

**ESTUDO DA RELAÇÃO ENTRE CONSUMO DE ENERGIA DE VEÍCULOS ELÉTRICOS E A IRREGULARIDADE LONGITUDINAL DE PAVIMENTOS**

**IAN MOREIRA RIBEIRO**

MONOGRAFIA DE PROJETO FINAL EM ENGENHARIA CIVIL

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA**

FACULDADE DE TECNOLOGIA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL

BRASÍLIA / DF: DEZEMBRO – 2018

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
FACULDADE DE TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL

**ESTUDO DA RELAÇÃO ENTRE CONSUMO DE ENERGIA DE  
VEÍCULOS ELÉTRICOS E A IRREGULARIDADE LONGITUDINAL  
DE PAVIMENTOS**

**IAN MOREIRA RIBEIRO**

ORIENTADOR: LUIZ GUILHERME RODRIGUES DE MELLO

MONOGRAFIA DE PROJETO FINAL EM ENGENHARIA CIVIL

BRASÍLIA / DF: DEZEMBRO–2018  
UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
FACULDADE DE TECNOLOGIA

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
FACULDADE DE TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL

**ESTUDO DA RELAÇÃO ENTRE CONSUMO DE ENERGIA DE  
VEÍCULOS ELÉTRICOS E A IRREGULARIDADE LONGITUDINAL DE  
PAVIMENTOS**

**IAN MOREIRA RIBEIRO**

MONOGRAFIA DE PROJETO FINAL SUBMETIDA AO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE BACHAREL EM ENGENHARIA CIVIL.

**APROVADA POR:**

---

**Prof. Luiz Guilherme Rodrigues de Mello, D.Sc (UnB)**  
(Orientador)

---

**Prof. Michelle Andrade, D.Sc (UnB)**  
(Examinadora)

---

**Prof. Márcio Muniz, D.Sc (UnB)**  
(Examinador)

BRASÍLIA/DF, 03 DE DEZEMBRO DE 2018

## FICHA CATALOGRÁFICA

RIBEIRO, IAN MOREIRA

ESTUDO DA RELAÇÃO ENTRE CONSUMO DE ENERGIA DE VEÍCULOS ELÉTRICOS E A IRREGULARIDADE LONGITUDINAL DE PAVIMENTOS  
[DISTRITO FEDERAL] 2018.

XV, 110P., 297 MM (ENC/FT/UNB, BACHAREL, ENGENHARIA CIVIL, 2018)  
MONOGRAFIA DE PROJETO FINAL - UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA. FACULDADE DE TECNOLOGIA.  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL.

1. VEÍCULOS ELÉTRICOS

2. GERENCIAMENTO DE PAVIMENTO

3. IRREGULARIDADE LONGITUDINAL

I. ENC/FT/UNB

II. TÍTULO (BACHAREL)

## REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

RIBEIRO, I.M. (2018). Estudo da Relação entre Consumo de Energia de Veículos Elétricos e a Irregularidade Longitudinal de Pavimentos. Monografia de Projeto Final em Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 126p.

## CESSÃO DE DIREITOS

AUTOR: Ian Moreira Ribeiro.

TÍTULO: Estudo da Relação entre Consumo de Energia de Veículos Elétricos e a Irregularidade Longitudinal de Pavimentos.

GRAU: Bacharel em Engenharia Civil ANO: 2018

É concedida à Universidade de Brasília a permissão para reproduzir cópias desta monografia de Projeto Final e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte desta monografia de Projeto Final pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.

---

Ian Moreira Ribeiro  
SQS 108: Bloco H, Apartamento 10, Asa Sul  
CEP: 70.347.080 Brasília – DF – Brasil  
e-mail: [ian.mr07@gmail.com](mailto:ian.mr07@gmail.com)

## AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar a Naná. Mulher fantástica, forte e minha maior inspiração. Ao seu Zé Mauro por me ensinar que eu “tenho o privilégio de não saber quase tudo. E isso explica o resto.” Ao Ilo, meu Guru.

A todos os integrantes do grupo de estudos B. 10 Marcello Menezes, Augusto César, Gabriel Duarte e Toni Pedroza pelas incansáveis horas de estudo e dedicação. Ao Frederico Veiga e seu fiel amigo Kiko por acreditarem em mim e me apoiarem nos momentos mais difíceis. Ao Lucas Madriles por muito pouco ou quase nada. A Júlia Porto, uma irmã que ganhei durante a vida. Aos meus grandes amigos Ângelo Guerra e Guilherme Galvão. A todos os colegas de curso.

A Sisi pelo carinho e toda a ajuda.

Ao professor Luiz Guilherme por todos os ensinamentos, por acreditar na pesquisa e ajudar em todas as dificuldades encontradas ao longo do projeto. Ao professor Augusto Brasil e seu orientando Wesley Cândido por disponibilizarem o veículo Toyota Prius e ajudarem na execução dos ensaios. A empresa BYD por disponibilizarem o automóvel BYD E6 para a realização do estudo A empresa Dynatest por ceder o perfilômetro e auxiliar com sua equipe na realização da pesquisa

Por fim, a Universidade de Brasília, um lugar fantástico.

# **ESTUDO DA RELAÇÃO ENTRE CONSUMO DE ENERGIA DE VEÍCULOS ELÉTRICOS E A IRREGULARIDADE LONGITUDINAL DE PAVIMENTOS.**

## **RESUMO**

O mundo está passando por período de reestruturação quanto à diversificação das suas matrizes energéticas utilizadas com a finalidade de diminuir a dependência de combustíveis fósseis e também por motivos ambientais. É nesse contexto que o veículo elétrico surge como uma possível alternativa frente a este cenário de novas demandas. Essa pesquisa avança sobre essa temática ao propor o desenvolvimento de um modelo que relacione o índice IRI de irregularidade longitudinal de pavimentos com o consumo de energia elétrica do automóvel. Este modelo busca proporcionar informações necessárias para atualização de *softwares* de gerência de pavimento como o programa HDM 4 e, desta maneira, prover os gestores de pavimento com os dados fundamentais para a escolha da melhor alternativa socioambiental de investimento.

Palavras-chave: Pavimentação, irregularidade longitudinal, veículos elétricos

## **RESEARCH OF THE RELATIONSHIP BETWEEN ENERGY COMSUPTION OF ELECTRICAL VEHICLES AND PAVEMENT ROUGHNESS.**

### **ABSTRACT**

The world is undergoing a period of renovation regarding the diversification of its matrix energetics used with the aim to diminish the dependence on fossil fuels and also on environmental reasons. In this context the electric vehicle emerges as a possible alternative to this scenario of new demands. This research advances this theme to propose the development of a model that relates the IRI International Roughness *Index* with the consumption of electric energy of automobiles. This model seeks to provide required information to update softwares of pavement management with the HDM 4 program and, in such a way, provides road managers with the fundamental data for choosing the best social environmental investment alternative.

Keywords: Pavement, roughness index, electrical vehicles

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO .....	1
1.1. MOTIVAÇÃO .....	2
1.2. OBJETIVOS .....	2
1.3. ESTRUTURA DO TRABALHO .....	2
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	4
2.1. TECNOLOGIAS AUTOMOTIVAS - VEÍCULOS ELÉTRICOS, HÍBRIDOS E BATERIAS .....	4
2.1.1. EVOLUÇÃO HISTÓRICA DOS VEÍCULOS ELÉTRICOS E HÍBRIDOS .....	5
2.1.2. VEÍCULOS ELÉTRICOS HÍBRIDOS – VEHs .....	9
2.1.3. VEÍCULOS ELÉTRICOS PLUG-IN .....	10
2.1.4. BATERIAS .....	11
2.2. IRREGULARIDADE LONGITUDINAL DO PAVIMENTO .....	13
2.2.1. CONCEITO DE IRREGULARIDADE DO PAVIMENTO .....	13
2.2.2. OS PRIMEIROS ESTUDOS SOBRE IRREGULARIDADE DO PAVIMENTO ... .....	15
2.2.3. O CONCEITO DE SERVENTIA DO PAVIMENTO E PERFORMANCE .....	17
2.2.4. IRREGULARIDADE DO PAVIMENTO ENTRE OS ANOS DE 1960 E 1980	19
2.2.5. INTERNATIONAL ROUGHNESS INDEX - IRI .....	21
2.2.6. IRREGULARIDADE DO PAVIMENTO NOS DIAS ATUAIS .....	24
2.3. GERENCIAMENTO DE PAVIMENTOS .....	26
2.3.1. CONCEITOS E COMPONENTES DO SISTEMA DE GERENCIAMENTO DE PAVIMENTOS .....	26
2.3.2. NÍVEIS DE REDE E PROJETO EM GERÊNCIA DE PAVIMENTOS .....	28
2.3.3. ATIVIDADES BÁSICAS DO GERENCIAMENTO DE PAVIMENTOS .....	29
2.3.4. O <i>SOFTWARE</i> HDM 4 .....	33
(i) QUADRO ANALÍTICO DO HDM 4 .....	34

(ii) GERENCIADOR DE DADOS .....	35
(iii) FERRAMENTAS DE ANÁLISES .....	36
(iv) MODELOS .....	37
3. METODOLOGIA .....	39
3.1. DESCRIÇÃO DOS VEÍCULOS .....	39
3.1.1. TOYOTA PRIUS .....	40
3.1.2. BYD E6 .....	41
3.2. DESCRIÇÃO DO TRECHO EXPERIMENTAL .....	43
3.2.1. TRECHO EXPERIMENTAL KM 113 .....	45
3.2.2. TRECHO EXPERIMENTAL KM 111 .....	46
3.2.3. TRECHO EXPERIMENTAL KM 106 .....	47
3.2.4. TRECHO EXPERIMENTAL KM 97 .....	48
3.3. MONITORAMENTO DO CONSUMO DE ENERGIA .....	49
3.3.1. TOYOTA PRIUS .....	49
3.3.2. BYD E6 .....	53
3.4. ANÁLISES ESTATÍSTICAS DOS DADOS .....	54
3.5. EXECUÇÃO DO EXPERIMENTO .....	55
4. ANÁLISE DE RESULTADOS .....	58
4.1. RESULTADOS EXPERIMENTAIS TOYOTA PRIUS .....	58
4.1.1. RESULTADOS DO TRECHO EXPERIMENTAL KM 113 .....	58
4.1.2. RESULTADOS DO TRECHO EXPERIMENTAL KM 111 .....	61
4.1.3. ANÁLISE ESTATÍSTICA – RELAÇÃO ESTADO DE CARGA X VELOCIDADE .....	63
i. TRECHO EXPERIMENTAL KM 113 .....	63
ii. TRECHO EXPERIMENTAL KM 111 .....	64
4.1.4. ANÁLISE ESTATÍSTICA – RELAÇÃO ESTADO DE CARGA X QUALIDADE DO PAVIMENTO .....	65
i. VELOCIDADE MÉDIA 35 KM/H .....	65



ii. VELOCIDADE MÉDIA 55 KM/H .....	66
4.2. RESULTADOS EXPERIMENTAIS BYD E6 .....	66
4.2.1. RESULTADOS EXPERIMENTAIS DOS TRECHOS KM 113, KM 106 E KM 97 .....	67
4.2.2. ANÁLISE ESTATÍSTICA – RELAÇÃO POTÊNCIA X VELOCIDADE .....	70
i. TRECHO EXPERIMENTAL KM 113 .....	71
ii. TRECHO EXPERIMENTAL KM 97.....	72
iii. TRECHO EXPERIMENTAL KM 106.....	74
4.2.3. ANÁLISE ESTATÍSTICA – RELAÇÃO POTÊNCIA X QUALIDADE DO PAVIMENTO (IRI).....	75
i. VELOCIDADE MÉDIA 45 KM/H .....	76
ii. VELOCIDADE MÉDIA DE 60 KM/H .....	77
iii. VELOCIDADE MÉDIA DE 80 KM/H .....	79
4.3. EQUAÇÃO DA POTÊNCIA EM FUNÇÃO DO IRI .....	80
5. CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS .....	82
ANEXO A – RESULTADOS TOYOTA PRIUS.....	84
ANEXO B - RESULTADOS BYD E6.....	98
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	106

