

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO – ESCOLA POLITÉCNICA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

CONTROLE INTELIGENTE DE CAIXA DE CÂMBIO
AUTOMATIZADA VEICULAR

Vitor Robles Filomeno

São Paulo

2017

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO – ESCOLA POLITÉCNICA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

CONTROLE INTELIGENTE DE CAIXA DE CÂMBIO
AUTOMATIZADA VEICULAR

Trabalho de formatura apresentado à Escola Politécnica
da Universidade de São Paulo para a obtenção do título
de Graduação em Engenharia Mecânica

Vitor Robles Filomeno

Orientador: Décio Crisol Donha

Área de concentração:
Engenharia Mecânica

São Paulo
2017

Catálogo-na-publicação

Filomeno, Vitor

Controle inteligente de caixa de câmbio automatizada veicular / V.
Filomeno -- São Paulo, 2017.
107 p.

Trabalho de Formatura - Escola Politécnica da Universidade de São
Paulo. Departamento de Engenharia Mecânica.

1.CONTROLE I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica.
Departamento de Engenharia Mecânica II.t.

RESUMO

O presente trabalho utiliza técnicas de controle fuzzy para auxiliar no controle de uma caixa de câmbio automotiva automatizada e melhorar o desempenho do sistema ao identificar algumas situações específicas como identificar quando o motorista está com intenções mais esportivas com o carro e em situações em que se deseja manter a velocidade do veículo em trechos com aclives e declives suaves como prever que o motorista deseja acelerar para voltar ao patamar de velocidade média e prever que o motorista deseja aumentar a carga do motor ao ingressar um aclive.

A fim de simplificar o trabalho, o motor é visto apenas como fonte de força propulsora, não prevendo utilização do motor como freio em trechos de declive.

Para permitir o desenvolvimento do sistema citado, uma grande parte deste trabalho foi investida na coleta, análise e processamento dos dados obtidos para entender o comportamento do motor e poder gerar mapas de troca de marcha que seriam posteriormente distorcidos de acordo com as saídas do sistema fuzzy.

É desenvolvido um sistema simples de troca de marchas para comparar o desempenho do sistema a ser desenvolvido. O sistema final de controle faz uso de um sinal de predição de velocidade que ajuda a reduzir o tempo de resposta do sistema.

O sistema fuzzy resultante obteve bastante melhora em fatores bastante influentes no prazer ao dirigir e ao mesmo tempo obteve uma leve melhora na eficiência energética obtida com o sistema simples.

Houve a tentativa de prever a carga com base em parâmetros inovadores como intensidade da chuva, quantidade de passageiros, porém a quantidade de dados coletados se mostrou insuficiente. Foram coletados dados em pouco mais de 600 km percorridos.

Os dados brutos coletados, processados e os programas utilizados na coleta e processamento de dados juntamente com os simuladores de controle de marcha foram disponibilizados na internet.

ABSTRACT

This paper uses fuzzy control techniques in order to improve the control of an automated automotive gearbox by recognizing certain specific situations such as when the driver wants a sportier control of the car and in situations when the driver wants to keep a certain speed in roads with smooth uphill and downhill. The system predicts the driver will bring the car back to the mean speed and can detect uphill before the acknowledgment of the human, downshifting in advance.

In order to simplify this paper, the car's engine is seen as exclusively source of propelling power whilst not having the intention to improve the control in an intense downhill.

In order to allow the development of the system, a considerable amount of work was used in the data acquisition system along as the data processing and analysis to better understand the engine behavior and enable the creation of shift maps that would be distorted by the outputs of the fuzzy system in the future.

A simple gearshift controller is briefly developed in order to benchmark the fuzzy system to be developed. The final control system uses a speed prediction signal to reduce the perceived delay of the actuator.

The resulting fuzzy system greatly increases the performance signals that relate to the driver's pleasure and at the same time was able to improve the energetic efficiency a little when compared to the simple gearshift strategy.

There were attempts to predict engine load based on various innovative factors such as rain intensity, passenger count, but the data quantity was shown to be insufficient. Altogether, about 600 km were travelled while collecting data.

The raw data, processed data, the mobile application used to acquire data and code used in data processing and the gearbox controller simulator are available in the world-wide web.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Sinais a serem observados	15
Tabela 2: Dados do motor do veículo [7]	25
Tabela 3: Especificações do sistema fuzzy	38
Tabela 4: Informações sobre os trajetos percorridos, 1 a 20.....	97
Tabela 5: Informações sobre os trajetos percorridos, 21 a 38.....	98
Tabela 6: Desempenho do Sistema Simples, 1 a 21	99
Tabela 7: Desempenho do Sistema Simples, 22 a 38	100
Tabela 8: Desempenho do Sistema Simples com Predição de Velocidade, 1 a 21 .	101
Tabela 9: Desempenho do Sistema Simples com Predição de Velocidade, 22 a 38	102
Tabela 10: Desempenho do Sistema com Lógica Fuzzy, 1 a 21	103
Tabela 11: Desempenho do Sistema com Lógica Fuzzy, 22 a 38	104
Tabela 12: Desempenho resumido dos Sistemas com taxas médias ponderadas pelo tempo de trajeto.....	105

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Módulo OBD2 – Wifi [4]	8
Figura 2: Captura de tela do aplicativo	9
Figura 3: Posicionamento do Aparelho Celular	10
Figura 4: Sistema de coordenadas do Aparelho Celular [9]	11
Figura 5: Sensores Aquisitados via Celular [10]	12
Figura 6: Sensores Aquisitados via Interface.....	13
Figura 7: Sinais aquisitados através da porta OBD II [4]	13
Figura 8: Mapa de troca de marcha de 2 variáveis [2]	16
Figura 9: Mapa de troca de marcha de 3 variáveis [2]	16
Figura 10: Meia janela Hanning, 6.5s de cauda	29
Figura 11: Sistema Fuzzy.....	37
Figura 12: Painel com dados pré-processados	41
Figura 13: Dados via Interface Gráfica, pré-processados	42
Figura 14: Processamento do sinal de velocidade	43
Figura 15: Processamento da velocidade, trecho com falha no sinal OBD	44
Figura 16: Cálculo da aceleração em Y devido a gravidade.....	45
Figura 17: Componentes da aceleração	46
Figura 18: Ângulo de arfagem ao longo de 8 voltas de um trajeto	47
Figura 19: Sinal de Carga (original, processado e válidos)	48
Figura 20: Sinal de Carga (original, processado e válidos) aproximado	49
Figura 21: Sinal de Rotação (original, processado e válidos).....	50
Figura 22: Sinal de Rotação (original, processado e válidos) aproximado.....	51
Figura 23: Identificação de marchas	52
Figura 24: Rotação do motor com limite de marcha lenta.....	53
Figura 25: Dados aquisitados na 1a Marcha	54
Figura 26: Dados aquisitados na 2a Marcha	55
Figura 27: Dados aquisitados na 3a Marcha	56
Figura 28: Dados aquisitados na 4a Marcha	57
Figura 29: Dados aquisitados na 5a Marcha	58

Figura 30: Curvas de Potência e Torque estimadas do Motor	59
Figura 31: Comportamento esperado na 1a Marcha	60
Figura 32: Comportamento esperado na 2a Marcha	61
Figura 33: Comportamento esperado na 3a Marcha	62
Figura 34: Comportamento esperado na 4a Marcha	63
Figura 35: Comportamento esperado na 5a Marcha	64
Figura 36: Máxima força propulsora dado carga e velocidade	65
Figura 37: Mapa de Troca de Marchas	66
Figura 38: Tempo de Troca de Marcha.....	67
Figura 39: Sinais do Sistema Simples.....	69
Figura 40: Simulação de Atuação do Sistema Simples	70
Figura 41: Predição de Velocidade	71
Figura 42: Comparação de Desempenho entre Sistema Simples e Com Previsão de Velocidade	72
Figura 43: Acelerações e Frenagens Intensas	74
Figura 44: Acelerações e Frenagens Intensas - Função de Pertinência	75
Figura 45: Curvas Intensas.....	76
Figura 46: Curvas Intensas - Função de Pertinência.....	77
Figura 47: Variação de Velocidade.....	78
Figura 48: Variação de Velocidade - Função de Pertinência.....	78
Figura 49: Velocidade Média.....	79
Figura 50: Velocidade Média - Função de Pertinência.....	80
Figura 51: Desvio em Relação a Velocidade Média.....	81
Figura 52: Desvio em Relação a Velocidade Média - Função de Pertinência.....	81
Figura 53: Variação de Arfagem.....	82
Figura 54: Variação de Arfagem - Função de Pertinência.....	83
Figura 55: Carga Máxima por Rotação.....	84
Figura 56: Variação da Carga Normalizada.....	85
Figura 57: Variação da Carga Normalizada - Função de Pertinência.....	86
Figura 58: Esportividade da Direção - Função de Pertinência	87
Figura 59: Esportividade da Direção	87

Figura 60: Correção de Carga – Função de Pertinência	88
Figura 61: Correção de Carga	89
Figura 62: Comparação - Simulação Sistema com Previsão de Velocidade X Sistema Fuzzy	90
Figura 63: Índices de Esportividade e Correção de Carga no Trecho em Questão ...	91

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	1
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	3
2.1 TRANSMISSION'S FUZZY LOGIC KEEPS YOU ON TRACK [1]	3
2.2 NEURO FUZZY TRANSMISSION CONTROL FOR AUTOMOBILE WITH VARIABLE LOADS [2]	4
2.3 ADAPTIVE GEARSHIFT STRATEGY BASED ON GENERALIZED LOAD RECOGNITION FOR AUTOMATIC TRANSMISSION VEHICLES [3]	5
2.4 FUZZY LOGIC IN AUTOMOTIVE ENGINEERING [6]	6
3 OBJETIVOS.....	7
4 METODOLOGIA	8
4.1 SISTEMA DE AQUISIÇÃO DE DADOS	8
4.2 SINAIS A SEREM OBSERVADOS	12
4.2.1 Sinais Aquisitados via Aparelho Celular.....	12
4.2.2 Dados Aquisitados via Porta OBD II.....	13
4.2.3 Parâmetros que Influenciam nas Trocas de Marcha	14
4.3 PRÉ-PROCESSAMENTO DOS SINAIS E CALIBRAÇÃO DE SENSORES.....	18
4.3.1 Sinais do Veículo – Porta OBD	18
4.3.2 Acelerômetro	18
4.3.3 Giroscópio	18
4.3.4 Magnetômetro	19
4.3.5 Sinais via Interface Gráfica	19
4.4 PROCESSAMENTO DOS SINAIS	20
4.4.1 Velocidade do Veículo	20
4.4.2 Ângulo de Arfagem do Veículo.....	21
4.4.3 Aceleração do Veículo Devido Mudança de Velocidade.....	21
4.4.4 Aceleração Total Líquida Exigida do Motor	22
4.4.5 Carga do Motor.....	22
4.4.6 Rotação do Motor	23
4.4.7 Identificação de Marchas.....	23
4.5 ESTIMATIVA DAS CURVAS DE POTÊNCIA E TORQUE DO MOTOR	24

4.6 ESTIMATIVA DO COMPORTAMENTO DO VEÍCULO	26
4.7 CÁLCULO DA MARCHA IDEAL INSTANTÂNEA	26
4.8 SISTEMA SIMPLES DE TROCA DE MARCHAS	27
4.8.1 <i>Determinação do Tempo de Troca de Marcha</i>	28
4.8.2 <i>Sinais de Referência e Filtros</i>	29
4.9 SISTEMA SIMPLES COM PREDIÇÃO DE VELOCIDADE	30
4.9.1 <i>Predição da Velocidade</i>	30
4.9.2 <i>Sinais de Referência e Filtros</i>	30
4.10 SISTEMA COM LÓGICA FUZZY	31
4.10.1 <i>Definição das Situações de Trabalho</i>	31
4.10.2 <i>Cálculo e Definição dos Sinais de Entrada</i>	32
4.10.2.1 <i>Acelerações e Frenagens Intensas</i>	32
4.10.2.2 <i>Curvas Intensas</i>	33
4.10.2.3 <i>Variação da Velocidade</i>	33
4.10.2.4 <i>Velocidade Média</i>	33
4.10.2.5 <i>Desvio Instantâneo em Relação a Velocidade Média</i>	33
4.10.2.6 <i>Variação de Arfagem no Curto Prazo</i>	34
4.10.2.7 <i>Carga Normalizada</i>	34
4.10.2.8 <i>Variação da Carga Normalizada no Curto Prazo</i>	35
4.10.3 <i>Definição dos Sinais de Saída</i>	35
4.10.3.1 <i>Esportividade da Direção</i>	35
4.10.3.2 <i>Correção de Carga</i>	36
4.10.4 <i>Regras da Lógica Fuzzy</i>	36
4.10.5 <i>Estrutura do Sistema Fuzzy</i>	37
4.11 SISTEMA FUZZY DE TROCA DE MARCHAS CONVENCIONAL	38
4.12 PARÂMETROS DE COMPARAÇÃO DO DESEMPENHO DOS SISTEMAS	39
5 RESULTADOS	41
5.1 PRÉ-PROCESSAMENTO DOS SINAIS E CALIBRAÇÃO	41
5.2 PROCESSAMENTO DOS SINAIS	43
5.2.1 <i>Velocidade do Veículo</i>	43
5.2.2 <i>Aceleração do Veículo Devido Mudança de Velocidade e Aceleração Total Líquida Exigida do Motor</i>	45

5.2.3 Ângulo de Arfagem	46
5.2.4 Carga do Motor.....	48
5.2.5 Rotação do Motor.....	50
5.2.6 Identificação de Marchas.....	52
5.3 INFORMAÇÕES COMPILADAS DO COMPORTAMENTO DO VEÍCULO	54
5.3.1 Informações da 1ª Marcha	54
5.3.2 Informações da 2ª Marcha	55
5.3.3 Informações da 3ª Marcha	56
5.3.4 Informações da 4ª Marcha	57
5.3.5 Informações da 5ª Marcha	58
5.4 ESTIMATIVA DAS CURVAS DE POTÊNCIA E TORQUE DO MOTOR	59
5.4.1 Comportamento Esperado na 1ª Marcha.....	60
5.4.2 Comportamento Esperado na 2ª Marcha.....	61
5.4.3 Comportamento Esperado na 3ª Marcha.....	62
5.4.4 Comportamento Esperado na 4ª Marcha.....	63
5.4.5 Comportamento Esperado na 5ª Marcha.....	64
5.5 MARCHA IDEAL INSTANTÂNEA	65
5.6 SISTEMA SIMPLES DE TROCA DE MARCHAS	67
5.6.1 Determinação do Tempo de Troca de Marchas	67
5.6.2 Sinais de Referência e Filtros.....	69
5.6.3 Desempenho do Sistema	70
5.7 SISTEMA SIMPLES COM PREDIÇÃO DE VELOCIDADE	71
5.7.1 Predição de Velocidade	71
5.7.2 Desempenho do Sistema	72
5.8 SISTEMA COM LÓGICA FUZZY	73
5.8.1 Sinais de Entrada.....	73
5.8.1.1 Acelerações e Frenagens Intensas	73
5.8.1.2 Curvas Intensas.....	76
5.8.1.3 Variação de Velocidade.....	77
5.8.1.4 Velocidade Média.....	79
5.8.1.5 Desvio Instantâneo em Relação a Velocidade Média	80
5.8.1.6 Variação de Arfagem no Curto Prazo	82
5.8.1.7 Carga Normalizada.....	83

5.8.1.8 Variação da Carga Normalizada no Curto Prazo.....	85
5.8.2 Sinais de Saída	86
5.8.2.1 Esportividade da Direção	86
5.8.2.2 Correção de Carga	88
5.8.3 Desempenho do Sistema	90
6 CONCLUSÃO	93
7 LISTA DE REFERÊNCIAS	95
ANEXO A – INFORMAÇÕES SOBRE OS TRAJETOS PERCORRIDOS	97
ANEXO B – DESEMPENHO SIMULADO DOS SISTEMAS	99
ANEXO C – RESUMO DO DESEMPENHO DOS SISTEMAS.....	105
ANEXO D – PROGRAMAS UTILIZADOS	106
ANEXO E – DADOS COLETADOS E PROCESSADOS	107

1 INTRODUÇÃO

O controle da caixa de câmbio de um automóvel está diretamente ligado a experiência do usuário. Optar por um veículo automotor com câmbio automático ou automatizado é uma opção cada vez mais comum devido ao conforto e à redução do custo deste sistema, visto que no passado era uma opção muito mais cara.

As caixas de câmbio automático foram evoluindo desde caixas controladas mecanicamente até caixas de câmbio eletronicamente controladas, que permitem um controle mais fino e inteligente a respeito das trocas de marcha.

A lógica fuzzy é utilizada em algumas caixas de câmbio devido a complexidade de modelagem do problema e ao grande número de fatores que influenciam na troca de marchas. Alguns câmbios possuem até a capacidade de aprender e realizar alterações na estratégia de troca de marchas com a maneira de dirigir do motorista de uma maneira iterativa.

Porém, ainda hoje é possível observar exemplos de caixas de câmbio automáticas que ainda possuem falhas de controle como por exemplo o Nissan Sentra modelo 2012 com seu câmbio CVT automático que praticamente desengrena o carro em declives, sendo potencialmente perigoso nessas situações.

Outra situação que pode ser observada em alguns carros é na situação de uma estrada sinuosa, em que o motorista retira o pé do acelerador durante a curva, mas que logo após a curva, desejará acelerar novamente. Alguns carros, porém, trocam a marcha do veículo ao achar que o motorista não desejará acelerar o veículo em breve, porém essa predição é incorreta. Um motorista de um carro manual não trocaria a marcha nessa situação para evitar perda de potência após a curva.

Esses são apenas alguns exemplos que mostram que ainda há muito o que melhorar em caixas de câmbio automáticas. Este trabalho visa investigar alguns dos fatores que influenciam na troca de marchas, até mesmo a influência de fatores inesperados como ar condicionado ligado ou não, se os vidros estão abertos ou fechados, localização GPS do veículo, número de ocupantes, entre outros.

Portanto espera-se desenvolver um sistema de controle de marchas inteligente que melhora o desempenho geral do sistema a fim de proporcionar maior prazer ao dirigir, economia de combustível e segurança aos ocupantes do veículo possibilitando a concepção de carros melhores e mais inteligentes no futuro, tendo também aplicação em veículos autônomos.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Foi feita uma breve revisão bibliográfica afim de tomar conhecimento de alguns problemas e as soluções encontradas para alguns problemas relacionados ao controle fuzzy de caixas de câmbio automáticas e automatizadas.

2.1 Transmission's fuzzy logic keeps you on track [1]

Este artigo trata sobre o problema de dirigir num declive, em que um motorista experiente diminuiria a marcha para poupar os freios e dirigir com mais segurança. O texto diz que o problema de dirigir num declive é muito diferente de um aclave, em que as equações a serem utilizadas no controle são muito bem definidas e conhecidas. Num declive, porém, é mais vantajoso utilizar as técnicas fuzzy.

O Saturn citado no texto utiliza seis variáveis fuzzy para realizar o controle num declive: inclinação, velocidade, posição do pedal, tempo de aplicação do breque, breque com alta desaceleração e o movimento com aceleração.

O texto também cita que o controle da transmissão pode ter diferentes personalidades, ou seja, pode atuar de uma maneira mais agressiva e esportiva ou mais confortável, e a preferência entre essas personalidades depende do usuário.

Também foi citado o tamanho do código, entre 400 e 500 bytes, que é pouco, e só é possível graças a logica fuzzy utilizar regras simples ao invés de utilizar uma modelagem complexa do sistema.

2.2 Neuro Fuzzy Transmission Control for Automobile with Variable Loads [2]

Este artigo cita o uso de redes neurais em conjunto com lógica fuzzy no sentido de aprender com o motorista e aprender quais são suas intenções baseados em comportamentos passados. A rede neural é ensinada a agir de acordo com as expectativas do motorista.

O artigo cita o fato da necessidade de uma vasta base de dados caso queira utilizar redes neurais. Espera-se que a quantidade de informação adquirida no presente trabalho seja suficiente para encontrar relações importantes.

O sistema em questão citado no trabalho utiliza cerca de 20 sinais para realizar o controle. O trabalho também cita a utilização de mapas de posição do pedal de aceleração por velocidade do veículo que variam de acordo com as diferentes situações identificadas pelo sistema.

No trabalho em questão, a carga do automóvel é estimada por lógica fuzzy a partir da rotação do motor e da posição do pedal de aceleração. Algumas intenções do usuário são inferidas a partir da taxa de variação da posição do pedal de aceleração.

O sistema foi testado num aclave e foi constatado que o sistema proporcionou uma viagem mais suave, economia de combustível e menos emissão de gases poluentes do que técnicas convencionais. A técnica também é aplicável a declives e pistas planas com cargas variáveis.

2.3 Adaptive Gearshift Strategy Based on Generalized Load Recognition for Automatic Transmission Vehicles [3]

Este trabalho cita sobre a alta importância do sistema de controle se ajustar às diferentes situações em tempo real como os tipos de pavimentação e fluxo de tráfego por exemplo. O estudo define o conceito de carga generalizada que reflete as condições da dirigibilidade de forma abrangente.

O artigo também compara o método utilizado com o método de mapas de estratégia de troca de marcha de 3 variáveis e conclui que a forma utilizada dispensa o uso de tais mapas, preservando memória.

O método é dito fácil de implementar e é capaz de identificar as condições de dirigibilidade de maneira eficaz.

Este estudo teve um problema com a aquisição de dados de aceleração e este acabou sendo obtido indiretamente a partir da velocidade de rotação do motor e sua derivada num intervalo de tempo de 300 ms. Foi também utilizado um filtro passa-baixa para as tomadas de decisão do algoritmo.

Este trabalho apresenta uma forma mais analítica de criar uma estratégia de troca de marchas, mas que poderia ser utilizada em conjunto com as técnicas fuzzy a serem utilizadas neste trabalho.

2.4 Fuzzy Logic in Automotive Engineering [6]

Este artigo fala um pouco das várias aplicações da lógica fuzzy em vários sistemas automotivos (ABS, controle de motor e ignição, controle de estabilidade ASC, transmissões adaptáveis e outros). Compara a logica fuzzy com outros métodos de modelagem e ao final, conclui que a lógica fuzzy era uma tendência no campo automotivo.

Sobre o ramo de interesse deste trabalho, foi citado o dilema entre maiores acelerações ou eficiência de combustível. A lógica é simples e não utiliza curvas de motor para isso. Quanto maior o desejo de economizar combustível, o carro deve utilizar a maior marcha possível que consiga manter a velocidade do veículo. E caso o motorista deseje acelerar mais, a marcha mais reduzida deve ser utilizada.

É função da lógica fuzzy saber quando o motorista quer acelerar mais ou não (permitindo economia de combustível).

São citados três deveres da lógica fuzzy:

- Evitar trocas frenéticas de marcha em estradas com muitas curvas ou com muitos vales;
- Entender quando o motorista quer ser mais econômico e quando ele quer uma direção mais esportiva;
- Evitar redução de marcha excessiva (quando uma redução de marcha não traz benefícios ao torque, apenas prejudicando o consumo e desgaste excessivo dos componentes).

Este trabalho procurará atender esses deveres do controle fuzzy citados no artigo.

São apresentados também alguns exemplos de regras fuzzy utilizadas para identificar uma estrada sinuosa.

O artigo também cita transmissões inteligentes e como elas se adaptam à forma de dirigir do motorista.

3 OBJETIVOS

Este trabalho tem a finalidade de utilizar técnicas fuzzy para fazer um controle mais eficiente de caixa de câmbio automotiva.

Primeiramente serão coletadas informações do veículo com a finalidade de construir mapas de troca de marcha para realizar um controle simples da caixa de câmbio. Também serão coletados dados de trajeto como intensidade da chuva, quantidade de passageiros, inclinação da pista e dados de estilo de direção como intensidade de acelerações, frenagens e curvas.

Os sinais supracitados serão utilizados para justificar atuações do sistema fuzzy que irá trazer melhorias no sistema controlado.

O sistema fuzzy agirá de forma a modificar os mapas de troca de marcha conforme algumas tendências relacionadas aos sinais aqusitados de forma a melhorar o desempenho do sistema.

Com o sistema fuzzy, busca-se atingir melhores resultados quando comparado a sistemas menos inteligentes. Serão geradas simulações da atuação de sistemas menos inteligentes para efeito de comparação com o sistema desenvolvido.

Em suma, busca-se maximizar o tempo em que o sistema se encontra na marcha ideal ao mesmo tempo em que não apresente muitas trocas de marcha.

4 METODOLOGIA

4.1 Sistema de Aquisição de Dados

O sistema de aquisição de dados, como citado anteriormente, consiste num aplicativo de celular conectado a um módulo OBD2 Wifi (ver figura 1) conectado ao veículo que é capaz de fornecer a carga do motor, rotação do motor, velocidade do veículo e outros sinais. Sensores internos do aparelho celular como acelerômetro, giroscópio, bússola e GPS também são coletados. O aplicativo também permite outras entradas do usuário como informações a respeito de número de ocupantes, intensidade da chuva, visibilidade entre outros.



Figura 1: Módulo OBD2 – Wifi [4]

A porta OBD2 é uma porta de dados disponível em praticamente todos os veículos relativamente modernos atualmente (visto que sua presença foi mandatória em todos os veículos vendidos e fabricados nos Estados Unidos a partir de 1º de janeiro de 1996 [4]).

O módulo em questão, o OBD2 Wifi permite a comunicação do veículo e um aparelho celular ou computador, permitindo a aquisição de dados do veículo como rotação do motor, velocidade, carga do motor e em modelos mais modernos, posição

do pedal de aceleração consumo instantâneo de combustível, torque instantâneo do motor, consumo de ar, temperatura do ar de admissão e outros números que afetam o desempenho do automóvel. A interface OBD 2 consegue fornecer 4 informações por segundo, ou seja, é importante selecionar os dados a serem observados para não prejudicar a taxa de amostragem dos sinais mais importantes.

Abaixo, encontra-se uma captura de tela do aplicativo desenvolvido especialmente para o presente trabalho. A interface foi otimizada facilitar a captura de variações de parâmetros impostas pelo motorista. Note que o motorista deve realizar as alterações enquanto está dirigindo ou parado por breves momentos, então a variação de parâmetros deve ser fácil e rápida. A gravação dos dados da porta OBD e dos sensores do aparelho celular ocorrem automaticamente.

A interface do aplicativo, intitulada "GRAVANDO", apresenta uma lista de parâmetros com botões deslizantes para seleção de valores. Os parâmetros e seus respectivos valores selecionados são:

- PASSAGEIROS - Quantidade:** 2
- PORTA-MALAS - Carga:** 3
- AR CONDICIONADO:** 0
- JANELAS - Abertura:** 0
- VOLUME - Rádio:** 0
- CHUVA - Intensidade:** 0
- VISIBILIDADE:** 10
- DISPOSIÇÃO - Motorista:** 5
- PRESSA - Motorista:** 5

Figura 2: Captura de tela do aplicativo

O aplicativo está sendo executado num Apple iPhone 6 com sistema operacional versão 10.3.1 (14E304). Porém, devido a simplicidade do programa, espera-se que não ocorram problemas na execução dele em outros dispositivos iOS ou em outras versões do sistema operacional.

Sobre o posicionamento do aparelho celular, procurou-se posicioná-lo próximo ao centro de gravidade do veículo para minimizar as forças inerciais de Coriolis. Segundo o manual do veículo utilizado, o peso do carro está distribuído aproximadamente, 60% nas rodas dianteiras e 40% nas traseiras, portanto, a localização do C.G. é aproximadamente a indicada na figura abaixo, onde foi posicionado o aparelho celular.

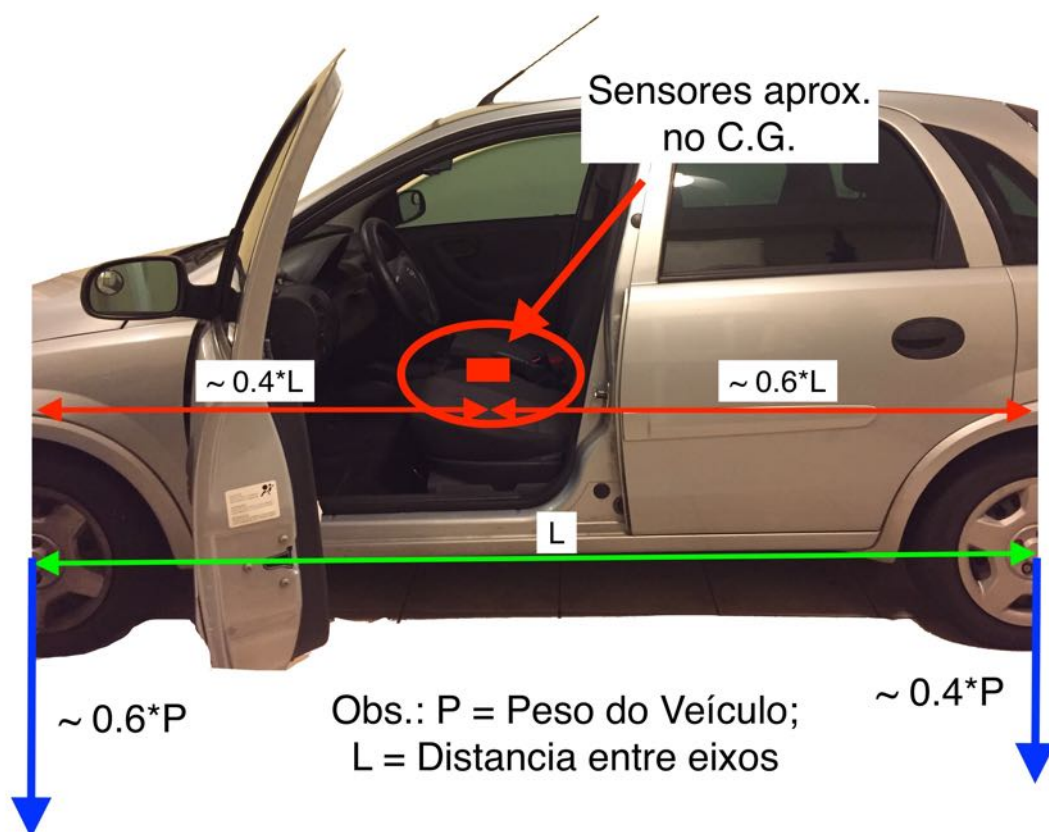


Figura 3: Posicionamento do Aparelho Celular

Além disso, o aparelho é rigidamente fixo no veículo. Foi colada uma capa de celular com cola epóxi no veículo, portanto, com este método minimiza-se ruídos na aquisição dos dados.

Sobre a posição do aparelho celular, foi escolhido posicioná-lo com a tela para cima, para o motorista poder interagir com a interface ao longo do trajeto e com o eixo Y voltado para a traseira do carro (ver figura abaixo).

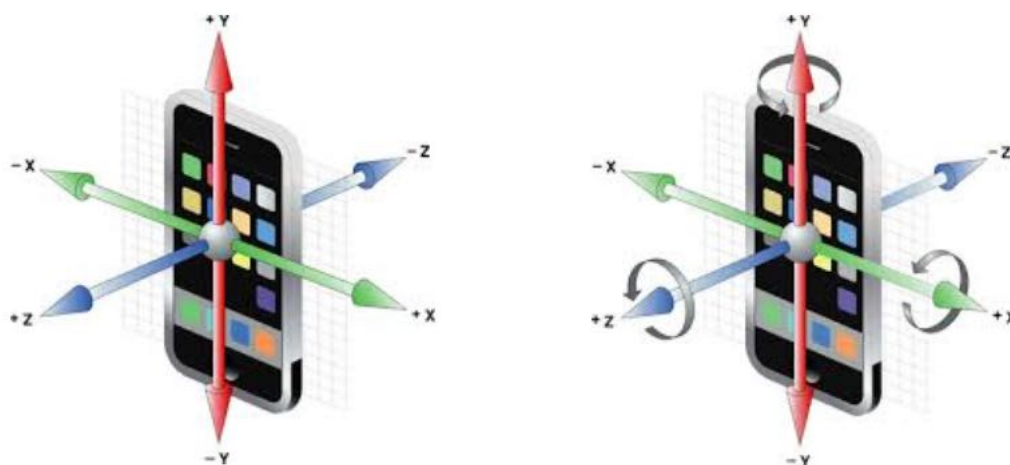


Figura 4: Sistema de coordenadas do Aparelho Celular [9]

4.2 Sinais a Serem Observados

4.2.1 Sinais Aquisitados via Aparelho Celular

Atualmente, um celular moderno contém uma ampla gama de sensores disponíveis para permitir o desenvolvimento de uma grande diversidade de aplicativos úteis ao usuário. Este trabalho utiliza os sensores disponíveis no celular, um Apple iPhone 6, para realizar a aquisição de uma grande variedade de sinais que culminará numa melhor estratégia de troca de marchas.



