delta do composto do pneu em relação ao macio

DA: Degradação dos pneus do carro A

O Pit Strategy Battle servirá para explicar quais carros correm o risco de sofrer uma ultrapassagem após realizar sua parada nos boxes (ou, de maneira mais otimista, quais carros têm a oportunidade de aplicar uma estratégia de ultrapassagem). Isso ajudará a criar uma experiência mais envolvente aos fãs, aproximando-os ainda mais do mundo estratégico da Fórmula 1, onde decisões

cruciais precisam ser tomadas em questão de segundos. Inegavelmente, esse é um dos momentos mais tensos que a equipe técnica enfrenta durante a corrida; acerte, e você contribui para que sua equipe acumule mais pontos; erre, e a tarde de domingo se torna complicada (SMEDLEY, 2021).

### 3.2.3 Análise de curvas

O tempo de volta pode ser dividido em duas partes: o tempo gasto nas retas e o tempo gasto nas curvas. As equipes dedicam esforços incessantes para ampliar a carga aerodinâmica (downforce) e diminuir o tempo que os carros consomem nas curvas. É exatamente nesse aspecto que entra a Análise de Curvas para esclarecer de forma mais detalhada, como isso funciona. O objetivo é mostrar como cada carro se comporta nas curvas e fazer uma comparação entre eles, mas isso vai muito além de somente o carro, pois cada piloto tem seu estilo de condução (SMEDLEY, 2020).

O desempenho de um carro é resultado de diversos aspectos distintos. Com este gráfico do F1 Insights, a ideia é destacar os principais elementos que formam a base do desempenho automobilístico, incluindo o rendimento em curvas, a eficiência em retas e o equilíbrio ou manejo do veículo. As equipes dedicam esforços incessantes para aprimorar esses três pilares. Para obter um desempenho sólido nas curvas, é essencial contar com a carga aerodinâmica (downforce) para manter os pneus na faixa de operação adequada e garantir que o carro esteja bem equilibrado em todas as fases da curva. Já o desempenho em linha reta está mais diretamente relacionado à potência do motor e ao arrasto aerodinâmico (SMEDLEY, 2020).

Para explicar melhor a ideia desse gráfico, mostrado na Figura 15, usaremos o seguinte cenário: Vamos considerar que ambos os pilotos freiem precisamente no mesmo ponto da pista, utilizando a mesma taxa de desaceleração. No entanto, um dos pilotos solta os freios muito mais cedo, mantendo maior velocidade ao entrar na curva, ao passo que o outro piloto continua a frear em linha reta, desacelerando mais o veículo antes de soltar os freios e fazer a curva. Esse cenário resultaria em duas trajetórias significativamente distintas e, conseqüentemente, em dois perfis de velocidade bem diferentes. O primeiro piloto, que liberou os freios mais cedo e ingressou na curva com maior velocidade, provavelmente não conseguiria acelerar tão rapidamente. Seu tempo seria

recuperado durante a fase de entrada e no meio da curva. Por outro lado, o segundo piloto em nosso exemplo teria sua recuperação de tempo na fase de saída da curva.

**Figura 15 - Análise de curva entre HAM x LEC.**



Fonte: F1 Insights, 2020.

Os carros das equipes de Fórmula 1 tem cada um suas características únicas, assim uns são mais rápidos em alguns tipos de curvas do que outros. Para chegar a esse gráfico, as curvas são divididas em cinco fases:

1) Fase de frenagem em linha reta. Nesse estágio, o piloto inicia a frenagem vindo da reta anterior para desacelerar o carro ao máximo, a fim de reduzir a velocidade o suficiente para iniciar a próxima fase.

2) Fase de virada. Aqui, o condutor começa a manipular o volante para determinar a trajetória da curva.

3) Fase de Meio da Curva. Esta etapa ocorre quando o carro se move a uma velocidade constante com máxima aceleração lateral. No contexto de um carro de F1, essa fase é extremamente breve, quase instantânea para a maioria das curvas. Em um carro de F1, o piloto está continuamente acelerando ou freando e raramente mantém a velocidade constante.

4) Fase de Saída com Aderência Limitada. Nesta fase, o piloto acelera para sair da curva, mas precisa controlar o acelerador, pois o torque do motor excede a capacidade dos pneus.

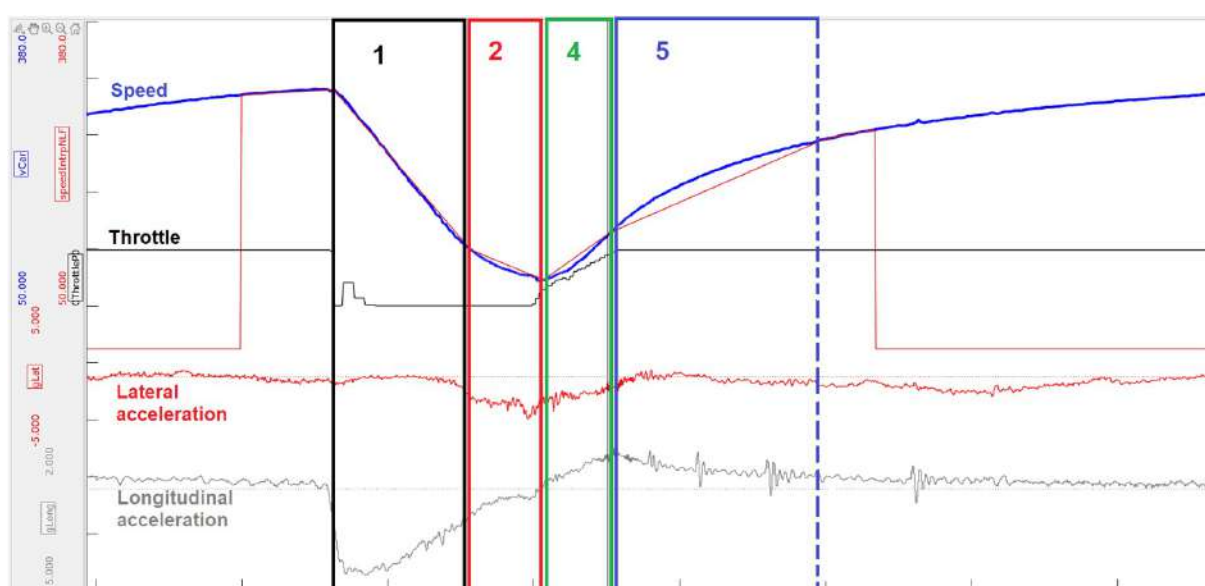
5) Fase de Saída com Potência Limitada. Este estágio ocorre quando o piloto está acelerando a todo vapor na saída das curvas.