## LISTAS DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA	PÁGINA
Figura 2.1 - Automóvel Híbrido Lohner Porsche .....	6
Figura 2.2– Configuração em série de um VEH.....	9
Figura 2.3– Configuração em paralelo de um VEH .....	10
Figura 2.4– Estrada Romana.....	13
Figura 2.5– Desenho esquemático do equipamento Viagraph .....	15
Figura 2.6 - BPR Roughmeter .....	16
Figura 2.7 – Avaliação PSR.....	18
Figura 2.8 – Perfilômetro CHLOE.....	19
Figura 2.9 – Desenho esquemático de medidores do tipo resposta .....	20
Figura 2.10 – Esquema de funcionamento de um Perfilômetro Inercial .....	20
Figura 2.11 – Modelo do Quarto de Carro .....	23
Figura 2.12– Dipstick a esquerda e Walking Profile a direita .....	24
Figura 2.13 – Desenho esquemático do equipamento Merlin .....	25
Figura 2.14 – PPS 2000 .....	25
Figura 2.15 – Componentes do Sistema de Gerenciamento de Pavimentos .....	27
Figura 2.16 – Componentes do Sistema de Gerenciamento de Pavimentos em Níveis de rede e projeto.....	29
Figura 2.17 – Código de identificação dos trechos do PNV .....	30
Figura 2.18 – Código de identificação dos subtrechos .....	30
Figura 2.19 – Níveis de Serventia.....	31
Figura 2.20 – Interface do programa HDM 4 .....	35
Figura 3.1– BYD E6 a esquerda e Toyota Prius a direita.....	39
Figura 3.2 – Configuração do sistema propulsor do Toyota Prius .....	40
Figura 3.3 – Informações do painel do Toyota Prius.....	41
Figura 3.4 – BYD E6 e ficha técnica .....	42
Figura 3.5 - Sistema de frenagem regenerativa .....	42
Figura 3.6 - Localização dos trechos experimentais.....	43
Figura 3.7 - Qualidade da irregularidade superficial .....	44

Figura 3.8 – Perfilômetro a laser Dynatest RSP .....	45
Figura 3.9 – OBD II (ELM 327) .....	49
Figura 3.10 – Taxa de variação média .....	50
Figura 3.11 – Painel do BYD E6 .....	53
Figura 3.12 – Fluxograma ensaio Toyota Prius.....	56
Figura 3.13 – Fluxograma ensaio BYD E6 .....	57

## LISTAS DE GRÁFICOS

GRÁFICO	PÁGINA
Gráfico 2.1 – Expectativa de vendas de veículos .....	4
Gráfico 2.2 – Distribuição de publicações de famílias de patentes (1994-2014) .....	7
Gráfico 2.3 – Patentes relacionadas aos veículos elétricos (1994-2013) .....	8
Gráfico 2.4 – Venda de veículos elétricos, Híbridos e Plug-in.....	8
Gráfico 2.5– Curvas de potência comparativas entre motores elétrico e MCI.....	10
Gráfico 2.6 – Ciclos de descarga .....	11
Gráfico 2.7 – Potência específica x Energia específica em diferentes tipos de bateria ....	12
Gráfico 2.8 – Período recomendável para manutenção de pavimentos.....	32
Gráfico 2.9 – Valores de utilização do IRI em pavimentos .....	32
Gráfico 2.10 - Relação custo do usuário e IRI .....	34
Gráfico 3.1 - Valores de IRI – Trecho experimental km 113 .....	45
Gráfico 3.2 - Perfil topográfico – trecho experimental km 113.....	46
Gráfico 3.3 - Valores de IRI – Trecho experimental km 111 .....	46
Gráfico 3.4 - Perfil topográfico – trecho experimental km 111.....	47
Gráfico 3.5 - Valores de IRI – Trecho experimental km 106 .....	47
Gráfico 3.6 - Perfil topográfico – trecho experimental km 106.....	48
Gráfico 3.7 - Valores de IRI – Trecho experimental km 97 .....	48
Gráfico 3.8 - Perfil topográfico – trecho experimental km 97.....	49
Gráfico 3.9 Variação do estado de carga do Toyota Prius.....	51
Gráfico 3.10 - Curva polinomial do estado de carga .....	52
Gráfico 3.11 - Reta secante a equação polinomial .....	52
Gráfico 3.12 - Variação da potência .....	54
Gráfico 4.1 - Teste 1 Variação do estado de carga.....	58
Gráfico 4.2 - Teste 2 Variação do estado de carga.....	59
Gráfico 4.3 - Teste 3 Variação do estado de carga.....	59
Gráfico 4.4 - Taxa de variação média trecho experimental km 113 .....	61
Gráfico 4.5 - Taxa de variação média trecho experimental km 111 .....	62

Gráfico 4.6 - Taxa de variação média e desvio padrão trecho experimental km 113 .....	63
Gráfico 4.7 - Taxa de variação média e desvio padrão trecho experimental km 111 .....	64
Gráfico 4.8 - Taxa de variação média e desvio velocidade de 35 km/h .....	65
Gráfico 4.9 – Taxa de variação média e desvio velocidade de 55 km/h .....	66
Gráfico 4.10 – Variação da potência (45km/h, km 113, BYD E6) .....	67
Gráfico 4.11 - Variação da potência (60km/h, km 113, BYD E6) .....	68
Gráfico 4.12 - Variação da potência (80km/h, km 113, BYD E6) .....	68
Gráfico 4.13 – Potências médias BYD E6 .....	70
Gráfico 4.14 – Potências médias km 113 BYD E6 .....	71
Gráfico 4.15 – Box plot teste de Duncan km113 BYD E6 .....	72
Gráfico 4.16 – Potências médias km 97 BYD E6 .....	72
Gráfico 4.17 – Box plot teste de Duncan km 97 BYD E6 .....	73
Gráfico 4.18 – Potências médias km 106 BYD E6 .....	74
Gráfico 4.19 – Box plot teste de Duncan km 106 BYD E6 .....	75
Gráfico 4.20 – Potências médias 45 km/h BYD E6 .....	76
Gráfico 4.21 – Box plot teste de Duncan 45 km/h BYD E6 .....	77
Gráfico 4.22 – Potências médias 60 km/h BYD E6 .....	77
Gráfico 4.23 – Box plot teste de Duncan 60 km/h BYD E6 .....	78
Gráfico 4.24 – Potências médias 80 km/h BYD E6 .....	79
Gráfico 4 25 – Box plot teste de Duncan 80 km/h BYD E6 .....	80
Gráfico 4.26 – Equações da potência em função do IRI .....	80

## LISTAS DE TABELAS

TABELA	PÁGINA
Tabela 4.1 - Dados experimentais km 113 Toyota Prius .....	60
Tabela 4.2 - Dados experimentais km 111 Toyota Prius .....	62
Tabela 4.3 – Resultados ANOVA km 113 Toyota Prius .....	64
Tabela 4.4 - Resultados ANOVA km 111 Toyota Prius .....	64
Tabela 4.5 – Resultados ANOVA 35 km/h Toyota Prius .....	65
Tabela 4.6 Resultados ANOVA 55 km/h Toyota Prius .....	66
Tabela 4.7 - Dados experimentais BYD E6 (km 113, km 106 e km 97) .....	69
Tabela 4.8 – Resultados ANOVA km 113 BYD E6 .....	71
Tabela 4.9 – Resultados teste de Duncan km 113 BYD E6 .....	71
Tabela 4.10 – Resultados ANOVA km 97 BYD E6 .....	72
Tabela 4.11 – Resultados teste de Duncan km 97 BYD E6 .....	73
Tabela 4.12 – Resultados ANOVA km 106 BYD E6 .....	74
Tabela 4.13 – Resultados teste de Duncan km 106 BYD E6 .....	74
Tabela 4.14 – Resultados Anova 45 km/h BYD E6 .....	76
Tabela 4.15 – Resultados teste de Duncan 45 km/h BYD E6 .....	76
Tabela 4.16 – Resultados ANOVA 60 km/h BYD E6 .....	77
Tabela 4.17 – Resultados teste de Duncan 60 km/h BYD E6 .....	78
Tabela 4.18 – Resultados ANOVA 80 km/h BYD E6 .....	79
Tabela 4.19 – Resultados teste de Duncan 80 km/h BYD E6 .....	79

## LISTA DE SIGLAS

SIGLA	SIGNIFICADO
AAMA	<i>American Automobile Manufactures Association</i>
AASHO	<i>American Association of Highway</i>
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ARS	<i>Average Rectified Slope</i>
ASTM	<i>American Society for Testing and Materials</i>
B/C	Relação Benefício e Custo
BPR	<i>Bureau of Public Roads</i>
CARB	<i>California Air Resources Board</i>
CHLOE	<i>Carey, Hutckins, Lathers and Others Engineers</i>
DNER	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte
DNIT	Departamento de Infraestrutura de Transportes
DoD	<i>Depth of Discharge</i>
GEIPOT	Empresa Brasileira de Planejamento de Transportes
GMR	<i>General Motors Research</i>
HDM 4	<i>Highway Development and Management</i>
IPR	Instituto de Pesquisas Rodoviárias
IRI	<i>International Roughness Index</i>
NBR	Norma Brasileira
PNGV	<i>Partnership for a New Generation of Vehicles</i>
PPS 2000	<i>Pavement Profile Scanner</i>
PSI	<i>Present Serviceability Index</i>
PSR	<i>Present Serviceability Rating</i>
QI	<i>Quarter Car Index</i>
QI	Quociente de Irregularidade
RTCA	<i>Roads and Transportation Association of Canada</i>
SGP	Sistema de Gerenciamento de Pavimentos
SoC	<i>State of Charge</i>
TIR	Taxa Interna de Retorno
TRL	<i>Transportation research Laboratory</i>

VMD	Volume Médio de Tráfego
VPL	Valor Presente Líquido
VSA	Valor de serventia Atual



## 1. INTRODUÇÃO

O crescimento do número de automóveis produzidos ao longo do último século fez com que diversos países buscassem implementar um Sistema de Gerenciamento de Pavimento que priorizem as intervenções necessárias à malha rodoviária de forma a otimizar os recursos disponíveis. É nesse sentido que a relação entre o consumo de combustível e a irregularidade do pavimento têm sido objeto de pesquisa há décadas com a finalidade de fornecer informações e atualizar as ferramentas utilizadas nestes sistemas de gerenciamento.

O Banco Mundial, juntamente com vários países em desenvolvimento, realizou diversas pesquisas com o intuito de criar métodos e modelos que permitissem reduzir os custos de construção, manutenção e operação de rodovias e para isso, desenvolveu a ferramenta computacional *Highway Development and Management* - HDM 4. O objetivo desse *software* é possibilitar a implementação do Sistema de Gerenciamento de Pavimentos de forma a realizar análises adequadas com a simulação de condições físicas e econômicas de rodovias ao longo do tempo e, desta maneira, munir os gestores de pavimento com as informações necessárias para a escolha da melhor alternativa de investimento.

Contudo, os modelos presentes no HDM 4 são baseados em dados referentes a veículos que utilizam combustíveis fósseis e, portanto, emitem gases que causam o efeito estufa. Apesar de não ser um objetivo primário do programa, as simulações desenvolvidas pelo *software* permitiram correlacionar a emissão de poluentes devido ao tráfego de veículos ao longo do tempo de serventia da rodovia com as características de irregularidade longitudinal do pavimento. Estas simulações têm sido utilizadas em estudos socioambientais ligados ao aquecimento global, um dos grandes desafios da atualidade. A partir de meados do século XX, países como Estados Unidos, Japão e os membros da União Europeia passaram a diversificar suas matrizes energéticas com a finalidade de diminuir a dependência em combustíveis fósseis e também por motivos ambientais. É nessa conjuntura que o veículo elétrico se apresenta como uma possível alternativa frente a este cenário de novas demandas.

Atualmente, os automóveis elétricos e híbridos estão em franco desenvolvimento tecnológico e são bem comercializados em alguns países. Grandes montadoras do mundo já produzem exemplares desses modelos e, segundo Barrassa (2015), entre os anos de 1999 e 2013, a venda de veículos elétricos e híbridos teve expressivo crescimento em termos mundiais atingindo mais de três milhões de unidades comercializadas. No entanto, ainda

persiste a necessidade de desenvolver veículos elétricos mais eficientes, com preços acessíveis aos consumidores e que utilizem energia elétrica advindas de fontes renováveis como hídrica, solar e eólica.

### **1.1. MOTIVAÇÃO**

A partir do contexto exposto, não seria uma surpresa que o número de veículos elétricos cresça ainda mais, podendo até ultrapassar a quantidade de automóveis com motores à combustão em algumas décadas. Dessa forma, os modelos utilizados em gerenciamento de pavimentos, como os presentes na ferramenta HDM 4, devem ser atualizados com um banco de dados que possibilite a relação entre a irregularidade longitudinal do pavimento ao consumo de energia elétrica em suas simulações.

### **1.2. OBJETIVOS**

O principal objetivo desta pesquisa é estabelecer a relação entre o consumo de energia em veículos elétricos e a condição da rodovia a partir da criação de um modelo que relacione o índice IRI de irregularidade longitudinal de pavimentos com o consumo de energia elétrica do banco de baterias.

Decorrem desse propósito o seguinte objetivo secundário:

- Observar como a velocidade pode influenciar no consumo de energia em automóveis elétricos em rodovias rurais.