Figura 5: Sensores Aquisitados via Celular [10]

A figura acima resume os sensores disponíveis no celular que serão utilizados neste trabalho. Estes sinais serão identificados por A_ para simplificar alguns textos deste trabalho.

O aplicativo também dispõe de uma interface que permitirá o usuário introduzir algumas informações adicionais. Este “sensor” será identificado por U_ (ver figura a seguir).

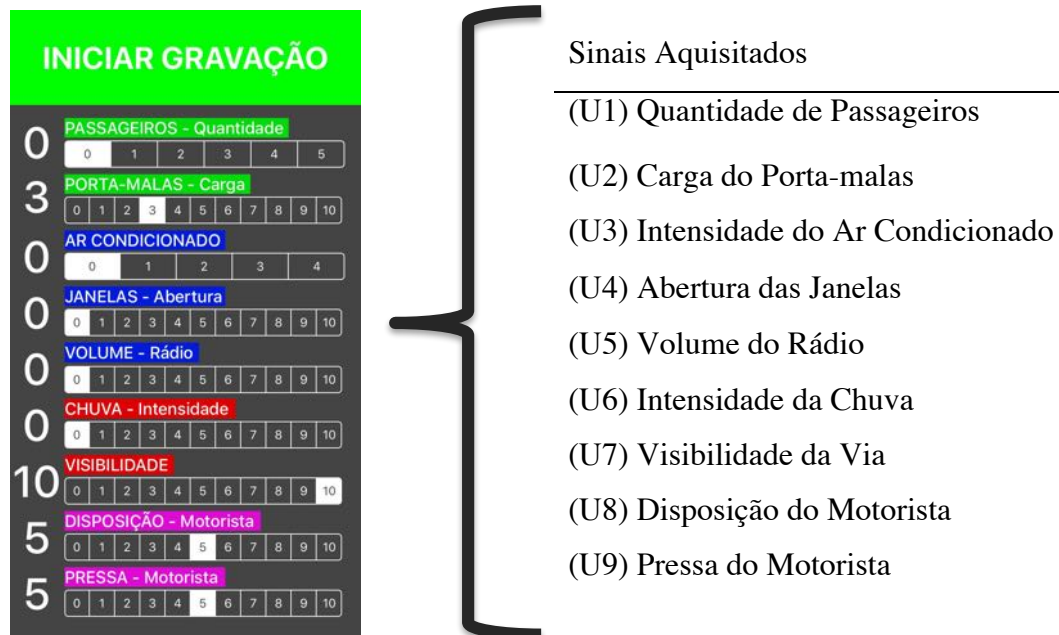


Figura 6: Sensores Aquisitados via Interface

4.2.2 Dados Aquisitados via Porta OBD II

A porta de dados OBD II permite a informação de muitos dados de status do veículo, porém, é raro que um veículo tenha disponível todos os sensores possíveis.

Dentre os sensores disponíveis, os que são de interesse ao trabalho são os mostrados na figura a seguir. Estas fontes de dados serão identificadas por B_.

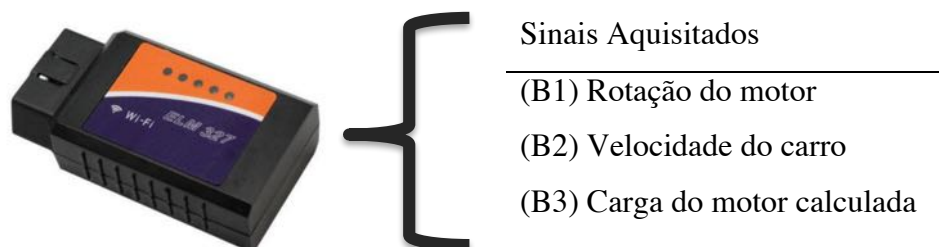


Figura 7: Sinais adquiridos através da porta OBD II [4]

4.2.3 Parâmetros que Influenciam nas Trocas de Marcha

São muitos os fatores que influenciam e que podem influenciar na estratégia de troca de marchas. A referência [3] cita fatores como resistência ao rolamento da via, carga carregada pelo veículo, ângulo de aclive e declive, o uso do GPS para melhor identificar rampas e outras cargas e a velocidade do veículo.

Adicionalmente aos parâmetros citados, a referência [1] cita posição do acelerador, tempo de aplicação do breque, aplicação do breque com alta intensidade, declive com velocidade acelerada com o pedal de aceleração não pressionado. Esta última referência também cita a importância da maneira de dirigir do motorista, se ele quer uma direção mais agressiva e esportiva, ou se quer uma direção mais confortável e suave.

Outros estudos como o [5], citam a quantidade de curvas na via como outro fator importante pois um motorista evitaria ficar mudando muito de marcha durante a curva, mesmo que ele reduza a aceleração durante as curvas, pois desejará acelerar o carro novamente ao final das curvas.

A seguir, foi feita uma lista de parâmetros a serem observados com base nos estudos apresentados e outros fatores que podem influenciar na esportividade de direção do motorista.

Tabela 1: Sinais a serem observados

ID	Sinal
S1	Velocidade do automóvel
S2	Rotação do motor
S3	Carga do Motor
S4	Inclinação da via
S5	Intensidade das acelerações
S6	Intensidade das frenagens
S7	Intensidade das curvas
S8	Frequência de ocorrência de aclives e declives
S9	Frequência de ocorrência de acelerações intensas
S10	Frequência de ocorrência de frenagens intensas
S11	Frequência de ocorrência de curvas
S12	Quantidade de passageiros
S13	Carga do Porta-malas
S14	Intensidade do Ar-Condicionado
S15	Abertura das janelas
S16	Volume do Rádio
S17	Intensidade da chuva
S18	Visibilidade da Via
S19	Disposição do motorista
S20	Pressa Do Motorista
S21	Velocidade máxima da via, estimada
S22	Aderência do terreno
S23	Horário do dia
S24	Dia da semana

Algumas observações a respeito dos sinais a serem observados são que, os sinais mais básicos que indicam a marcha a ser utilizada são a velocidade do veículo e a carga do motor ou posição do pedal de aceleração (que infere o desejo do motorista acelerar o carro). A partir destas informações, os carros automáticos ou semiautomáticos mais simples utilizam mapas para a troca de marcha (ver figura abaixo).

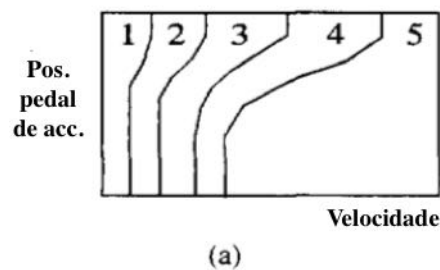


Figura 8: Mapa de troca de marcha de 2 variáveis [2]

Porém, com mudanças na carga do veículo (como por exemplo, inclinação da via, mais passageiros, ar condicionado ligado, janelas abertas, porta-malas cheio e outros) alteram este mapa, pois o veículo precisará, em geral, utilizar uma marcha reduzida para atravessar alguns trechos. Ou seja, o mapa apresentado na figura anterior deverá ser modificado, o que adiciona outras dimensões ao mapa (ver figura abaixo).

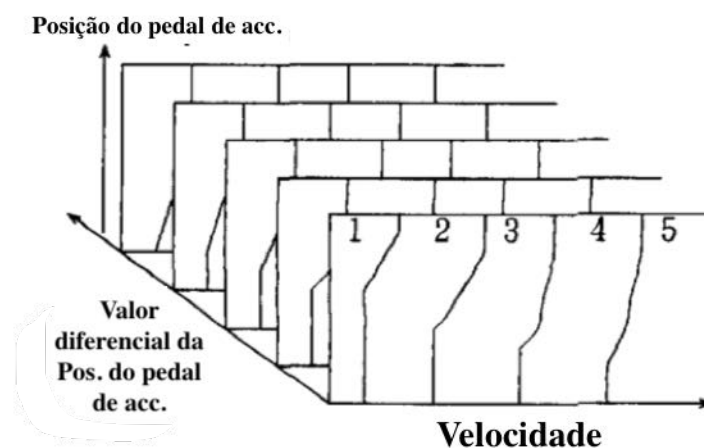


Figura 9: Mapa de troca de marcha de 3 variáveis [2]

O mapa de 3 variáveis utiliza o exemplo da derivada da posição do pedal de aceleração. Quanto maior a derivada do sinal, o programa interpreta que o motorista quer dirigir o carro de uma maneira mais agressiva ou esportiva, ou seja, o veículo deve permanecer numa marcha reduzida para permitir acelerações mais intensas e assim atender as expectativas do usuário. (É possível verificar na figura que quanto maior a derivada da posição do pedal de aceleração, maior a região do mapa ocupada pela primeira marcha). Alguns outros sinais que permitirão inferir a esportividade da direção desejada pelo motorista são intensidade de acelerações e frenagens, a ocorrência destes, o horário do dia e dia da semana (relacionados a disposição física do motorista).

Os parâmetros escolhidos para serem observados são relacionados com a carga do veículo, condições da via e clima (que podem interferir na agressividade de direção em que um motorista dirigirá com mais cautela em situações mais perigosas e em vias com menos aderência dos pneus), estado do motorista (um motorista com sono dificilmente dirigirá o carro numa maneira mais esportiva), quantidade de curvas e vales na via (dependendo da frequência, o motorista pode optar por deixar numa marcha mais reduzida ao invés de aumentar a marcha sempre que possível por julgar que economia de combustível é menos significativa que a disponibilidade de torque).

Adicionalmente, alguns sinais, como a velocidade do veículo, podem ser aferidos com diversos sensores (GPS, velocidade através da ECU do carro e acelerômetro do aparelho celular). Este trabalho utilizará vários sensores sempre que possível para reduzir a incerteza de medição de alguns sinais.

É também importante notar que a relação entre os sinais a serem observados e as trocas de marcha são incertas. As relações deverão ser validadas por métodos estatísticos e redes neurais se uma quantidade significativa de dados estiver disponível. Após encontrar tais relações, através da observação de um motorista experiente, finalmente será possível realizar o controle fuzzy da caixa de câmbio.

4.3 Pré-Processamento dos Sinais e Calibração de Sensores

Os sinais que são aquisitados contêm ruídos e alguns também necessitam de calibração. Para remover os ruídos, cada sinal necessita de um tratamento prévio a efetiva utilização dos mesmos.

4.3.1 Sinais do Veículo – Porta OBD

Os sinais provenientes da porta OBD tem uma taxa de amostragem baixa de aproximadamente 4Hz no total. Como estão sendo observados três sinais, a taxa de amostragem de cada sinal é de aproximadamente um segundo, que é aproximadamente cem vezes mais devagar que os sinais de acelerômetro, giroscópio e magnetômetro. Portanto, para reduzir ruídos, transformou-se o sinal de 4Hz num sinal de 100Hz interpolando linearmente os pontos aquisitados.

4.3.2 Acelerômetro

Para o sinal de aceleração, escolheu-se apenas multiplica-lo por 9.81. O sinal é originalmente aquisitado em unidade de gravidade, em que 1 representa 9.81 m/s^2 no sistema operacional do aparelho.

4.3.3 Giroscópio

Verificou-se que o giroscópio do aparelho apresenta um desvio em relação ao zero que pode mudar aproximadamente linearmente ao longo do trajeto, portanto, para processar os sinais do eixo X e Y, foi calculada a integral do sinal e foi removido um polinômio que aproxima a curva do segundo grau.

Para o sinal em Z, que representa as curvas do veículo, foi apenas adicionado um offset para remover ruído de baixa frequência. O sinal em Z não apresentou muito erro, uma hipótese é que o sinal em Z apresenta menos ruído em alta frequência comparando com os outros sinais (o carro vibra muito nos outros eixos).

4.3.4 Magnetômetro

A bússola é provavelmente um dos elementos mais complicados de se utilizar pois o campo magnético terrestre é anômalo e pode sofrer alterações diariamente. Portanto, é necessário calibrá-lo com frequência.

Entretanto, a calibração é simples. Primeiro o sinal é filtrado com um filtro passa baixa do tipo FIR (*Finite Impulse Response*) de 10Hz para remover ruídos de alta frequência. Após isso, calibra-se o sinal de acordo com os dados de giroscópio no eixo Z.

Se feito corretamente, ao calcular o vetor magnético resultante, o mesmo deve sempre apresentar o valor de 1 ao longo de todo o trajeto.

4.3.5 Sinais via Interface Gráfica

Os sinais com origem na interface gráfica, vide dados informados pelo usuário como os especificados na figura 6 são de origem qualitativa e podem mudar ao longo do trajeto. Quando o usuário informa uma modificação de alguma condição o aplicativo grava o horário da mudança e informa o novo valor.

Seu pré-processamento, então, significa transformar esses sinais pontuais em um sinal de 100Hz (mesma taxa de amostragem dos outros sinais) que indicaria a atual condição dos parâmetros.

4.4 Processamento dos Sinais

A seguir, os dados devem ser efetivamente utilizados para calcular informações mais detalhadas do trajeto, das condições do veículo e da via.

4.4.1 Velocidade do Veículo

A taxa de amostragem da velocidade do veículo é baixa de acordo com as necessidades do trabalho. Portanto, utiliza-se o acelerômetro disponível no aparelho celular para calcular a velocidade entre os pontos informados pelo veículo. Faz-se as seguintes operações:

$$V(0) = V_{OBD}(0) [m/s] \quad (1)$$

$$V(0) + \int_{t(0)}^{t(1)} accY - a = V(1) = V_{OBD}(1) [m/s] \quad (2)$$

Sendo:

$V(0)$: Velocidade real no instante 0 [m/s];

$V(1)$: Velocidade real no instante 1 [m/s];

$V_{OBD}(0)$: Velocidade informada pela OBD no instante 0 [m/s];

$V_{OBD}(1)$: Velocidade informada pela OBD no instante 1 [m/s];

$t(0)$: Tempo no instante 0 [s];

$t(1)$: Tempo no instante 1 [s];

$accY$: Aceleração no eixo Y (do aparelho celular) [m/s^2];

a : Fator de correção [m/s^2].

Com isso, determina-se o fator de correção “a” e calcula-se as velocidades intermediárias entre os pontos informados pela OBD.

4.4.2 Ângulo de Arfagem do Veículo

O ângulo de arfagem do veículo é calculado de acordo com o fator de correção “a” especificado no item 4.4.1. A hipótese é que o fator de correção se deve principalmente a componente da gravidade do vetor Y do acelerômetro. Porém esse sinal contém erro que é minimizado com um filtro passa baixa do tipo FIR de 0.1Hz e posterior correção de defasagem.

O sinal da componente Y da aceleração é então transformado em ângulo de arfagem em graus de acordo com as seguintes equações:

$$acc_{Grav_Y} = a_{filt.} \quad (3)$$

$$arfagem = \arccoseno\left(\frac{acc_{Grav_Y}}{9.81}\right) * \left(\frac{180}{\pi}\right) [Graus] \quad (4)$$

Sendo:

$a_{filt.}$: Fator de correção “a” filtrado com o filtro FIR, 0.1Hz [m/s^2].

4.4.3 Aceleração do Veículo Devido Mudança de Velocidade

Ao derivar o novo sinal de velocidade, com maior taxa de amostragem devido ao acelerômetro, obtém-se o sinal de aceleração devido a velocidade do veículo. Porém, a aceleração obtida é muito ruidosa que leva a utilizar um filtro passa baixa do tipo FIR de 10Hz com posterior compensação de defasagem. Portanto, a nova aceleração será igual a:

$$acc_{dv_{filt.}} = Filtro, FIR, 10Hz: \left(\frac{d}{dt}(acc_Y - acc_{Grav_Y})\right) [m/s^2] \quad (5)$$

Sendo:

$acc_{dv_{filt.}}$: Aceleração devido a mudança de velocidade, filtrada [m/s^2];

acc_{Grav_Y} : Aceleração em Y devido a gravidade.

4.4.4 Aceleração Total Líquida Exigida do Motor

A aceleração total exigida do motor (em instantes em que não ocorre frenagem) é então igual a soma da aceleração exigida devido a troca de velocidade do veículo com a componente da gravidade devido a algum aclave ou declive da via, ou seja:

$$acc_{Total} = acc_{Grav_Y} + acc_{dv_{filt.}} \text{ [m/s}^2\text{]} \quad (6)$$

4.4.5 Carga do Motor

Primeiramente, é necessário especificar que a carga a que esse trabalho se refere é relacionada com a potência máxima indicada do motor. Ou seja, a carga é máxima quando o motor está trabalhando em plena carga para a rotação de maior potência consumida, nesse caso hipotético a carga seria igual a 100%. Caso a carga seja de 50% para uma dada situação, a potência indicada é metade da carga de referencia máxima.

Após o pré-processamento do sinal de carga obtém-se um sinal de baixa taxa de amostragem com muitos picos e vales muito intensos devido o sinal de carga possuir baixa inércia em relação a taxa de amostragem.

Para calcular melhor esse sinal foi utilizado um filtro de média móvel de 50 amostras (correspondente a 0.5s). Para desconsiderar regiões de picos e vales intensos calcula-se a diferença entre o sinal da média móvel e o sinal linearizado proveniente do pré-processamento. São consideradas “válidas para cálculos” as cargas cujas diferenças absolutas entre os dois sinais são abaixo de um certo valor.

São também excluídos trechos em que as derivadas do sinal pré-processado são maiores ou menores que valores limites definidos.

O sinal de carga é então igual ao sinal da média móvel com valores excluídos de acordo com os limites definidos.

4.4.6 Rotação do Motor

A rotação do motor é calculada de forma semelhante à carga, porém com limites diferentes definidos de acordo com observação dos sinais aquisitados.

4.4.7 Identificação de Marchas

A relação de marcha é identificada principalmente de acordo com a relação entre a velocidade processada do veículo e a rotação do motor processada com um fator de 1000 para melhorar a visualização dos números.

$$rel_{VelRPM} = \frac{1000 * Velocidade_{kmh}}{Rotação_{RPM}} [1000kmh/rpm] \quad (7)$$

Este sinal, devido sua natureza, têm relações preferenciais, que foram utilizados para determinar as relações de cada marcha.

É importante também identificar os instantes em que as marchas estão completamente engrenadas, portanto, utilizou-se limites superiores e inferiores para cada marcha e é considerado marcha completamente engrenada quando a relação entre a velocidade permanece dentro desses limites por pelo menos 1s.

Além disso, considera-se marcha não engrenada quando o veículo se encontra com velocidade igual a zero e quando o motor está em rotação de marcha lenta (no caso, abaixo de 800 rpm e abaixo de limites maiores durante alguns minutos logo após

a partida do motor, pois a marcha lenta após a partida é um pouco superior aos 800 rpm para aquecer o motor).

4.5 Estimativa das Curvas de Potência e Torque do Motor

Para estimar as curvas do motor compilou-se os sinais aqusitados nos trajetos de acordo com a marcha engrenada, carga instantânea do motor, rotação instantânea do motor e a aceleração média gerada pelo conjunto marcha-carga-rotação.

Foram plotados então cinco gráficos, um para cada marcha. E de acordo com as acelerações médias, relações de marcha e massa total estimada em 1519 kg [7] para o veículo somada com uma massa de 90 kg referente a motorista e tanque, estima-se a potência instantânea líquida de cada conjunto carga-rotação.

Ao calcular a média ponderada (em relação a quantidade de pontos aqusitados em cada aceleração média) dos dados de potência de todas as marchas obtém-se a curva de potência média do motor em cavalos-vapor para cada conjunto carga-rotação de acordo com a seguinte equação:

$$Pot_{liquida} = \frac{1.359625}{1000} * (M + m) * acc_{media} * Vel [cv] \quad (8)$$

Sendo:

M: Massa do veículo, 1519 [kg];

m: Massa do motorista somada com um pouco do combustível, 90 [kg];

acc_{media} : Aceleração média correspondente ao conjunto carga-rotação [m/s^2];

Vel: Velocidade do veículo correspondente ao conjunto carga-rotação [m/s].

Após isso, os dados de potência média são então suavizados com média móvel ponderada para eliminar picos e vales irregulares em trechos em que a quantidade de dados disponíveis é escassa.

Ainda sobre o cálculo de potência, é importante observar que para calculá-la a partir da informação das várias marchas do veículo, considera-se que as forças de atrito do motor e as acelerações devido troca de velocidade e inclinação da via são muito mais intensas do que forças aerodinâmicas do veículo e o atrito de rolagem das rodas.

Em outras palavras, considera-se que o efeito da rotação do motor é muito mais importante do que a velocidade do veículo.

Com os dados de potência líquida calcula-se a curva de torque do motor de acordo com a equação a seguir:

$$Torque_{líquido} = \frac{Pot_{líquida} * 735.499 * 60}{2\pi * rpm} [N.m] \quad (9)$$

Sendo:

$Pot_{líquida}$: Potência líquida [cv];

rpm: Rotação do motor correspondente [RPM].

As curvas de potência e torque são, enfim, comparadas com dados informados no manual do veículo para validação dos cálculos que são:

Tabela 2: Dados do motor do veículo [7]

$Potência_{MAX.líquida}$	99 cv (gasolina) @ 6000 RPM 105 cv (etanol) @ 6000 RPM
$Torque_{MAX.líquido}$	129 N.m (gasolina) @ 2800 RPM 131 N.m (etanol) @ 2800 RPM

4.6 Estimativa do Comportamento do Veículo

Após estimar as curvas do motor é possível estimar o comportamento do veículo de acordo com a velocidade, marcha e carga do motor. É necessário apenas realizar o caminho inverso feito das acelerações instantâneas para o gráfico de potência de cada marcha.

Note que nesse modelo os efeitos de atrito da rotação do motor são muito mais relevantes do que os efeitos da velocidade do veículo.

A equação de aceleração correspondente para cada marcha na determinada velocidade e carga é a seguir:

$$acc_{média} = \frac{1000 * Pot_{líquida}}{1.359625 * (M + m) * rpm * rel_{Marcha}} [m/s^2] \quad (10)$$

Sendo:

$Pot_{líquida}$: Potência líquida na rotação e carga especificada [cv];

M: Massa do veículo, 1519 [kg];

m: Massa do motorista somada com um pouco do combustível, 90 [kg];

rpm : Rotação do motor [rpm];

rel_{Marcha} : Relação da marcha escolhida [m/s/rpm]

4.7 Cálculo da Marcha Ideal Instantânea

Com as informações do item anterior, o comportamento do veículo, que é na verdade uma estimativa da aceleração média do veículo de acordo com a marcha selecionada, rotação do motor e a carga do motor desconsiderando as forças de atrito devido a velocidade do veículo, podemos calcular a marcha ideal para trechos de aceleração.

Para tal, foram calculadas as estimativas de aceleração do veículo de acordo com a marcha, velocidade e carga e foi feito um mapa de troca de marchas

simplesmente escolhendo a marcha que proporciona a maior aceleração dado um par qualquer de velocidade e carga.

O atrito devido a velocidade do veículo não altera o mapa resultante pois os atritos estarão sendo traduzidos como carga adicional aplicada ao motor num dado momento.

O mapa na verdade pode ser visto como um guia de qual marcha utilizar para extrair o máximo de potência efetiva do motor dado uma potência indicada, que é proporcional a carga (minimizar a perda por atrito no motor), ver a equação a seguir, para uma dada rotação do motor e dada carga.

$$Ne = Ni - Na \text{ [kW]} \quad (11)$$

Sendo:

Ne : Potência efetiva [kW];

Ni : Potência indicada [kW];

Na : Potência de atrito [kW].

Dado o mapa de marcha ideal, serão feitas simulações com os dados obtidos para calcular a marcha ideal em todos os momentos dos trajetos. Note que uma simplificação do projeto é otimizar o sistema para trechos em que se quer utilizar o motor como fonte de potência, e não como freio.

Note também que esse sinal mostra a marcha ideal instantânea, considerando trocas instantâneas de marchas (impossíveis).

4.8 Sistema Simples de Troca de Marchas

A fim de criar um primeiro sinal para referência de desempenho do sistema a ser sintetizado foi criado um sistema simples de troca de marcha baseado apenas no passado no curto prazo.

O mapa de troca de marchas apresenta a melhor marcha para uma dada combinação de velocidade e carga do motor. Porém, cada rotação possui uma carga máxima limite e se ela for atingida, em um aclave por exemplo, o mapa mostraria que a marcha ideal é a atual e nunca mudaria de marcha, achando que o motorista está satisfeito com aquela marcha, porém, nesse caso, o motorista gostaria de estar acelerando mais.

Portanto, o mapa de troca de marchas foi reposicionado no eixo das cargas um pouco abaixo da ideal, logo, se o motorista estiver na região de máxima carga da rotação, o sistema reduz a marcha, correspondendo as intenções do motorista.

Note que para o motor, os efeitos de aclave e uma aceleração mais intensa são semelhantes.

4.8.1 Determinação do Tempo de Troca de Marcha

Um dos primeiros passos para as simulações de troca de marcha são a determinação do tempo de troca de marcha.

Ele será determinado de maneira bem simples. Ao analisar os dados coletados e processados, será feito um histograma com os tempos entre trocas de marcha e o intervalo com mais ocorrências será considerado o tempo necessário para uma troca de marcha do sistema.

O tempo de troca de marcha é o intervalo de tempo entre uma marcha completamente engrenada para outra completamente engrenada.

Note que, para a determinação desse intervalo de tempo foram apenas utilizadas as trocas de marcha para a marcha seguinte pois as trocas para a marcha anterior são muitas vezes irregulares. Pois são muito sensíveis às intenções do motorista.

4.8.2 Sinais de Referência e Filtros

A estratégia simples de troca de marcha é observar qual foi a marcha ideal num passado próximo (com base nas velocidades e cargas instantâneas) e trocar para a marcha ideal desse passado.

Para reduzir o numero de troca de marchas, será utilizada uma meia janela do tipo *hanning* com 6.5s de cauda com a crista no tempo atual e cauda voltada para o passado (ver figura abaixo).

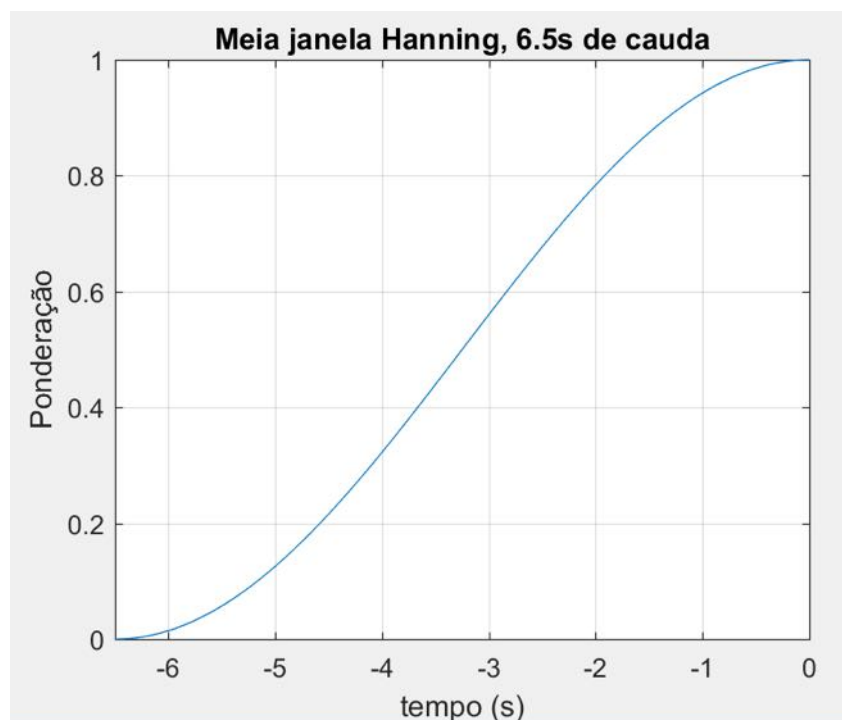


Figura 10: Meia janela Hanning, 6.5s de cauda

4.9 Sistema Simples com Predição de Velocidade

A fim de reduzir o atraso de atuação do sistema simples, idealmente, os dados observados deveriam ser os dados do futuro, mais precisamente com um adiantamento igual ao tempo necessário para a troca de marcha.

Como o sinal da carga varia com uma frequência muito alta, os erros de uma previsão simples seriam muito grandes, o que inviabilizaria o método. Porém, a velocidade não varia com uma frequência tão alta, ou seja, o sinal da velocidade pode ser previsto com base em sua derivada instantânea com pouco erro.

O sinal de melhor “marcha instantânea” repassado ao controlador, nesse caso será a carga instantânea e a velocidade prevista com um adiantamento igual ao tempo de troca de marcha.

4.9.1 Predição da Velocidade

A predição de velocidade foi feita com base na seguinte equação:

$$vel_{+ttm} = ttm * \frac{vel_{instantânea} - vel_{-0.1s}}{0.1} [km/h] \quad (12)$$

Sendo:

ttm : Tempo de Troca de Marchas [s];

vel_{+ttm} : Velocidade prevista em ttm segundos no futuro [km/h];

$vel_{instantânea}$: Velocidade instantânea [km/h];

$vel_{-0.1s}$: Velocidade 0.1s no passado [km/h];

4.9.2 Sinais de Referência e Filtros

Com base na carga instantânea e a velocidade prevista foi calculado um sinal de “melhor marcha prevista”. Nesse sinal foi utilizada a mesma janela *hanning*

utilizada no sistema simples sem previsão para enviar os comandos para o atuador de marcha.

4.10 Sistema com Lógica Fuzzy

Partindo do sistema de controle com previsão de velocidade, um sistema de logica fuzzy ou nebulosa foi implementado para auxiliar nas trocas de marcha, aumentando o desempenho do sistema.

Ao contrário de sistemas fuzzy de controle de marcha convencionais que serão exemplificados no próximo item deste capítulo, o sistema fuzzy age como auxiliar nas tomadas de decisão do algoritmo.

Ou seja, o sistema fuzzy a ser implementado vai identificar algumas situações e modificar os mapas de troca de marcha de acordo com a situação identificada.

4.10.1 Definição das Situações de Trabalho

Numa primeira aproximação, houve uma tentativa de melhorar o controle de maneira geral, independentemente da situação, porém, percebeu-se que a carga era irregular e imprevisível de mais para melhor o sistema em todas as situações.

Então, optou-se por escolher algumas situações comuns e melhorar o controle nessas específicas situações, que levam a uma melhora geral do sistema, uma pequena melhora, porém significativa.

As situações que o sistema fuzzy agirá serão as seguintes:

- Perceber quando o motorista quer uma direção mais esportiva e dar preferência para marchas mais reduzidas;
- Perceber quando o motorista quer manter uma velocidade e:
 - Antecipar uma redução na marcha em entradas de aclives;

- Antecipar reduções de marcha quando a velocidade está abaixo da média (e o motorista provavelmente vai acelerar mais para manter a velocidade).

4.10.2 Cálculo e Definição dos Sinais de Entrada

A fim de desenvolver o controlador proposto, ele deve fazer uso de sinais que indicam como foi o comportamento num passado próximo.

Por exemplo, para saber qual o nível de esportividade que está a direção, o controlador precisa saber como foram as acelerações, frenagens e curvas num passado próximo. A maioria dos sinais mostram como foi a direção no minuto anterior.

E para manter a velocidade, serão analisadas a velocidade e variação de velocidade também no minuto anterior. Para lidar com variações de arfagem será utilizado um passado mais de curto prazo, de no caso em torno de 4s.

A seguir serão dados mais detalhes de como foram o cálculo desses sinais

4.10.2.1 Acelerações e Frenagens Intensas

Primeiramente, o sinal de aceleração devido a velocidade passou por um filtro passa baixa baseado numa janela *hanning*, meia onda com cauda de 3s para remover ruídos de alta frequência.

Após o filtro, foi criado um vetor que indicava 1 para uma aceleração ou frenagem que tinha um valor absoluto igual ou superior a 2m/s^2 . Esse valor foi escolhido pois aparecia apenas em direções mais esportivas no veículo testado.