De fato, ao aumentar a velocidade durante a fase 4, dois fenômenos se manifestam:

- a. As cargas aerodinâmicas aumentam, pressionando os pneus com mais força contra o solo.
- b. O torque do motor diminui à medida que a velocidade aumenta.

Todos esses fatores contribuem em como o piloto usará o limite de aceleração para que ele não precise corrigir a direção e perder tempo. O gráfico 5 mostra como é o comportamento de cada uma dessas fases.

**Gráfico 5 - Telemetria Bélgica TL1**



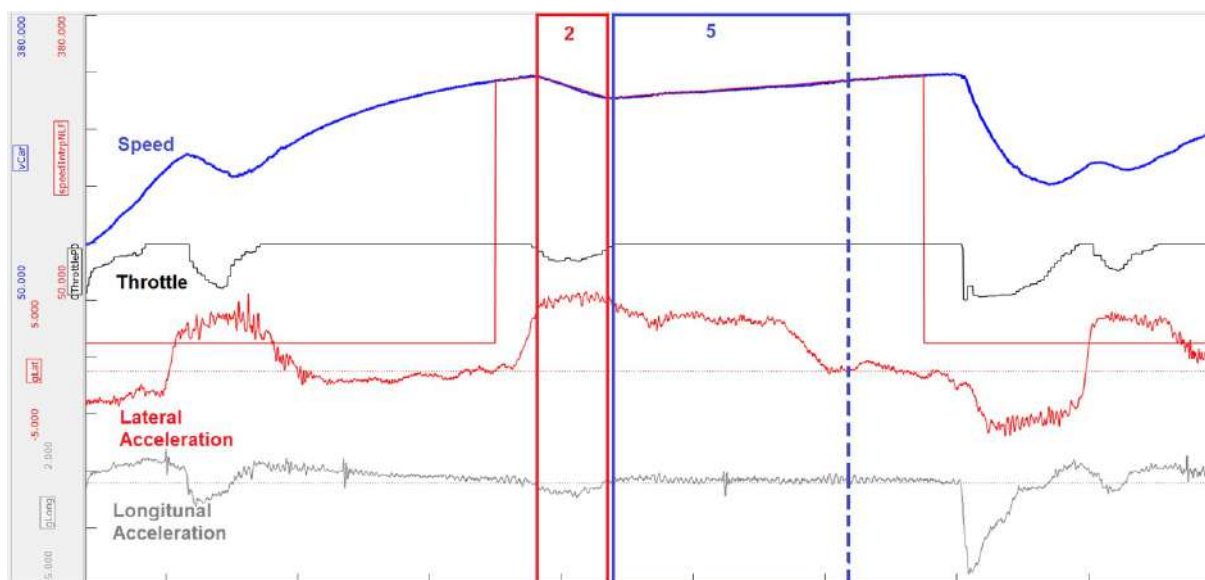
Fonte: AWS F1 Insights, 2020.

Na Curva 1 (T1) na Bélgica (Gráfico 5), observamos que todas as fases estão presentes, com uma porção ínfima referente à parte central da curva. Este trecho é uma curva de baixa velocidade, exigindo que o piloto freie em linha reta para reduzir a velocidade a um ponto que permita suportar as forças laterais devido à curvatura (fase 1). Em seguida, o condutor precisa estabelecer a trajetória ainda durante a desaceleração (fase 2) até alcançar o ponto mais alto da curva (fase 3). Assim que atinge o ápice, o piloto pode acelerar o carro, ajustando o acelerador conforme o limite de aderência dos pneus (fase 4). Após algum tempo, o piloto chega ao ponto em que pode manter o acelerador a 100% (fase 5).

Tomando como exemplo a sequência de curvas de alta velocidade T10-11 na Bélgica (Gráfico 6), percebemos que a velocidade do carro já é suficientemente baixa para iniciar a curva na fase 2, eliminando assim a necessidade de frear em linha

reta. Dado que a velocidade média da curva na fase 3 é elevada, o limite na saída é determinado pelo torque gerado pelo motor imediatamente após o ápice (fase 5), permitindo ao piloto manter o acelerador constante sem a necessidade de modulação.

**Gráfico 6 - Telemetria Bélgica Curvas 10 e 11**



Fonte: AWS F1 Insights, 2020.

As diferentes fases são estabelecidas pelos limites nas acelerações do chassi do carro, tanto longitudinal quanto lateral, e pela análise do sinal do acelerador. Isso é uma idealização, pois na realidade, o piloto transitará entre as fases de forma contínua, enquanto o modelo analisa e identifica as diferentes fases de maneira mais definida. Utilizando essa idealização, é possível comparar diferentes carros/pilotos em termos da duração de cada fase, o que pode proporcionar insights sobre como o carro/piloto otimiza o desempenho em uma curva específica (SMEDLEY, 2020).