### **1.3. ESTRUTURA DO TRABALHO**

Esse trabalho está estruturado em cinco capítulos. O primeiro é referente à introdução à pesquisa, suas motivações e objetivos. O segundo capítulo deste estudo apresenta a revisão bibliográfica, que foi dividida em três partes: tecnologias automotivas, irregularidade do pavimento e sistemas de gerenciamento de pavimentos. Nele, são abordadas questões como: o sistema de funcionamento e as novas tecnologias dos veículos elétricos e híbridos e a evolução histórica da indústria automobilística, seus avanços tecnológicos durante o século XX até a situação atual do mercado global na qual os veículos elétricos estão inseridos. Em seguida é abordado o conceito de irregularidade longitudinal do pavimento, serventia do pavimento, performance, definição do índice IRI

e os equipamentos utilizados nesses tipos de análise. Por fim, a terceira parte da revisão bibliográfica apresenta o conceito de sistema de gerenciamento de pavimentos. São definidos os componentes desse sistema de forma a evidenciar o que ele abrange, a sua função e de que forma é utilizado. Além disso, também é exposta a ferramenta HDM 4 abordando sua estrutura analítica, aplicações e como são procedidas suas análises econômicas.

O capítulo três é referente à metodologia experimental que foi desenvolvida para o êxito do presente estudo. Para isso, foi necessário estabelecer qual veículo seria utilizado, qual deveria ser o método de aferição de descarga da bateria e descrever o trecho experimental quanto à sua extensão, perfil topográfico, condição do pavimento e equipamento utilizado para aferir o índice de irregularidade longitudinal.

O quarto capítulo apresenta a análise de resultados, dividida em três partes. A primeira, apresenta os resultados alcançados com o Toyota Prius e a segunda, os resultados obtidos com o BYD E6. A terceira, e última parte, expõe o modelo matemático que relaciona a potência utilizada pelo motor do veículo devido as diferentes condições da rodovia, estabelecida pelo índice IRI. Por fim, o quinto capítulo expõe as conclusões finais e sugestões para pesquisas futuras.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1. TECNOLOGIAS AUTOMOTIVAS - VEÍCULOS ELÉTRICOS, HÍBRIDOS E BATERIAS

O contexto mundial atual em relação ao consumo de energia ainda mantém a utilização em larga escala de fontes não renováveis como petróleo, carvão mineral e gás natural. No entanto, acordos como a COP 21, firmado em Paris em 2015, demonstram o compromisso entre diversos países em diversificar a sua matriz energética, procurando energias alternativas como hídrica, eólica, solar, geotérmica e biomassa com o intuito de reduzir a dependência do petróleo e diminuir a emissão dos gases com efeito estufa (buscar fonte : UNFCCC, 2015).

O setor de transportes tem grande participação no consumo de combustíveis fósseis e, portanto, emissão de poluentes. Segundo a *Organisation for Economic Co-operation and Development* – OCDE, o número de veículos irá aumentar nas próximas décadas, principalmente em países como China, Índia e na região do Oriente Médio (Gráfico 2.1).

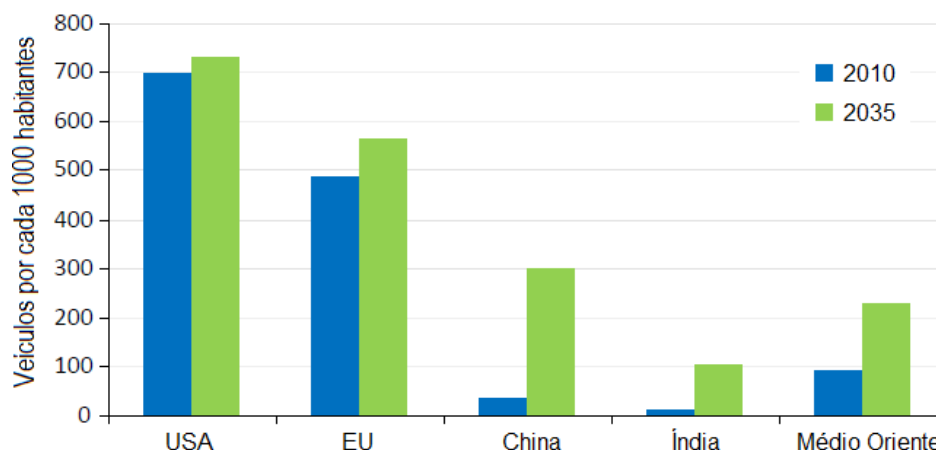


Gráfico 2.1 – Expectativa de vendas de veículos

Fonte: OCDE

Um transporte sustentável tem como fundamento o uso eficaz da energia, logo veículos com motores mais eficientes contribuem para preservação ambiental com a menor utilização de recursos naturais e também menor emissão de gases de efeito estufa. Assim sendo, os veículos elétricos e híbridos vêm ganhando proeminência no contexto internacional como uma alternativa em resposta a estas demandas socioeconômicas e ambientais.

### 2.1.1. EVOLUÇÃO HISTÓRICA DOS VEÍCULOS ELÉTRICOS E HÍBRIDOS

O advento do automóvel, no início do século XIX, mudou o modo como a humanidade interage com o mundo. Os veículos promoveram o avanço econômico mundial e conferiram maior mobilidade às pessoas. Durante o início da indústria automobilística, entre os anos de 1880 e 1920, diversos tipos de motores concorriam como modelo dominante do mercado. O período ficou conhecido como “Época de ouro”, onde a pesquisa e desenvolvimento de carros elétricos foi intensa, no entanto, por motivos macroeconômicos e tecnológicos, este modelo de automóvel quase se extinguiu durante a década de 1930 (CHAN, 2013). O intervalo que sucedeu o início da indústria automobilística, durante os anos de 1930 até 1970, foi notadamente dominado pelos veículos com motores à combustão, sendo que o ressurgimento dos modelos elétricos somente ocorreu em 1970 devido a questões ambientais e socioeconômicas (HOYER, 2008).

A história e desenvolvimento dos carros elétricos está diretamente ligada ao progresso no conhecimento relacionado às baterias. Os cientistas que avançaram nos conhecimentos sobre eletricidade e baterias durante o século XIX, ainda hoje são referências nesses estudos. Em 1800, o físico italiano Alessandro Volta demonstrou que a energia elétrica poderia ser armazenada quimicamente, algo que ficou conhecido como pilha de Volta. Posteriormente o físico-químico inglês Michael Faraday apresentou o princípio de um motor elétrico utilizando a invenção de Volta como um dos componentes do aparato. (HOYER, 2008).

Utilizando-se da bateria de chumbo e ácido e seus aperfeiçoamentos, o inventor francês Gustave Trouvé apresentou em uma exibição em Paris um triciclo elétrico no ano de 1881 (HOYER, 2008). O primeiro veículo híbrido com a junção de motor elétrico e motor à combustão interna trabalhando juntos foi o modelo *Lohner-Porsche* (Figura 2.1) desenvolvida em 1898 pelo engenheiro alemão Ferdinand Porsche (1875-1951) (BARASSA, 2015).



*Figura 2.1 - Automóvel Híbrido Lohner Porsche*  
(Auto Concept, 2018)

Ao final do século XIX, 40% dos veículos registrados nos Estados Unidos eram alimentados por motores a vapor, 38% por motores elétricos e 22% por motores à gasolina (CHAN, 2013). A frota de automóveis elétricos nos Estados Unidos atingiu seu ápice em 1912 com aproximadamente 30.000 unidades registradas (Struben & Sterman, 2006).

O declínio da popularidade dos veículos elétricos ocorreu por volta dos anos de 1920. A produção de veículos elétricos em 1924 nos EUA foi de 381 automóveis, enquanto os veículos a gasolina chegaram a 3.185.490 unidades (COWAN & HULTÉN, 1996). A produção de carros elétricos quase se extinguiu no mundo por volta dos anos de 1935 (CHAN, 2013). Por um lado, isso deveu-se a autonomia pequena destes automóveis e, por outro, devido aos avanços tecnológicos dos motores à combustão, seu baixo custo de venda e a descoberta de jazidas de petróleo, fatores que provocaram a quase extinção dos veículos elétricos no mercado de vendas.

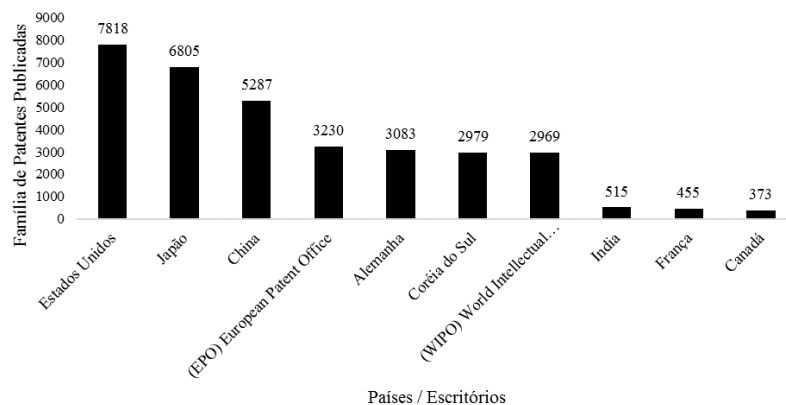
Apenas alguns países, como o Japão, apresentaram picos de produção após a Segunda Guerra Mundial por motivos de racionamento de combustíveis fósseis (BARAN, 2012). Seu ressurgimento ao grande público ocorreu somente 50 anos depois.

O questionamento do motor à combustão interna e a retomada do projeto do veículo elétrico teve como marco o ano de 1973, devido à crise do petróleo no Oriente Médio. Esta crise foi gerada pelo embargo da distribuição de petróleo pelos principais produtores e exportadores árabes provocando uma alta no preço deste insumo, encarecendo o custo de rodagem dos veículos com motores a combustão (BARASSA, 2015). Inúmeros países

começaram a questionar a dependência de combustíveis fósseis nos sistemas de transporte devido às possíveis instabilidades políticas do Oriente Médio que afetavam o preço dessa matéria prima. Esse período, assinalou o ressurgimento das pesquisas e produção de veículos elétricos. (COWAN & HULTÉN, 1996)

Apesar de não ser uma tecnologia recente, os carros híbridos são considerados um novo produto para a atual geração de consumidores e consistem um passo intermediário entre os veículos a combustão e os carros elétricos “puros” (BARAN, 2012). Durante a década de 1990, foi bastante intenso o desenvolvimento de pesquisa e produção relacionadas às tecnologias de veículos elétricos e híbridos (HOYER, 2008).

Um importante dado a ser verificado relacionado a criação de novas tecnologias para automóveis elétricos é o número de patentes. Ele demonstra qual rota os avanços tecnológicos estão traçando, ou seja, o tipo de solução tecnológica mais utilizada para a fabricação dos automóveis elétricos e híbridos. As patentes também fornecem informação sobre a localização de depósito e os agentes envolvidos como universidades e empresas. Com isso, é possível observar que as patentes estão sendo depositadas principalmente em seus países de origem: Estados Unidos, Japão, China e União Europeia (Gráfico 2.2). Isso ocorre devido ao fato destes países possuírem economias em ascensão, com consumidores com maior poder aquisitivo e mais abertos ao transporte com energias renováveis (BARASSA, 2015).



*Gráfico 2.2 – Distribuição de publicações de famílias de patentes (1994-2014)  
(BARASSA, 2015)*

O crescimento significativo do número de patentes entre os anos de 1994 e 2004 (Gráfico 2.3) e seu expressivo aumento a partir do ano de 2005 guarda correspondência

com o incremento na venda de veículos elétricos híbridos em período semelhante (Gráfico 2.4) (BARASSA, 2015).