Partindo desse sinal binário, foi calculada a sua média ponderada segundo uma janela *hanning*, meia onda com cauda de 60s. E esse sinal, que carrega o histórico de até 1 minuto no passado foi utilizado como uma das entradas para o controlador fuzzy.

4.10.2.2 Curvas Intensas

O sinal de curvas intensas foi calculado de maneira análoga ao sinal de acelerações e frenagens intensas. O sinal binário continha 1 para acelerações centrípetas no veículo iguais ou superiores a 2m/s^2 em valor absoluto.

O sinal binário foi tratado da mesma forma que o sinal de acelerações e frenagens.

4.10.2.3 Variação da Velocidade

Para calcular a variação de velocidade foi utilizado o sinal de velocidade no minuto anterior. A média simples da velocidade nessa janela de tempo foi calculada e foi gerado um vetor com os desvios simples em relação a média desse intervalo.

O vetor de desvios teve seus valores elevados ao quadrado e foi calculada a média ponderada desse sinal com meia janela *hanning*, meia onda com 60s de cauda, dando então maior relevância a dados recentes.

4.10.2.4 Velocidade Média

De forma semelhante a variação de velocidade, o sinal da velocidade média utiliza a mesma janela do sinal anterior, porém é calculado com base na média ponderada segundo a janela *hanning* dos valores dentro do intervalo.

4.10.2.5 Desvio Instantâneo em Relação a Velocidade Média

O sinal de desvio instantâneo em relação a média é simplesmente o sinal de velocidade instantânea menos o sinal de velocidade média, citado no item anterior

4.10.2.6 Variação de Arfagem no Curto Prazo

Para mostrar a variação de arfagem no curto prazo são calculados 2 sinais. O primeiro é o sinal da arfagem média dos últimos 1.5s ponderada pela janela hanning de meia onda e o segundo é o mesmo sinal calculado com uma defasagem de 3s no passado. O sinal resultante, que é utilizado como entrada no sistema fuzzy, é o primeiro sinal menos o segundo.

4.10.2.7 Carga Normalizada

O sinal de carga normalizada depende da carga aferida e da rotação do motor. Cada rotação do motor existe uma carga máxima que o motor pode ser submetido, referente a potência gerada quando a garganta de admissão está completamente aberta.

A carga normalizada é, então, a seguinte:

$$Carga_{norm} = \frac{Carga}{Carga_{m\acute{a}x(RPM)}} \quad (13)$$

Sendo:

$Carga_{norm}$: Carga normalizada;

$Carga$: Carga atual;

$Carga_{m\acute{a}x(RPM)}$: Carga máxima da rotação em que se encontra o motor.

A carga máxima para cada rotação será simplificada por uma equação do primeiro grau em função da rotação do motor. Essa equação será determinada de acordo com as cargas observadas nos trajetos.

O sinal de carga normalizada tem uma vantagem em relação a carga pois se for próximo a 1, significa que a marcha deve ser reduzida, pois o motor encontra-se realizando a força máxima para aquela velocidade.

4.10.2.8 Variação da Carga Normalizada no Curto Prazo

A variação de carga normalizada é calculada da mesma forma que o sinal de variação de arfagem. Esse sinal deve aumentar para vencer um aclave.

4.10.3 Definição dos Sinais de Saída

Os sinais de saída do sistema fuzzy são 2. O primeiro é esportividade da direção e o segundo é um sinal de correção de carga. Eles serão detalhados nos seguintes itens.

4.10.3.1 Esportividade da Direção

O sinal de esportividade da direção é um sinal que deve indicar nível de esportividade em que se encontra a direção.

Esse sinal altera os mapas de troca de marcha gerando um segundo mapa de trocas de marcha para o avanço de marcha, se encontrando um pouco abaixo do mapa ideal. Ou seja, uma esportividade alta dificulta o avanço de marcha devido a carga. É como se o sistema soubesse que o motorista tem uma maior chance de querer acelerar mais intensamente, portanto, mantém uma marcha mais reduzida.

O sinal de esportividade também altera um pouco a correção da carga, aumentando um pouco esse sinal para ao mesmo tempo, antecipar as reduções de marcha.

O sinal de esportividade vai de 0 a 1 e, para 1, altera o mapa de avanço de marcha em -10 pontos percentuais de carga. E corrige a carga em +5 pontos percentuais.

Ou seja, no caso de o índice de esportividade ser igual a 1, o motorista deve ter uma carga 15 pontos percentuais abaixo da ideal para habilitar um avanço de marcha.

4.10.3.2 Correção de Carga

O sinal de correção de carga age como uma aposta do sistema que o motorista vai querer acelerar o carro em breve podendo antecipar uma redução de marcha. O sinal de correção de carga vai de 0 a 1 sendo que 1 significa um aumento de 10 pontos percentuais na carga que servirá de entrada para calcular a marcha ideal.

Um sinal elevado, então, antecipa uma redução de marcha pois acha que a probabilidade de o motorista querer acelerar o carro é alta.

4.10.4 Regras da Lógica Fuzzy

Utilizando os sinais supracitados, foi desenvolvido o seguinte conjunto de regras fuzzy:

Referentes a esportividade:

- Se Acelerações-E-Frenagens-Bruscas é Baixa E Curvas-Bruscas é Baixa então Esportividade é Normal;
- Se Acelerações-E-Frenagens-Bruscas é Alta OU Curvas-Bruscas é Alta então Esportividade é Esportiva;
- Se Acelerações-E-Frenagens-Bruscas é Alta E Curvas-Bruscas é Alta então Esportividade é Muito-Esportiva;
- Se Acelerações-E-Frenagens-Bruscas é Alta E Curvas-Bruscas é Média então Esportividade é Muito-Esportiva;
- Se Acelerações-E-Frenagens-Bruscas é Alta E Curvas-Bruscas é Baixa então Esportividade é Esportiva;
- Se Acelerações-E-Frenagens-Bruscas é Média E Curvas-Bruscas é Média então Esportividade é Esportiva.

Referentes a correção de carga, exclusivamente:

- Se Variação-De-Velocidade é Baixa E Velocidade-Média não é Baixa E Desvio-Da-Velocidade-Média é Baixo, então Correção-De-Carga é Médio;
- Se Variação-De-Velocidade é Baixa E Velocidade-Média não é Baixa E Desvio-Da-Velocidade-Média é Muito-Abaixo, então Correção-De-Carga é Alto;
- Se Variação-De-Velocidade é Baixa E Velocidade-Média não é Baixa e Variação-De-Arfagem é Alto e Variação-De-Carga é Baixo, então Correção-De-Carga é Média.

4.10.5 Estrutura do Sistema Fuzzy

O sistema fuzzy (ver figura a seguir) utilizado é um sistema do tipo “Mamdani” com as seguintes especificações:

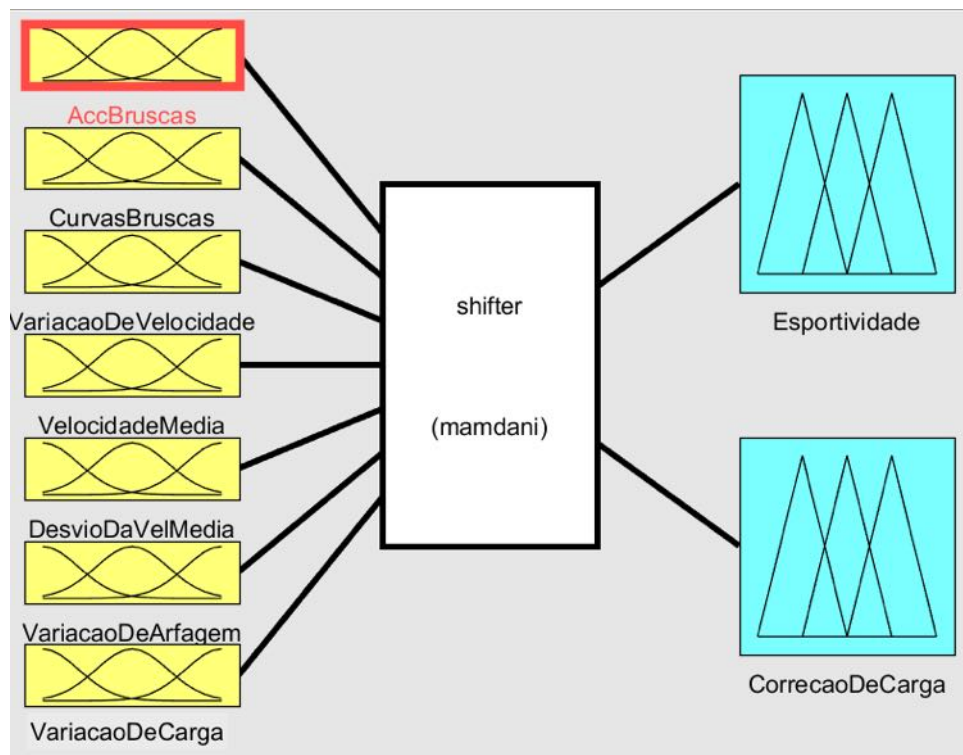


Figura 11: Sistema Fuzzy

Tabela 3: Especificações do sistema fuzzy

Método E	Mínimo
Método OU	Máximo
Método de Implicação	Mínimo
Método de Agregação	Máximo
Método de Defuzzyficação	Centroide

4.11 Sistema Fuzzy de Troca de Marchas Convencional

Um sistema fuzzy de trocas de marcha convencional deve utilizar os seguintes sinais:

- Velocidade;
- Carga do motor;
- Posição do pedal do acelerador.

A posição do pedal do acelerador é a principal variável utilizada pelo motorista para controlar a velocidade de um veículo e as saídas são a velocidade e a carga do motor.

Se o pedal do acelerador for pressionado num aclave, o motorista espera um aumento de carga do motor para conseguir vencer o aclave mantendo a velocidade desejada. E no plano, o motorista espera um aumento de velocidade.

A lógica fuzzy de controle de marcha age equilibrando as variáveis de entrada e saída de acordo com as intenções do motorista que são inferidas através do sinal da posição do pedal.

Algumas regras a serem utilizadas por um sistema desses seriam:

- Se a posição do pedal aumentou muito e carga não aumentou, então reduzir a marcha (quando o motorista quer acelerar o carro, mas o motor já se encontra na carga máxima para aquela rotação);
- Se a posição do pedal é muito baixa e velocidade aumentou, então reduzir a marcha (quando o carro se encontra num declive e o motorista quer manter a velocidade);
- Se a derivada da posição do pedal é muito alta e aumento de carga ou velocidade é médio, reduzir a marcha (Inferindo que o motorista quer acelerações mais intensas ao pisar no acelerador repentinamente);
- Se carga é alta e derivada da posição do pedal é baixa, aumentar a marcha (reconhece que o motorista quer apenas manter a velocidade e aumenta a marcha para economizar combustível).

Esse sistema simplificaria um pouco o trabalho pois é muito mais simples e não exige o estudo das curvas do motor como foi feito nesse trabalho, porém, o veículo utilizado no desenvolvimento não tinha o sensor de pedal de aceleração disponível na porta OBD, inviabilizando o uso desse método.

Optou-se então por desenvolver um sistema que utilizasse a lógica fuzzy de maneira a auxiliar o controle de marchas e deixa-lo mais eficiente.

4.12 Parâmetros de Comparação do Desempenho dos Sistemas

Afim de comparar o desempenho dos sistemas, foram definidas algumas variáveis a serem observadas nos vários trajetos percorridos. Primeiramente, note que os trechos utilizados para calcular os parâmetros excluem momentos em que o motorista real está mudando de marcha, pois essa troca seria feita automaticamente nos sistemas e o motorista age diferentemente quando está mudando de marcha.

Os parâmetros observados foram:

- Taxa de acerto de marcha: Porcentagem de tempo em que a marcha se encontrava na melhor marcha instantânea;
- Taxa de marcha acima: Porcentagem de tempo em que a marcha atual se encontrava acima da ideal, ou seja, o motorista queria acelerar mais o veículo, mas a marcha atual não permitia;
- Taxa de marcha abaixo: Porcentagem de tempo em que a marcha atual se encontrava abaixo da ideal, ou seja, o carro poderia estar economizando combustível estando numa marcha mais elevada.
- Taxa de marcha desengrenada: Porcentagem de tempo em que a marcha se encontrava em posição intermediária, ou seja, em troca de marcha;
- Número de troca de marchas: Número absoluto de troca de marchas durante o trajeto considerando todo o percurso.

Um bom sistema deve primordialmente maximizar a taxa de acerto para maximizar a economia de combustível e minimizar a taxa de marcha acima pois esse sinal dá ao motorista a sensação de que o carro tem uma resposta ruim às suas intenções.

A taxa de marcha abaixo mostra o potencial de melhora na economia de combustível, mas a economia de combustível está melhor relacionada com a taxa de acerto.

5 RESULTADOS

5.1 Pré-Processamento dos Sinais e Calibração

Para melhor visualizar os dados pré-processados, é plotado um painel com os sinais aquisitados (ver figura a baixo).

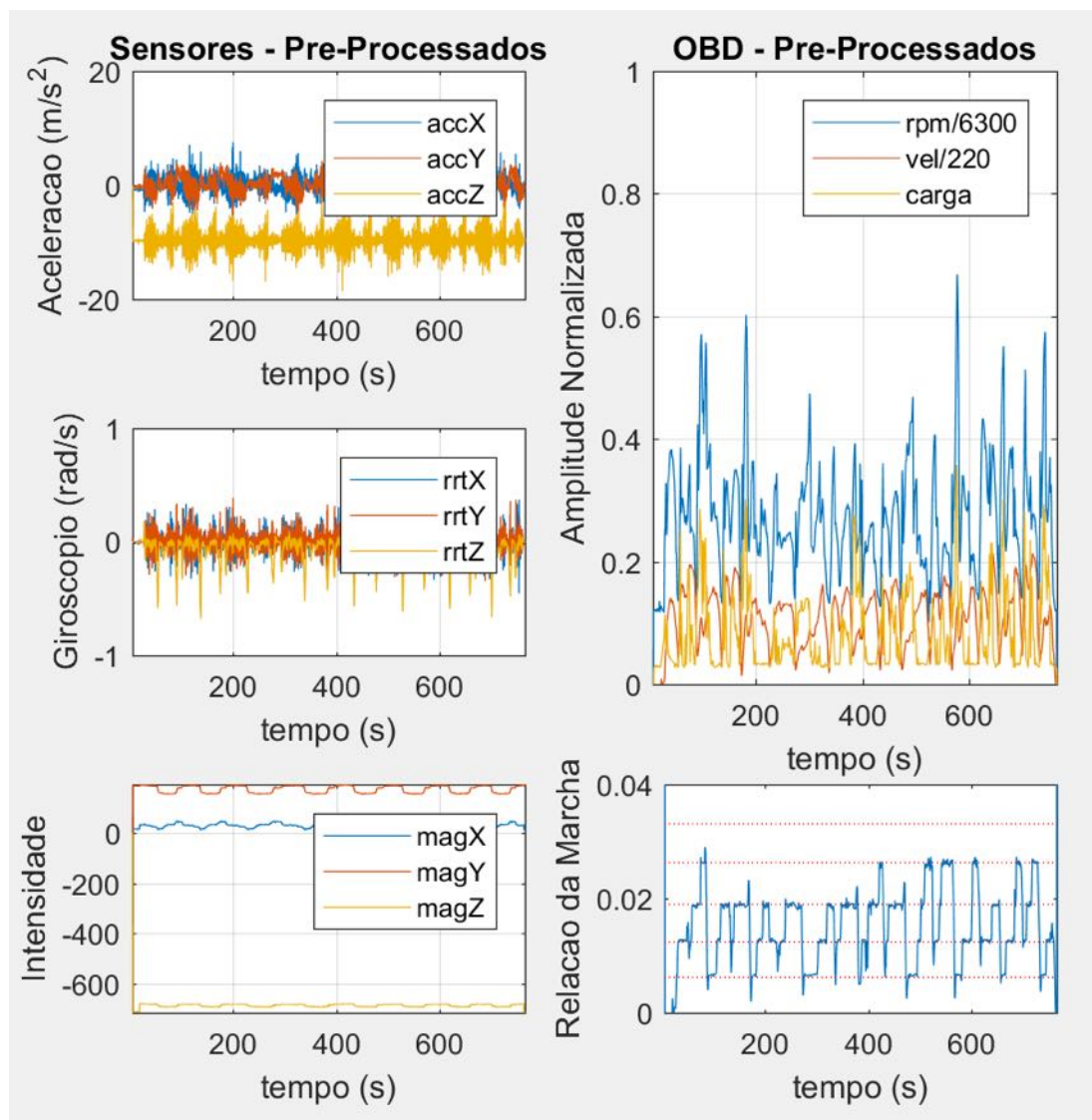


Figura 12: Painel com dados pré-processados

Note que, para o giroscópio, os valores de calibração, que cancelavam o ruído de baixa frequência foram iguais a $+0.012$, $+0.036$ e -0.0025 rad/s para os eixos x, y e z respectivamente. Enquanto para os outros sinais, o pré-processamento é trivial, consistindo em basicamente interpolações lineares e transformações de unidade, como explicado no item 4.

Foi realizado um breve estudo com os dados do magnetômetro, porém considerou-se que ele não acrescentaria informação relevante ao estudo, logo este sinal não foi calibrado. Os sinais de giroscópio no eixo x e y também foram considerados não relevantes, calibrando-os apenas com o valor de desvio estático.

Sobre os dados adquiridos via interface gráfica, o resultado da etapa de pré-processamento de um trajeto arbitrário encontra-se na figura a seguir.

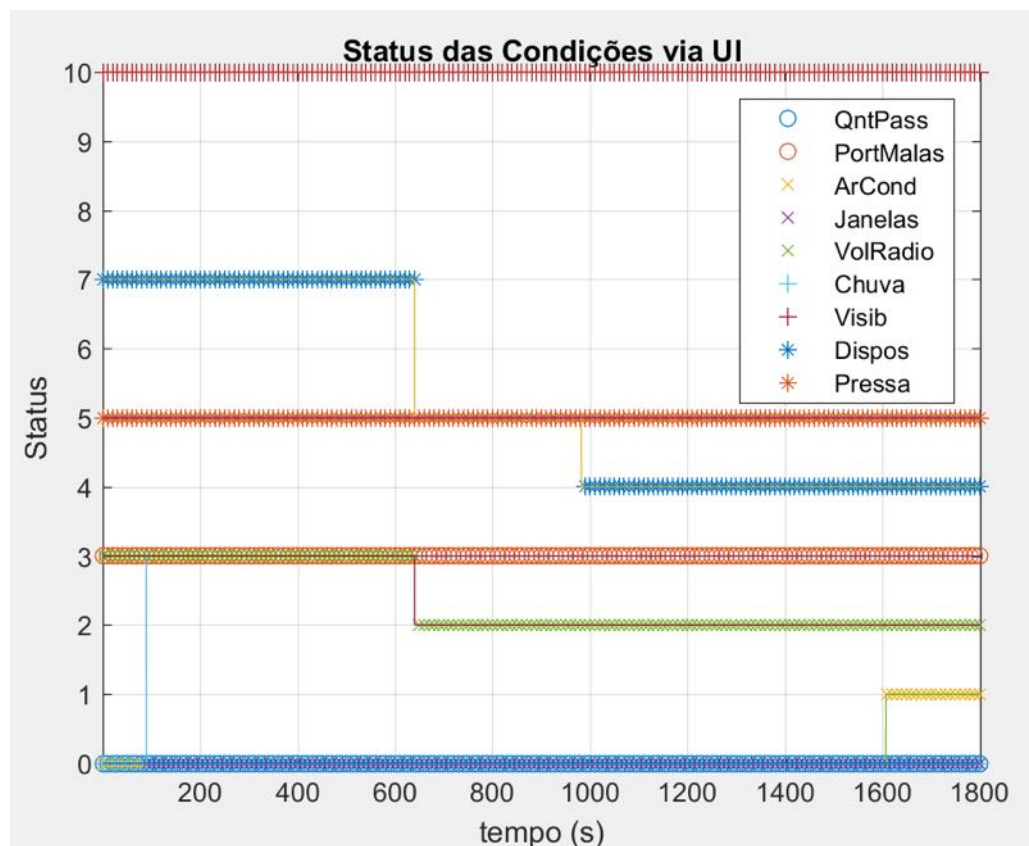


Figura 13: Dados via Interface Gráfica, pré-processados

5.2 Processamento dos Sinais

Após a etapa de pré-processamento, os sinais estão preparados para o processamento de fato. Nos itens a seguir serão mostradas algumas observações sobre etapa de processamento.

5.2.1 Velocidade do Veículo

Após realizar as etapas especificadas no item 4, o sinal de velocidade (com taxa de amostragem de 100Hz) é calculado. Na figura a seguir encontra-se uma comparação dos dados informados pela interface OBD e o sinal processado.

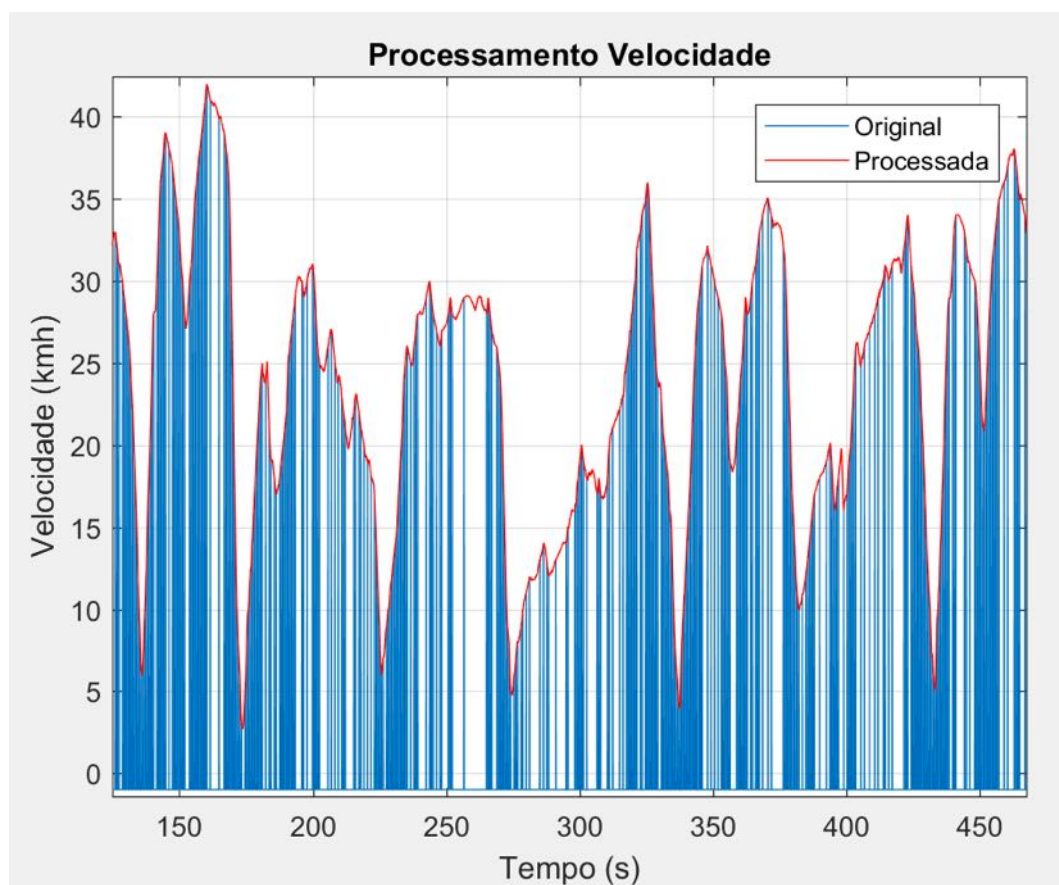


Figura 14: Processamento do sinal de velocidade

Note que em alguns trechos houve alguma falha com o sinal da porta OBD, principalmente próximo ao instante 260s, porém, o processamento robusto foi capaz de informar a velocidade nos pontos intermediários (ver figura abaixo).

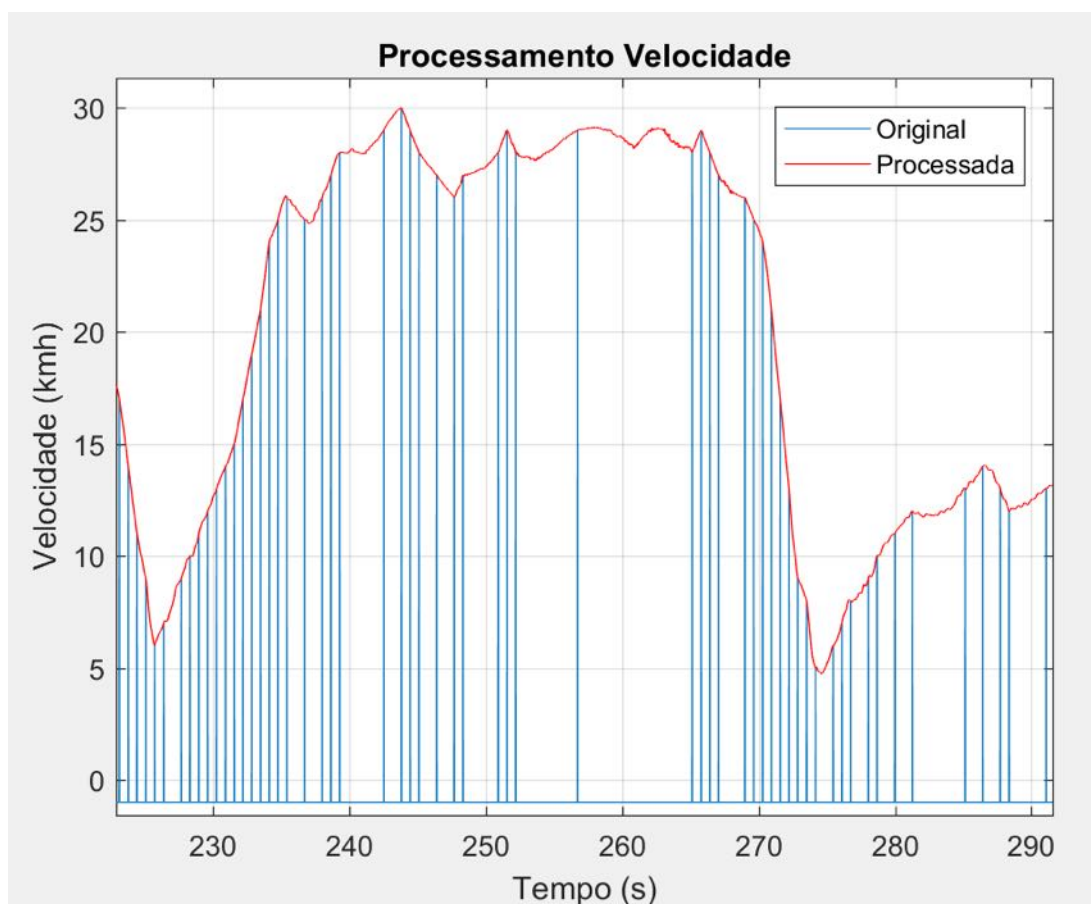


Figura 15: Processamento da velocidade, trecho com falha no sinal OBD

5.2.2 Aceleração do Veículo Devido Mudança de Velocidade e Aceleração Total Líquida Exigida do Motor

Com o método citado no item 4, obtém-se o fator “a” de correção, posteriormente chamado de “componente y da aceleração da gravidade”. A figura a seguir contém o sinal original e o filtrado com correção de defasagem.

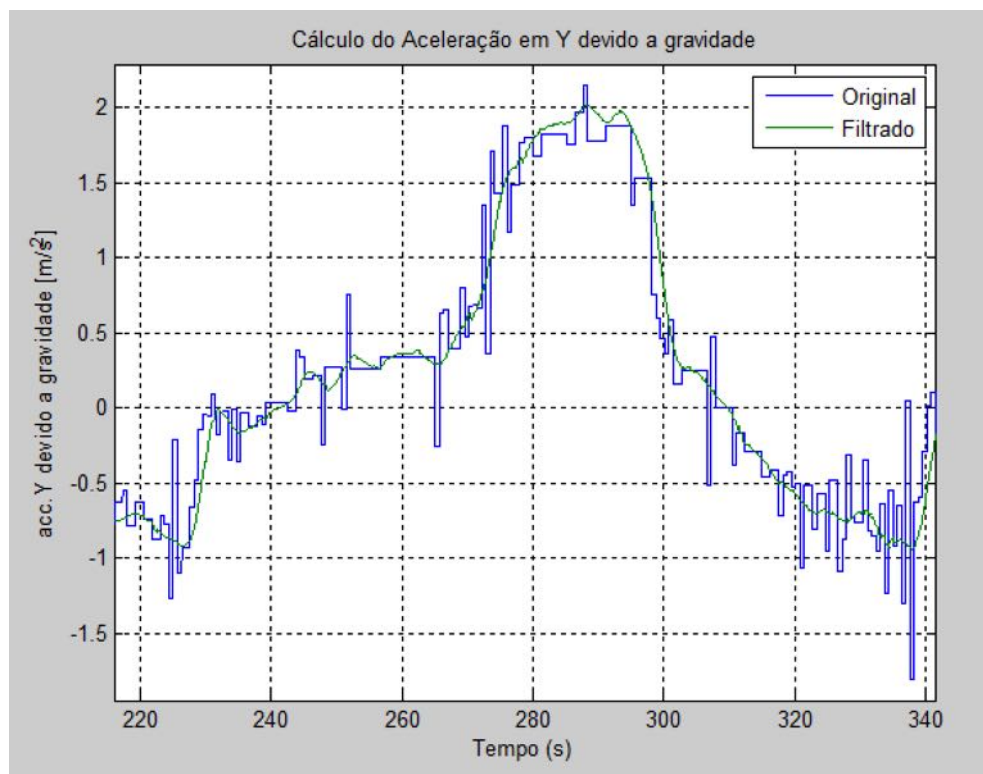


Figura 16: Cálculo da aceleração em Y devido a gravidade

Ao somar o sinal da aceleração em y devido a gravidade com a aceleração filtrada devido a mudança de velocidade, obtém-se a aceleração total exigida do motor (veja a figura a seguir que mostra os componentes de aceleração especificados num trecho com aative e declive).

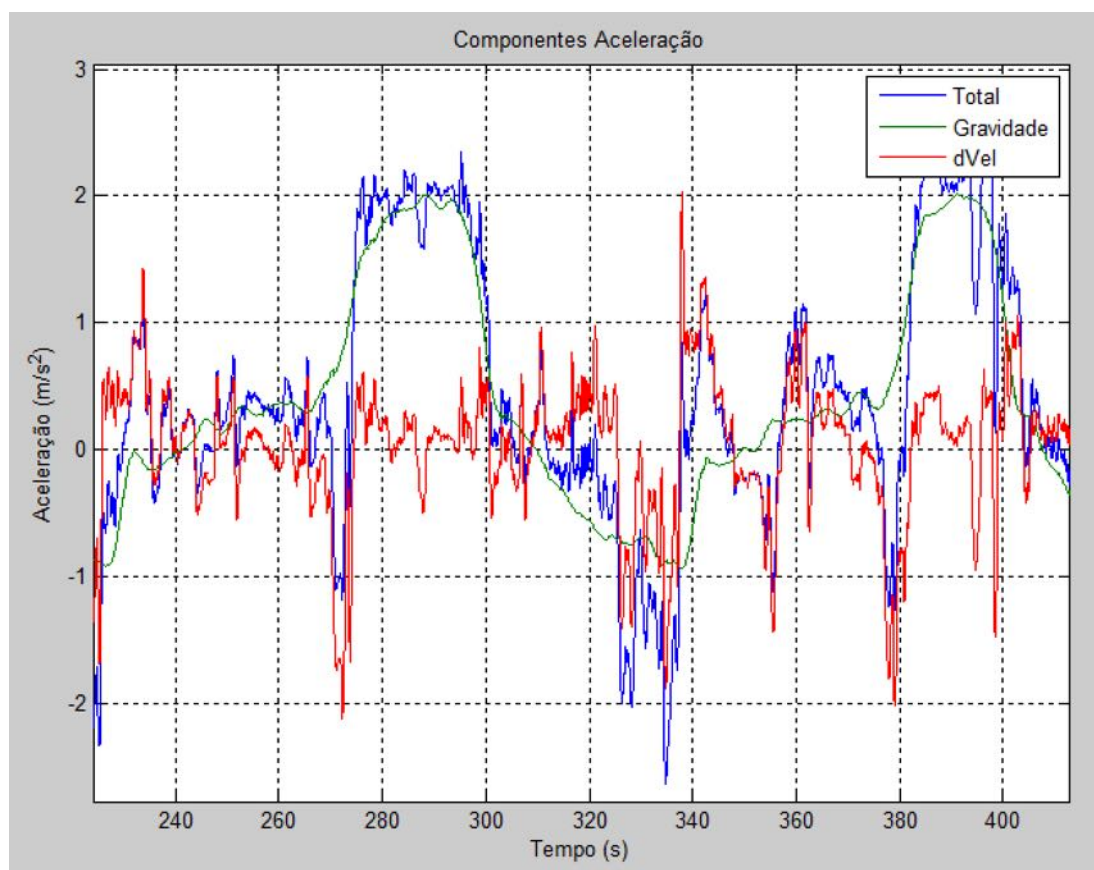


Figura 17: Componentes da aceleração

5.2.3 Ângulo de Arfagem

Com a aceleração da gravidade no eixo y é trivial calcular o ângulo de arfagem do veículo. Para verificar a conformidade dos dados calculados com a realidade, um trajeto com aclives e declives curto foi percorrido 8 vezes, e como o veículo percorreu o mesmo trajeto várias vezes, o ângulo de arfagem deve ser semelhante nas 8 voltas, volta a volta.