### 3.2.4 Desempenho de frenagem

O desempenho dos carros em cada curva é um dos pontos principais aonde os engenheiros dedicam seus esforços. Com tudo, isso também dependerá da forma que o piloto freia. Se o piloto frear com muita força ele irá travar as rodas e se frear muito tarde passará do ponto ideal para realizar a curva com perfeição e não perder tempo. A força de um carro de Fórmula 1 quando está freando a 300 km/h pode chegar

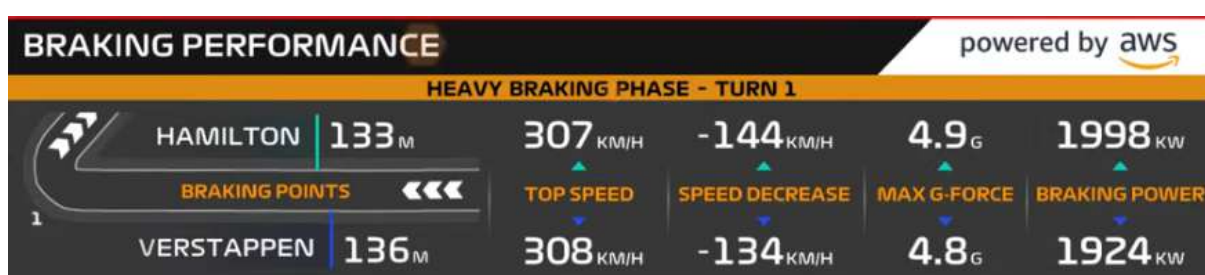


a 5g, o que significa que o corpo do piloto será pressionado para frente a uma força 5 vezes maior que a de um carro normal (SMEDLEY, 2021).

Essa parte é conhecida como “fase de frenagem”, é o ponto chave onde o piloto vai extrair o desempenho do carro. Após os pilotos frearem violentamente a 300 km/h em menos de 2 segundos, o piloto então decide o melhor momento para iniciar a fase de saída das curvas e acelerar no limite certo para não perder o controle da tração do carro (SMEDLEY, 2021).

O inicial elemento que necessitamos avaliar ao examinarmos a fase frenagem é verificar se foi uma boa volta ou não. É realizada tal análise selecionando exclusivamente o melhor setor para o piloto em questão, que engloba a curva sob análise. Por meio desse procedimento, podemos garantir que teremos identificado a melhor curva que o piloto conseguiu extrair em relação ao desempenho do veículo (SMEDLEY, 2021). Diferentemente da Análise de Curvas, esse conceito não leva em conta a etapa de aceleração lateral, ou, de maneira mais simples, quando o piloto entra e posteriormente sai de uma curva. Essa observação está intrinsecamente relacionada a quão eficientemente o piloto consegue desacelerar durante a fase inicial de frenagem em linha reta. Os principais parâmetros de dados que interessam ao comparar um piloto com seu oponente são o ponto em que o carro freia e a intensidade com que o piloto consegue realizar a frenagem, como é mostrado na Figura 16.

**Figura 16 - Frenagem entre Hamilton e Verstappen**



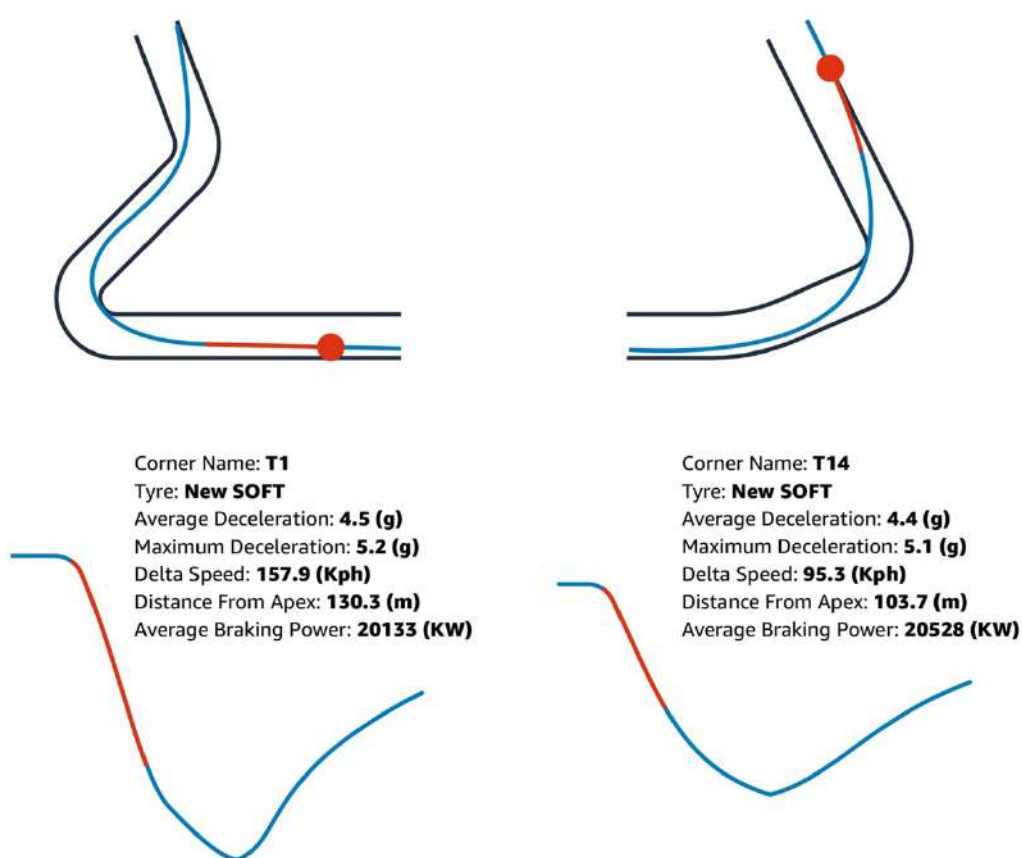
Fonte: F1 Insights, 2021.