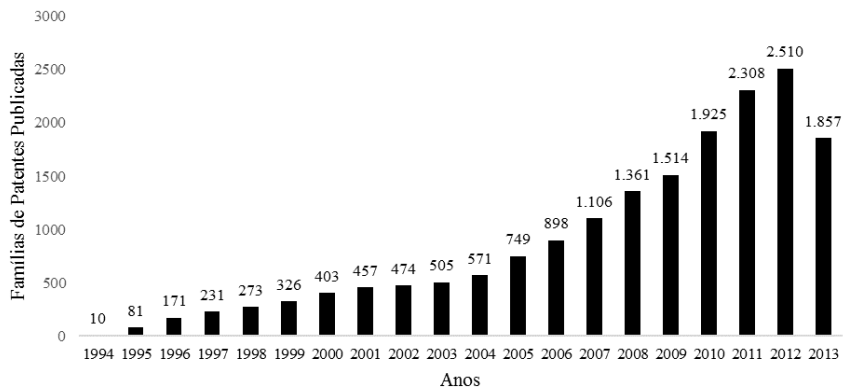


Gráfico 2.3 – Patentes relacionadas aos veículos elétricos (1994-2013)  
(BARASSA, 2015)

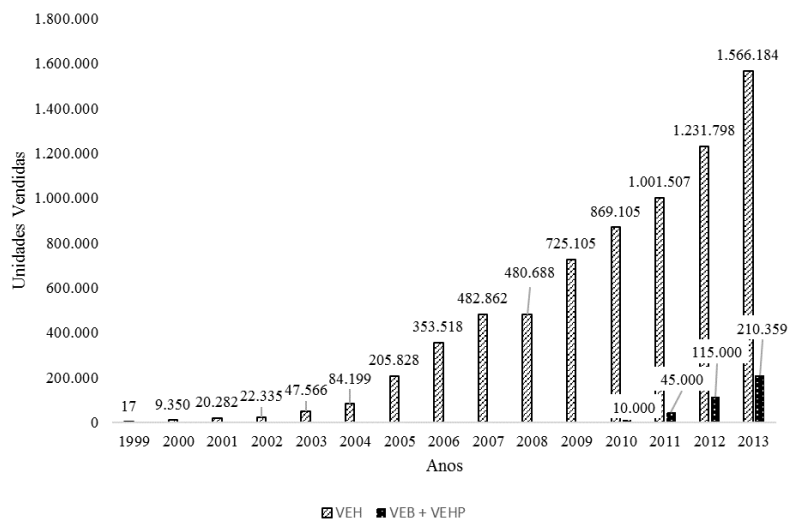


Gráfico 2.4 – Venda de veículos elétricos, Híbridos e Plug-in  
(BARASSA, 2015)

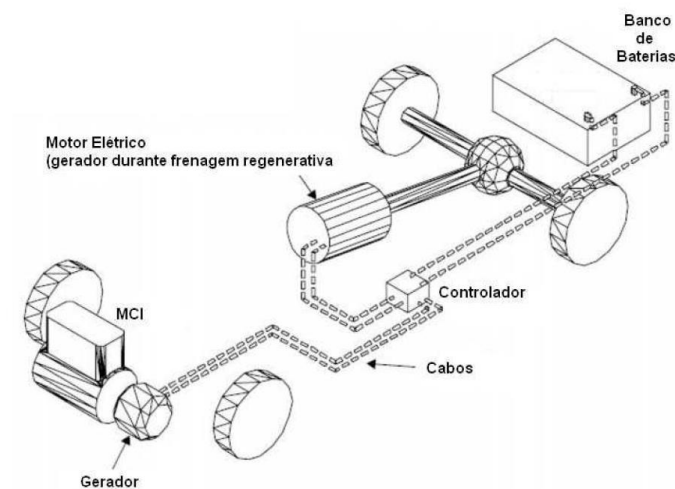
Modelos híbridos como o Honda Insight atingiram 2.157.726 unidades vendidas nos EUA e o modelo Toyota Prius vendeu 1.091.564 unidades também no mercado estadunidense, até então (BARAN, 2012).



### 2.1.2. VEÍCULOS ELÉTRICOS HÍBRIDOS – VEHS

O princípio de funcionamento dos veículos elétricos híbridos - VEHS é diferente dos automóveis com motores a combustão convencionais. Os VEHS empregam em seu sistema de propulsão um motor elétrico que se utiliza de energia armazenada em um banco de baterias, além do motor de combustão interna – MCI. Estes veículos podem ser classificados em relação ao modo como a energia gerada por suas diferentes fontes é transmitida para as rodas. Sendo estas classificações: Série e Paralelo. (REVOREDO, 2007).

A configuração em série produz força de tração nas rodas por meio de um ou mais motores elétricos, alimentados pelas fontes de energia do veículo. Caso exista um motor a combustão interna – MCI, este, por meio de um gerador, converte a energia fornecida pelo MCI em energia elétrica, que juntamente a energia provida pelos motores elétricos impulsiona o veículo. A Figura 2.2 ilustra um VEH com a configuração em série.



*Figura 2.2– Configuração em série de um VEH  
(REVOREDO, 2007)*

Nos veículos com a configuração em paralelo (Figura 2.3), o sistema de funcionamento permite que ambos os motores, elétrico e a combustão interna, ou apenas um deles, atuem na tração das rodas. Portanto, o VEH pode ser propulso tanto pelo MCI, por meio de um sistema de engrenagens que transmite a potência gerada pelo motor às rodas, quanto por um motor elétrico, alimentado por um banco de baterias.

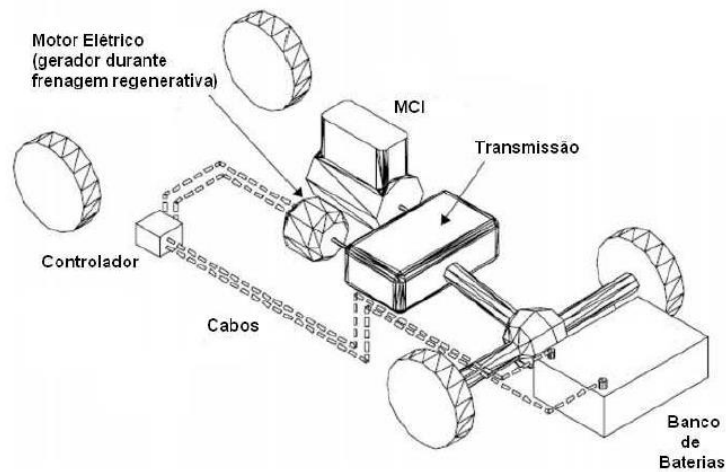


Figura 2.3– Configuração em paralelo de um VEH  
(REVOREDO, 2007)

### 2.1.3. VEÍCULOS ELÉTRICOS PLUG-IN

Os veículos elétricos – VEs possuem motores com 30% a 40% mais eficiência que os automóveis convencionais (Sovacool & Hirsh, 2008). Os carros com MCI apresentam em baixas rotações do motor eficiência em torno de 5% a 10% podendo chegar a uma eficiência de até 28% em altas rotações. Por outro lado, os veículos com motores elétricos produzem torque máximo na partida e sua eficiência se mantém quase inalterada até atingir sua rotação máxima (BARAN, 2012). O Gráfico 2.5 a seguir ilustra a relação de eficiência entre motores à combustão interna e elétricos.

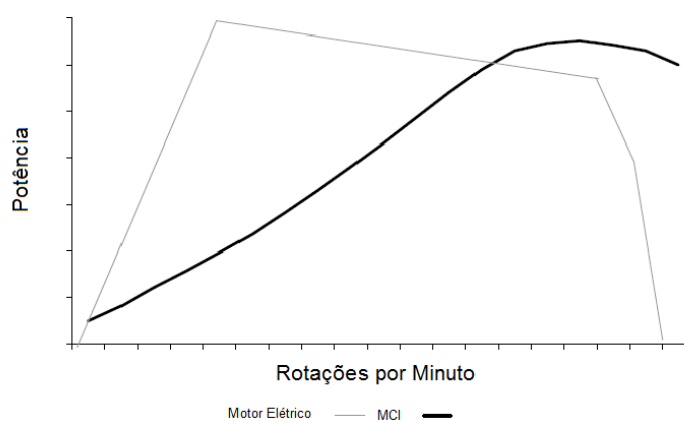


Gráfico 2.5– Curvas de potência comparativas entre motores elétrico e MCI  
(BARAN, 2012)

Os automóveis elétricos *plug-in*, além de possuírem um banco de baterias maior que os veículos não *plug-in*, podem ser recarregados quando conectadas à rede de distribuição de energia elétrica. Portanto, existe outra classificação difundida na literatura que divide os automóveis elétricos e híbridos entre os veículos mantenedores de carga e os esgotadores de carga. Os carros que operam no modo de carga sustentada (*Charge Sustaining – CS*) não necessitam ser conectados à rede elétrica para a recarga, pois a manutenção da energia de suas baterias é feita por meio do motor de combustão interna. Enquanto os veículos que operam no modo de carga depletada (*Charge Depleting – CD*) necessitam periodicamente serem conectados a uma estação para efetuar a recarga de seu banco de baterias. Ambos os modos de operação estão ilustrados no Gráfico 2.6.

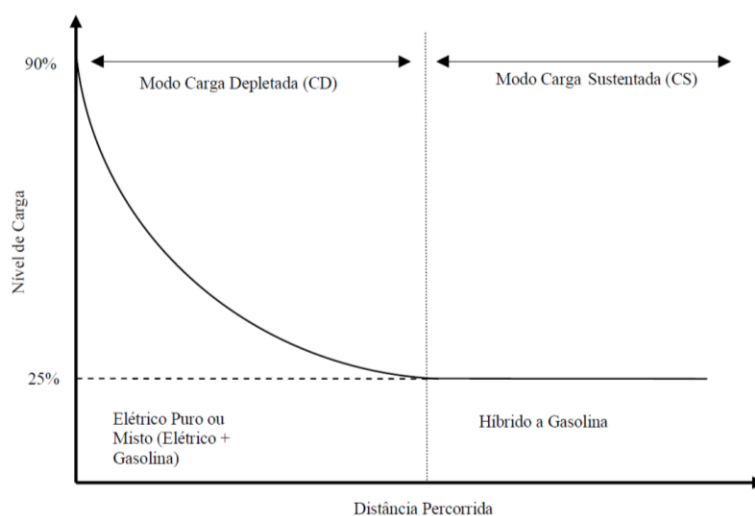


Gráfico 2.6 – Ciclos de descarga

BARAN (2012) apud (ELETRIFICATION COALITION, 2009)

No exemplo apresentado no Gráfico 2.6, a bateria opera na faixa entre 25% - 90%, ou seja, 35% da capacidade total da bateria não é utilizada. Isso corresponde a um grau de descarga (*Depth of Discharge – DoD*) de 65%. O eixo vertical é o estado de carga (*State of Charge – SoC*) e o eixo horizontal a distância percorrida. O estado de carga consiste na diferença entre a energia extraída e a capacidade original da bateria, portanto, o estado de carga é obtido por meio da subtração da energia consumida do nível de carga inicial.

#### 2.1.4. BATERIAS

Uma bateria consiste na junção de uma ou mais células elétricas. Estas células elétricas que compõe a bateria possuem um eletrodo positivo e outro negativo imersos em um eletrólito que por meio de reações químicas geram energia elétrica. No caso de baterias

recarregáveis, como as utilizadas em VEs e VEHS, a reação química pode ser revertida e o banco de baterias pode ser recarregado atingindo seu estado inicial de carga (LARMINIE & LOWRY, 2003). As características principais das baterias empregadas em VEs e VEHS são: energia específica, potência específica e eficiência energética.

A energia específica é a quantidade de energia elétrica armazenada por quilograma de bateria e a sua unidade é o Wh. kg<sup>-1</sup>. A potência específica, por sua vez, é a quantidade de energia que a bateria pode fornecer por quilograma, sendo a sua unidade W. kg<sup>-1</sup>. Portanto, um banco de baterias que possui alta energia específica e baixa potência específica pode armazenar grande quantidade de energia, no entanto, essa energia é fornecida de maneira lenta (LARMINIE & LOWRY, 2003). Ao se comparar diferentes tecnologias de baterias, é comum utilizar um gráfico que relaciona energia específica e eficiência energética como ilustrado na Gráfico 2.7.

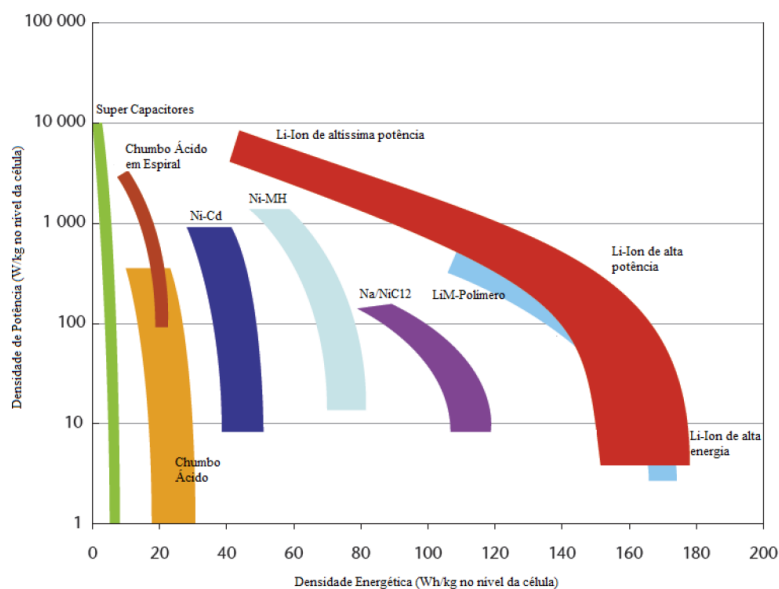


Gráfico 2.7 – Potência específica x Energia específica em diferentes tipos de bateria (BARAN, 2012)

Uma bateria não é capaz de fornecer ao veículo toda a energia utilizada para recarregá-la e a relação entre essas duas quantidades é denominada eficiência energética. Portanto, a eficiência energética é a razão entre a energia que o banco de baterias pode fornecer e a energia utilizada para recarregá-lo. A eficiência energética de uma bateria varia de acordo com a temperatura de operação, o tipo de bateria, a potência fornecida e também em função do estado de carga. Por este motivo, a eficiência ao recarregar um banco de baterias de 40% até 80% é diferente caso a recarga ocorra entre 20% até 60% (BARAN, 2012).