A figura a seguir mostra o cálculo do ângulo de arfagem ao longo do trajeto de verificação.

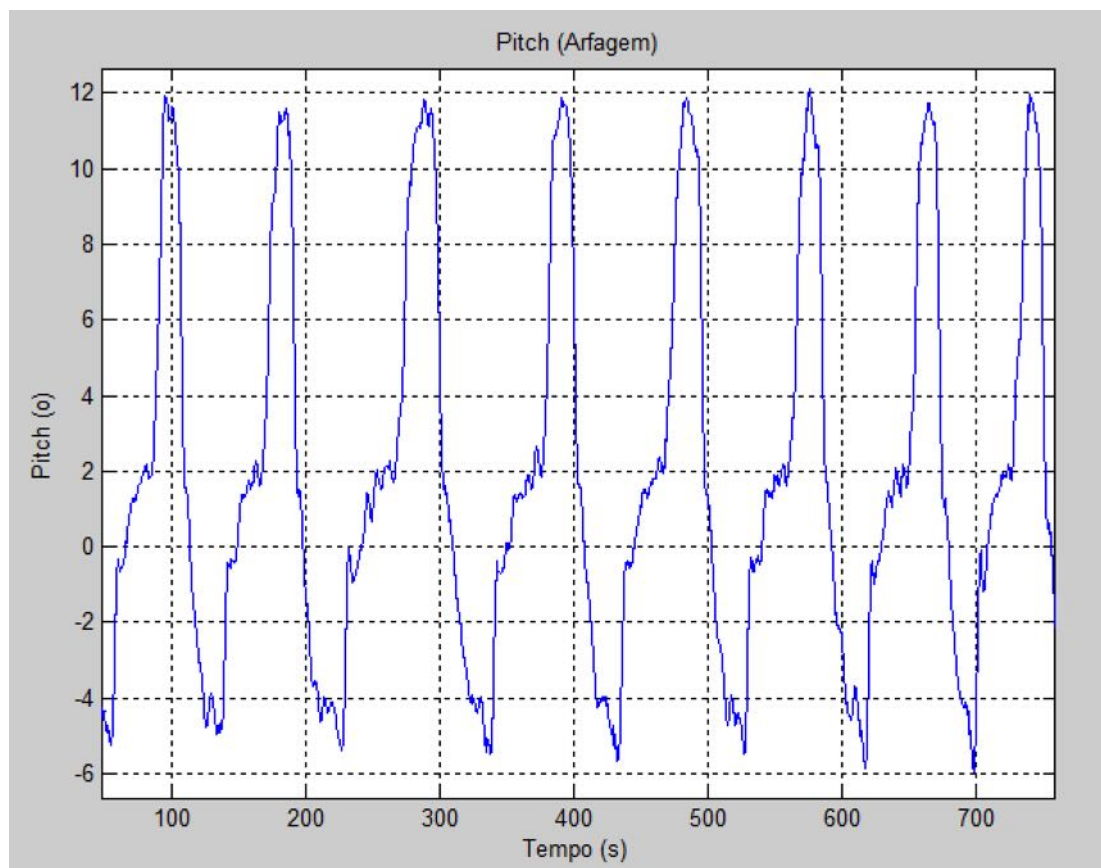


Figura 18: Ângulo de arfagem ao longo de 8 voltas de um trajeto

Ao observar a semelhança entre as 8 voltas, considerou-se que o método se provou confiável.

5.2.4 Carga do Motor

Ao realizar as análises citadas no item 4, obtém-se o seguinte sinal de carga (ver figura a seguir que compara o sinal processado com os dados originais e mostra quais são os valores “confiáveis” ou válidos que podem ser utilizados para cálculo de outros parâmetros).

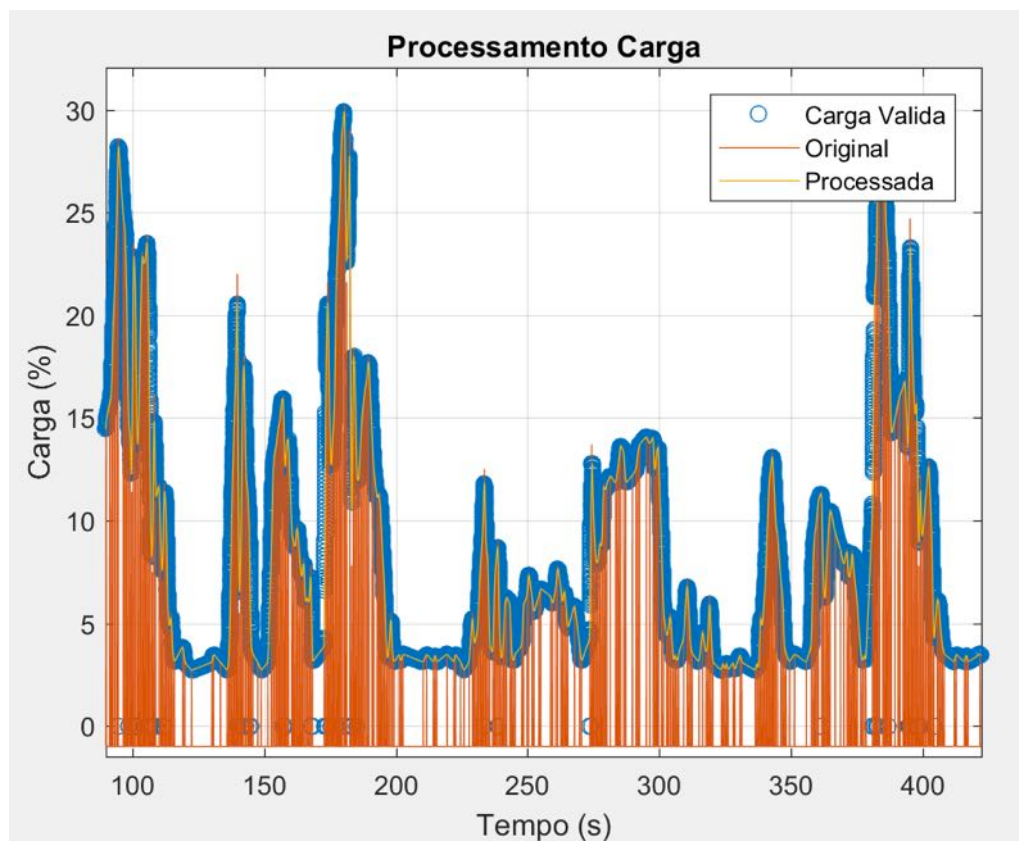


Figura 19: Sinal de Carga (original, processado e válidos)

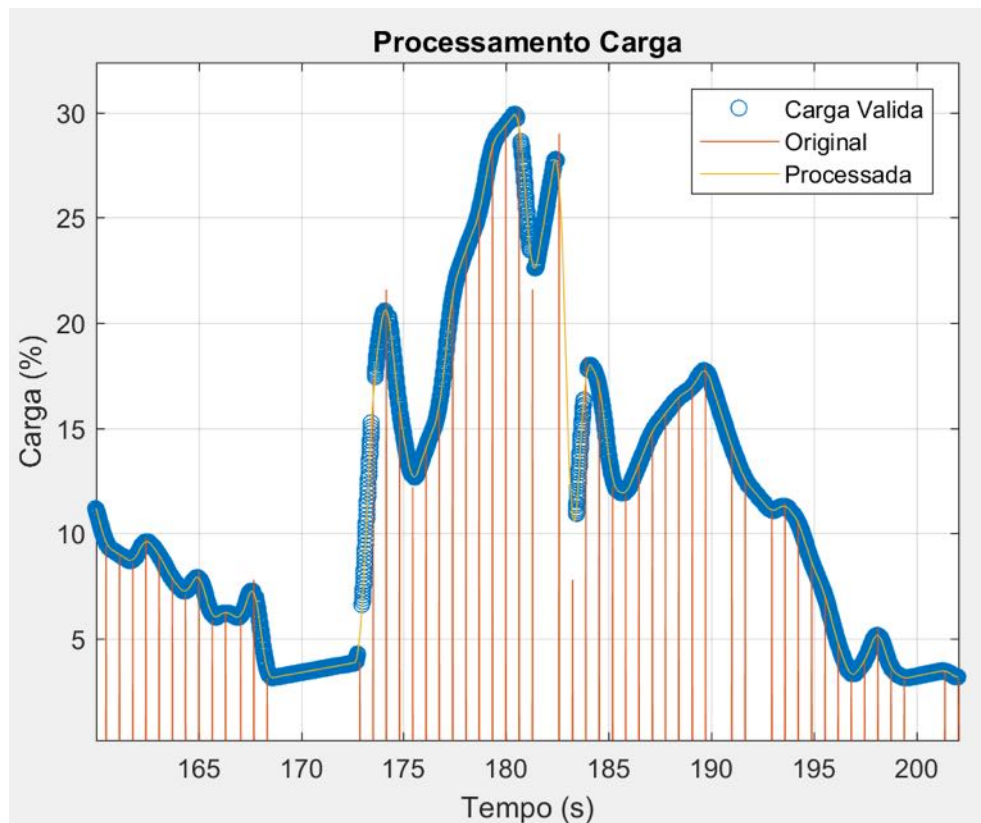


Figura 20: Sinal de Carga (original, processado e válidos) aproximado

Na figura anterior é possível observar um trecho em que o método considerou que a carga não era confiável para utilizá-la em outros cálculos devido variação abrupta.

5.2.5 Rotação do Motor

Ao realizar as análises citadas no item 4, obtém-se o seguinte sinal de rotação do motor (ver figura abaixo que compara o sinal processado com os dados originais e mostra quais são os valores “confiáveis” ou válidos que podem ser utilizados para cálculo de outros parâmetros).

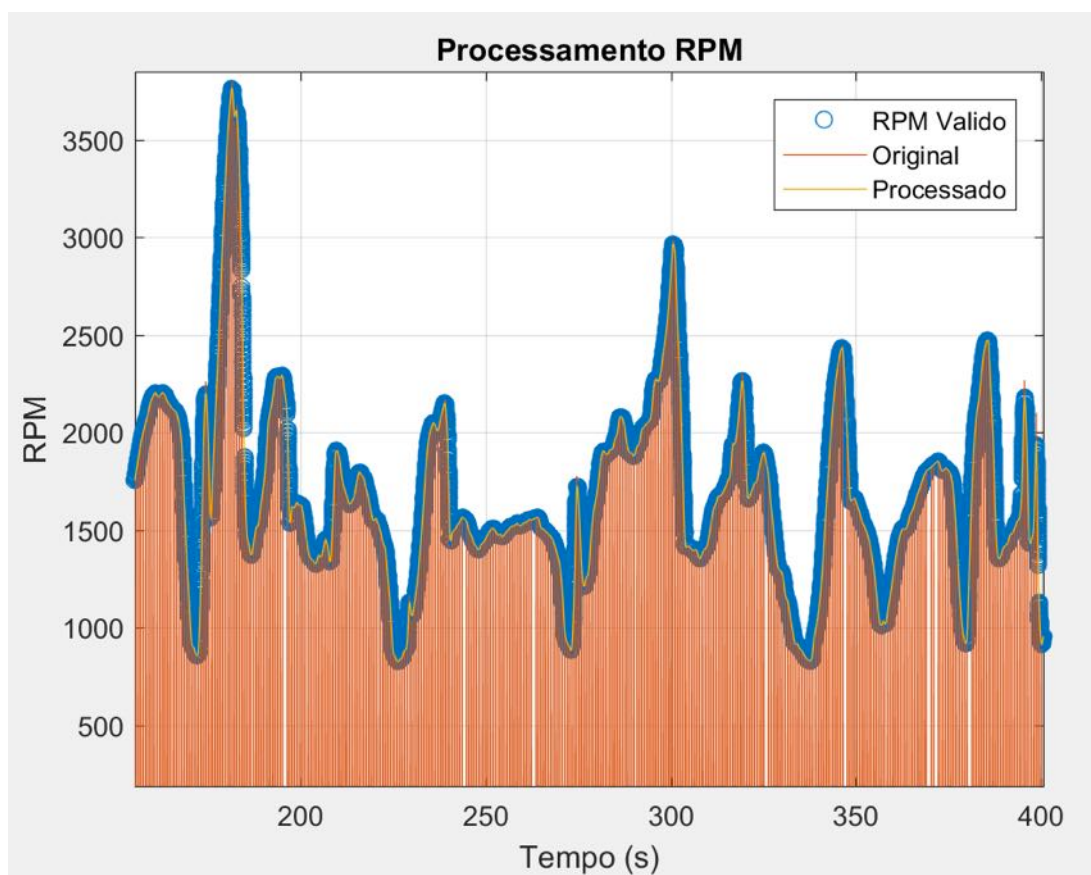


Figura 21: Sinal de Rotação (original, processado e válidos)

E também, na figura a seguir é possível observar alguns trechos em que o método considerou que a rotação não era confiável para utilizá-la em outros cálculos devido variação abrupta ou a proximidade com vales e picos.

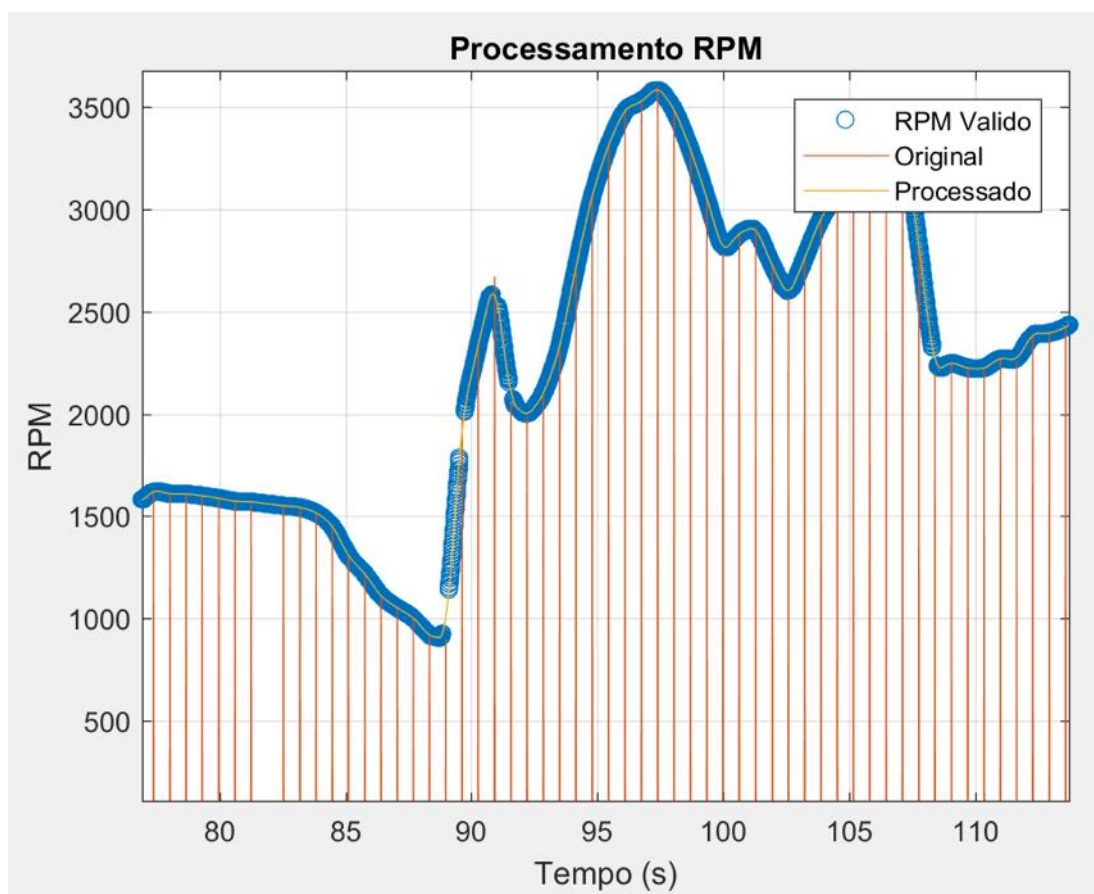


Figura 22: Sinal de Rotação (original, processado e válidos) aproximado

5.2.6 Identificação de Marchas

O sinal de identificação de marchas de um trajeto arbitrário encontra-se na figura a seguir, note que o motorista não utilizou a 5ª marcha nesse trajeto.

E na outra figura é mostrado um trecho em que a marcha lenta é identificada, cancelando qualquer relação de marcha encontrada no instante. Por exemplo, o motorista pode estar trafegando com o veículo desengrenado e a relação de marcha pode ser equivalente a 4ª ou 5ª marcha dependendo da velocidade, nesse caso, para evitar ruídos desse tipo nos dados, identifica-se instantes em que o motor se encontra na marcha lenta, evitando atribuições errôneas a marchas.

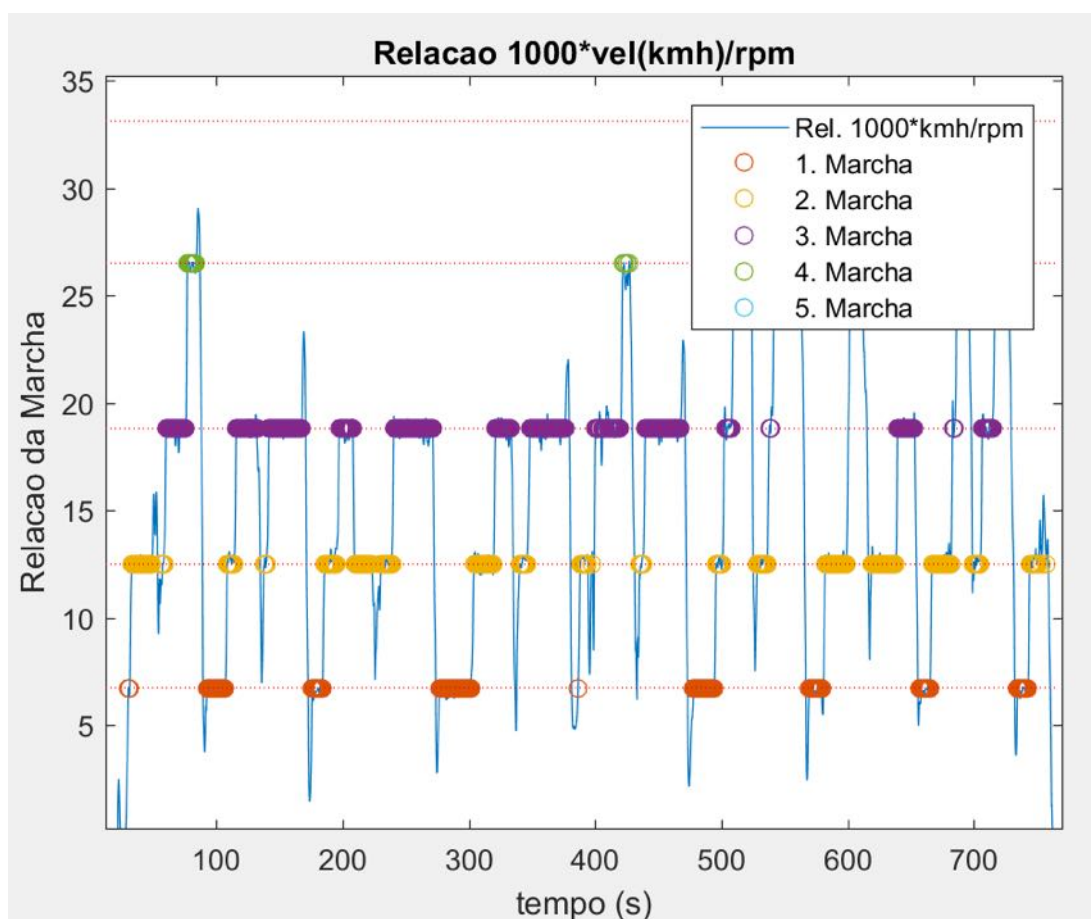


Figura 23: Identificação de marchas

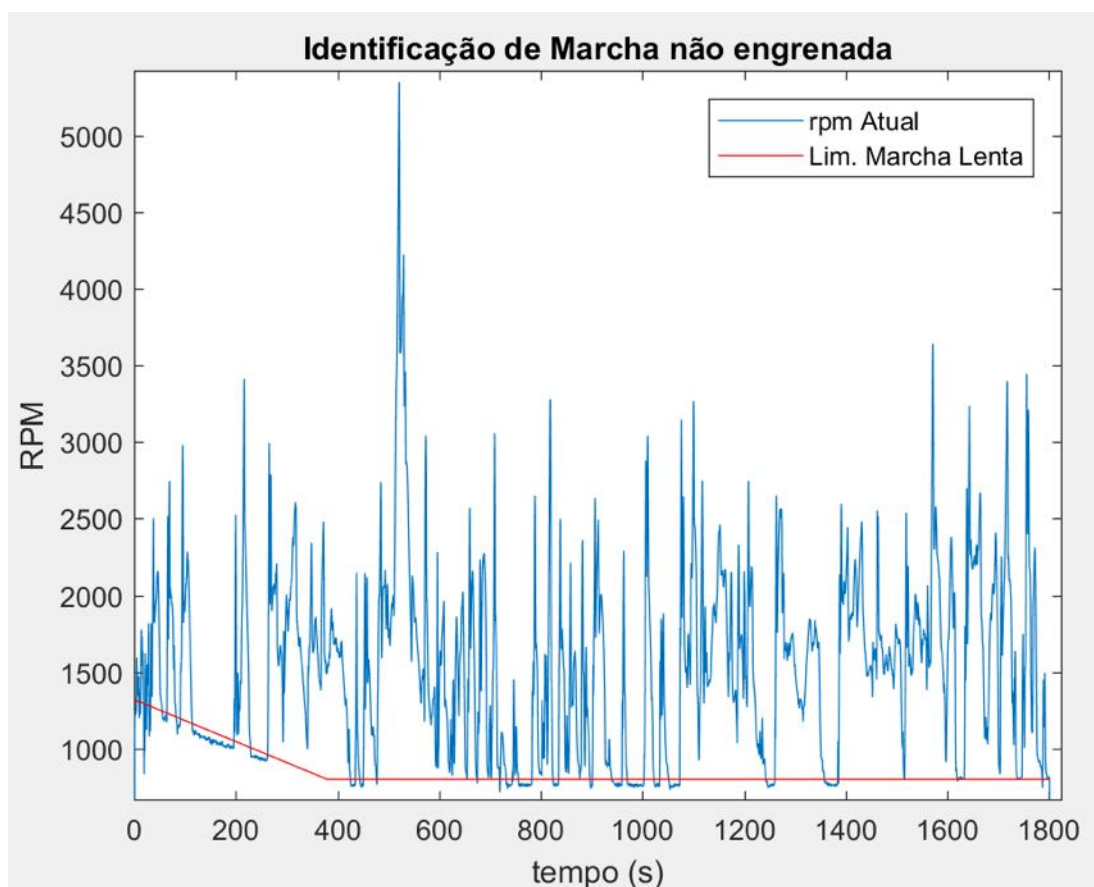


Figura 24: Rotação do motor com limite de marcha lenta

5.3 Informações Compiladas do Comportamento do Veículo

Após o processamento e filtragem de dados, as informações foram organizadas por marcha, carga do motor, velocidade do veículo e aceleração total instantânea, considerando aclives e declives. As informações de cada marcha encontram-se nos itens a seguir. Os dados de potência líquida também foram calculados.

Note que não são mostrados valores negativos pois excluiu-se instantes de freio motor e frenagem comum das análises.