Se selecionarmos um ponto na pista onde o piloto realiza a frenagem, isso está diretamente correlacionado com o desempenho. Supondo que o piloto possa reduzir a velocidade do carro na metade da curva de maneira semelhante ao seu adversário, posicionado no mesmo local na pista, então quanto mais tarde ele frear, mais tempo de volta ele conseguirá extrair do carro nesta fase e, conseqüentemente,

em toda a corrida (SMEDLEY, 2021). O segundo componente no início da frenagem é a intensidade com que o motorista consegue frear durante essa etapa. Podemos mensurar isso de duas maneiras: a primeira é através do pico de desaceleração média, e a segunda é pela potência de frenagem, que é expressa em quilowatts. Quanto maior a potência, mais rapidamente o carro desacelera em linha reta.

Como mostrado na Figura 16, se dois carros idênticos realizam a frenagem precisamente no mesmo ponto da pista, mas um deles aplica mais potência de frenagem, então, ao longo de uma distância constante de 50 metros, o primeiro carro, que utilizou maior potência de frenagem, alcançará o final dos 50 metros com uma velocidade inferior. Invertendo essa situação, considerando que ambos os carros precisam atingir o ápice da curva com a mesma velocidade mínima; assim, o carro que emprega maior potência de frenagem pode realizar a frenagem mais tarde, ganhando tempo em relação ao carro que utiliza menor potência de frenagem.

**Figura 17 - Análise de Frenagem em diferentes curvas**



Fonte: AWS, 2021.

O modelo mostrado na Figura 17, utilizada de duas fontes para identificar o posicionamento do carro na pista:

- 1) Os circuitos de cronometragem e os sistemas transponder do carro.
- 2) A telemetria de cada um dos carros.

O sistema de cronometragem do circuito é formado por diversos sensores distribuídos pela pista, os quais identificam a passagem do carro. Os conjuntos de dados para cada veículo incluem a identificação exclusiva do carro e o horário em que o carro em questão passou pelo ciclo de cronometragem.

E ao analisar em conjunto essas duas fontes, é possível posicionar o carro na pista.

- 1) O sistema de cronometragem é instalado em locais específicos ao redor da pista (em geral, variando de 25 a 35 posições) e é altamente preciso, com uma margem de centímetros.
- 2) A telemetria incorpora as velocidades das rodas para calcular a velocidade e a distância (com uma taxa de aquisição de 20Hz). Essas informações estão disponíveis de forma contínua a cada amostra de tempo ao longo da pista.

Após obter o "canal de distância," que está referenciado à pista e, portanto, compartilhado por todos os carros, seremos capazes de alcançar o ponto de frenagem real com a precisão necessária.

Esse gráfico deve proporcionar uma perspectiva adicional, fundamentada em dados, acerca do desempenho dos carros e pilotos. Incontestavelmente, uma disparidade substancial entre um veículo de rua e um carro de F1 reside na intensidade com que um carro de Fórmula 1 é capaz de frear, assim como nas distâncias de parada extraordinariamente curtas que o piloto percorre centenas de vezes durante cada Grande Prêmio (SMEDLEY, 2021).

### **3.2.5 Análise de Partida**

A largada na Fórmula 1 é sem dúvidas um dos momentos mais emocionantes para os fãs, pilotos e engenheiros. Considerando como é significativo esses primeiros segundos em uma corrida de Grande Prêmio, as equipes dedicam um esforço significativo a cada detalhe. Há uma série de ações precisas e simultâneas

que o piloto deve executar em sintonia com o sistema de controle do veículo e a unidade de potência. Essa não é, de maneira alguma, uma tarefa simples e requer, conforme é padrão na Fórmula 1, a combinação ideal de excelência técnica, engenharia e habilidades de condução (SMEDLEY, 2021). Uma aceleração fraca na fase inicial da partida resultará no desligamento do motor, fazendo com que o carro se afaste com uma aceleração mais lenta do que a desejada. Por outro lado, uma aceleração mais forte fará com que as rodas traseiras girem demais, o que pode fazer com que o piloto perca o controle do carro e acabe rodando.

A análise de partida tem o propósito de proporcionar uma compreensão mais aprofundada de como cada um dos pilotos explora o desempenho de seus carros na fase de largada. Para interpretar o gráfico (Figura 16), é necessário entender como funciona cada parte da largada, que são as seguintes:

1. Tempo de reação – o intervalo desde o momento em que as luzes de partida se apagam até o momento em que o motorista reage, colocando a embreagem manual na posição intermediária (semi engatada/semi escorregadia).

2. Fase inicial de aceleração – aborda como o motorista lida com a derrapagem, a posição do acelerador, liberando totalmente a pá da embreagem para engate total, entre outros aspectos.

3. Velocidade do carro e habilidade do motorista na última parte do lançamento – considera o fluxo de deslizamento, o arrasto geral do carro, a manutenção da posição (minimizando mudanças de direção), entre outros fatores.

Usando cada um dos elementos acima, podemos dividir em fases e gerar gráficos para comparar a reação de largada entre os pilotos. Por exemplo o tempo de reação de 0-100 km/h (Figura 16) para analisar o desempenho na fase inicial da largada e 0-200 km/h (Figura 16) para dar um destaque geral, da fração de segundo que o carro começa a se movimentar até alcançar os 200 km/h.