## 2.2. IRREGULARIDADE LONGITUDINAL DO PAVIMENTO

Desde o início das construções de estradas e rodovias, as pessoas estiveram preocupadas quanto ao grau de desconforto experimentado durante a viagem (HVEEM, 1960). A atenção ligada a qualidade do pavimento remonta ao Império Romano que possuía estradas construídas de pedra para dar mais conforto e agilidade aos deslocamentos em carruagens.



*Figura 2.4– Estrada Romana  
(Vias Romanas, 2018)*

Em 1800, os Estados Unidos já tinha uma boa reputação quanto a qualidade das estradas que possuía e, para isso, dispndia um cuidado quanto a importância da irregularidade do pavimento para o tráfego de diligências (Gillespie, 1992)

Nos Estados Unidos e Europa, durante a virada do século XX, houve a introdução do veículo à gasolina e a expansão da malha rodoviária. Portanto, as pessoas possuíam acesso a um transporte com velocidades muito acima das carruagens utilizadas anteriormente. Por este motivo, o esforço em construir e manter rodovias de boa qualidade e com a capacidade de tráfego adequada aumentou (Gillespie, 1992).

### 2.2.1. CONCEITO DE IRREGULARIDADE DO PAVIMENTO

Para compreender a irregularidade do pavimento é necessário primeiro definir esse conceito. Diversos autores e normas possuem suas próprias definições e, embora muito similares, contêm suas diferenças que complementam umas às outras. No contexto

brasileiro e mundial, as definições mais relevantes para irregularidade longitudinal do pavimento são: a norma brasileira DNER PRO 164/94 e a norma estadunidense ASTM E 867 – 04. No entanto, o conceito estabelecido por BARELLA (2008) também se mostrou importante, pois é mais completo e mais simples que as anteriores.

Antes de partir para as definições, o termo longitudinal precisa ser explicado para a total compreensão do conceito de irregularidade longitudinal de pavimento. Essa palavra é acrescentada, pois os veículos trafegam no sentido longitudinal da pista e, portanto, define qual o eixo de medição será aferido. Sendo assim, é fundamental distinguir a irregularidade longitudinal da irregularidade transversal de uma rodovia. O sentido transversal da faixa de rolamento tem como principal fator a ser avaliado os afundamentos plásticos nas trilhas de roda (BARELLA, 2008).

Segundo a norma (DNER PRO 164/94, 1994), a irregularidade longitudinal do pavimento consiste em um “desvio da superfície da rodovia em relação a um plano de referência, que afeta a dinâmica dos veículos, a qualidade de rolamento e as cargas dinâmicas sobre a via”.

De acordo com a norma (ASTM E 867-04, 2004), são os desvios da superfície do pavimento em relação a uma verdadeira superfície planar com dimensões características que afetam a dinâmica do veículo, a qualidade da condução, as cargas dinâmicas e a drenagem (tradução livre)<sup>1</sup>.

Para BARELLA (2008), “irregularidade longitudinal de um pavimento representa o conjunto dos desvios indesejáveis de sua superfície, que atrapalha o rolamento rápido e suave dos veículos, gera insegurança e onera seus usuários, além de acelerar a degradação do pavimento”.

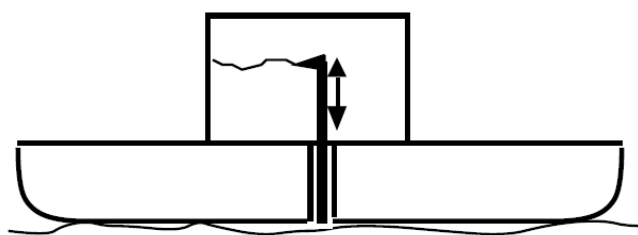
Portanto, essas definições demonstram o que é a irregularidade do pavimento e os fatores que a afetam. O aumento da irregularidade acarreta em diminuição da velocidade por dificultar o tráfego do veículo. Além disso, traz insegurança, pois impossibilita a drenagem correta da rodovia, interfere na dirigibilidade e também diminui a atenção dos condutores no trânsito. Uma visão econômica sobre o acréscimo na irregularidade do pavimento salienta os gastos dos usuários, visto que, aumentam o consumo de combustível, depreciam o veículo, adicionam maiores gastos em manutenção e aumentam o tempo de percurso (BARELLA, 2008).

---

<sup>1</sup> “is the deviations of surface from a true planar surface with characteristics dimensions that affect vehicle dynamics, ride quality, dynamic loads and drainage”.

## 2.2.2. OS PRIMEIROS ESTUDOS SOBRE IRREGULARIDADE DO PAVIMENTO

Por volta de 1900, os engenheiros já haviam reconhecido a importância da irregularidade de pavimentos na qualidade do tráfego e vibrações em automóveis a gasolina (BARELLA, 2008). Os primeiros passos, quanto à mensuração da irregularidade do pavimento, foram dados com a invenção do Viagraph (Figura 2.5). Esse equipamento consistia em uma régua de madeira localizada no centro de um suporte. Ao ser arrastado longitudinalmente sobre a pista, descrevia continuamente um registro da irregularidade do pavimento em uma folha de papel (HVEEM, 1960).



*Figura 2.5– Desenho esquemático do equipamento Viagraph  
Adaptada de (Gillespie, 1992)*

É importante salientar que a medida extraída do Viagraph já correspondia ao somatório dos desvios verticais em relação à distância percorrida. Sendo, portanto, a mesma unidade utilizada no *International Roughness Index (IRI)* (BARELLA, 2008) como será visto adiante no trabalho.

No entanto, o Viagraph possuía limitações quanto a sua aferição da irregularidade do pavimento. O desgaste da régua ao ser arrastada, o tamanho do equipamento e o comprimento de onda da irregularidade da pista, tornavam variáveis as medidas alcançadas para um mesmo trajeto por dois equipamentos diferentes (HVEEM, 1960).

Posteriormente, foi desenvolvido o perfilógrafo de rodas. Essa foi uma maneira de sanar alguns dos inconvenientes existentes no equipamento anterior como o desgaste da régua e o deslocamento do equipamento em campo. Quanto maior o acréscimo de rodas, mais os resultados obtidos se assemelhavam aos do Viagraph. No entanto, o perfilógrafo ainda apresentava variações de suas medidas devido ao seu tamanho e o comprimento de onda da pista, além de possuir pouca produtividade (BARELLA, 2008).

Alguns exemplos de perfilógrafos de rodas mais utilizados são: o Rainhart, o Rolling Straightedge e o Perfilógrafo Califórnia, sendo este o único modelo presente no Brasil. Ele foi adquirido pela Associação Brasileira de Cimento Portland na década de 1990 (BARELLA, 2008).

Devido à crescente preocupação quanto à irregularidade do pavimento, o equipamento chamado de Via-Log foi desenvolvido. Este instrumento foi o precursor dos medidores do tipo resposta, no qual é medida a irregularidade do pavimento por meio do deslocamento da suspensão do automóvel durante o tráfego e registra os desvios em uma folha de papel. Posteriormente, foi acrescentado um sistema que somava os deslocamentos verticais da suspensão e fornecia, dessa maneira, uma medida estatística na unidade de polegadas/ milha (HVEEM, 1960).

Porém, nenhum medidor do tipo resposta apresentava as mesmas medidas de um outro equipamento similar e até mesmo a consistência de dados obtidos por um mesmo instrumento eram difíceis. Simples alterações como a quantidade de combustível abastecida, número de passageiros, pressão e balanceamento dos pneus alteravam os resultados alcançados e exigiam uma nova calibração do equipamento (Gillespie, 1992).

Segundo BARELLA (2008), a evolução do Via-Log foi o equipamento BPR Roughometer (Figura 2.6) desenvolvido pelo *Bureau of Public Roads*, em 1941. Este medidor consistia em um trailer de apenas uma roda que simula um automóvel de passeio, sendo que todas as suas dimensões, massa de seus componentes, pneu e suspensão foram padronizados com o intuito de alcançar um instrumento reprodutível e atenuar as diferenças obtidas por dois equipamentos diferentes (Gillespie, 1992).

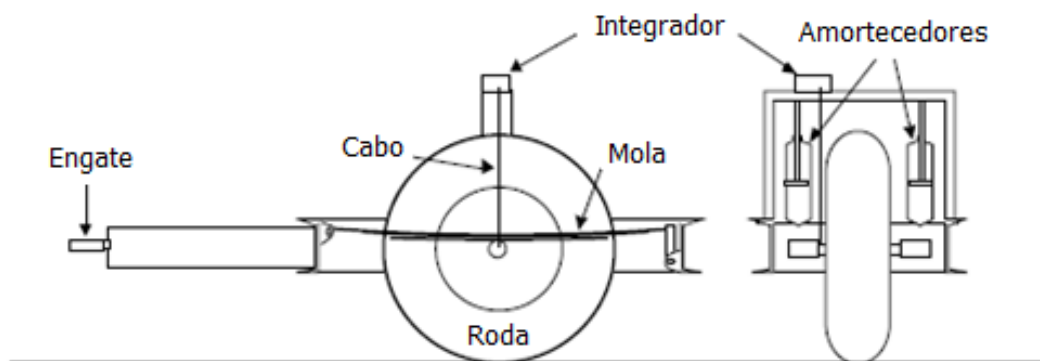


Figura 2.6 - BPR Roughometer  
Adaptada de (Gillespie, 1992)



A velocidade utilizada para esse equipamento é de 20 mph, aproximadamente 32 km/h, e possui um contador eletrônico que compila os deslocamentos em polegadas. O resultado obtido a partir das aferições do instrumento é designado de *Roughness Index* e é dado em polegadas por milha (BARRELA *apud* Domingues 2004).

Apesar das melhorias decorrentes do desenvolvimento do BPR Roughometer, ainda persistiam limitações. A baixa velocidade de operação, atenuação dos comprimentos de onda em frequências próximas ao do equipamento e a variabilidade de calibração não permitiam constância nos resultados adquiridos e, portanto, os esforços em padronização do veículo não lograram o sucesso almejado (BARRELA *apud* Domingues 2004).

### **2.2.3. O CONCEITO DE SERVENTIA DO PAVIMENTO E PERFORMANCE**

Na década de 1950, a evolução nas pesquisas relacionadas à irregularidade do pavimento avançou a partir da criação do conceito de serventia do pavimento e Performance desenvolvido por (CAREY & IRICK, 1960). Durante o estudo patrocinado pela *American Association of Highway - AASHO*, os pesquisadores visavam uma avaliação objetiva da qualidade de uma rodovia e, dessa maneira, conseguir distinguir não somente se um pavimento é ou não melhor que outro, mas o quão melhor ou pior ele pode ser.

Segundo eles a Serventia do Pavimento é “servir ao usuário da rodovia” e por consequência a Performance é determinada como “o conjunto de registros da Serventia do Pavimento durante um período de tempo”. Uma definição mais recente deste conceito é estabelecida pelo pesquisador brasileiro DOMINGUES (2004): “Serventia de um pavimento é a capacidade que um pavimento possui de oferecer rolamento seguro, suave, confortável e econômico” (BARRELA *apud* DOMINGUES 2004).

O estudo patrocinado pela AASHO iniciou em 1958. Esse experimento buscava compreender e estabelecer o desempenho da estrutura do pavimento com camadas e materiais conhecidos, sob a aplicação de cargas pré-definidas e com frequências também monitoradas. A pesquisa utilizou como fonte de dados 212 seções de rodovias com 1200 pés, aproximadamente 366 metros, distribuídas pelos Estados Unidos de forma a abranger uma gama de pavimentos em diferentes estados de qualidade (CAREY & IRICK, 1960). Todas essas seções foram monitoradas periodicamente por diversos parâmetros sendo dois deles, o índice PSR e os resultados de irregularidade do pavimento obtidos a partir do perfilômetro CLHOE (BARELLA, 2008).

O índice *Present Serviceability Rating* – PSR, que é traduzido como Valor da Serventia Atual – VSA, é estabelecido por um grupo de doze avaliadores que ao trafegarem nas seções em estudo definiam uma nota de 0 a 5, sendo 0 a pior situação para a qualidade do pavimento. Os avaliadores também apontavam se a seção em questão era ou não aceitável caso eles fossem trafegar sobre ela por um longo período de tempo (Figura 2.7) (CAREY & IRICK, 1960).

O formulário de avaliação PSR é dividido em duas partes principais. À esquerda, sob o título "Aceitável?", há três opções de resposta: "Sim", "Não" e "Indeciso", cada uma com um retângulo para ser preenchido. À direita, há uma escala vertical de notas de 0 a 5, com os seguintes rótulos: 5 - Excelente, 4 - Bom, 3 - Médio, 2 - Ruim, 1 - Péssimo e 0 - (sem rótulo). Abaixo da escala, há um campo para "Identificação" e quatro campos para registrar "Operador", "Data", "Hora" e "Veículo".