5.3.1 Informações da 1ª Marcha

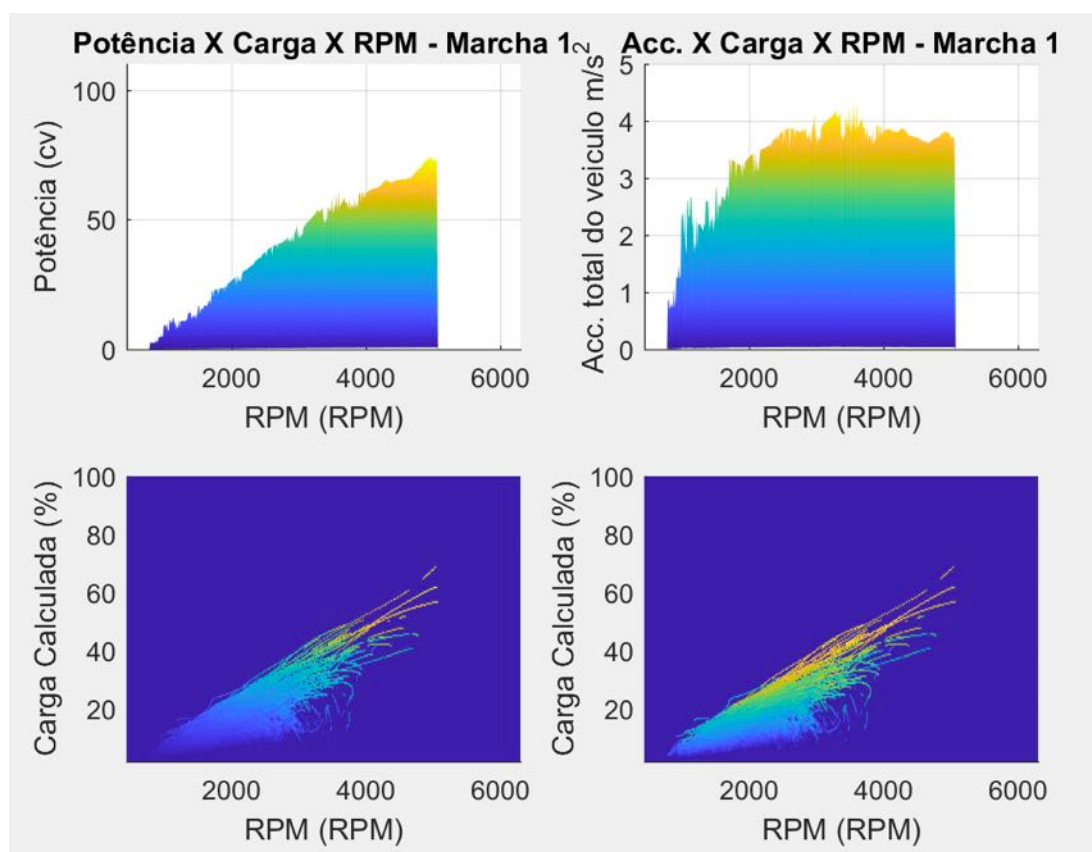


Figura 25: Dados adquiridos na 1ª Marcha

5.3.2 Informações da 2ª Marcha

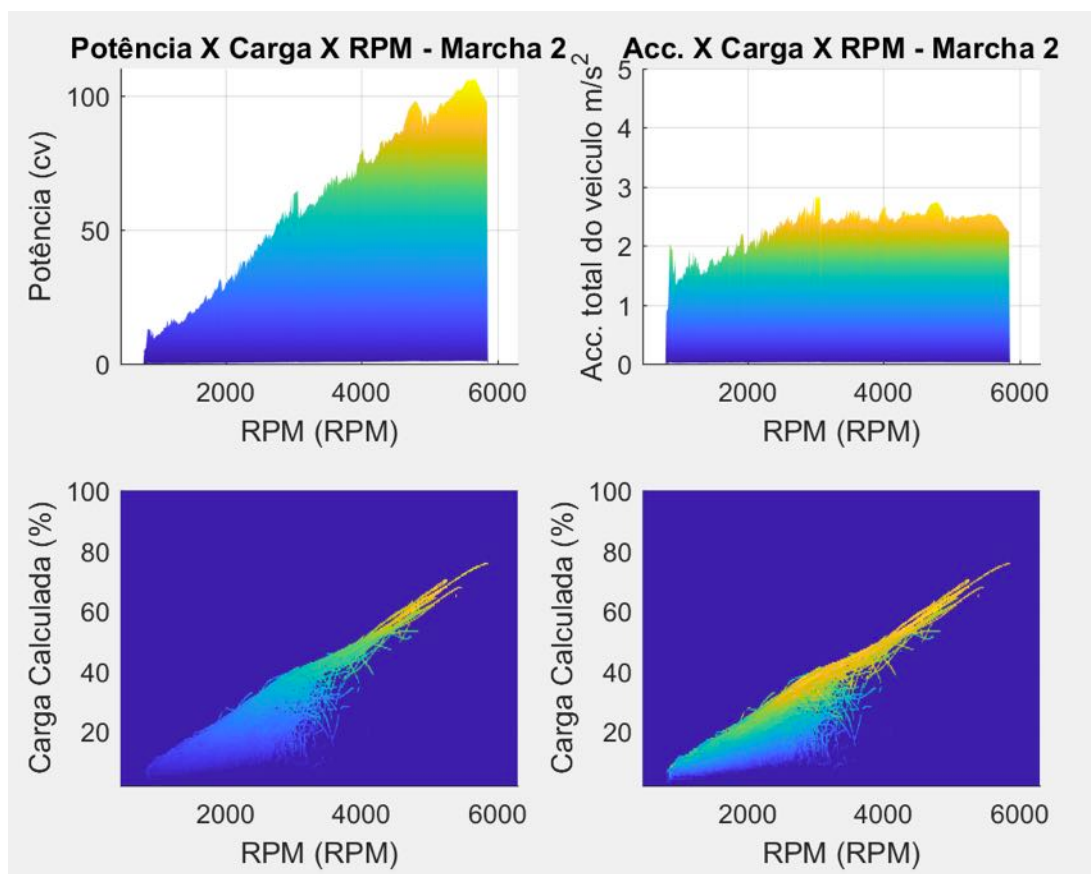


Figura 26: Dados adquiridos na 2ª Marcha

5.3.3 Informações da 3ª Marcha

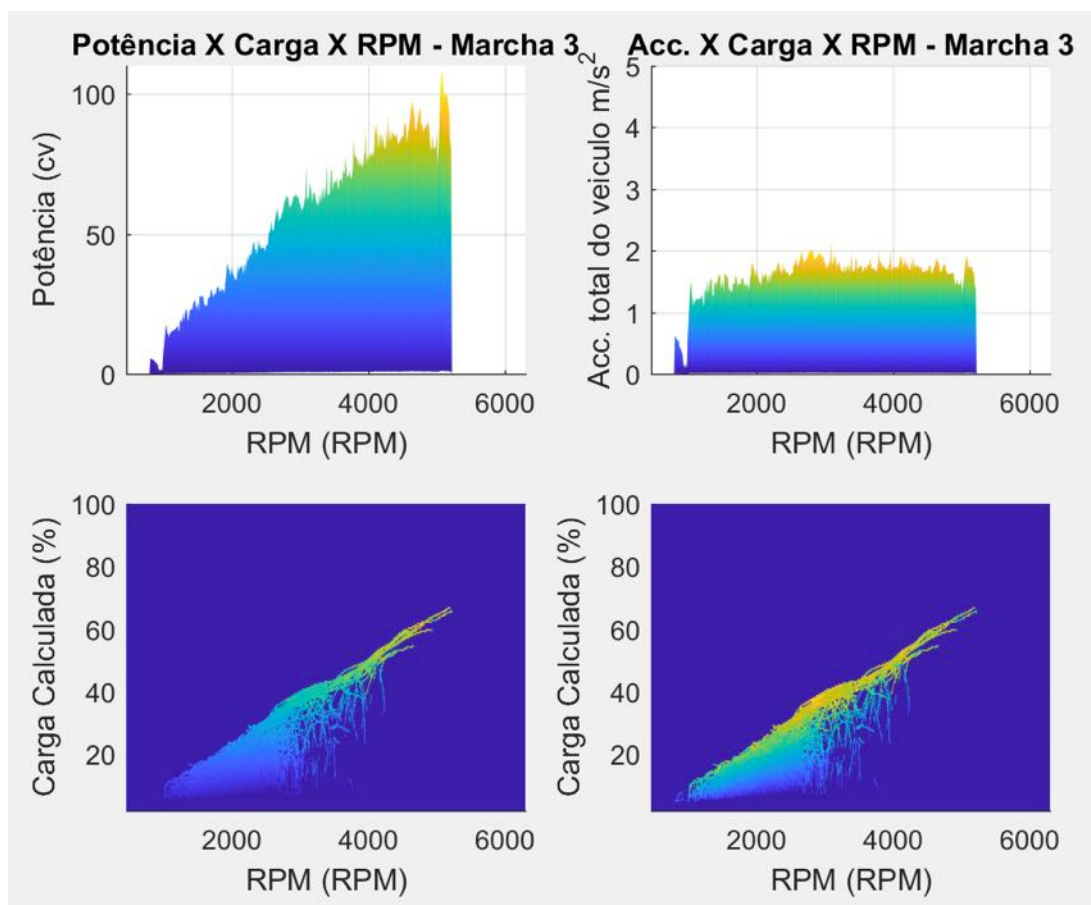


Figura 27: Dados aqusitados na 3a Marcha

5.3.4 Informações da 4ª Marcha

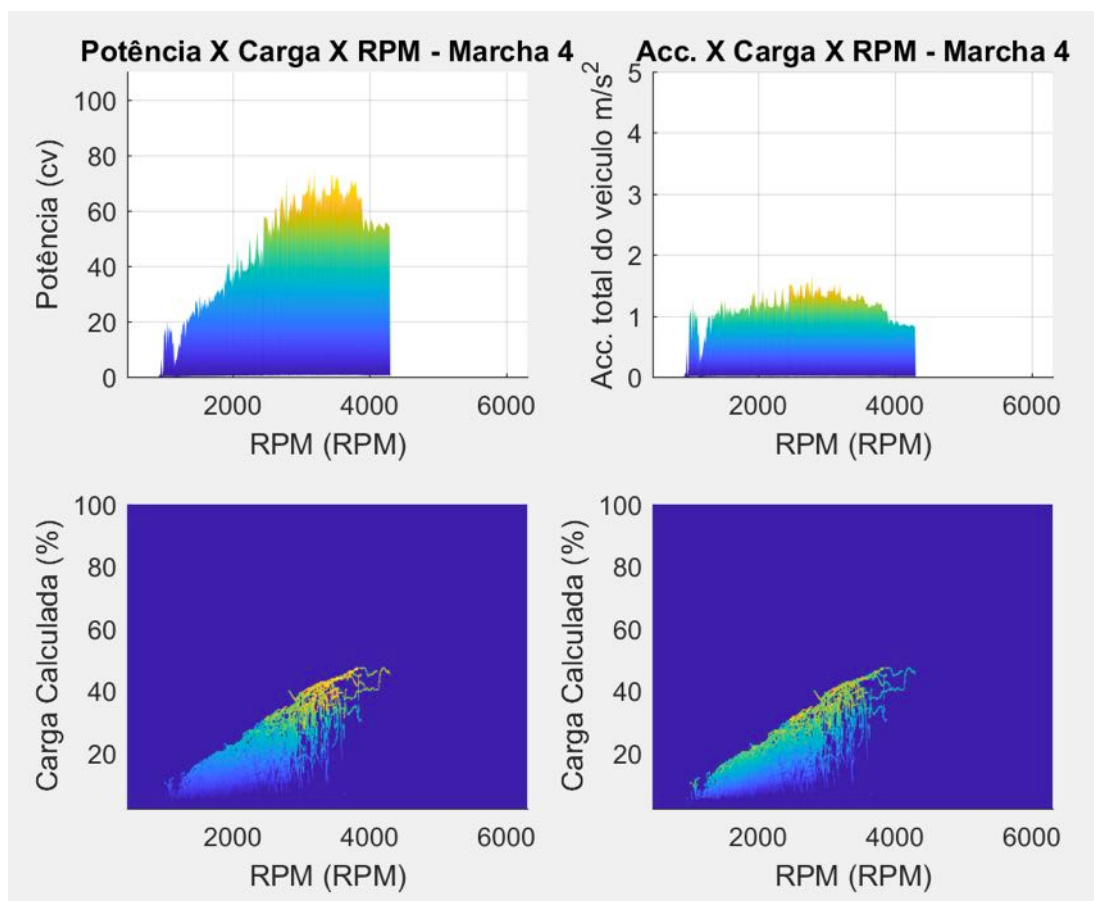


Figura 28: Dados adquiridos na 4ª Marcha

5.3.5 Informações da 5ª Marcha

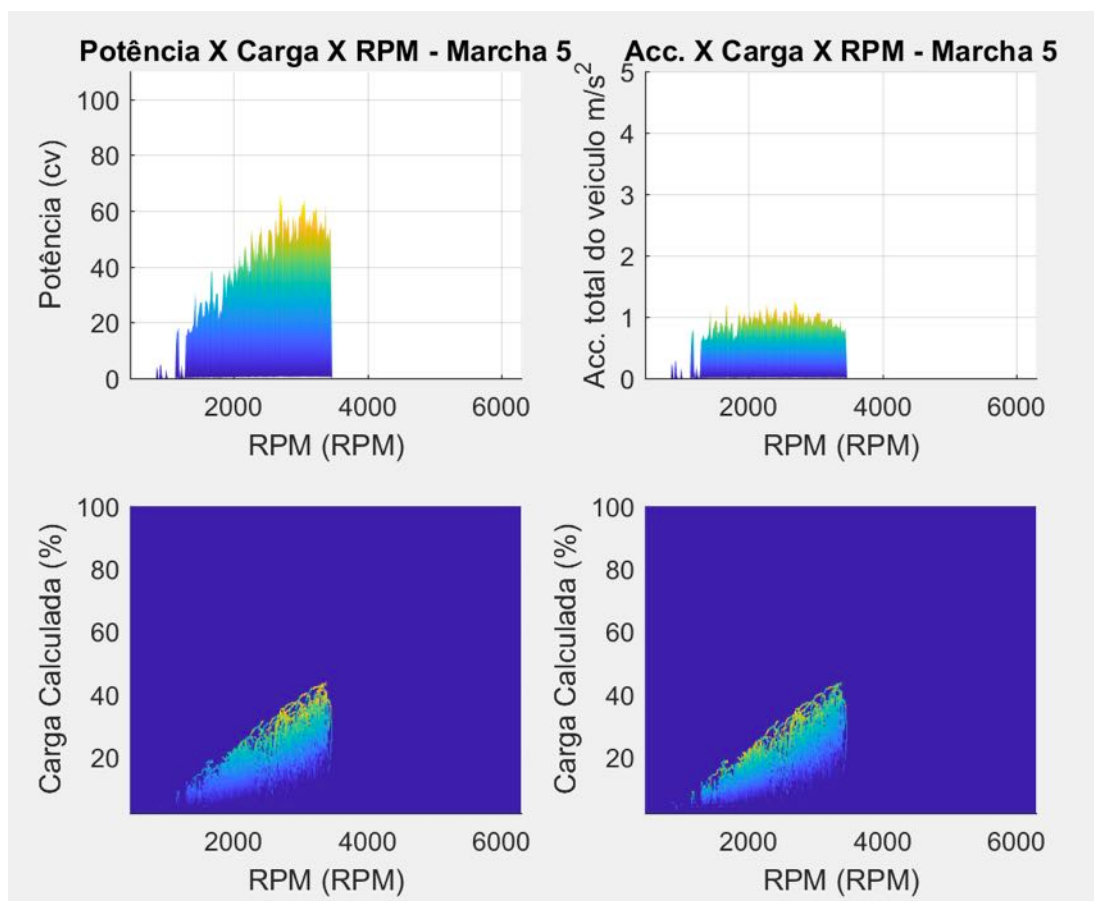


Figura 29: Dados aquisitados na 5a Marcha

5.4 Estimativa das Curvas de Potência e Torque do Motor

Ao compilar os dados de potência das marchas observadas e ao processá-lo com média móvel ponderada obtém-se os gráficos na figura a seguir. Note que as curvas de torque também foram calculadas.

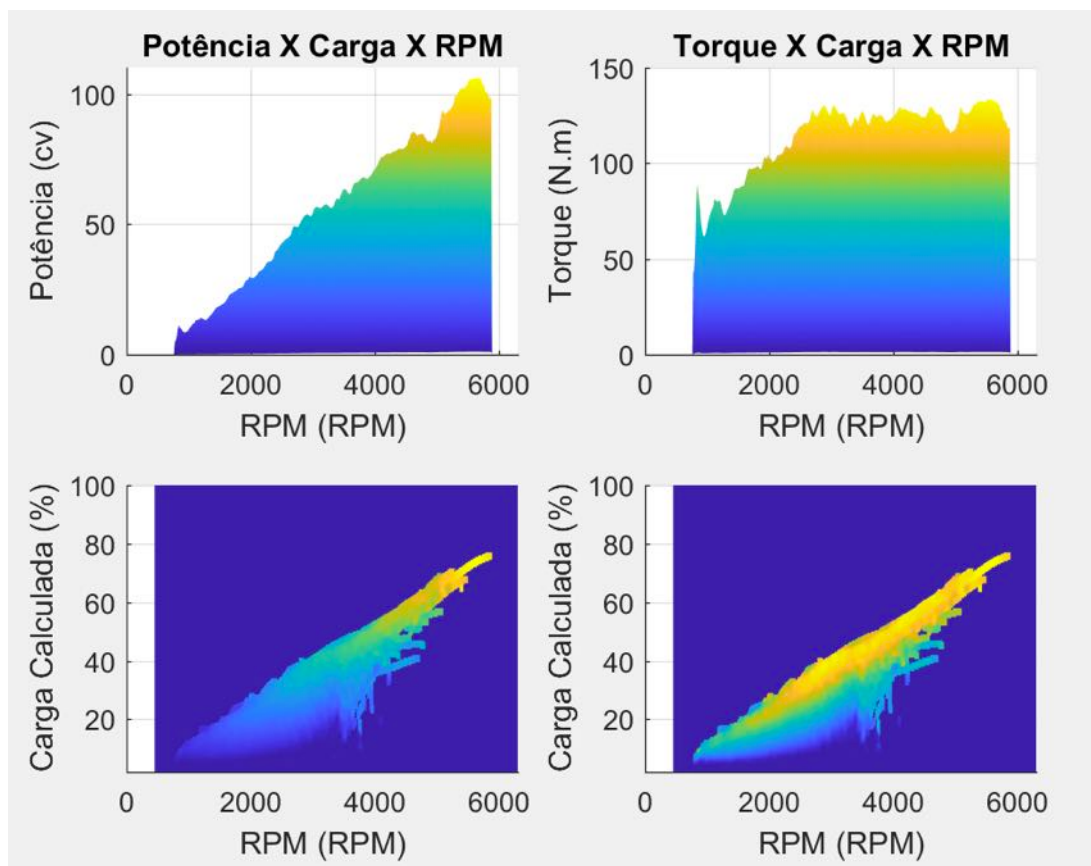


Figura 30: Curvas de Potência e Torque estimadas do Motor

Note que a potência máxima calculada corresponde a cerca a aproximadamente 100cv a 6000rpm coincidindo com a potência máxima é declarada, o que ajuda a validar os cálculos.

Sobre as curvas de torque, verificou-se que ele apresenta resultados muito próximos ao declarado no manual do veículo, que corresponde a aproximadamente 130 N.m a 2800 rpm.

Note que os gráficos apresentam um pouco de ruído, identificados por picos pontuais.

A seguir, são mostrados os comportamentos esperados do veículo em cada marcha de acordo com a potência líquida do motor, carga e velocidade do veículo. Note que algumas acelerações divergem um pouco em relação as acelerações médias adquiridas, porém, considera-se que os dados a seguir são mais confiáveis pois são calculados se baseando num número maior de amostras.

5.4.1 Comportamento Esperado na 1ª Marcha

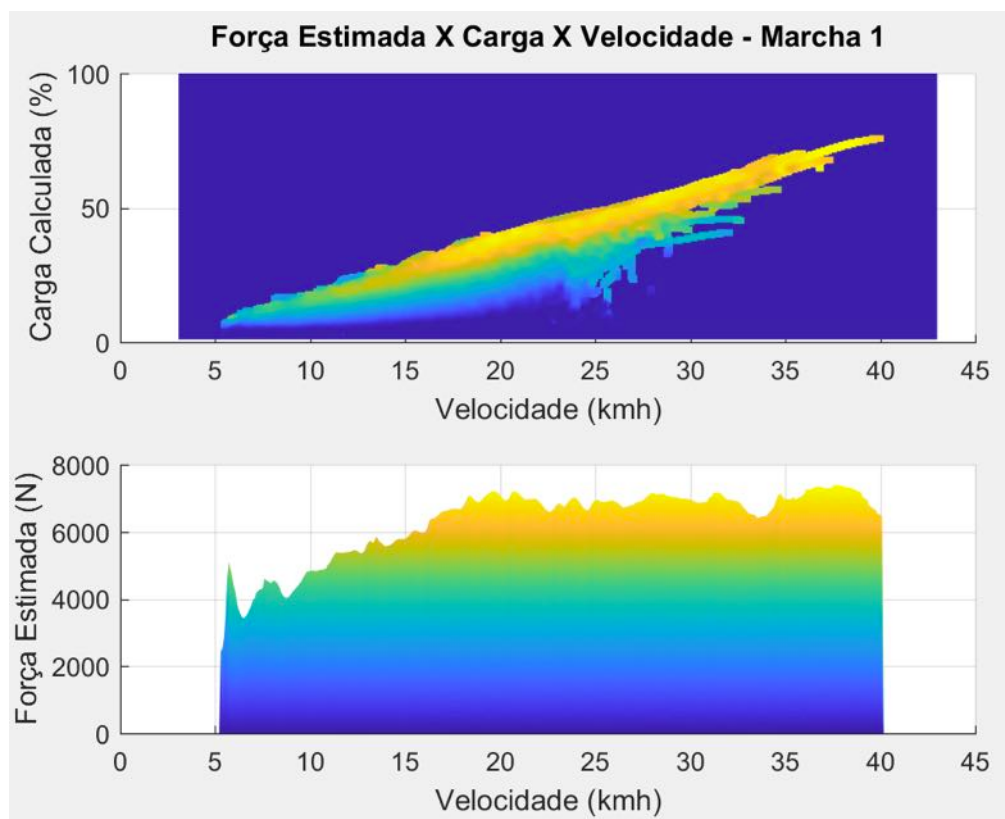


Figura 31: Comportamento esperado na 1a Marcha

5.4.2 Comportamento Esperado na 2ª Marcha

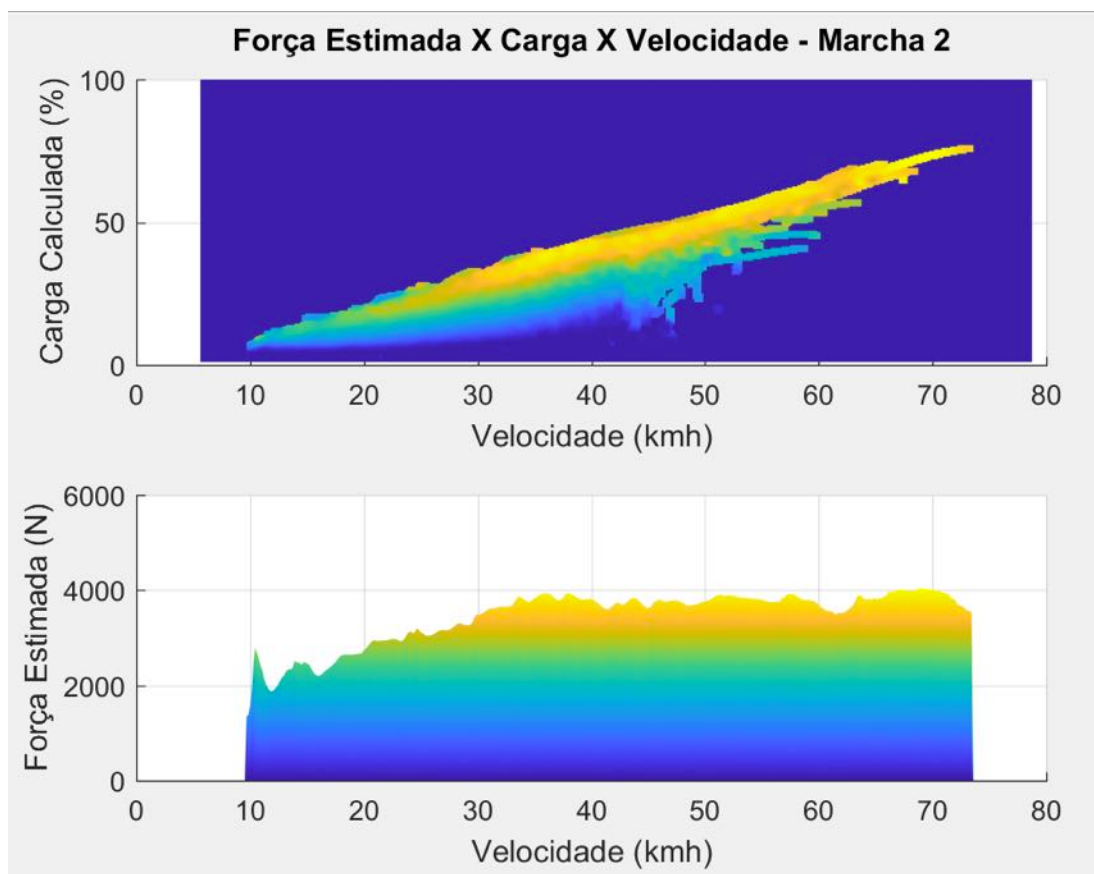


Figura 32: Comportamento esperado na 2ª Marcha

5.4.3 Comportamento Esperado na 3ª Marcha

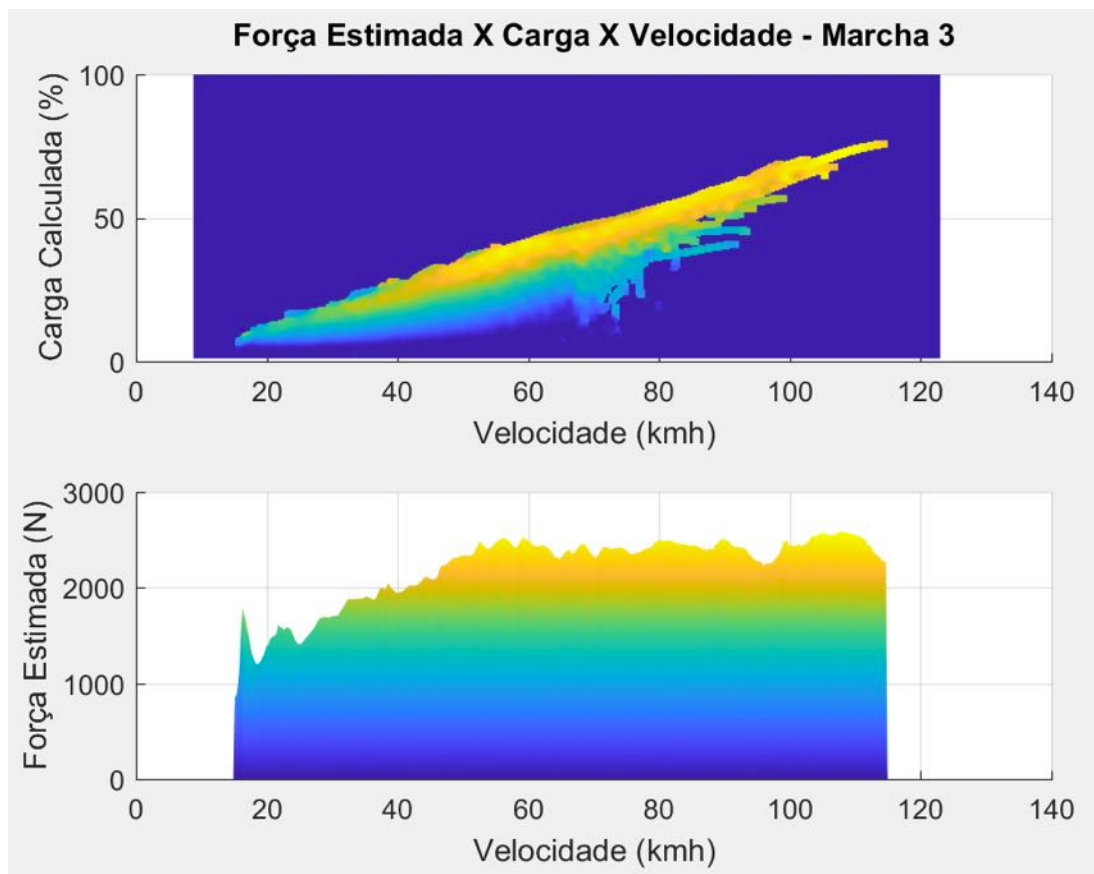


Figura 33: Comportamento esperado na 3ª Marcha

5.4.4 Comportamento Esperado na 4ª Marcha

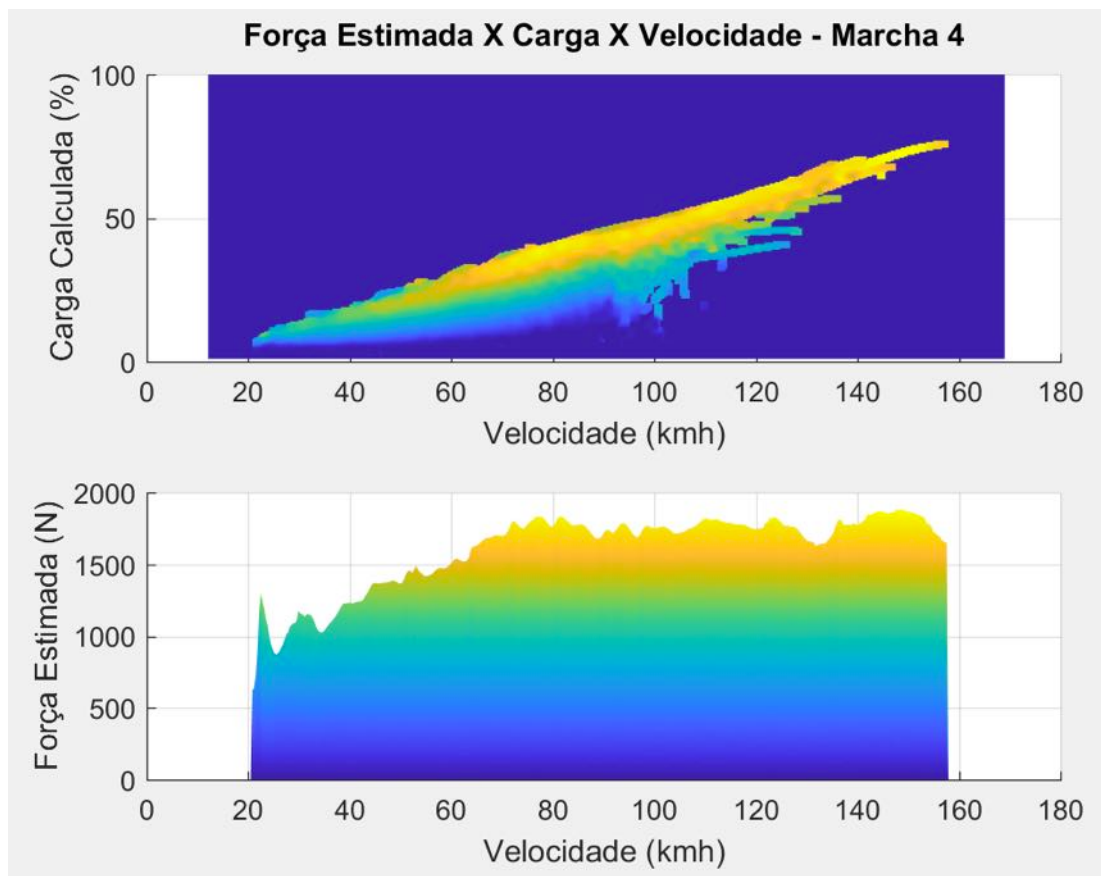


Figura 34: Comportamento esperado na 4ª Marcha

5.4.5 Comportamento Esperado na 5ª Marcha

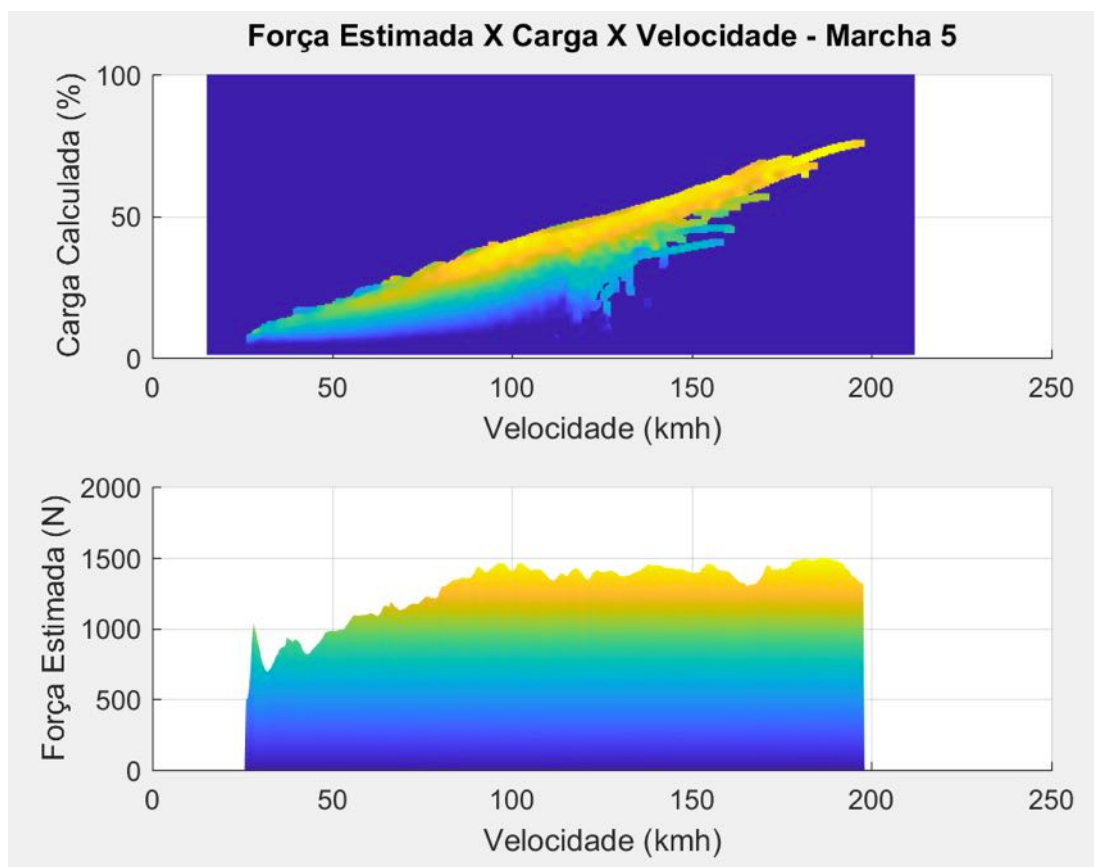


Figura 35: Comportamento esperado na 5ª Marcha

5.5 Marcha Ideal Instantânea

Como citado, a marcha ideal instantânea depende apenas da velocidade e da carga atuante no motor. Na figura a seguir, encontra um gráfico que representa a maior força nas rodas disponível de acordo com a velocidade, carga e a melhor escolha de marcha.

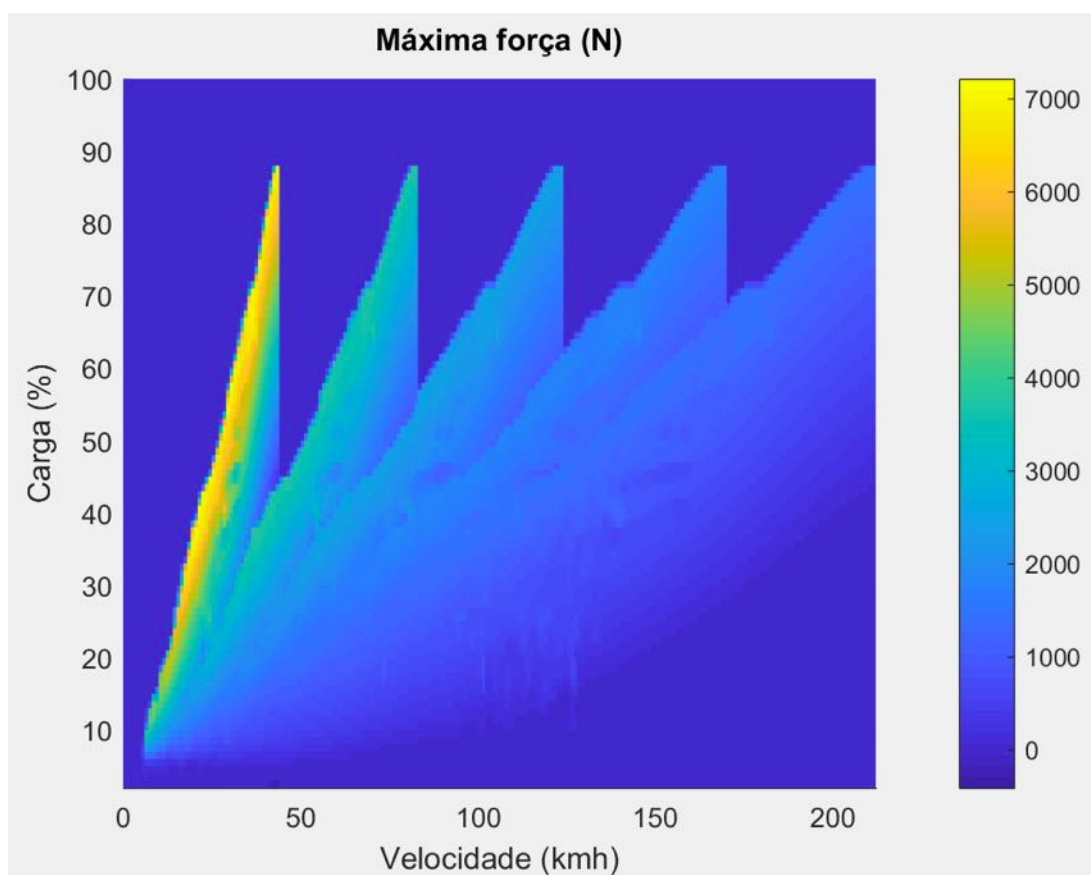


Figura 36: Máxima força propulsora dado carga e velocidade

E a partir do gráfico anterior, deriva-se o mapa de troca de marchas, que representa a marcha que melhor utiliza a carga a fim de fornecer potência útil. A figura a seguir, mostra esse mapa de troca de marchas considerando trocas instantâneas.