Figura 18 - Análise 0-100 e 0-200



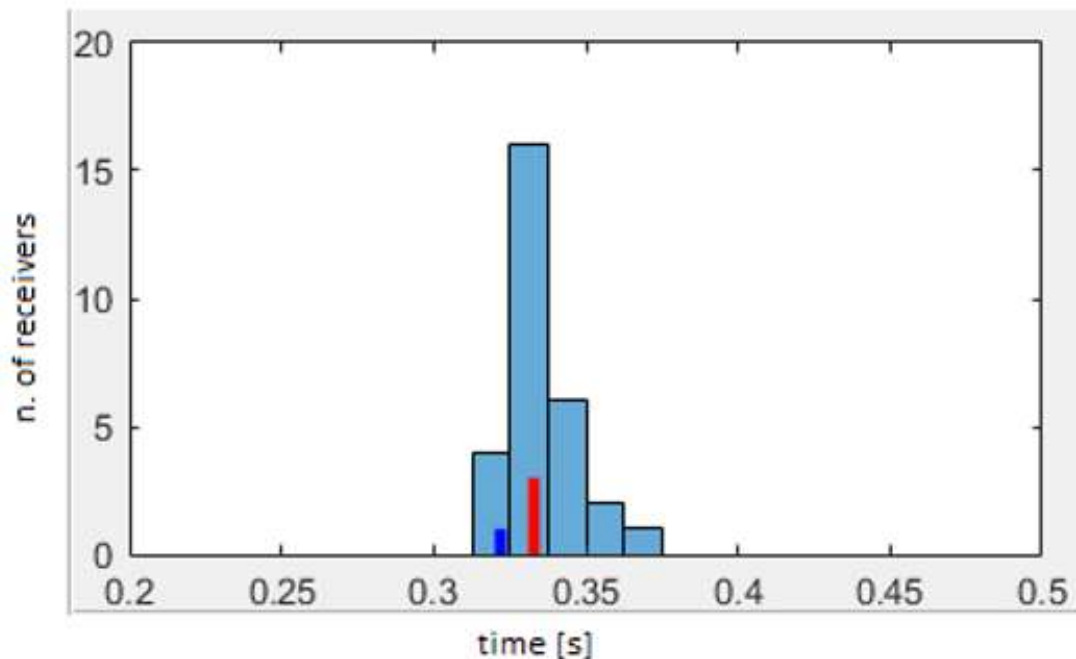
Fonte: AWS F1 Insights, 2021.

Na Fórmula 1 os dados chegam de todos os lugares, desde a telemetria extraída dos carros, até dos dados de tempo que chegam diretamente dos sensores da pista. Com isso é possível definir o tempo de reação e o tempo de 0 a 100 e 200 km/h. O sensor presente nos carros (transponder) ativa o receptor de loop específico ao passar por ele, transmitindo a identificação específica do carro e o horário exato até 0,0001s. Geralmente, há 25 loops de temporização distribuídos ao redor do circuito.

Esses sinais de telemetria são sincronizados com o relógio dentro da unidade de controle eletrônico (ECU), mas como são 20 carros diferentes, cada um deles podem ter uma hora do dia diferente do outro, já que não estão sincronizados, normalmente apenas os carros da mesma equipe estão sincronizados. O sistema de cronometragem é sincronizado com as luzes de largada o que facilita na hora de analisar os dados de tempo de cada um dos carros.

Juntando todos esses elementos é possível criar o um modelo de análise de dados, entre os dados dos carros e os dados de cronometragem, sendo assim possível obter os seguintes gráficos:

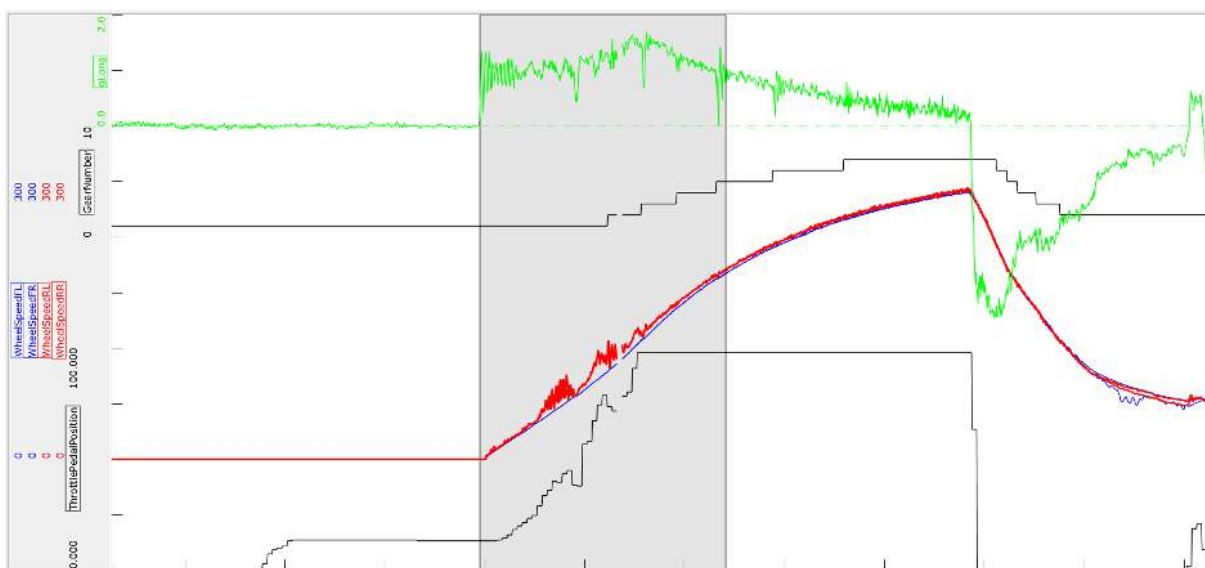
Gráfico 7 - Dados de tempo



Fonte: AWS, 2021.

Então é possível calcular a mediana entre os tempos de reação de cada piloto, tanto de 0-100 km/h como também de 0-200 km/h. O modelo identifica o pico de aceleração longitudinal (canal verde no gráfico X) e então vai medir a duração do ponto inicial até o ponto que os carros alcançarão 100 e 200 km/h.