*Figura 2.7 – Avaliação PSR*

Adaptada de (SAYERS & KARAMIHAS, 1998)

O perfilômetro CHLOE (Figura 2.8), um acrônimo das iniciais dos inventores do instrumento, foi desenvolvido para fornecer os dados sobre irregularidade do pavimento durante o estudo da AASHTO. Este medidor consistia em um reboque conectado a um carro de passeio que trafegava em baixa velocidade, 3 km/h, possuía um pêndulo para determinar o plano de referência e duas pequenas rodas ligadas a um dispositivo que, ao longo do deslocamento, registrava continuamente a variação da inclinação das rodas em relação ao plano previamente fixado. O resultado obtido a partir da aferição desse equipamento é designado de “Variância da Declividade Longitudinal” dado, a partir de correlações estatísticas, em polegadas por milha. O CHLOE apresentava boa repetitividade de dados, no entanto, possuía baixa produtividade devido a velocidade limitada, além de não ser capaz de avaliar comprimentos de onda menores que 23 centímetros e maiores que 3,7 metros (Gillespie, 1992).

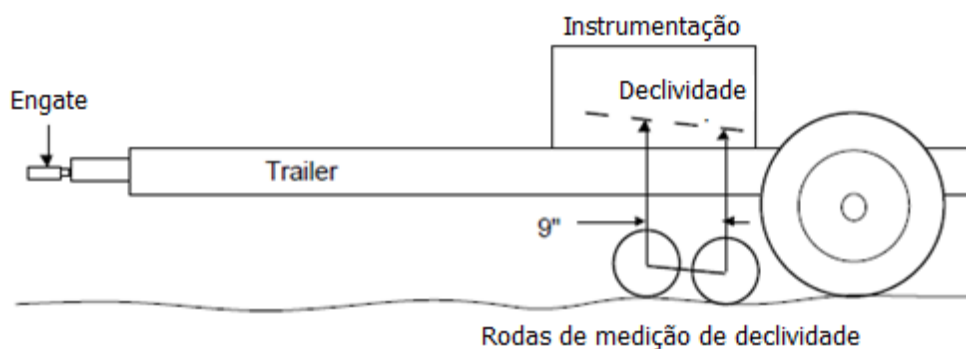


Figura 2.8 – Perfilômetro CHLOE

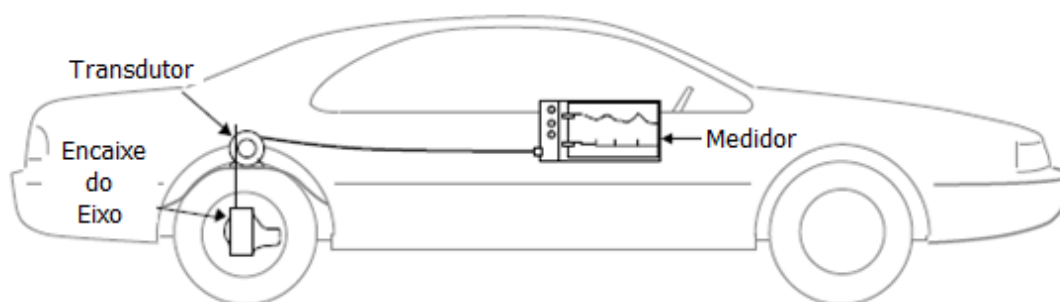
Adaptada de (Gillespie, 1992)

A partir dos resultados provenientes do medidor CHLOE durante o estudo da AASHTO e de avaliações objetivas das seções de pavimento como: área trincada, valor médio de afundamento de trilhas de rodas e área remendada, os pesquisadores Carey e Irick estabeleceram uma relação entre as notas obtidas anteriormente pelos avaliadores do estudo e as análises objetivas criando, dessa maneira, o Present Serviceability Index – PSI. Portanto, estava definido uma maneira objetiva de se definir a qualidade de um pavimento sem a necessidade de avaliações subjetivas por um grupo de avaliadores ou usuários (TIMM & McQUEEN, 2004).

Segundo CAREY E IRICK (1960), durante os estudos realizados nas pistas da AASHO foi possível afirmar que aproximadamente 95% do valor do PSI está relacionado à irregularidade longitudinal do pavimento, enquanto somente 5% estão correlacionados a todos os outros fatores. Ou seja, a determinação da serventia de um pavimento pode ser estabelecida somente com a utilização da medida da irregularidade longitudinal (BARELLA, 2008).

#### 2.2.4. IRREGULARIDADE DO PAVIMENTO ENTRE OS ANOS DE 1960 E 1980

Durante a década de 1960, os medidores de irregularidade do pavimento do tipo resposta (Figura 2.9) tiveram grande difusão pelo mundo devido à facilidade de operação, baixo custo de aquisição e manutenção. Alguns desses dispositivos são: Mays Road Meter, PCA Road Meter e o Bump Integrator. Todos esses medidores utilizavam o registro contínuo do deslocamento vertical da suspensão em relação ao eixo da carroceria (SAYERS *et al.*, 1986).

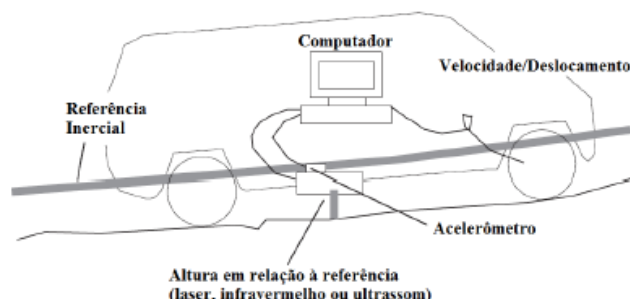


*Figura 2.9 – Desenho esquemático de medidores do tipo resposta*

Adaptada de (Gillespie, 1992)

As mesmas limitações de seus precursores, Via-Log e BPR Roughometer, mantiveram-se nos medidores do tipo resposta. A dificuldade de obter resultados repetíveis, deveu-se às características próprias de cada veículo, como a calibração de pneus, estado da suspensão e quantidade de combustível. Até mesmo a comparação entre dados obtidos a partir do mesmo equipamento ainda se mantinha instáveis. Devido a essas limitações, esse modelo de equipamento passou a ser substituído por perfilômetros inerciais durante a década de 1980 (BARELLA, 2008).

Durante a década de 1960, o primeiro perfilômetro inercial chamado de General Motors Research - GMR foi desenvolvido (Figura 2.10). Esse equipamento possuía duas rodas que respondiam a irregularidade do pavimento e se conectavam a potenciômetros que, por sua vez, registravam o deslocamento vertical. O plano de referência era estabelecido por dois acelerômetros que verificavam as medidas de aceleração vertical da carroceria em relação ao solo. Ao final dos anos de 1970, o perfilômetro inercial passou a conter dispositivos digitais e a irregularidade do pavimento começou a ser obtida a partir de um medidor ultrassom, que posteriormente foi substituído por um feixe de luz (BARELLA, 2008).



*Figura 2.10 – Esquema de funcionamento de um Perfilômetro Inercial*

Adaptada de (SAYERS e KARAMIHAS, 1998)

Os resultados adquiridos a partir do GMR passavam por um simulador do equipamento BPR Roughometer. Este simulador reproduzia a passagem de um quarto de carro, algo que correspondia ao equipamento BPR, e consistia em um modelo composto por massa, mola, amortecedor e pneu. Tal processo foi denominado de *Quarter Car Simulation* e o índice obtido a partir dele de *Quarter Car Index - QI*, também conhecido por “QI Verdadeiro”, dado em contagens por quilômetro (SAYERS *et al.*, 1986).

No Brasil, durante os anos de 1980, a pesquisa sobre o Inter-relacionamento de Custos de Construção, Conservação e Utilização de Rodovia - PICR, que teve reconhecimento global, foi realizada pelo GEIPOT. Segundo BARELLA (2008), essa pesquisa buscou analisar os fatores que influenciavam os custos de uma rodovia e, por consequência, consolidou os estudos relacionados à irregularidade longitudinal do pavimento no país. O equipamento utilizado para extrair os dados em campo foi o GMR, sendo essa a primeira vez que se utilizou um perfilômetro inercial no Brasil.

Os pesquisadores da PICR, a partir de correlações entre os resultados obtidos pelo GMR em comparação com a análise sobre a mesma seção de pavimento utilizando nível e mira, desenvolveram o Quociente de Irregularidade – QI que utilizava a unidade de contagens por quilômetro e no qual é diferente do QI extraído do equipamento GMR. Esse novo índice poderia ser utilizado por medidores do tipo resposta que eram mais baratos e também disponíveis no país. O método criado durante PICR foi normalizado para a calibração de medidores do tipo resposta e está disposto na norma DNER – 164/94 (BARELLA, 2008).

O Núcleo de Desenvolvimento Tecnológico de Transportes da Universidade de São Paulo – USP, em associação ao Instituto de Pesquisas Rodoviárias – IPR e ao Banco Mundial, criou o primeiro medidor de irregularidade brasileiro. Esse equipamento se chamava Integrador IPR/USP e se assemelhava aos modelos do tipo resposta. No entanto, possuía uma barra ótica para a avaliação da irregularidade do pavimento, diferentemente dos mecanismos analógicos normalmente encontrados nesses modelos de instrumento. Apesar de representar grande avanço no desenvolvimento de pesquisa relacionados à irregularidade do pavimento, o Integrador IPR/USP continua mantendo as mesmas limitações dos medidores do tipo resposta (BARRELA *apud* DOMINGUES 2004).

#### **2.2.5. INTERNATIONAL ROUGHNESS INDEX - IRI**

Os resultados obtidos a partir de medidores de irregularidade são comuns desde os anos de 1940, porém não era possível ter constância nas respostas desses equipamentos

entre veículos diferentes ou até mesmo utilizando o mesmo instrumento. Problemas relativos a calibração do medidor e limitações quanto aferição da irregularidade de diferentes comprimentos de onda do pavimento interferiam nos resultados e impossibilitavam a troca de informação sobre a irregularidade do pavimento pelo mundo (SAYERS & KARAMIHAS, 1998).

Em 1982, o Experimento Internacional de Avaliação de Pavimentos, coordenado pelo Banco Mundial, ocorreu no Brasil. Além do Banco Mundial, outros parceiros também colaboraram com o estudo em questão, são eles: a Empresa Brasileira de Planejamento de Transportes – GEIPOT, o Instituto de Pesquisas Rodoviárias – IPR/DNER, o *Laboratoire Central des Ponts et Chaussées* da França, o *Centre de Recherches Routières* da Bélgica, O *Transport and Road Research Laboratory* do Reino Unido e a *University of Michigan* dos Estados Unidos (SAYERS *et al.*, 1986).

Segundo SAYERS *et al.* (1986), o experimento tinha por objetivo adotar uma escala única de irregularidade longitudinal do pavimento que pudesse ser utilizada em diversos equipamentos e possibilitasse a troca de informações entre pesquisadores por todo o mundo, ou seja, almejavam criar um índice internacional de irregularidade do pavimento, *International Roughness Index* – IRI. Para alcançar tal objetivo o novo índice necessitava contemplar alguns critérios:

- Estabilidade com o tempo

O IRI precisava ser definido de forma a não se alterar com o passar dos anos, além de possibilitar ser utilizado em qualquer tipo de pavimento e em qualquer nível de irregularidade.

- Compatibilidade

O IRI deveria ser compatível com os diferentes métodos de avaliação da irregularidade do pavimento existentes no mundo e os equipamentos utilizados, inclusive os manuais como o nível e mira.

- Relevante

Por fim, esse índice teria o compromisso de ser uma maneira significativa de avaliar a irregularidade do pavimento e refletir de forma precisa as condições das rodovias que afetassem a operação de veículos, custos, qualidade de tráfego e segurança.

De acordo com Sayers e Karamihas (1998), dentre os diversos índices existentes, o escolhido para ser o IRI foi o *Average Rectified Slope* – ARS, ou seja, a média retificada da inclinação. Ele foi escolhido por atender a todos os critérios descritos anteriormente.

Novamente o modelo do Quarto de Carro (Figura 2.11) foi utilizado, pois se mostrou o mais compatível com o ARS. Esse modelo inclui o pneu, que é representado por uma mola, a massa sobre o eixo do veículo, a mola de suspensão, o amortecedor e a massa do corpo do automóvel.