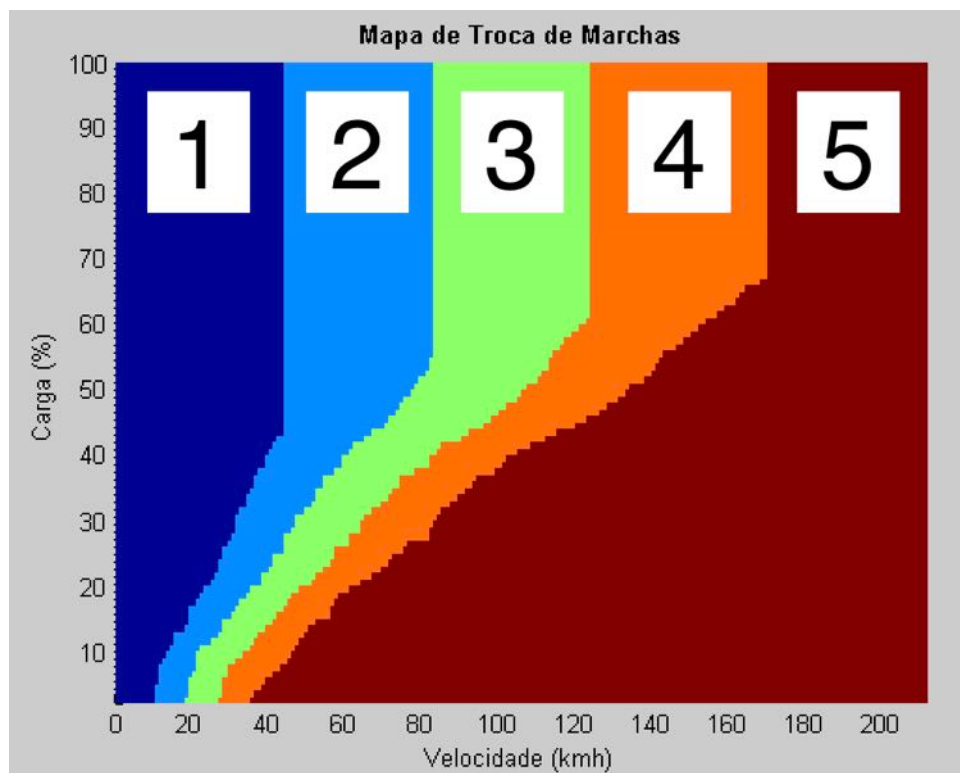


Figura 37: Mapa de Troca de Marchas

Note que esse mapa é levemente deslocado de forma que ele indica uma redução de marcha quando o motorista se encontra na região de carga máxima da rotação.

O sinal de melhor marcha instantânea no passado vai ajudar o sistema uma melhor decisão de qual marcha indicar para o atuador.

5.6 Sistema Simples de Troca de Marchas

A seguir serão mostrados os passos intermediários e resultados do sistema simples de troca de marchas.

5.6.1 Determinação do Tempo de Troca de Marchas

Provavelmente uma das conexões mais importantes entre a teoria e a realidade é introduzir um atraso de atuação no sistema simulado. Se as trocas fossem instantâneas não haveria motivo algum para desenvolver um sistema melhor de trocas de marchas.

Para introduzir o atraso no sistema de trocas, os dados aquistados foram processados e tiveram o tempo entre marchas aferidos. Veja a figura a seguir que contém o histograma dos tempos entre marchas em avanços de marcha.

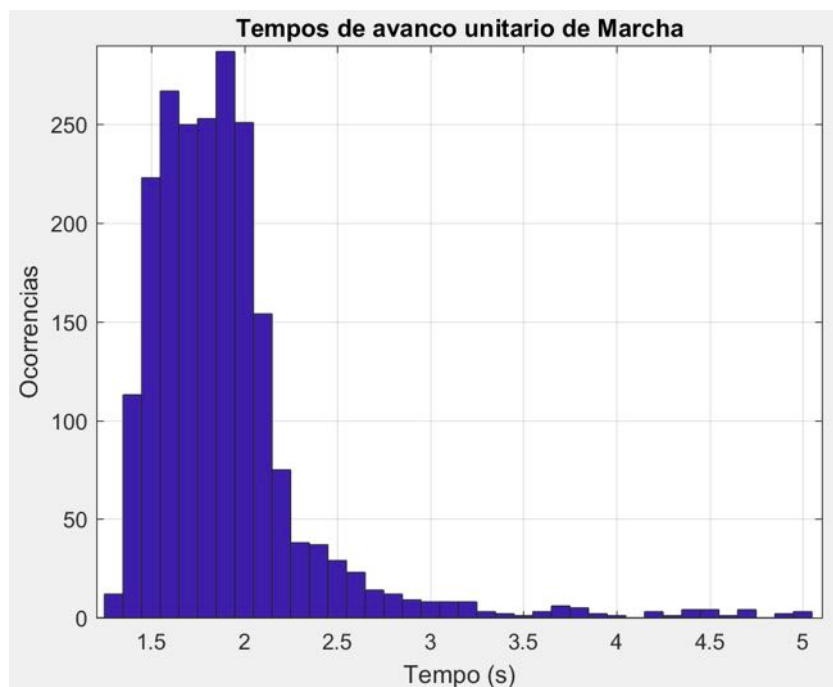


Figura 38: Tempo de Troca de Marcha

A partir da observação do histograma de tempos de troca de marcha, o intervalo de tempo entre marchas simulador foi definido em 1.75s. Note que numa direção mais esportiva esse tempo pode ser reduzido pois o motorista escolheria sacrificar suavidade para ganhar potência disponível, porém, um tempo reduzido melhoraria o desempenho do simulador, mas também, deveria ser feito um estudo mais detalhado sobre o tempo de troca de marcha. Portanto, o tempo de 1.75s foi adotado como constante e “pior caso” para as simulações.

Note também que em reduções de marcha os tempos coletados foram muito irregulares, ou seja, foram muito dependentes das intenções do motorista, portanto, justificou-se o uso dos tempos observados em avanços de marcha.

5.6.2 Sinais de Referência e Filtros

Como citado, o sinal utilizado para realizar as mudanças de marcha no sistema simples foi apenas a melhor marcha instantânea com um filtro passa baixa para remover ruídos de alta frequência. Veja a figura abaixo para um exemplo.

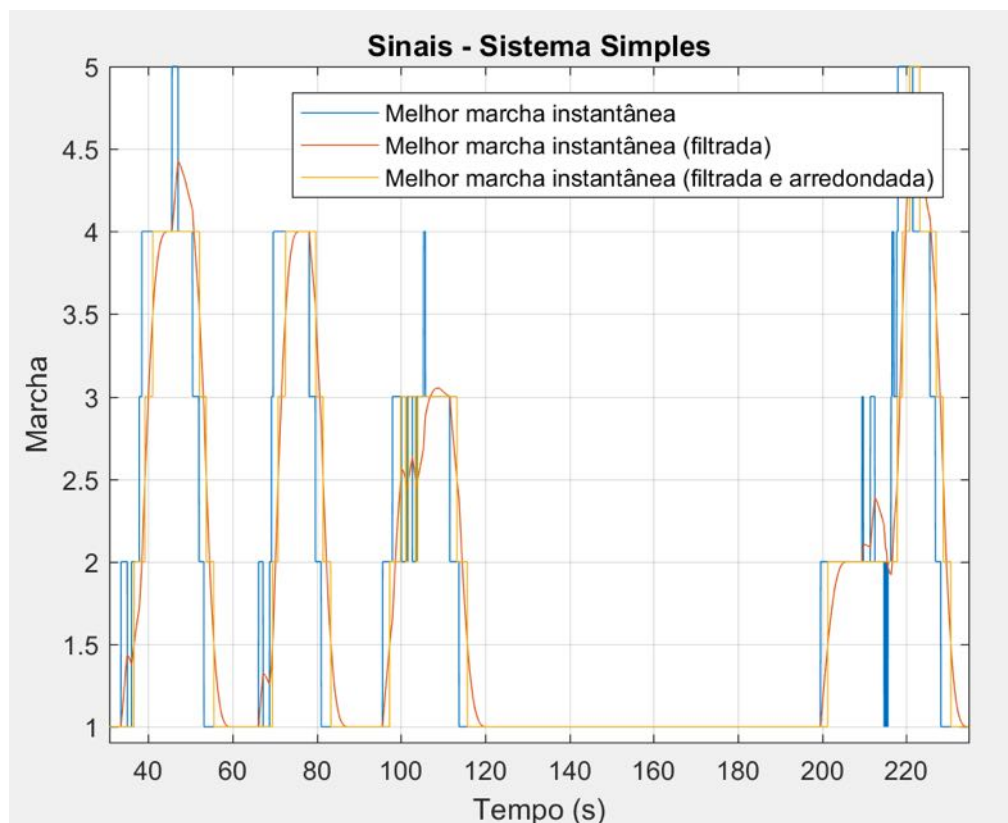


Figura 39: Sinais do Sistema Simples

Note que o sinal filtrado tem uma resposta mais lenta em relação ao instantâneo, porém gera um sinal com menos ruídos, utilizado na simulação. Veja a figura a seguir para uma simulação que utilizou o sistema simples com o atraso de atuação de 1.75s.

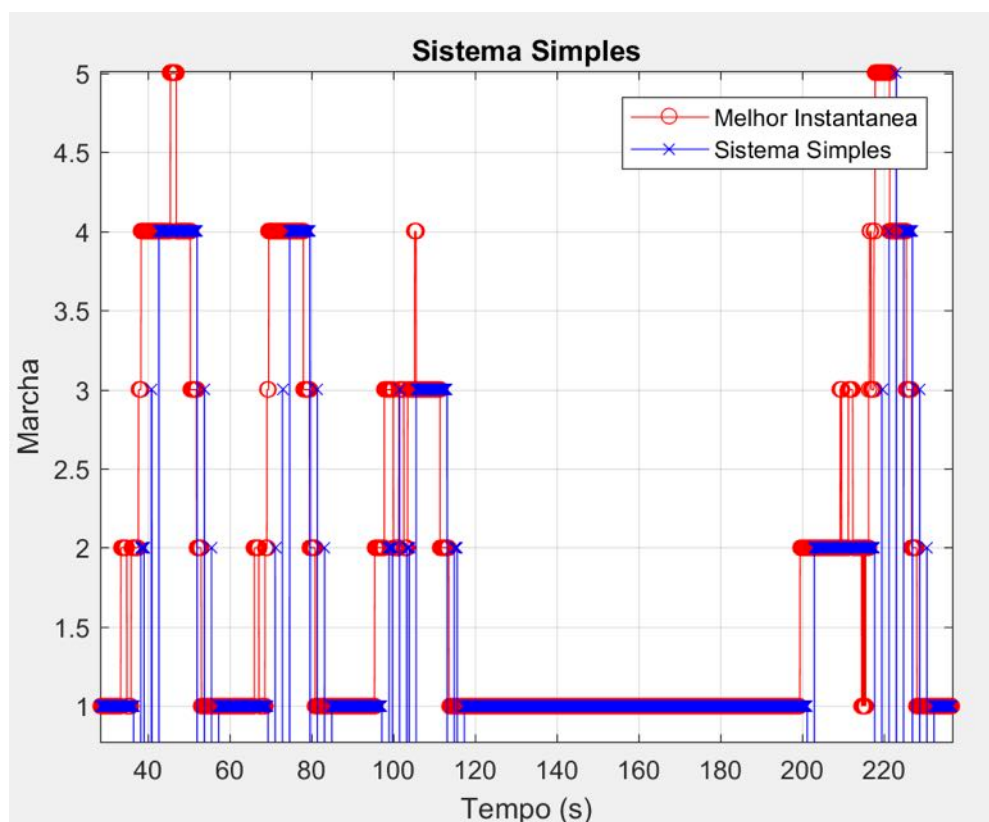


Figura 40: Simulação de Atuação do Sistema Simples

Note que o sistema é capaz de ignorar alguns trechos ruidosos do sinal de marcha ideal instantânea que evita trocas desnecessária de marcha como no tempo próximo aos 45s e outro próximo aos 210s.

Observe que o sinal do sistema simulado vai até zero e volta nas trocas de marcha. A posição marcha zero representa o tempo de troca de marcha.

5.6.3 Desempenho do Sistema

O simulador foi executado durante todos os trajetos coletados e os resultados em detalhe podem ser vistos no anexo B. Em suma, o sistema obteve uma taxa de acerto de 69.9%, uma taxa de marchas acima de 6.2% e taxa de marcha desengrenada de 18.5% com um numero médio de trocas de marcha de 7.08 trocas por minuto.

5.7 Sistema Simples com Predição de Velocidade

Os itens a seguir mostrarão as etapas intermediárias e alguns resultados do sistema simples com predição de velocidade.

5.7.1 Predição de Velocidade

Como citado no item correspondente, a predição de velocidade foi feita com base na velocidade instantânea e sua derivada em relação a 0.1s no passado. Um exemplo da predição pode ser observado na figura abaixo.

Note que é natural que a predição seja ruidosa, porém, ela melhora consideravelmente o tempo de resposta do sistema controlado. Em trechos de aceleração baixa, a predição funciona bem.

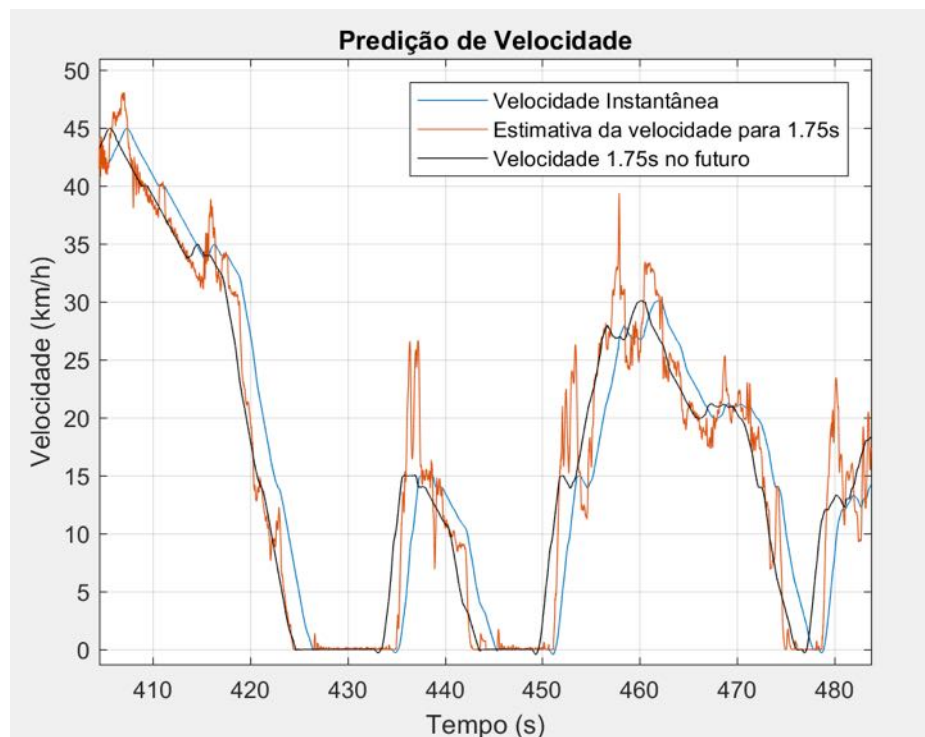


Figura 41: Predição de Velocidade

5.7.2 Desempenho do Sistema

Pode-se observar nas figuras abaixo que o sistema teve seu tempo de resposta melhorado significativamente comparado ao sistema simples sem previsão de velocidade.

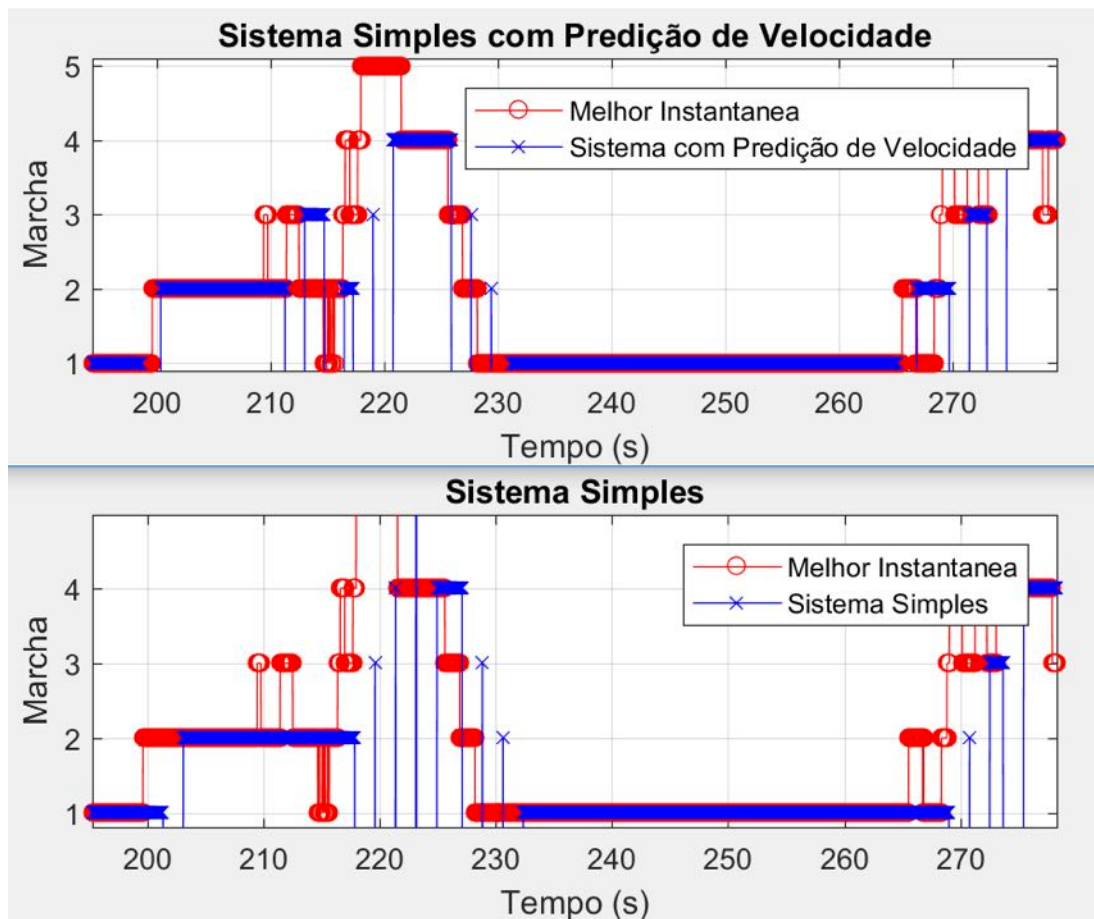


Figura 42: Comparação de Desempenho entre Sistema Simples e Com Previsão de Velocidade

De fato, essa melhora é confirmada pelo aumento da taxa de acerto, comparando com o sistema simples em aproximadamente 7%.

5.8 Sistema com Lógica Fuzzy

Neste item serão mostrados exemplos dos sinais que envolvem o controlador nebuloso. Também será feita uma análise comparativa qualitativa do desempenho do sistema fuzzy comparado aos outros controladores desenvolvidos.

5.8.1 Sinais de Entrada

Nos próximos itens serão mostradas as funções de pertinência dos sinais de entrada e exemplos gráficos dos sinais calculados.

5.8.1.1 Acelerações e Frenagens Intensas

Na figura a seguir, de cima para baixo, encontram-se os sinais da aceleração original e filtrada com o filtro passa-baixa para reduzir ruídos, o segundo é o sinal binário que identifica acelerações e frenagens intensas e o mais inferior é o sinal que é usado na lógica nebulosa. O valor escolhido para uma aceleração “intensa” foi de 2 m/s^2 pois valores acima disso pareciam ter relação com a esportividade da direção ao observar os dados processados.

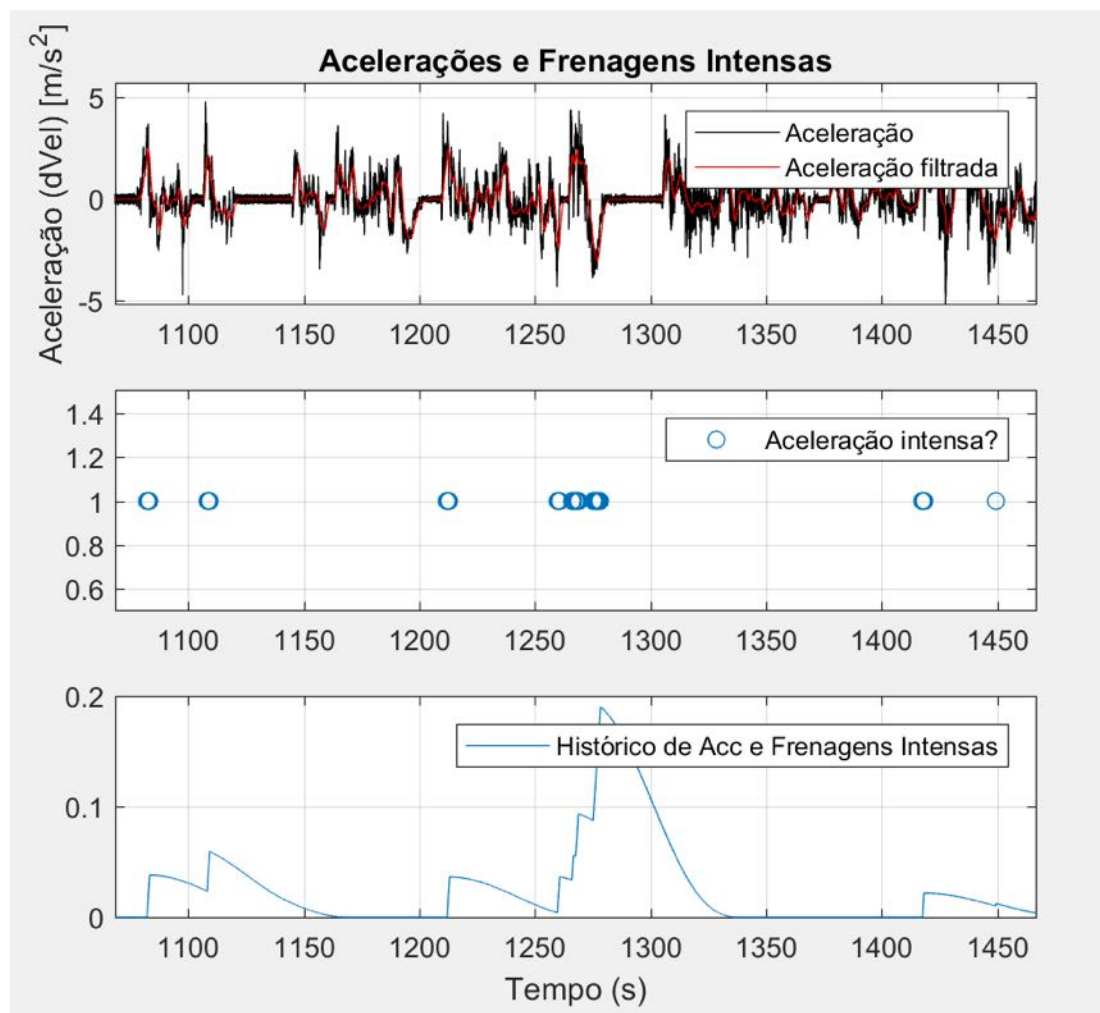


Figura 43: Acelerações e Frenagens Intensas

A seguir, encontram-se as funções de pertinência referentes a este sinal. Note que as funções foram definidas de maneira qualitativa ao observar alguns dados em alguns trechos percorridos com o veículo.

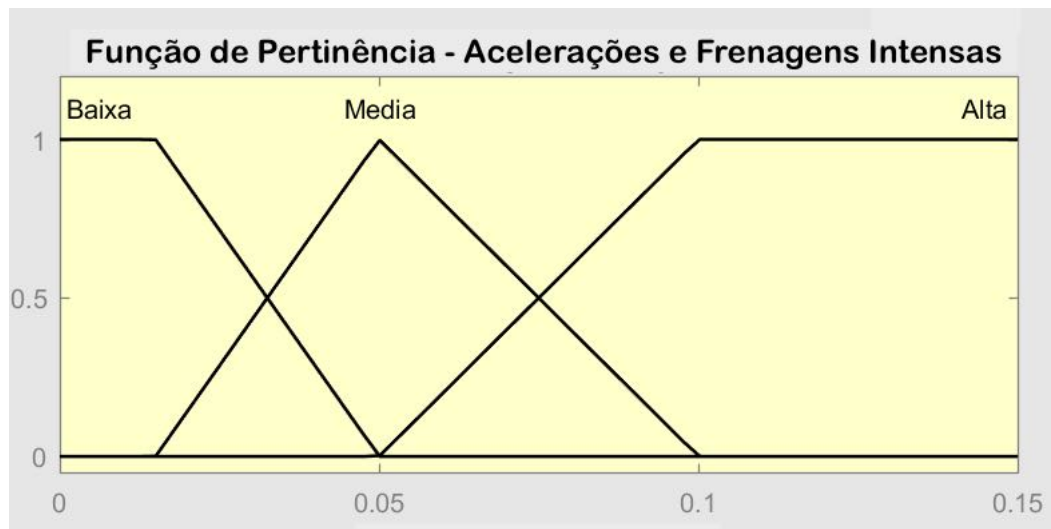


Figura 44: Acelerações e Frenagens Intensas - Função de Pertinência

5.8.1.2 Curvas Intensas

Na figura a seguir, de cima para baixo, encontram-se os sinais da aceleração lateral original e filtrada com o filtro passa-baixa para reduzir ruídos, o segundo é o sinal binário que identifica curvas intensas e o mais inferior é o sinal que é usado na lógica nebulosa. O valor escolhido para uma aceleração lateral intensa também foi de 2 m/s^2 também por observações dos dados processados.

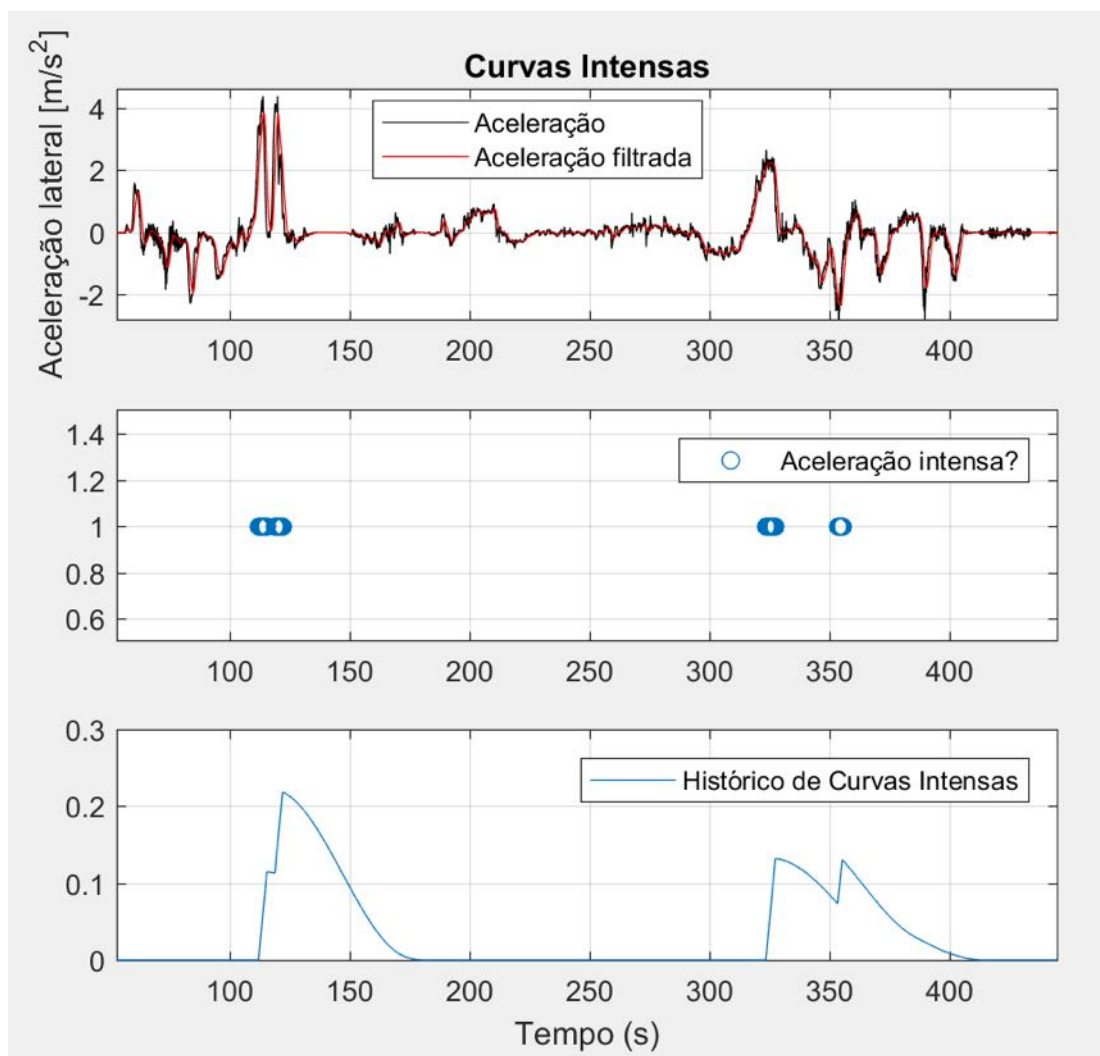


Figura 45: Curvas Intensas

Note que a função de pertinência dessa variável foi definida um pouco diferentemente ao comparar com as acelerações e frenagens.

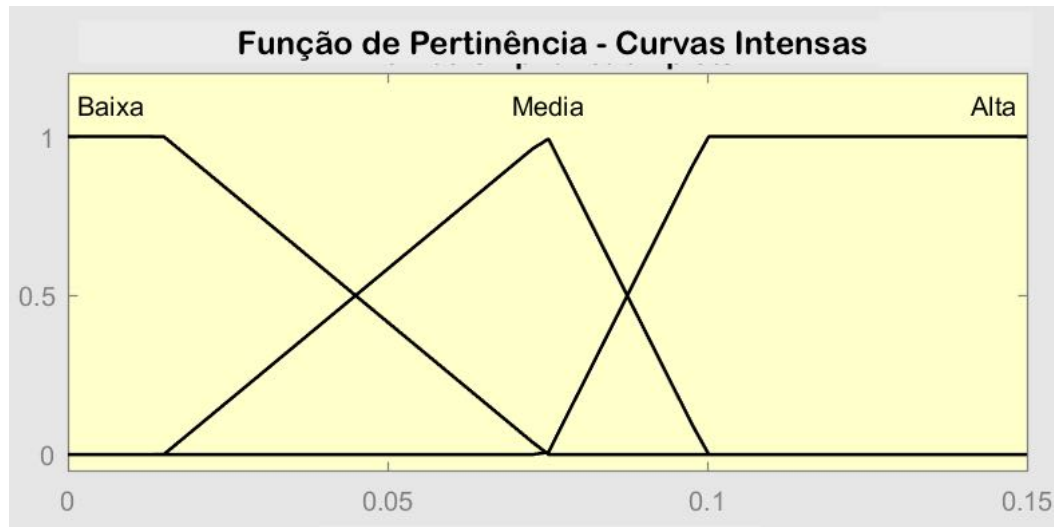


Figura 46: Curvas Intensas - Função de Pertinência

5.8.1.3 Variação de Velocidade

Um exemplo do sinal de variação da velocidade no médio prazo encontra-se na figura a seguir. Note que a variação é baixa em trechos em que se quer manter a velocidade (entre 200 e 300s) e em trechos em que o carro se encontra parado (~600s), justificando o cálculo do sinal de velocidade média no médio prazo.