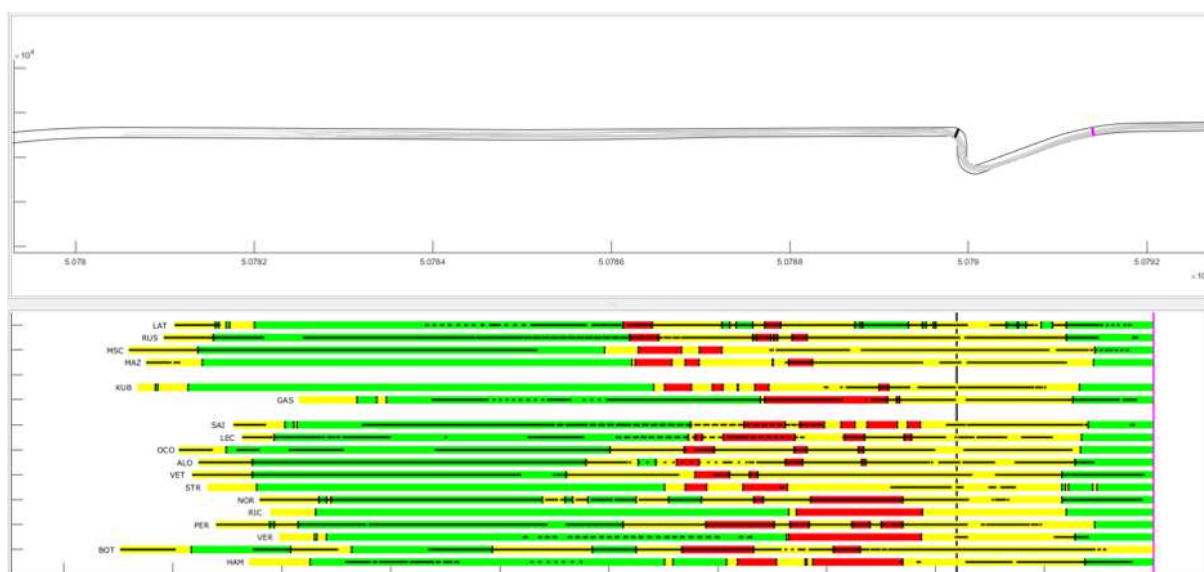
Gráfico 8 - Telemetria de Partida



Fonte: AWS, 2021.

A partir desse modelo é possível então calcular a distancia entre os carros e suas posições de largada na pista. O que permitir analisar mais profundamente o desempenho da largada de cada piloto. Assim a reta de largada/chegada é digitalizada e indicada usando um código de cores. No gráfico 9, é possível ver a barra dos pilotos cujo o eixo X representa a distância até a linha rosa após a chicane do Grande Prêmio de Monza (Itália) e a linha preta representa o ápice da primeira curva.

**Gráfico 9 - Telemetria de Largada de Todos os Pilotos**



Fonte: AWS, 2021.

A barra em amarelo indica se o piloto não está em aceleração máxima, verde quando o piloto está em aceleração máxima e vermelho representa se o piloto está freando com uma força mediana (mais de 1,5g). Assim é possível produzir gráficos de F1 Insights da reação de partida de cada piloto.

## 4 METODOLOGIA

O desenvolvimento deste trabalho envolveu a extensa busca e seleção de materiais que abordassem a análise de dados e o aprendizado de máquina na Fórmula 1. Em seguida, ocorreu a crucial etapa de selecionar os melhores tópicos a serem empregados no projeto, uma decisão estratégica que delineou o caminho para as fases subsequentes.

Após a escolha dos desses tópicos, procedeu-se com a cuidadosa seleção de um conjunto de dados apropriado e o uso de telemetria para analisar como os pilotos e os carros de Fórmula 1 se comportam durante um final de semana de corrida. Este conjunto foi então analisado, com o intuito de preparar e estruturar os a pesquisa para que ficasse de fácil entendimento. Esse estágio representou um ponto crítico, demandando atenção as características principais que fazem a análise de dados ser essencial na Fórmula 1, pois ela está presente desde o momento que o motor do carro começa a funcionar, nas paradas de boxes, na configuração dos carros e em seu desempenho durante a corrida.

Por fim, após obter esses dados e utilizar da telemetria, foi criado gráficos utilizando o FastF1 que por meio da API Ergast nos da acesso a dados atuais e históricos da Fórmula 1, sendo possível utiliza-los para explicar como cada um funciona em uma corrida de Fórmula 1. A pesquisa também mostrou como o aprendizado de máquina está sendo utilizado na Fórmula 1 tanto pelas equipes quanto para aprimorar a experiência dos fãs e entusiastas desse esporte. Essa etapa final foi de extrema importância, permitindo uma avaliação profunda do desempenho desses dados e dos algoritmos utilizados e mostrou de uma forma simples como interpretar dos resultados obtidos.



## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados obtidos nesta pesquisa destacam a eficácia e o impacto positivo da integração da análise de dados, aprendizado de máquina e F1 Insights no cenário da Fórmula 1. A coleta e análise extensiva de dados em tempo real, alimentada por sensores avançados, permitiram uma compreensão mais profunda e abrangente do desempenho dos carros durante corridas e treinos.

Para mostrar realmente como os dados ajudam na evolução e no desempenho das equipes, vamos analisar os seguintes Gráficos:

**Gráfico 10 - Tempos Treino Livre 3 e Qualificatória**



Fonte: FData Analysis, 2023.