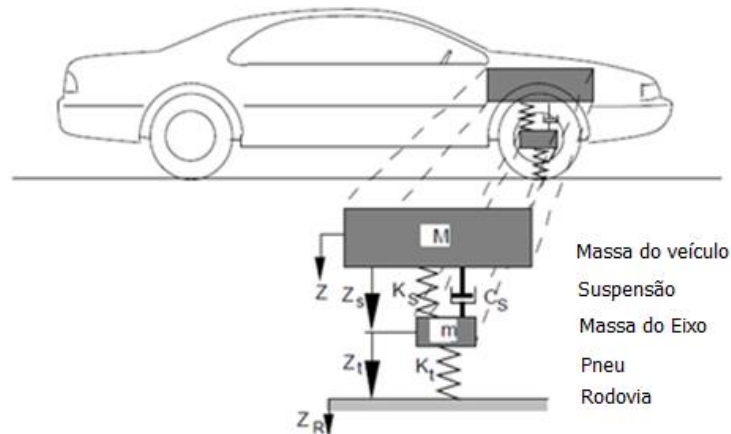


Figura 2.11 – Modelo do Quarto de Carro  
Adaptada de (Gillespie, 1992)

Durante o experimento, foram determinados os parâmetros que seriam aplicados ao modelo Quarto de Carro. Tais parâmetros utilizados foram denominados de *Golden Car Parameters* e são:

$$\frac{K_s}{m_s} = 63,3 \quad \frac{K_t}{m_s} = 653 \quad \frac{c}{m_s} = 6 \quad \frac{m_u}{m_s} = 0,15$$

- $k_s$  – Coeficiente da mola da suspensão
- $k_t$  – Coeficiente da mola que representa o pneu
- $c$  – Coeficiente do amortecedor
- $m_s$  – Massa sobre eixo
- $m_u$  – Massa do veículo

Portanto, agregando o índice ARS e o modelo do Quarto de Carro surgiu um sistema de calibração de referência. Esse sistema consistia em modelo matemático que determinava um valor de IRI a partir de um perfil longitudinal de pavimento. Por motivos práticos e técnicos, a velocidade escolhida para o modelo foi de 80 km/h e, desta maneira, o sistema de calibração utilizado para o IRI foi denominado de  $RARS_{80}$ .

BARELLA (2008) argumenta que o Experimento Internacional de Avaliação de Pavimentos foi um marco nos estudos sobre irregularidade do pavimento e auxiliou a

formação de técnicos e pesquisadores no assunto. Atualmente, o IRI é o índice mais utilizado no mundo, sendo comprovadamente robusto para a utilização de engenheiros na comparação de dados sobre irregularidade longitudinal (Gillespie, 1992).

### 2.2.6. IRREGULARIDADE DO PAVIMENTO NOS DIAS ATUAIS

Durante os anos de 1990, os medidores de irregularidade portáteis se difundiram pelo mundo, sendo o primeiro deles o *Dipstick*. Esse aparelho é operado por uma única pessoa e possui um inclinômetro inserido em seus componentes que realiza as medidas de inclinação do pavimento de forma precisa (BARELLA, 2008).

Tendo o *Dipstick* como inspiração, diversos outros aparelhos portáteis de medição de irregularidade foram desenvolvidos. Entre esses aparelhos, o *Walking Profile* no qual foram inseridas rodas para facilitar o manuseio do equipamento. Esses modelos surgiram como uma forma de substituir a medição de inclinação por meio do nível e mira, pois necessitavam somente de um operador, ao contrário do outro equipamento que precisa de duas pessoas operando. Isso aumentava a produtividade, no entanto, com o aperfeiçoamento dos medidores do tipo resposta e desenvolvimento dos perfilômetros inerciais a laser, esses modelos de aparelho pararam de ser utilizados nos meios rodoviários. Os aparelhos *Dipstick* e *Walking Profile* estão representados na Figura 2.12.

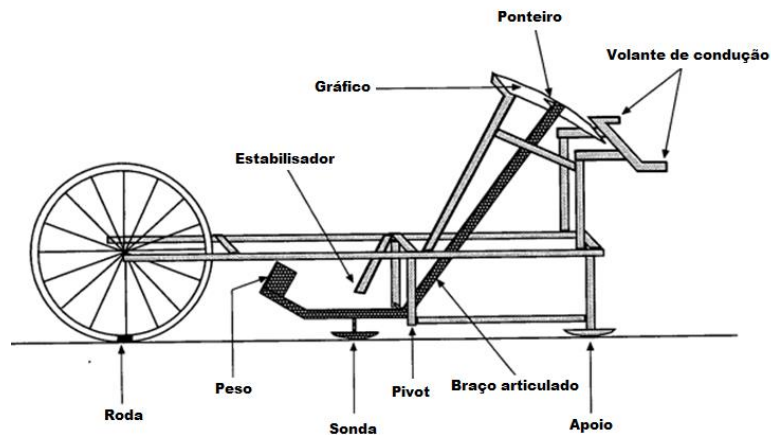


Figura 2.12– *Dipstick* a esquerda e *Walking Profile* a direita  
(Face Construction Technologies Inc, 2018) e (ARRB Group, 2018)

Desenvolvido pelo *Transportation research Laboratory* - TRL da Inglaterra por volta de 1990, o equipamento Merlin (Figura 2.13) foi projetado como um aparelho simples e barato para a obtenção do IRI. O modelo matemático utilizado por esse instrumento fornece somente resultados para uma faixa específica de valores de IRI entre 2,4 e 15,9.



Portanto, sua utilização é voltada para a análise de pequenos trechos de rodovias em construção ou recuperação (CUNDILL, 1996).



*Figura 2.13 – Desenho esquemático do equipamento Merlin*

Adaptado de (CUNDILL, 1996)

No ano de 2002, foi desenvolvido o primeiro equipamento capaz de medir simultaneamente os perfis longitudinal e transversal de um pavimento. Esse dispositivo foi desenvolvido pela empresa *Phoenix Scientific Inc* e é denominado *Pavement Profile Scanner – PPS 2000* (Figura 2.14). Utilizando um feixe de laser capaz de escanear milhares de ponto por segundo, o PPS 2000 identifica trincas, panelas, perfil de calçadas, além de fornecer o perfil longitudinal e transversal da rodovia. Esse equipamento gera um desenho tridimensional do pavimento facilitando a identificação de quaisquer defeitos que necessitem de reparo (Phoenix Scientific Inc, 2018).



*Figura 2.14 – PPS 2000*

(*Phoenix Scientific Inc, 2018*)

## 2.3. GERENCIAMENTO DE PAVIMENTOS

O conceito de Gerenciamento de pavimentos surgiu na década de 1960. Durante os anos seguintes, entre 1970 e 1980, muito se aprofundou sobre os métodos utilizados e as formas de implementação desse sistema de gerência. Em 1990 essa metodologia atingira um significativo grau de implementação em níveis federais e locais por diversos países do mundo (HAAS & HUDSON, 1994).

### 2.3.1. CONCEITOS E COMPONENTES DO SISTEMA DE GERENCIAMENTO DE PAVIMENTOS

As atividades de concepção, construção e manutenção são correntes na composição do Sistema de Gerenciamento de Pavimentos - SGP, contudo, é necessário definir a estrutura desse sistema para compreender o que ele abrange, a sua função e de que forma é utilizado. As definições da *Roads and Transportation Association of Canada* – RTCA e do Manual de Gerência de Pavimentos do DNIT sobre a composição desse sistema foram selecionadas devido a sua relevância internacional e também no Brasil.

De acordo com o Manual DNER (2000), um sistema é definido como “um conjunto de componentes que interagem mutuamente, afetados por fatores externos”.

A partir desta definição, um Sistema de Gerenciamento de Pavimento contempla os seguintes processos segundo a RTAC (1977): um amplo espectro de atividades, incluindo o planejamento da programação de investimentos, projeto, construção, manutenção e avaliação periódica do desempenho. A função do Gerenciamento de Pavimentos em todos os níveis envolve a comparação de alternativas, a coordenação de atividades e a tomada de decisões visando uma implementação de maneira econômica e eficiente (tradução livre) <sup>2</sup>.

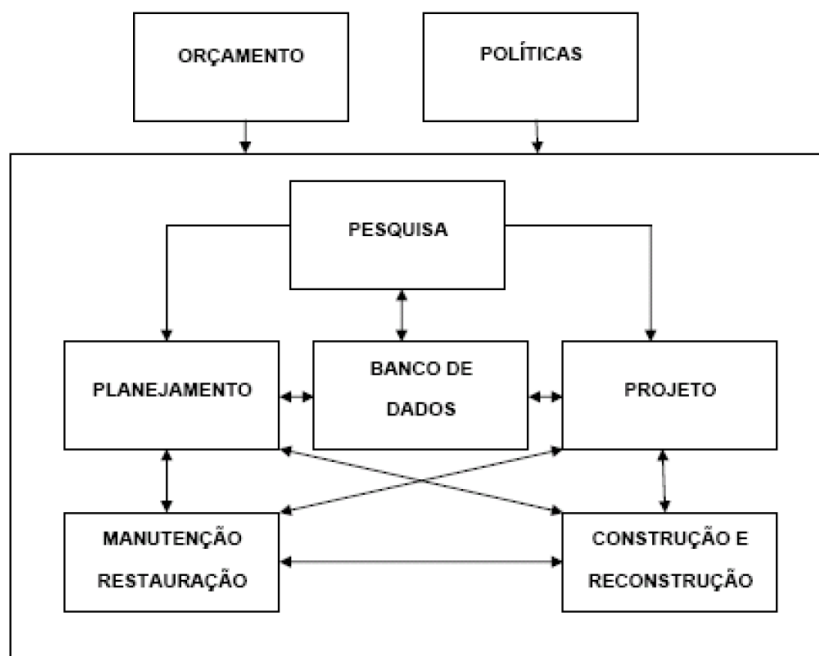
De acordo com o Manual de Gerência de Pavimentos do DNIT (2011), o SGP “tem como componentes, que devem interagir mutuamente, o planejamento, o projeto, a

---

<sup>2</sup> “a wide spectrum of activities including the planning of programming of investments, design, construction, maintenance and the periodic evaluation of performance. The function of management at all levels involves comparing alternatives, coordinating activities, making decisions and seeing that they are implements in an efficient and economical manner”.

construção e a manutenção dos pavimentos. Como os principais fatores externos podem ser citados os recursos orçamentários, os dados necessários ao sistema e as diretrizes políticas e administrativas”. O objetivo principal desse sistema é “alcançar a melhor aplicação possível para os recursos públicos disponíveis e oferecer um transporte rodoviário seguro, compatível e econômico”.

Os seis subsistemas, Planejamento, Projeto, Pesquisa, Construção, Manutenção e Banco de dados que compõem o Sistema de Gerenciamento de Pavimento estão relacionados entre si e tem funções específicas dentro do SGP. Portanto, a função do SGP é auxiliar a tomada de decisão coordenando essas atividades em diferentes níveis de gerenciamento para a escolha da alternativa mais econômica. A Figura 2.15 representa um fluxograma dos componentes do Sistema de Gerenciamento de Pavimentos.



*Figura 2.15 – Componentes do Sistema de Gerenciamento de Pavimentos*  
(DNIT, 2011)

O Planejamento compreende a avaliação das deficiências da rede rodoviária de modo a hierarquizar as prioridades das melhorias necessárias e estabelecer um programa de investimentos. A partir das diretrizes estabelecidas durante o Planejamento, o subsistema de Projeto utiliza informações sobre materiais, tráfego, clima e custos para realizar a análise econômica das alternativas visando sua otimização e, dessa maneira, selecionar a melhor estratégia para sua implementação.

A fase de construção tem por função materializar os projetos, ou seja, executar as obras determinadas. Suas atividades principais constituem o detalhamento das especificações de contratos, operações de construção, controle de qualidade de execução, além de fornecer as informações adquiridas ao longo do processo ao Banco de Dados. Em relação a Manutenção, é estabelecido uma agenda de trabalhos de preservação do pavimento a fim de prolongar a o tempo de serviço e a qualidade da rodovia, bem como manter atualizado o Banco de Dados com as informações referentes as operações realizadas.

A coleta de informações ocorre por meio de pesquisas relacionadas a todas as atividades do sistema: Planejamento, Projeto, Construção e Manutenção. O detalhamento, frequência das investigações e tipo de medições dependem do nível de exigência e do modelo de prioridades estabelecido pela organização. Todas as informações devem ser armazenadas em um Banco de Dados de maneira coerente, acessível, suscetível a alterações e atualizado de forma periódica.

### **2.3.2. NÍVEIS DE REDE E PROJETO EM GERÊNCIA DE PAVIMENTOS**

O processo de tomada de decisão de um Sistema de Gerenciamento de Pavimentos é dividido em dois níveis: rede e projeto. O primeiro possui um foco mais amplo com a análise da malha rodoviária como um todo e a elaboração de programas de investimentos de médio e longo prazo, por outro lado, o segundo é mais específico com a realização de estudos minuciosos sobre as diretrizes estabelecidas e tendo, por isso, uma perspectiva de tempo menor que o anterior.