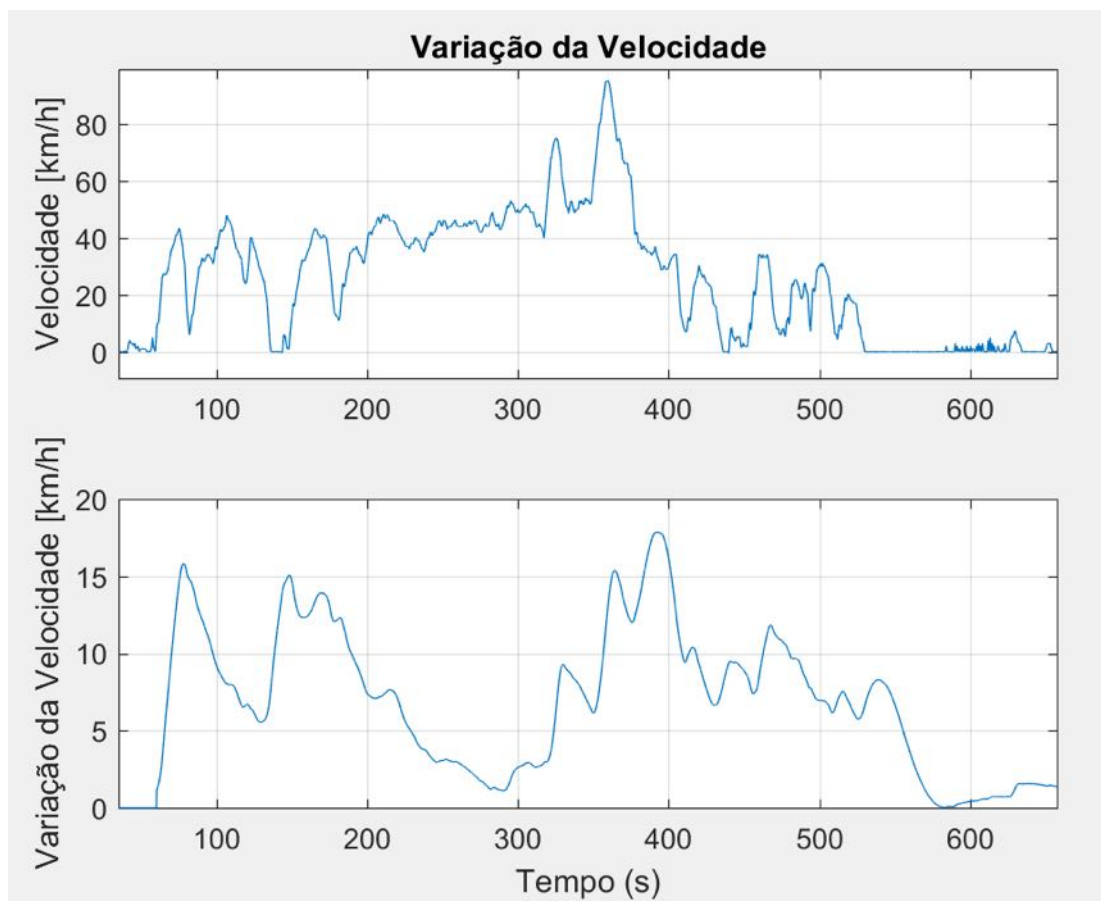


Figura 47: Variação de Velocidade

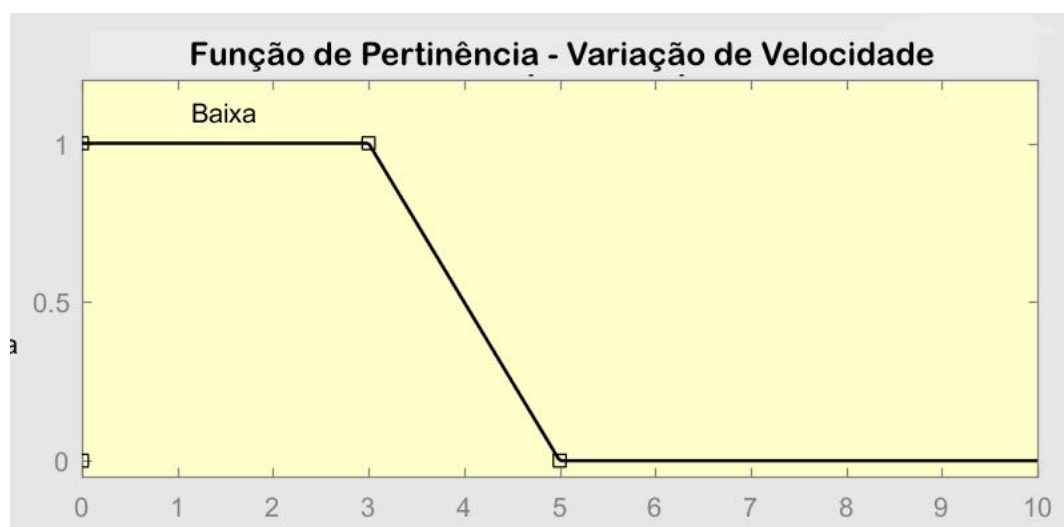


Figura 48: Variação de Velocidade - Função de Pertinência

Ao observar os dados coletados, foi observado que variações abaixo de 5 km/h já podem indicar um desejo de manter a velocidade, justificando a escolha da função de pertinência.

5.8.1.4 Velocidade Média

A seguir, encontra-se um exemplo de cálculo do sinal de velocidade média. Esse sinal tem como objetivo calcular a velocidade média que o motorista deseja manter e posteriormente será utilizado para mostrar o desvio instantâneo em relação a esta média para poder prever o aumento de carga conforme esse desvio.

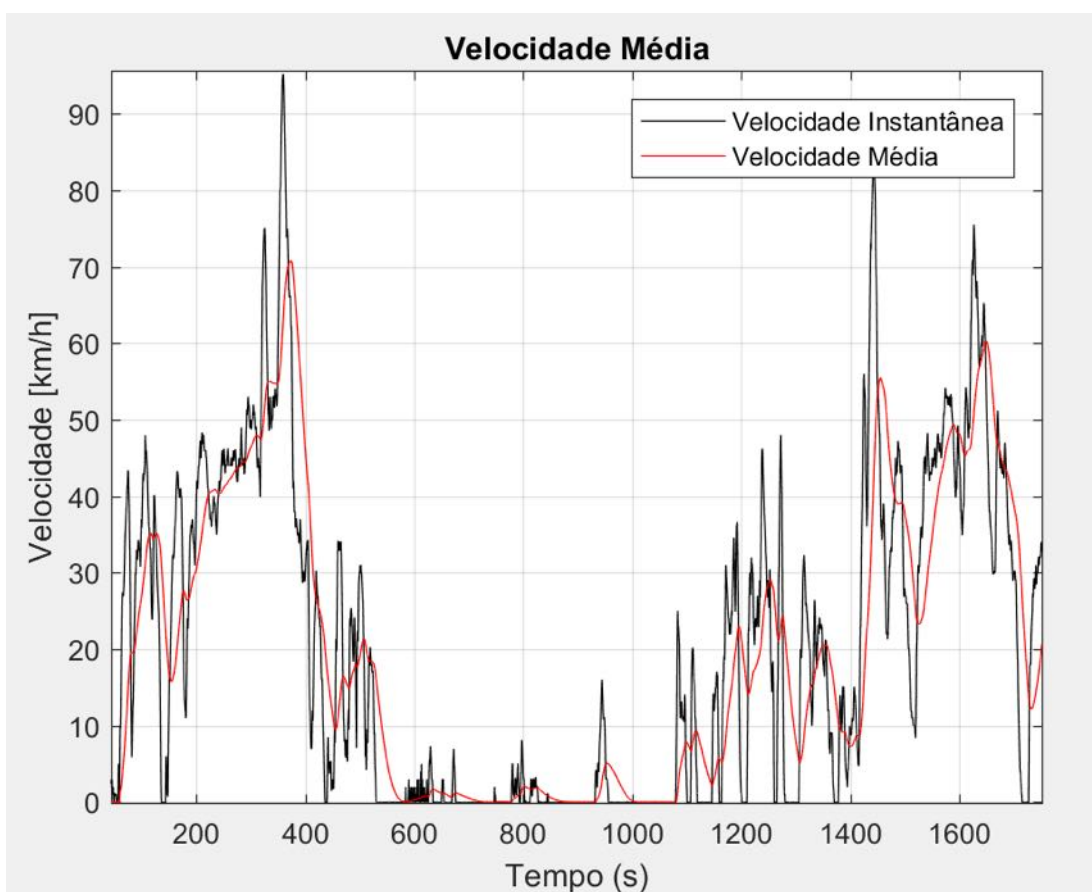


Figura 49: Velocidade Média

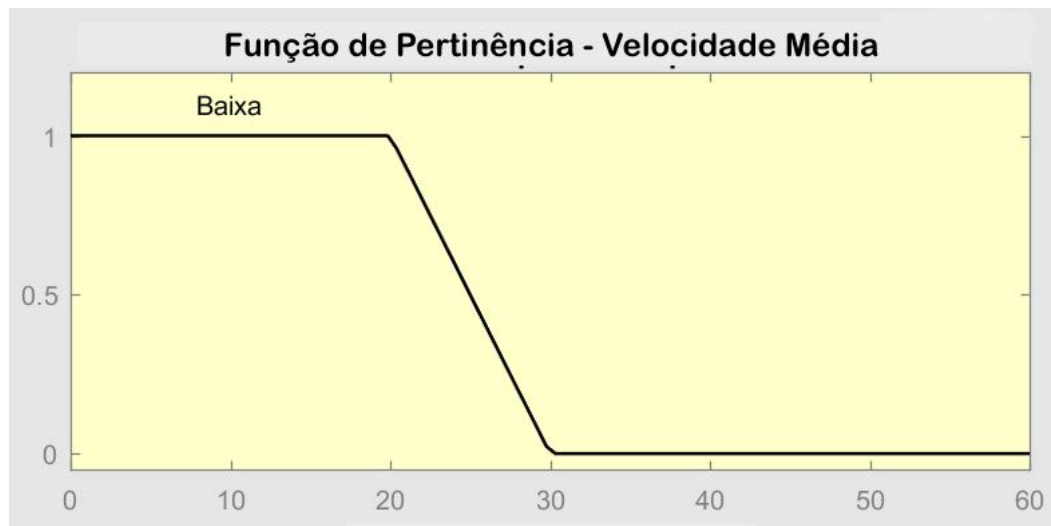


Figura 50: Velocidade Média - Função de Pertinência

A função de pertinência desse sinal é justificada pois dificilmente um motorista vai querer manter uma velocidade de 30 km/h. Neste caso, assume-se que o motorista está em algum congestionamento e não têm a intenção de manter essa velocidade.

5.8.1.5 Desvio Instantâneo em Relação a Velocidade Média

O sinal de desvio instantâneo da velocidade em relação a média tem a função de tentar prever a aceleração que o motorista vai aplicar no veículo no curto prazo para voltar para um patamar de velocidade mais elevado. A figura a seguir contém um exemplo desse sinal ao longo de um trajeto.

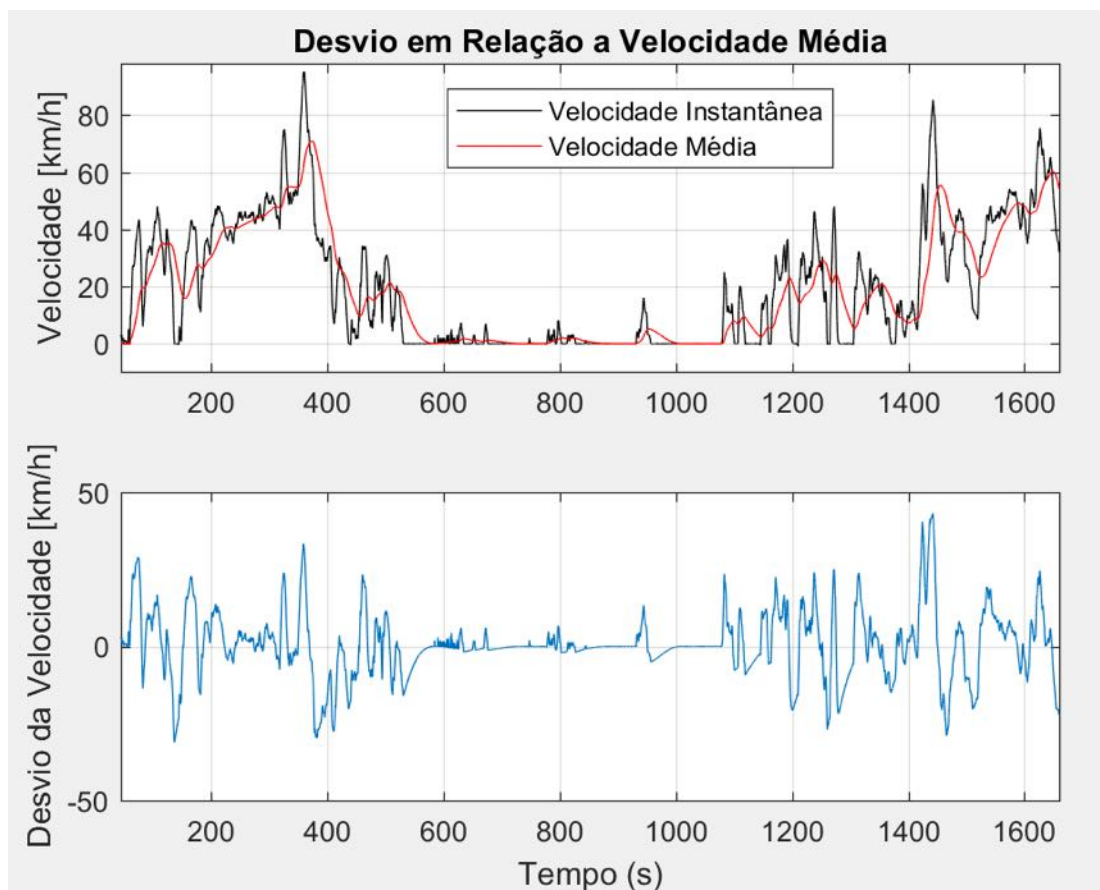


Figura 51: Desvio em Relação a Velocidade Média

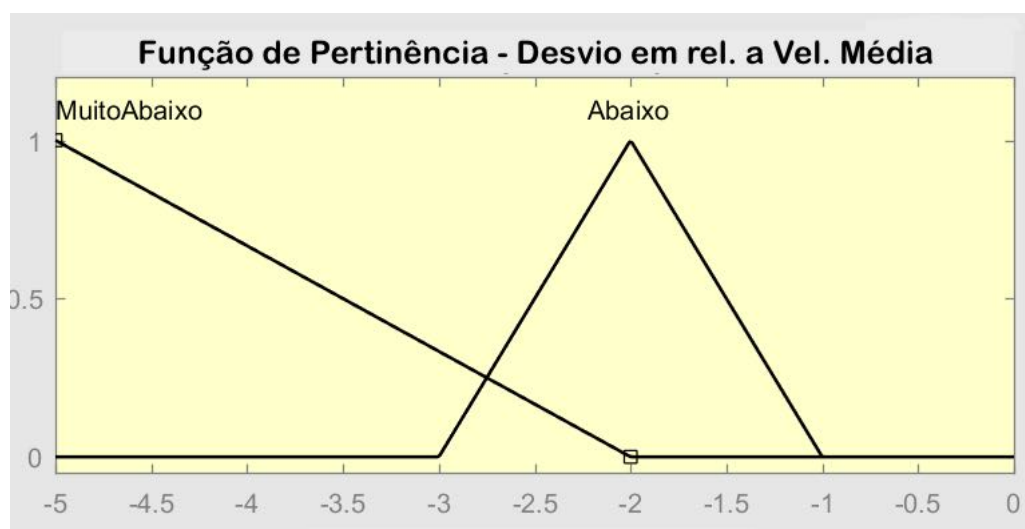


Figura 52: Desvio em Relação a Velocidade Média - Função de Pertinência

As escolhas das funções de pertinência justificam-se, pois, ao observar os dados em trechos em que a velocidade queria ser mantida, foram encontrados vários casos em que a velocidade era retomada a partir de -2 km/h em relação a média e raramente em torno de -5 km/h e quando eram retomadas a partir dessa velocidade, as acelerações eram mais intensas.

5.8.1.6 Variação de Arfagem no Curto Prazo

Um exemplo do sinal de variação de arfagem encontra-se na figura a seguir, juntamente com o sinal de arfagem absoluta para referência.

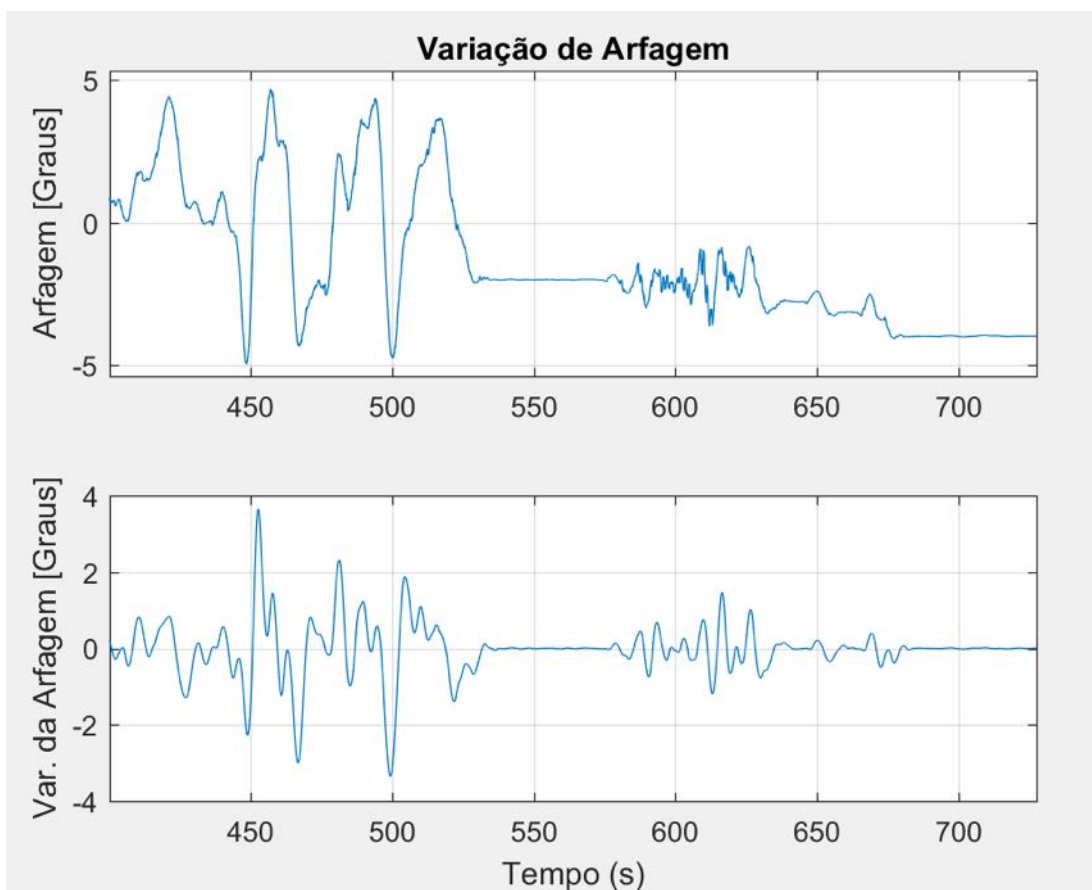


Figura 53: Variação de Arfagem

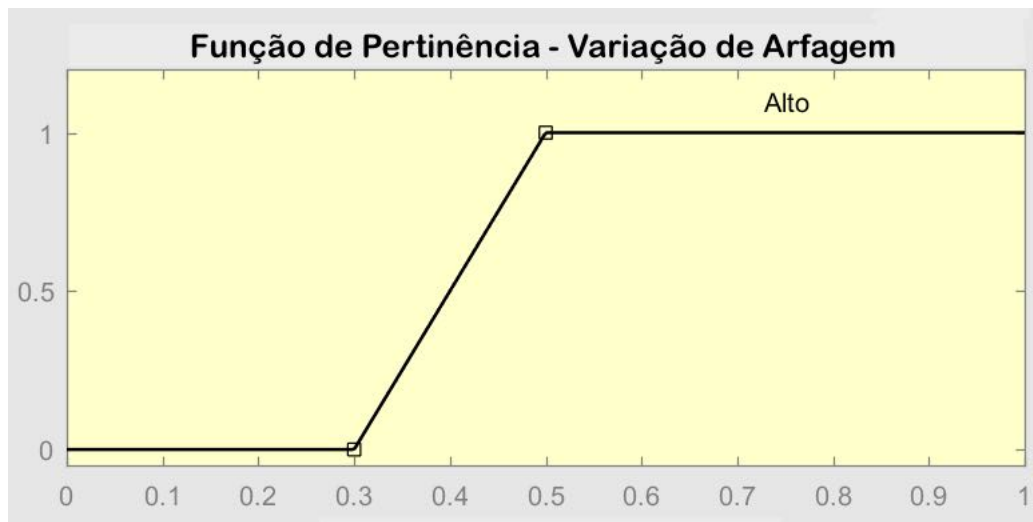


Figura 54: Variação de Arfagem - Função de Pertinência

Assim como os outros sinais, sua função de pertinência foi determinada por observações dos dados processados.

5.8.1.7 Carga Normalizada

O sinal de carga normalizada foi gerado a partir da observação das cargas em função da rotação do motor (ver figura a seguir). Foi observado que para cada rotação existia uma carga máxima que foi aproximada por uma função do primeiro grau de acordo com a equação a seguir:

$$Carga_{m\acute{a}x(RPM)} = 0.013 * RPM + 2 \quad (14)$$

Sendo:

RPM: A rotação atual do motor;

$Carga_{m\acute{a}x(RPM)}$: A Carga máxima permitida pela rotação atual.

Portanto, a equação da carga normalizada segue a seguinte equação:

$$Carga_{Norm} = \frac{Carga}{0.013 * RPM + 2} \quad (15)$$

Sendo:

$Carga_{Norm}$: A carga atual, normalizada;

$Carga$: A carga atual.

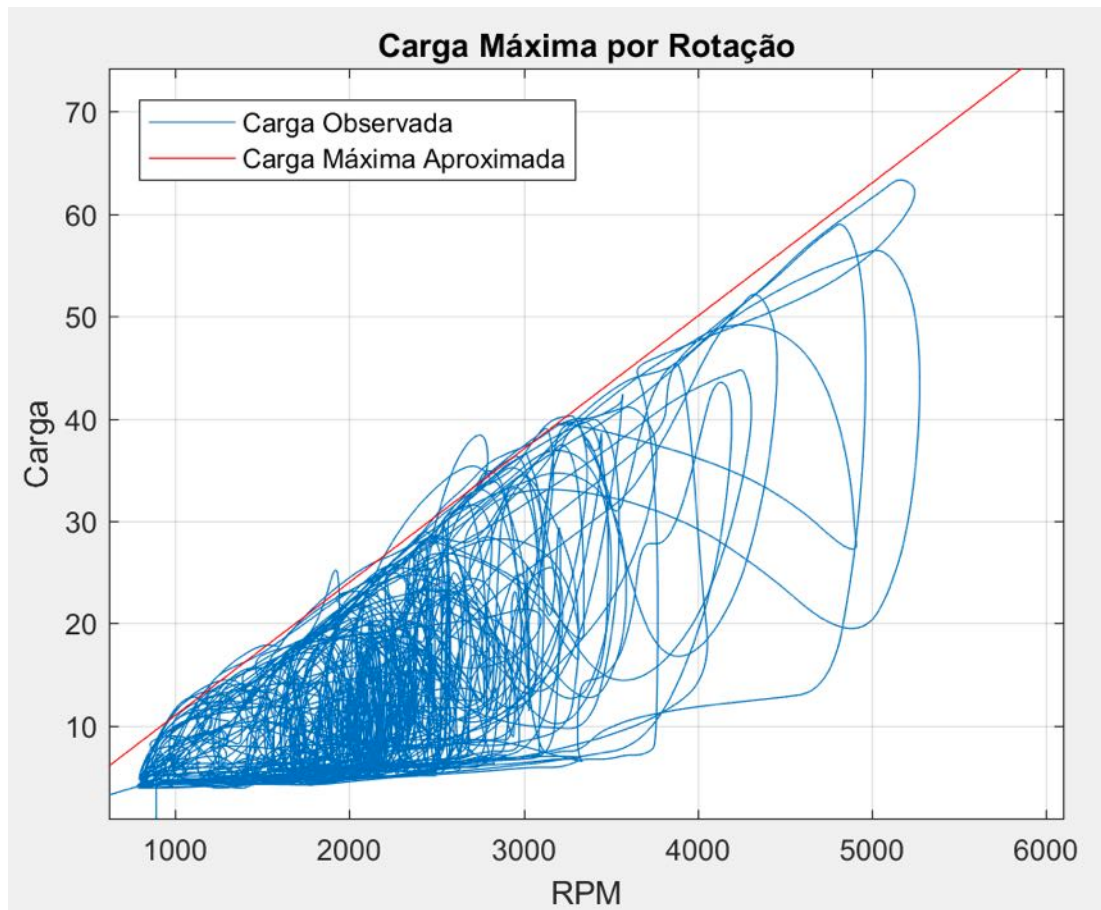


Figura 55: Carga Máxima por Rotação

5.8.1.8 Variação da Carga Normalizada no Curto Prazo

A seguir, encontra-se um exemplo do sinal de carga normalizada e variação de carga normalizada. Note que, para manter a velocidade após uma entrada num aclave, é necessário aumentar a carga.

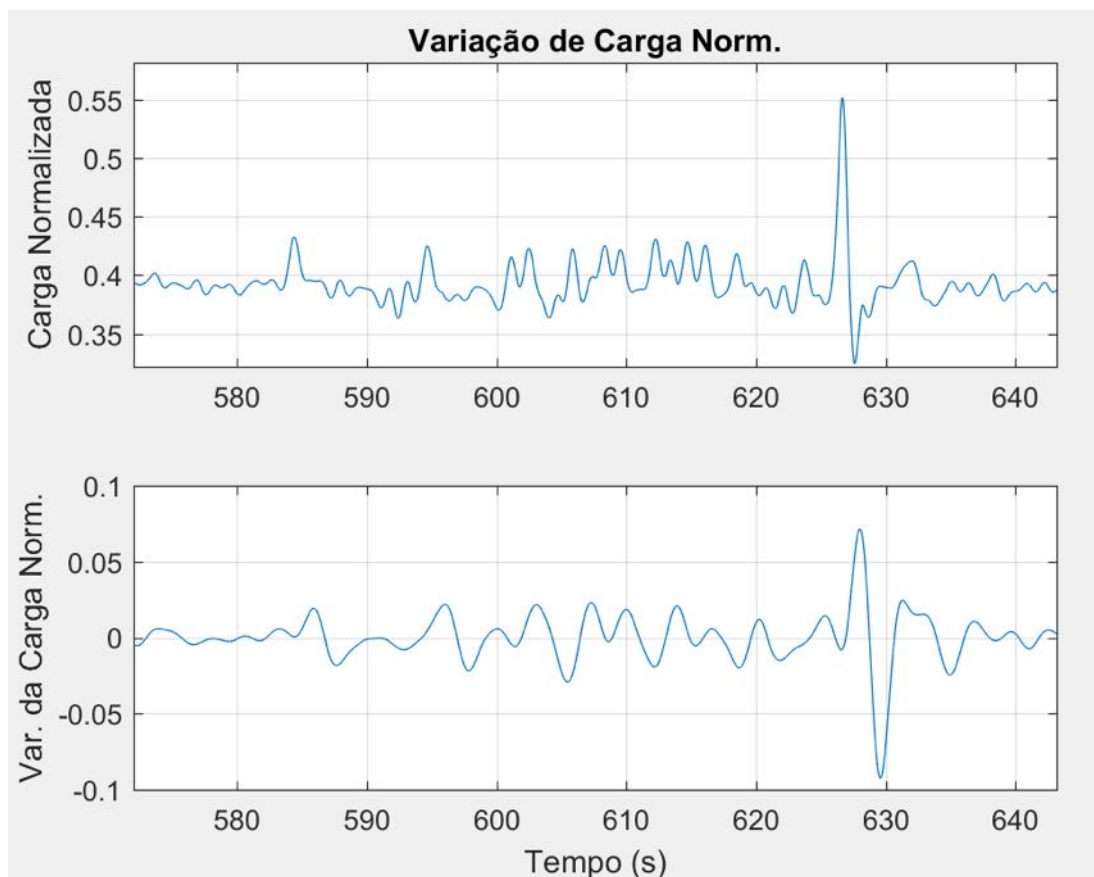


Figura 56: Variação da Carga Normalizada

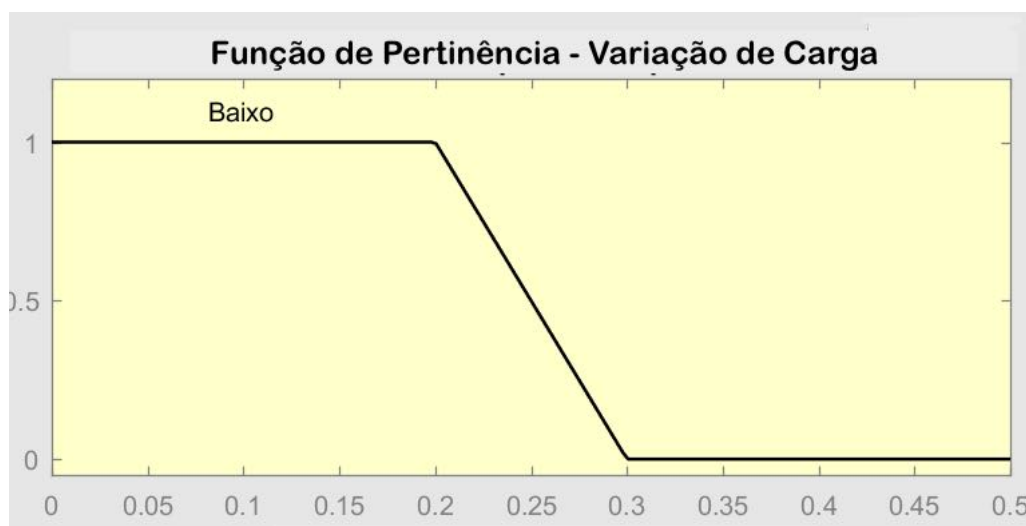


Figura 57: Variação da Carga Normalizada - Função de Pertinência

A função de pertinência desse sinal foi determinada a partir da observação dos dados processados e da correlação entre o aumento de carga e aumento de arfagem do veículo numa velocidade constante.

5.8.2 Sinais de Saída

Nos próximos itens serão mostradas as funções de pertinência dos sinais de saída e exemplos gráficos dos sinais gerados.

5.8.2.1 Esportividade da Direção

Uma das saídas do sistema de lógica fuzzy é a esportividade estimada da direção. Sua função de pertinência encontra-se a seguir e também um exemplo da estimativa de esportividade num trajeto arbitrário.

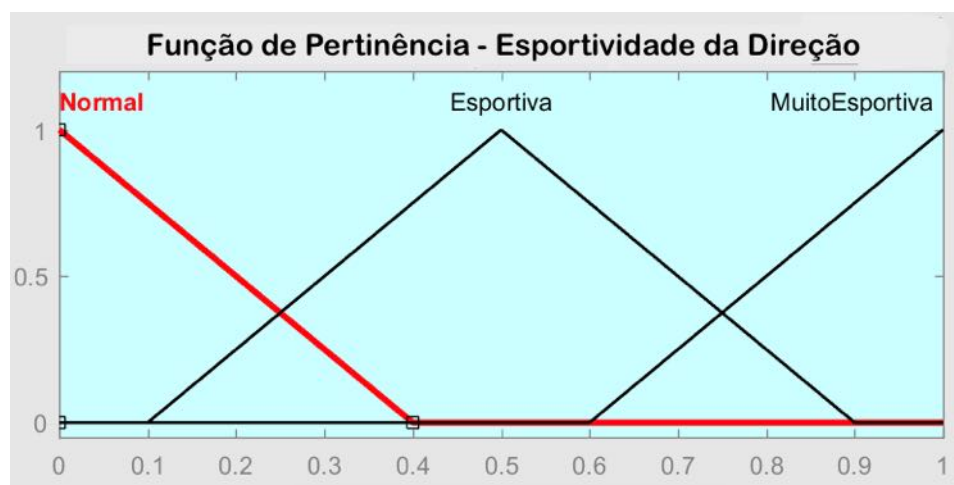


Figura 58: Esportividade da Direção - Função de Pertinência

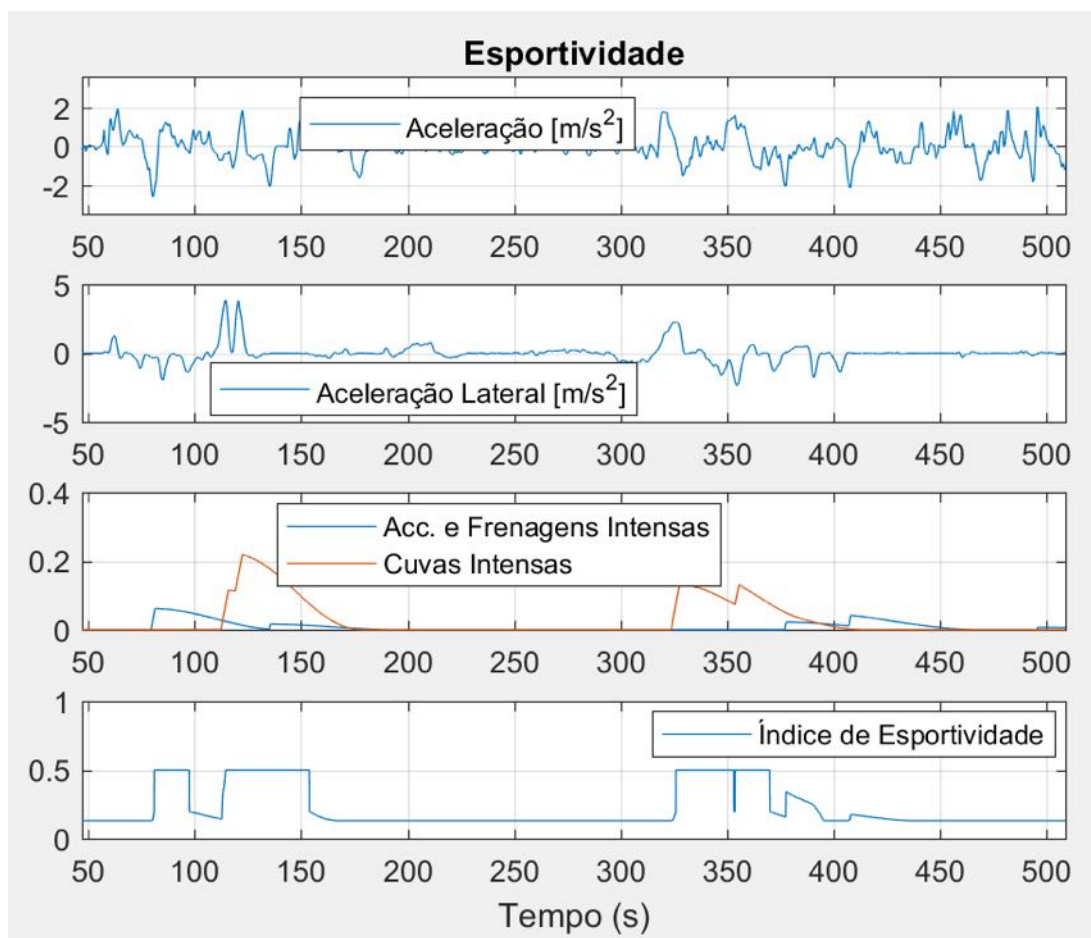


Figura 59: Esportividade da Direção

Note que segundo as regras fuzzy, a esportividade mínima é 0.13 que é benéfico para o sistema em geral pois dá uma leve preferência a marchas mais reduzidas ao longo de todo o trajeto.