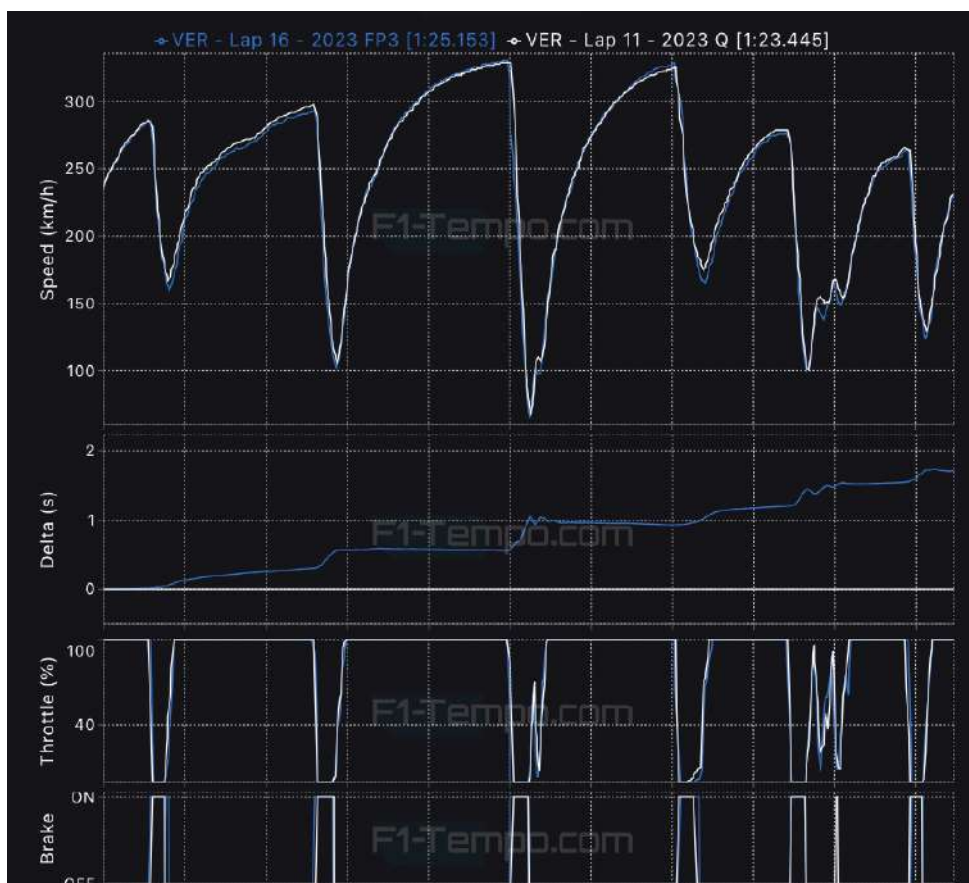
A análise dos tempos de volta de Max Verstappen no treino livre 3 e na qualificação do Grande Prêmio de Abu Dhabi de Fórmula 1, realizado em 13 e 14 de dezembro de 2023, respectivamente, mostra que o piloto holandês da Red Bull conseguiu melhorar seu tempo em 1,005 segundos.

No treino livre 3, Verstappen completou uma volta de 1:23.740, enquanto na qualificação ele marcou 1:22.735. Essa melhora de tempo foi significativa, e ajudou Verstappen a conquistar a pole position.

A análise de dados e a telemetria desempenharam um papel importante na melhora do tempo de volta de Verstappen. Por meio da análise de dados os engenheiros da Red Bull identificaram áreas onde o piloto poderia melhorar seu

desempenho. A telemetria, mostrada no Gráfico 11, forneceu dados específicos sobre o desempenho do carro e do piloto, que foram usados para desenvolver estratégias para melhorar o tempo de volta.

**Gráfico 11 - Telemetria Verstappen TL3 x Quali.**



Fonte: Elaboração própria, 2023.

A telemetria forneceu dados específicos sobre o desempenho do carro e do piloto que foram usados para desenvolver estratégias para melhorar o tempo de volta. Por exemplo, a telemetria mostrou que Verstappen estava usando mais o freio traseiro nas curvas 1, 2 e 3 do que os outros pilotos. Os engenheiros trabalharam com Verstappen para reduzir o uso do freio traseiro nessas curvas, o que permitiu que ele entrasse nas curvas mais rápido e com mais aderência.

Com base na análise de dados e na telemetria, os engenheiros da Red Bull desenvolveram as seguintes estratégias para melhorar o tempo de volta de Verstappen:

Setor 1: Verstappen estava perdendo tempo nas curvas 1, 2 e 3. Os engenheiros identificaram que Verstappen estava entrando nas curvas um pouco rápido demais, o que estava causando perda de aderência e velocidade. Então engenheiros trabalharam com Verstappen para desenvolver uma linha de corrida mais eficiente nas curvas 1, 2 e 3 e também foi dito que ele deveria melhorar sua técnica de frenagem nessas curvas.

Setor 3: Verstappen estava perdendo tempo na curva 16. Os engenheiros identificaram que ele estava saindo da curva um pouco devagar demais, o que estava causando perda de velocidade na reta final.

As estratégias desenvolvidas pelos engenheiros da Red Bull foram bem-sucedidas. Verstappen conseguiu melhorar seu tempo no setor 1 em 0,380 segundos, no setor 2 em 0,580 e no setor 3 em 0,830 segundos, o que resultou em uma melhora de 1,707 segundos. Essa melhora de tempo foi fundamental para sua conquista da pole position.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A Fórmula 1 tem sido revolucionada pela análise de dados e aprendizado de máquina, que são fundamentais para o desenvolvimento de carros e estratégias de corrida. Em um ambiente tão competitivo como a Fórmula 1, onde cada milissegundo é crucial, a habilidade de coletar, processar e interpretar dados é uma grande vantagem estratégica. As equipes empregam sensores sofisticados em seus carros para coletar uma enorme quantidade de informações em tempo real, desde a temperatura dos pneus até a aerodinâmica do veículo. Isso proporciona um entendimento detalhado do desempenho do carro sob diversas condições, permitindo ajustes precisos e otimizações com base em uma fundação sólida de dados.