Porém, em trechos próximos a observações mais intensas de aceleração o índice de esportividade é mais elevado, dando maior preferência a marchas mais reduzidas.

5.8.2.2 Correção de Carga

A outra saída do sistema de lógica fuzzy é a correção de carga. Sua função de pertinência encontra-se a seguir, juntamente com um exemplo de atuação.

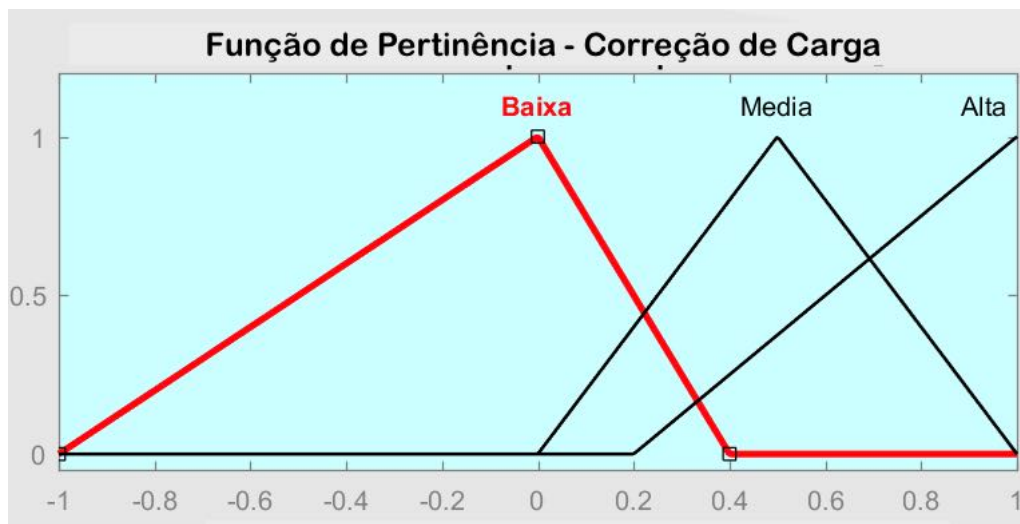


Figura 60: Correção de Carga – Função de Pertinência

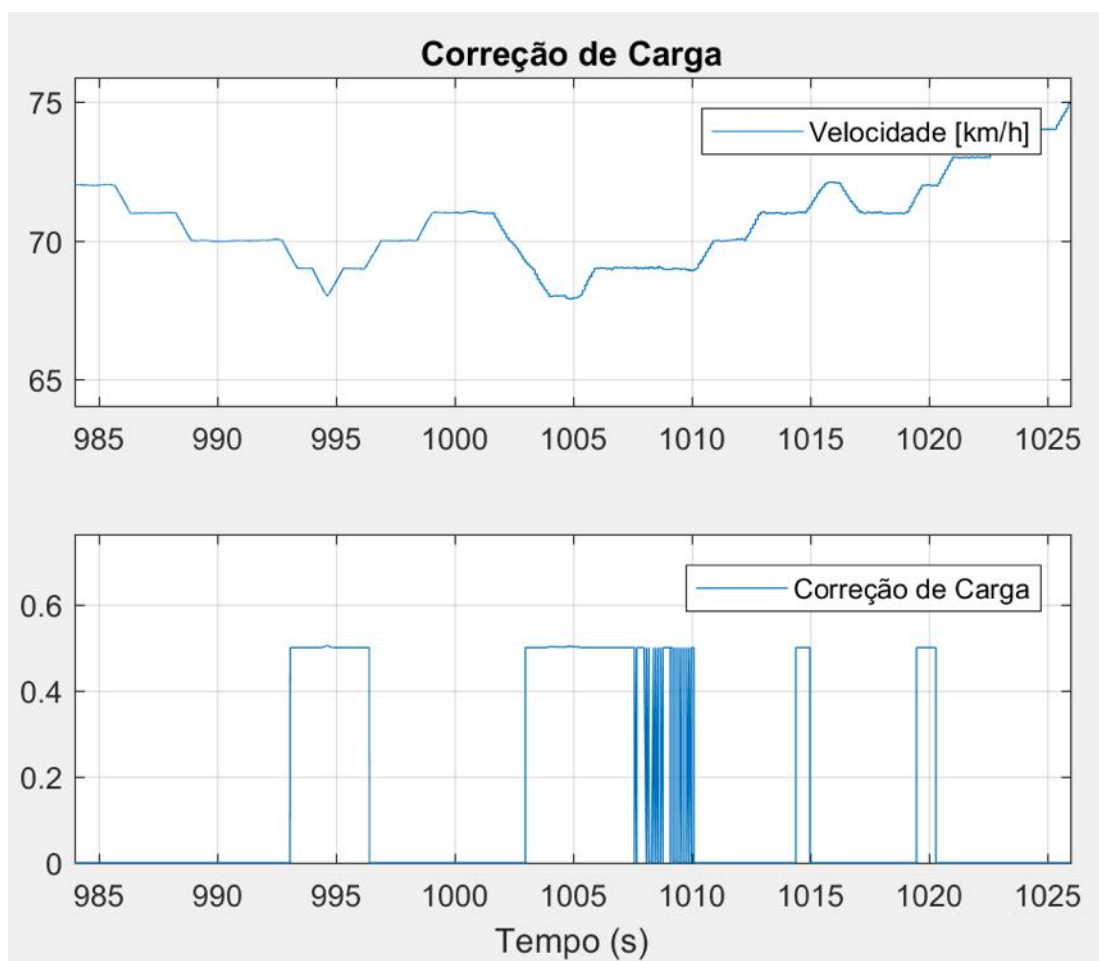


Figura 61: Correção de Carga

Note que no caso apresentado, a lógica fuzzy inferiu que o motorista iria acelerar o veículo nos trechos próximos a 995s e 1005s com aproximadamente 2s de antecipação, que é benéfico ao sistema de controle de marchas.

5.8.3 Desempenho do Sistema

Ao aplicar o simulador do sistema nos trajetos percorridos pode-se observar uma melhora geral no controle de marcha. Veja na figura a seguir, várias situações em que os usos de marchas reduzidas foram antecipados varias vezes.

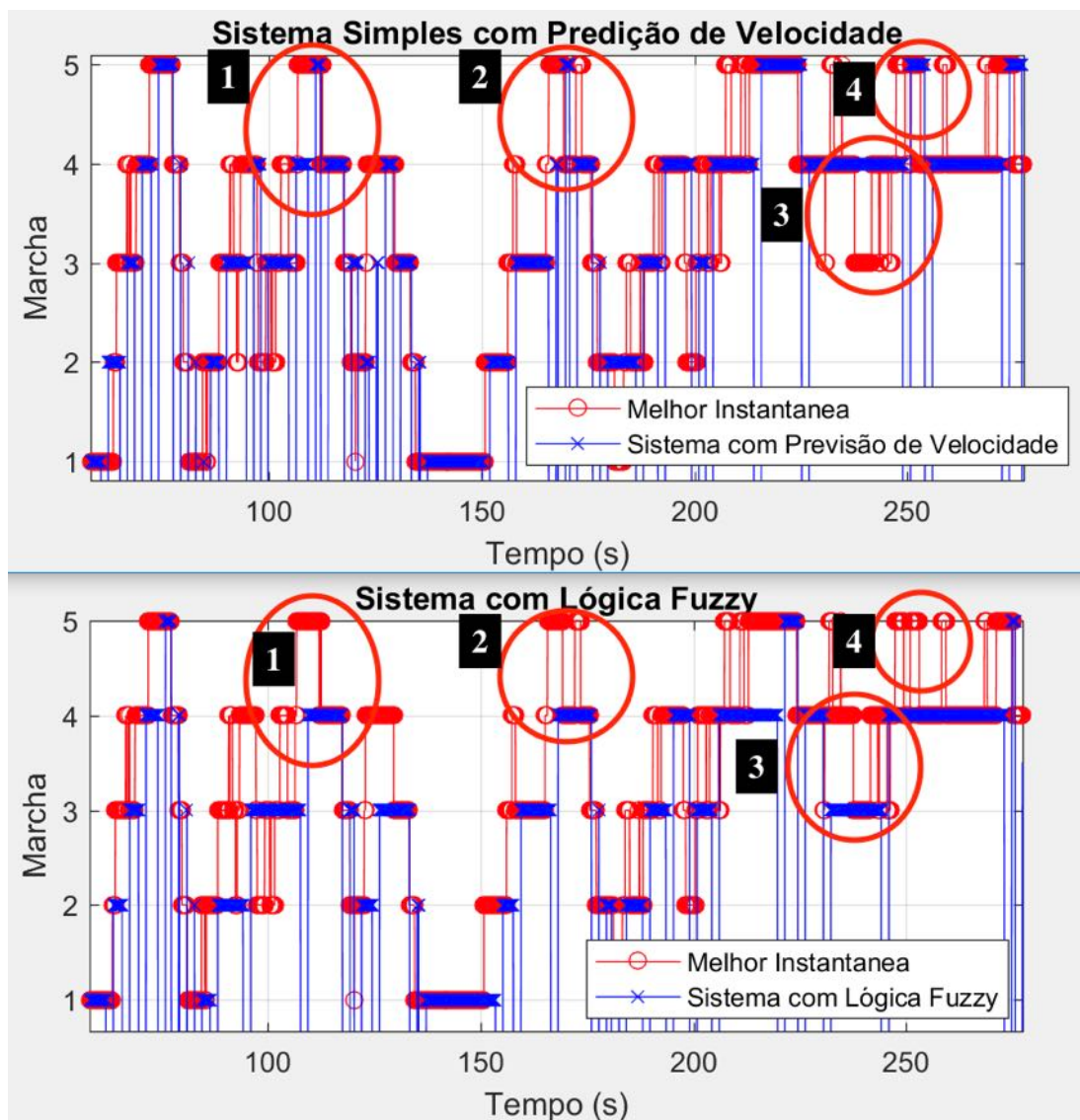


Figura 62: Comparação - Simulação Sistema com Previsão de Velocidade X Sistema Fuzzy

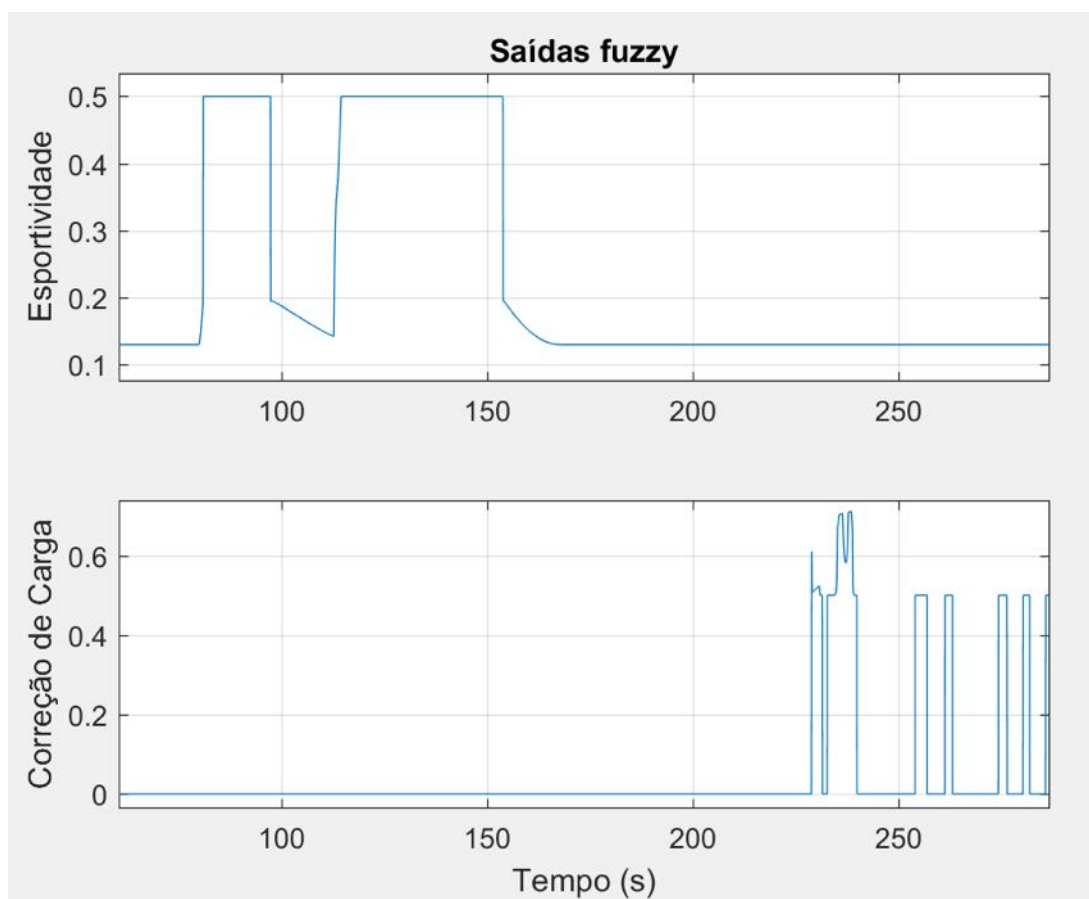


Figura 63: Índices de Esportividade e Correção de Carga no Trecho em Questão

Note que, nos trechos indicados por 1 e 2, as reduções de marcha se deram pela elevada esportividade da direção naquele momento, dando preferência a marchas mais reduzidas de maneira geral. E nos trechos destacados 3 e 4 a previsão se deu por previsões pontuais de aumento de carga iminente como pode-se observar na figura contendo as saídas fuzzy do trecho em questão.

Note que nos trechos destacados a lógica fuzzy auxiliou o sistema com previsão de velocidade e impediu trocas desnecessárias e manteve marchas reduzidas quando jugado que elas seriam utilizadas em breve, reduzindo a taxa de marcha acima do sistema.

Em relação ao sistema simples com previsão de velocidade, o sistema fuzzy conseguiu atingir uma redução de 39.1% na taxa de marcha acima, uma redução de 11.6% na taxa de marcha desengrenada e ao mesmo tempo uma redução de apenas 3.9% na taxa de acerto de marcha. Ou seja, houve uma significativa redução nos trechos em que o motorista gostaria de estar acelerando mais, mas não conseguia e as custas de uma pequena perda de eficiência energética.

Porém, em relação ao sistema simples sem previsão, houve melhora em todos os parâmetros. Uma redução de 47.4% na taxa de marcha acima, redução de 24.6% na taxa de marcha desengrenada ou indisponível e aumento na taxa de acerto em 2.72% que está relacionada a eficiência energética.

6 CONCLUSÃO

O desenvolvimento do sistema fuzzy de controle de marcha teve um processo de melhora incremental a partir do sistema simples de troca de marchas. A primeira melhora foi a utilização do sinal de velocidade presumida, que melhorou significativamente a taxa de acerto do sistema com melhoras menos significativas nos outros parâmetros de comparação de desempenho. Porém, sua função era principalmente reduzir o tempo de atraso de atuação do sistema.

Com esse sinal melhorado de comandos para a troca de marcha, aplicou-se as previsões da lógica fuzzy que ajudaram o sistema a decidir de vale ou não a pena mudar de marcha. A esportividade da forma de dirigir é um dos principais parâmetros que rege a troca de marcha pois uma transmissão automática ou automatizada deve buscar atender as intenções do motorista, e sua forma de dirigir varia conforme vários fatores.

Houveram tentativas de prever a carga do motor com base em fatores como chuva, quantidade de passageiros, hora do dia, porém essas relações se mostraram extremamente complicadas de gerar uma previsão confiável. Por isso, optou-se por avaliar o comportamento recente do motorista e definir um índice de esportividade baseado nesse passado próximo. Essa técnica se mostrou eficiente. Houve muita melhora principalmente nas taxas de marcha acima e marcha indisponível que afetam diretamente o prazer ao dirigir o automóvel.

Uma outra alternativa, porém, que exige uma coleta maior de dados seria desenvolver redes neurais que relacionariam vários fatores, inclusive os coletados por esse trabalho, com a forma de dirigir melhorando assim as previsões de carga e consequentemente podendo tomar melhores decisões sobre qual marcha selecionar.

Este trabalho escolheu algumas situações mais previsíveis a fim de prever a carga e melhorar o desempenho do sistema nessas situações como manter a velocidade máxima de uma via com aclives e declives suaves. E essas previsões também ajudaram a melhorar o desempenho geral do sistema.

Além disso, a lógica fuzzy se mostrou extremamente simples de se trabalhar, se mostrando uma ferramenta bastante simples e robusta ao mesmo tempo. E apesar de não ter sido utilizada de maneiras convencionais no tema tratado, possibilitou a obtenção de bons resultados.

Outro tema relevante no controle de câmbios automatizados é a questão da manutenção dispendiosa, porém, com melhores previsões do comportamento do motorista, o atuador pode ser preservado atuando com maior tempo geral de troca de marcha e trocas mais suaves e evitando situações que prejudicam a durabilidade do câmbio automatizado.

Finalmente, as técnicas utilizadas nesse trabalho podem ser úteis para virtualmente todo veículo que dispõe de câmbio automatizado, principalmente para veículos que dispõe de câmeras e conseguem ver o trajeto a frente como veículos autônomos e transferir para o computador a forma de atuação de um humano expert, facilitando o desenvolvimento de veículos autônomos.

7 LISTA DE REFERÊNCIAS

- 1 – LEGG, GARY. "Transmission's fuzzy logic keeps you on track." - EDN 23/Dez/1993: p60
- 2 – HAYASHI, SHIMIZU, DOTE, TAKAYAMA, HIRAKO. "Neuro Fuzzy Transmission Control for Automobile with Variable Loads" - IEEE TRANSACTIONS ON CONTROL SYSTEMS TECHNOLOGY, VOL. 3. YO. I, MARÇO 1995
- 3 – Yulong Lei, Ke Liu, Yuanxia Zhang, Yao Fu, Hongbo Liu, Ge Lin, Hui Tang. "Adaptive Gearshift Strategy Based on Generalized Load Recognition for Automatic Transmission Vehicles" - Mathematical Problems in Engineering Volume 2015
- 4 – The OBD II Home Page – Disponível em <<http://www.obdii.com/connector.html>> Acesso em 16/Out/2016
- 5 – BASTIAN Andreas. "Fuzzy Logic in Automatic Transmission Control" - International Journal of Vehicle Mechanics and Mobility Volume 24, 1995
- 6 – VON ALTROCK Constantin. "Fuzzy Logic in Automotive Engineering" – Circuit Cellar INK, The Computer Applications Journal Volume 88, Nov. 1997
- 7 – Manual do Proprietário (Corsa Hatch Maxx 2012) – Disponível em <http://www.chevrolet.com.br/content/dam/Chevrolet/lat-am/Brazil/nscwebsite/pt/Home/Owners/Vehicle%20Manuals/2012/02_pdf/Manual_Corsa_2012.pdf> Acesso em 21/Maio/2016

8 – OCHARIS John, VATCHTSEVANOS George. “Adaptive Fuzzy Neural Networks as Identifiers of Discrete-Time Nonlinear Dynamic Systems” - Mathematical Problems in Engineering Volume 201

9 – Página de compra do iPhone 6 da operadora Verizon – Disponível em <<https://www.verizonwireless.com/smartphones/iphone-6>> Acesso em 16/Out/2016

10 – Página sobre programação em iOS – Disponível em <<https://stackoverflow.com/questions/5206575/iphone-gyroscope-why-is-yaw-and-pitch-connected>> Acesso em 16/Out/2016

ANEXO A – INFORMAÇÕES SOBRE OS TRAJETOS PERCORRIDOS

Tabela 4: Informações sobre os trajetos percorridos, 1 a 20

ID	Dia da Semana	Hora de Saída	Duração [horas]	Vel. Média [km/h]	Distância Percorrida [km]
1	Segunda	9:13	0:30	22.3	11.2
2	Segunda	17:57	0:32	19.8	10.7
3	Terça	14:57	0:04	11.9	0.8
4	Terça	15:04	0:03	13.5	0.8
5	Quarta	11:59	0:35	19.1	11.2
6	Quarta	18:28	0:33	21.1	11.7
7	Quinta	6:43	0:58	27.1	26.4
8	Quinta	9:48	1:07	18.1	20.3
9	Quinta	18:23	0:35	17.5	10.4
10	Sexta	12:33	0:33	19.9	11.2
11	Sexta	18:49	0:40	15.2	10.3
12	Sábado	21:55	0:05	24.1	2.2
13	Sábado	22:13	0:13	13.8	3.2
14	Domingo	0:21	0:19	19.8	6.5
15	Domingo	12:35	0:12	35.8	7.2
16	Domingo	14:06	0:26	28.7	12.6
17	Segunda	9:07	0:29	22.4	11.2
18	Segunda	12:05	0:27	23.6	10.9
19	Segunda	13:07	0:26	25.8	11.2
20	Quarta	9:14	0:37	18.2	11.5

Tabela 5: Informações sobre os trajetos percorridos, 21 a 38

21	Quarta	18:07	0:50	13.1	11.0
22	Quinta	9:19	0:29	22.9	11.2
23	Quinta	17:13	0:36	17.9	10.8
24	Quinta	20:02	0:13	10.3	2.4
25	Segunda	9:02	0:36	18.4	11.2
26	Segunda	17:32	0:34	18.8	10.8
27	Quarta	9:24	0:35	19.0	11.2
28	Quarta	18:38	0:32	20.1	10.8
29	Quinta	6:45	0:53	29.6	26.3
30	Quinta	9:30	0:47	26.1	20.5
31	Quarta	21:10	0:29	26.0	12.6
32	Segunda	18:31	0:36	13.9	8.5
33	Sexta	9:11	0:42	15.6	11.2
34	Sexta	7:44	0:39	61.2	40.3
35	Sexta	8:52	1:11	64.4	77.0
36	Sábado	21:14	0:46	64.9	50.4
37	Sábado	22:04	1:06	64.0	70.6
38	Sábado	23:21	0:16	36.9	10.4

ANEXO B – DESEMPENHO SIMULADO DOS SISTEMAS

Tabela 6: Desempenho do Sistema Simples, 1 a 21

ID	Taxa de Acerto	Taxa Acima	Taxa Abaixo	Taxa Desengrenada	N. Trocas
1	58.5%	8.4%	7.4%	25.7%	289
2	66.3%	6.3%	5.5%	21.9%	261
3	73.3%	5.0%	5.2%	16.5%	23
4	66.7%	5.3%	6.5%	21.5%	27
5	66.0%	6.1%	6.4%	21.6%	289
6	61.4%	8.0%	6.0%	24.6%	304
7	69.8%	7.2%	5.9%	17.1%	385
8	72.9%	6.7%	5.3%	15.1%	409
9	69.8%	6.6%	4.8%	18.8%	263
10	68.0%	6.6%	5.6%	19.8%	273
11	69.0%	5.4%	5.4%	20.1%	331
12	56.8%	8.2%	7.7%	27.3%	47
13	66.7%	7.1%	5.2%	20.9%	107
14	57.7%	6.6%	6.5%	29.2%	213
15	68.5%	6.3%	4.5%	20.7%	81
16	59.9%	7.0%	6.5%	26.6%	249
17	58.5%	8.0%	7.2%	26.3%	292
18	60.1%	7.5%	6.6%	25.8%	267
19	55.8%	8.6%	7.1%	28.5%	281
20	67.3%	7.1%	6.1%	19.5%	283
21	72.2%	5.9%	5.3%	16.6%	335

Tabela 7: Desempenho do Sistema Simples, 22 a 38

22	59.9%	7.3%	7.1%	25.7%	284
23	65.2%	7.6%	5.4%	21.8%	302
24	75.2%	5.3%	4.0%	15.5%	81
25	67.6%	5.7%	6.0%	20.7%	291
26	66.2%	6.9%	6.7%	20.3%	277
27	65.2%	6.5%	6.5%	21.7%	296
28	66.0%	6.8%	5.9%	21.3%	265
29	69.1%	7.0%	5.1%	18.8%	395
30	61.0%	8.5%	7.4%	23.2%	415
31	72.8%	6.9%	5.9%	14.4%	159
32	68.7%	5.8%	5.8%	19.7%	273
33	75.8%	5.0%	4.2%	15.0%	255
34	81.7%	5.1%	2.9%	10.2%	155
35	93.7%	1.3%	1.1%	3.9%	119
36	93.0%	1.8%	1.2%	4.0%	77
37	78.4%	5.0%	4.3%	12.2%	308
38	52.8%	10.2%	6.8%	30.2%	182

Tabela 8: Desempenho do Sistema Simples com Predição de Velocidade, 1 a 21

ID	Taxa de Acerto	Taxa Acima	Taxa Abaixo	Taxa Desengrenada	N. Trocas
1	65.6%	8.5%	5.4%	20.5%	249
2	72.6%	4.7%	3.9%	18.8%	239
3	76.4%	2.0%	3.3%	18.2%	23
4	71.5%	4.7%	3.1%	20.7%	24
5	73.0%	5.0%	5.4%	16.6%	245
6	68.1%	6.4%	4.8%	20.6%	279
7	74.4%	5.7%	3.9%	16.0%	359
8	76.4%	5.4%	4.1%	14.0%	377
9	74.6%	5.2%	3.7%	16.5%	243
10	72.9%	6.1%	4.3%	16.6%	237
11	73.8%	5.0%	5.0%	16.3%	285
12	63.2%	5.0%	6.2%	25.6%	45
13	75.3%	5.0%	3.8%	15.9%	93
14	64.4%	6.0%	4.8%	24.7%	191
15	72.3%	6.6%	3.3%	17.8%	79
16	66.3%	7.2%	5.4%	21.1%	223
17	64.9%	7.2%	6.3%	21.7%	257
18	64.7%	6.5%	5.6%	23.2%	258
19	63.2%	9.0%	7.1%	20.7%	220
20	72.3%	6.2%	4.4%	17.2%	261
21	76.8%	4.1%	3.2%	15.9%	323

Tabela 9: Desempenho do Sistema Simples com Predição de Velocidade, 22 a 38

22	65.9%	7.0%	6.1%	21.0%	240
23	70.3%	5.3%	5.0%	19.5%	281
24	79.8%	2.7%	2.3%	15.2%	85
25	72.3%	5.0%	4.5%	18.1%	266
26	71.6%	5.4%	4.8%	18.2%	263
27	70.6%	5.0%	4.8%	19.6%	277
28	71.7%	6.0%	4.6%	17.7%	231
29	74.3%	6.0%	2.5%	17.3%	367
30	67.0%	7.8%	6.5%	18.7%	352
31	76.1%	5.6%	4.3%	14.0%	153
32	74.7%	5.6%	4.9%	14.8%	233
33	79.8%	4.0%	2.9%	13.3%	241
34	83.8%	5.5%	2.1%	8.5%	135
35	94.9%	1.1%	0.8%	3.2%	106
36	94.4%	1.9%	1.0%	2.7%	53
37	81.5%	5.2%	3.6%	9.7%	254
38	59.6%	9.7%	5.5%	25.2%	164

Tabela 10: Desempenho do Sistema com Lógica Fuzzy, 1 a 21

ID	Taxa de Acerto	Taxa Acima	Taxa Abaixo	Taxa Desengrenada	N. Trocas
1	64.0%	5.0%	13.0%	17.9%	215
2	70.9%	3.0%	10.3%	15.9%	211
3	78.0%	1.5%	7.4%	13.1%	19
4	68.1%	3.0%	11.6%	17.4%	22
5	72.6%	3.0%	11.4%	13.0%	193
6	64.7%	4.1%	13.9%	17.2%	231
7	72.2%	3.9%	9.9%	14.0%	321
8	74.4%	3.5%	10.1%	12.0%	347
9	73.2%	3.0%	10.0%	13.8%	211
10	72.4%	3.7%	9.4%	14.5%	201
11	73.9%	3.0%	9.7%	13.4%	235
12	62.3%	2.4%	14.9%	20.4%	33
13	71.7%	3.7%	9.2%	15.4%	85
14	61.1%	3.8%	14.8%	20.3%	155
15	62.4%	3.1%	15.3%	19.2%	81
16	60.0%	4.9%	14.5%	20.7%	211
17	63.4%	4.8%	13.5%	18.3%	215
18	62.6%	4.2%	13.9%	19.2%	209
19	59.3%	5.1%	16.5%	19.0%	197
20	71.6%	4.1%	9.5%	14.8%	233
21	74.7%	2.7%	9.2%	13.4%	283

Tabela 11: Desempenho do Sistema com Lógica Fuzzy, 22 a 38

22	63.3%	4.1%	14.5%	18.1%	205
23	67.3%	3.6%	13.2%	15.9%	229
24	79.8%	2.2%	5.7%	12.3%	71
25	71.5%	2.7%	12.1%	13.6%	205
26	69.8%	3.9%	10.5%	15.8%	231
27	70.1%	2.9%	11.3%	15.8%	231
28	68.4%	4.1%	12.3%	15.2%	205
29	72.9%	4.3%	7.7%	15.2%	323
30	62.4%	3.8%	16.6%	17.2%	327
31	69.9%	1.7%	14.5%	13.9%	147
32	73.4%	4.0%	9.1%	13.5%	207
33	78.3%	2.7%	7.8%	11.2%	205
34	77.5%	2.6%	10.3%	9.6%	143
35	91.8%	0.7%	2.9%	4.5%	132
36	90.1%	1.3%	3.9%	4.7%	85
37	73.3%	2.2%	14.4%	10.1%	256
38	47.5%	5.0%	23.5%	23.9%	140

ANEXO C – RESUMO DO DESEMPENHO DOS SISTEMAS

Tabela 12: Desempenho resumido dos Sistemas com taxas médias ponderadas pelo tempo de trajeto

	Taxa de Acerto	Taxa Acima	Taxa Abaixo	Taxa Desengrenada	N. Trocas por minuto
Sistema Simples	69.9%	6.2%	5.3%	18.5%	7.08
Sistema Simples com Predição de Velocidade	74.7%	5.4%	4.1%	15.8%	6.35
Sistema com Lógica Fuzzy	71.8%	3.3%	10.9%	14.0%	5.61

ANEXO D – PROGRAMAS UTILIZADOS

Os códigos de Matlab utilizados neste trabalho e o código do aplicativo de celular utilizado na coleta de dados foram disponibilizados no seguinte endereço eletrônico:

- www.sourceforge.net/projects/intelligentgearshiftcontrol/files

ANEXO E – DADOS COLETADOS E PROCESSADOS

Os dados coletados e processados foram disponibilizados no seguinte endereço permanente na internet e são agora, domínio público.

- www.kaggle.com/vitorrf/cartripsdatamining