Na Fórmula 1, o aprendizado de máquina é mais do que apenas coletar dados. Ele envolve o uso de algoritmos avançados capazes de identificar padrões complexos e prever tendências futuras, como é mostrado pelo F1 Insights. As equipes empregam modelos de aprendizado de máquina para analisar uma variedade de dados, incluindo dados históricos, simulações de corrida e até mesmo fatores externos como o clima. Isso permite previsões mais precisas sobre o desempenho do carro e a estratégia de corrida mais eficaz. Com a evolução contínua dos algoritmos de aprendizado de máquina, as equipes conseguem uma vantagem competitiva adicional na otimização constante de seus carros e estratégias.

Este estudo fornece uma análise detalhada das aplicações de análise de dados e aprendizado de máquina na Fórmula 1, enfatizando as tecnologias fundamentais que impulsionam o desempenho das equipes e pilotos. Ele examina e explica como a aplicação de algoritmos como o FastF1 e a utilização da AWS pode influenciar as equipes não apenas aumentam sua competitividade, mas também promovem uma compreensão mais profunda e precisa do desempenho dos carros e das estratégias de corrida. A coleta massiva de dados em tempo real, impulsionada por sensores de última geração, proporciona uma base sólida para ajustes precisos, maximizando a eficiência aerodinâmica, o desempenho dos pneus e outros aspectos cruciais do veículo. O estudo também apresenta exemplos reais que mostram como esses dados são utilizados para obter insights, os F1 Insights, alimentados por algoritmos de aprendizado de máquina, oferecem aos engenheiros e estrategistas uma visão aprofundada do desempenho passado e presente, permitindo decisões mais informadas e estratégias mais adaptáveis.

Em conclusão, a análise de dados e o aprendizado de máquina na Fórmula 1 representam uma revolução na forma como as equipes abordam o esporte. Desde a otimização do desempenho do carro até estratégias de corrida. Essas tecnologias não apenas aprimoram a competitividade das equipes, mas também permitem que pessoas leigas tenham conhecimento de como funciona a Fórmula 1, mostrando que não são apenas carros dando voltas em um circuito.

## REFÊRENCIAS

AWS AMAZON. **AWS e a Fórmula 1.** Disponível em: <https://aws.amazon.com/pt/sports/f1/>. Acesso em: 16 ago. 2023.

AWS AMAZON. **Desempenho no Pitlane.** Disponível em: <https://aws.amazon.com/pt/sports/f1/pitlane-performance/>. Acesso em: 20 set. 2023.

BRITANNICA. **Telemetria.** Disponível em: <https://www.britannica.com/technology/telemetry>. Acesso em: 6 set. 2023.

F1.COM. **PrevNext F1 telemetry: The data race.** Disponível em: <https://f1i.com/magazine/73067-f1-telemetry-data-race.html>/2. Acesso em: 4 set. 2023.

FASTF1. **FastF1 Documentation.** Disponível em: <https://docs.fastf1.dev/>. Acesso em: 23 ago. 2023.

JALOPNIK. **Telemetria da Fórmula 1: Explicada.** Disponível em: <https://jalopnik.com/formula-one-telemetry-explained-1845819678>. Acesso em: 4 set. 2023.

PATIL, A. *et al.* A Data-Driven Analysis of Formula 1 Car Races Outcome. **Communications in Computer and Information Science**, Dublin, v. 1, n. 1, p. 135-143, fev./2023. Disponível em: [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-031-26438-2\\_11](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-031-26438-2_11). Acesso em: 13 set. 2023.

SMEDLEY, Rob. ACCELERATING THE FAN EXPERIENCE: How FORMULA 1® is driving the future of racing using machine learning and AWS. **F1 Insights**, ENGLAND, v. 1, n. 1, p. 1-10, ago./2019. Disponível em: [https://pages.awscloud.com/rs/112-TZM-766/images/AWS\\_Formula\\_1\\_eBook\\_Accelerating\\_the\\_Fan\\_Experience\\_Final.pdf](https://pages.awscloud.com/rs/112-TZM-766/images/AWS_Formula_1_eBook_Accelerating_the_Fan_Experience_Final.pdf). Acesso em: 16 ago. 2023.

STACKIFY. **O que é telemetria? Como funciona a telemetria, benefícios da telemetria, desafios, tutorial e muito mais.** Disponível em: <https://stackify.com/telemetry-tutorial/>. Acesso em: 6 set. 2023.

VIBRO ACUSTICA. **EXEMPLOS DA TECNOLOGIA DA F1 ALÉM DAS PISTAS.** Disponível em: <https://vibroacustica.com.br/pt/tecnologia-da-f1/>. Acesso em: 14 set. 2023.

YOUTUBE. **F1 Explained: How Does Telemetry Data Help Teams Go Faster?** Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=sW31u4gFFeE>. Acesso em: 11 set. 2023.

AWS AMAZON. **Braking Performance.** Disponível em: [https://aws.amazon.com/pt/sports/f1/braking-performance/?nc1=h\\_ls](https://aws.amazon.com/pt/sports/f1/braking-performance/?nc1=h_ls). Acesso em: 12 nov. 2023.

AWS AMAZON. **Corner Analysis.** Disponível em:  
<https://aws.amazon.com/pt/sports/f1/corner-analysis/>. Acesso em: 9 nov. 2023.

AWS AMAZON. **Driver Performance – % of Car Limit.** Disponível em:  
<https://aws.amazon.com/pt/sports/f1/driver-performance/>. Acesso em: 26 out. 2023.

AWS AMAZON. **Start Analysis.** Disponível em:  
<https://aws.amazon.com/pt/sports/f1/start-analysis/>. Acesso em: 21 set. 2023.

AWS AMAZON. **Undercut Threat.** Disponível em:  
<https://aws.amazon.com/pt/sports/f1/undercut-threat/>. Acesso em: 7 nov. 2023.