A gerência em nível de rede caracteriza-se pela análise de toda a malha rodoviária utilizando informações mais resumidas, ou seja, prevalecendo a quantidade de informação em detrimento do detalhamento desses estudos. As informações necessárias devem demandar um menor intervalo de tempo para sua obtenção. Estas são utilizadas para a escolha da melhor estratégia selecionando os trechos de rodovias prioritários e indicando as atividades de manutenção, restauração ou ambas a serem implementadas e qual o custo aproximado dessas operações. Portanto, a tomada de decisão em nível de rede é essencialmente de planejamento, programação e orçamento de forma a otimizar os recursos disponíveis.

Em nível de projeto, a análise ocorre em trechos específicos das rodovias e as informações coletadas são utilizadas no detalhamento do próprio projeto bem como na execução da obra. Os estudos examinam, de maneira minuciosa, a estrutura do pavimento

e indicam os defeitos presentes nesses trechos de rodovias visando identificar as possíveis causas da deterioração e as consequências que estes podem induzir nas camadas adjacentes, além de obter uma previsão de durabilidade do pavimento. Portanto, o gerenciamento em nível de projeto envolve o dimensionamento, construção, manutenção e reabilitação procurando avaliar o tipo de serviço adequado a situação, seus custos e cronograma. A Figura 2.16 representa um fluxograma dos componentes de um Sistema de Gerenciamento de Pavimentos dividido em níveis de rede e de projeto.

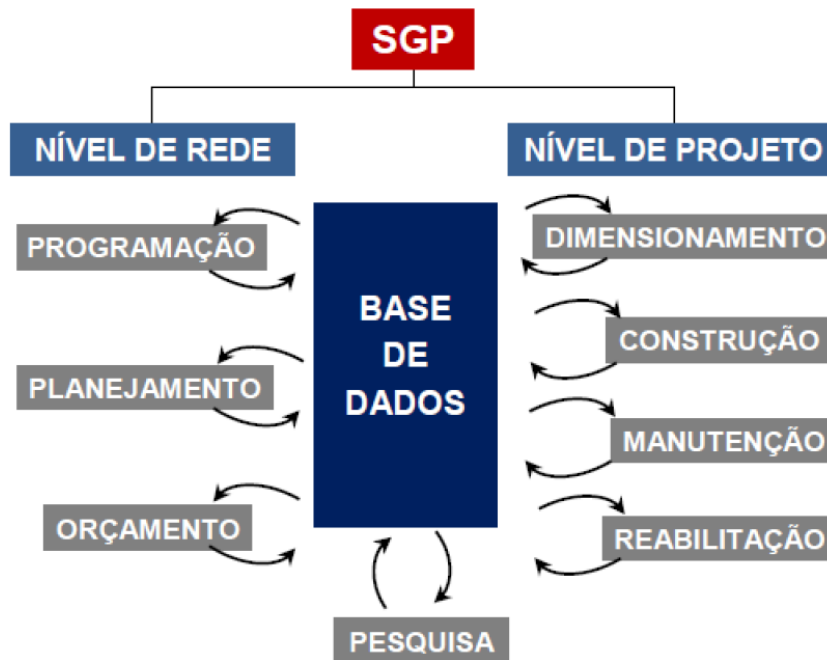


Figura 2.16 – Componentes do Sistema de Gerenciamento de Pavimentos em Níveis de rede e projeto

HAAS *et al.* (1994) *apud* (Fernandes, 2017)

### 2.3.3. ATIVIDADES BÁSICAS DO GERENCIAMENTO DE PAVIMENTOS

De acordo com o Manual de Gerência de Pavimentos (DNIT, 2011), as atividades básicas de um Sistema de Gerenciamento de Pavimento estão normalmente ligadas ao planejamento e podem ser agrupadas em quatro grandes atividades, sendo elas: Sistema de referência, Avaliação dos pavimentos, Determinação das prioridades e Elaboração de um programa de investimentos.

O Sistema de referência deve ter seus dados localizados fisicamente na rede rodoviária. Para isso, é estabelecido uma divisão e codificação de forma padronizada dos

trechos que compõem essas rodovias e no qual é atualizado e publicado anualmente. A Figura 2.17 exemplifica como esses trechos são identificados.

<b>135</b>	<b>B</b>	<b>MA</b>	<b>0010</b>
Nº da BR	Indica Trecho Federal	Unidade da Federação	Nº do Trecho (crescente no sentido do PNV – não volta a zero nas divisas estaduais)

*Figura 2.17 – Código de identificação dos trechos do PNV*  
(DNIT, 2011)

Cada trecho da rodovia também é dividido em subtrechos. A identificação destes é baseada em estudos realizados em toda rede rodoviária que fornecem informações para o Banco de Dados do Sistema de Gerenciamento de Pavimentos e são utilizados para estabelecer índices da qualidade da malha rodoviária federal. A análise técnica e econômica dos dados obtidos é feita com o auxílio da ferramenta HDM-4.

O código de classificação dos subtrechos das rodovias é dividido em cinco campos referentes à região, estrutura do pavimento, tráfego, irregularidade superficial, índice de gravidade global dos defeitos e dados de deflexão que são inseridos após código principal do Plano nacional de Viação – PNV citado anteriormente, como exposto na Figura 2.18.

<b>9</b>	<b>0407</b>	<b>B</b>	<b>1</b>	<b>C</b>
Região	Estrutura do Pavimento	Volume de Tráfego	Irregularidade da Superfície	Deflectometria e IGG

*Figura 2.18 – Código de identificação dos subtrechos*  
(DNIT, 2011)

A avaliação dos pavimentos é feita por meio de estudos que alimentam o banco de dados do SGP com informações sobre as condições funcionais, estruturais e operacionais dessas rodovias. Trata também do desenvolvimento de um cadastro histórico com dados sobre sua implantação, pavimentação, melhoramentos e manutenção. Sendo tudo isso fundamental para a tomada de decisões.

A condição funcional de um pavimento é estabelecida por uma avaliação da superfície da rodovia. Para isso são utilizados dois parâmetros o Valor de serventia Atual – VSA e o Índice de Irregularidade Longitudinal – IRI, mencionados anteriormente

O VSA normalmente possui valores elevados logo após a construção da rodovia, pois o pavimento apresenta uma superfície suave com poucas irregularidades. No entanto, a qualidade executiva e a alternativa de pavimentação escolhida influenciam muito nos valores deste índice. Os valores do VSA foram divididos em faixas que determinam a qualidade do pavimento desde péssimo até excelente como pode ser observado na Figura 2.19.

<b>Padrão de conforto ao rolamento</b>	<b>Avaliação (faixa de notas)</b>
Excelente	4 a 5
Bom	3 a 4
Regular	2 a 3
Ruim	1 a 2
Péssimo	0 a 1

*Figura 2.19 – Níveis de Serventia*  
(DNIT, 2011)

Ao longo do tempo, o desgaste sofrido pelo pavimento devido as cargas dos veículos e intempéries faz com que o índice VSA diminua atingindo limites de aceitabilidade e trafegabilidade. As notas utilizadas como limite são 2,5 para rodovias de alto volume de tráfego e 2 para as demais. A partir desses valores uma operação de manutenção corretiva deve ser efetuada para restabelecer a qualidade da rodovia. Com o intuito de prologar o período no qual o pavimento possui nível aceitável de rolamento são realizadas manutenções preventivas periodicamente. Caso a manutenção do pavimento seja negligenciada ou inadequada, os valores do VSA podem atingir níveis nos quais a única alternativa é a reconstrução da rodovia. Este limite depende dos critérios estabelecidos, contudo, normalmente é próximo a 1. O Gráfico 2.8 exemplifica esquematicamente a curva do índice VSA em relação ao tempo ou ao tráfego com os limites de aceitabilidade e trafegabilidade citados.

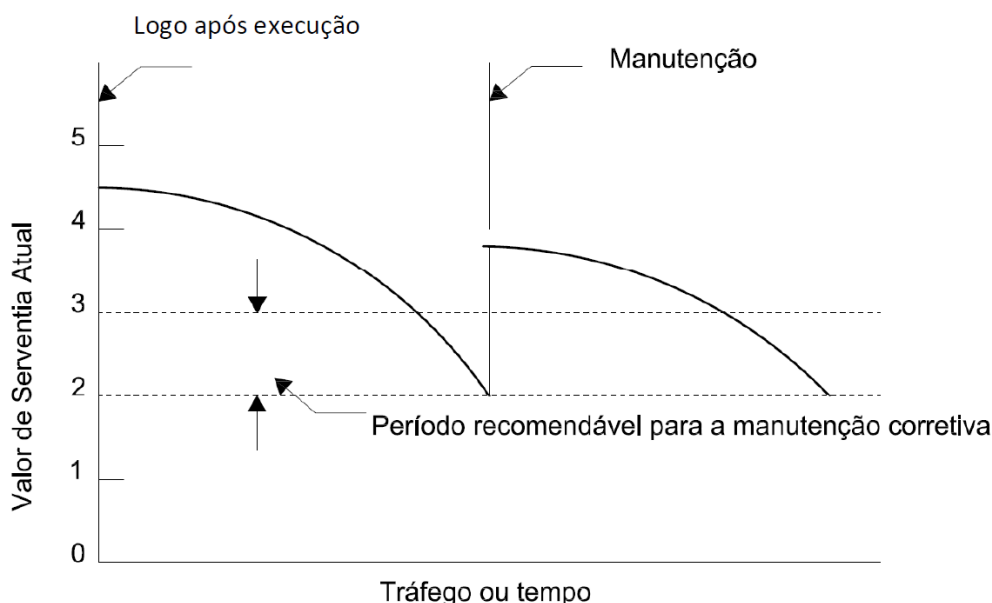


Gráfico 2.8 – Período recomendável para manutenção de pavimentos  
(DNIT, 2011)

Assim como o índice VSA, os valores do IRI também estão relacionados ao tipo de pavimento e a qualidade da execução. A influência das cargas dos veículos e intempéries ao longo da utilização do pavimento alteram seus valores, porém, diferentemente do VSA, o IRI apresenta valores de excelência o quão mais próximo de zero este índice esteja. As notas desse índice estão distribuídas em quatro faixas conforme a qualidade da superfície da rodovia e são utilizadas para controle de obras e aceitação de serviços em diversos países (Gráfico 2.9).

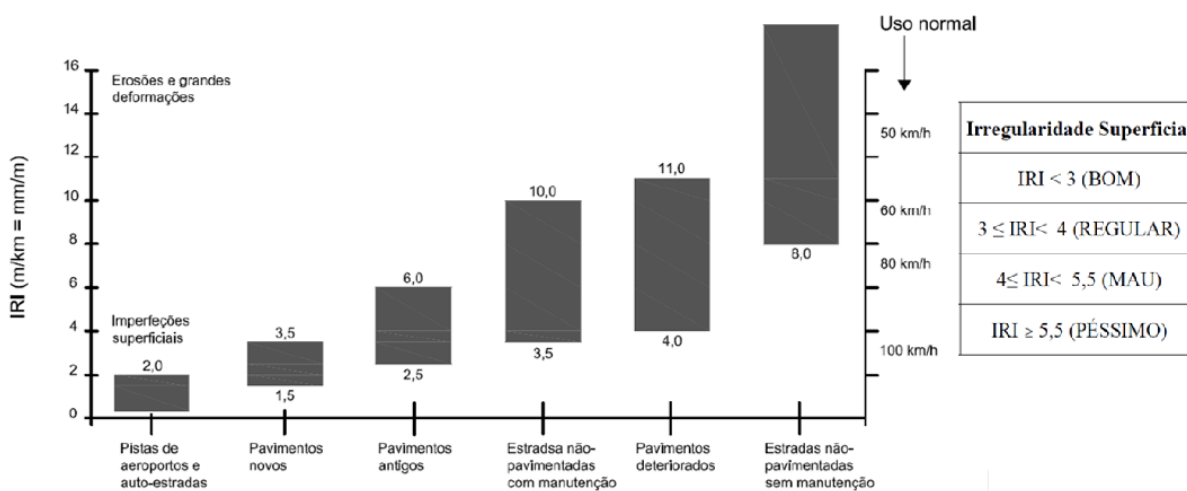


Gráfico 2.9 – Valores de utilização do IRI em pavimentos  
Adaptada de (DNIT, 2011)



A condição estrutural está relacionada a capacidade de carga da estrutura do pavimento. A fadiga do revestimento ocorre devido a repetição da aplicação de cargas que, ao longo do tempo de serviço da rodovia, geram deformações elásticas normalmente associadas ao aparecimento de trincas. Esse tipo de deformação é avaliado por equipamentos chamados deflectômetros que aferem o deslocamento vertical do pavimento quando submetido a uma carga, sendo esse deslocamento designado de deflexão. As deformações plásticas que ocorrem no pavimento, por causa da aplicação de cargas, se acumulam durante o período de serviço da rodovia e resultam em defeitos como afundamentos localizados e trilhas de roda. Essas imperfeições são medidas por meio de treliças padronizadas ou por instrumentos com sensores a laser.

Em relação as condições operacionais, o volume de tráfego atuante sobre a rodovia é fundamental para analisar a malha rodoviária e estabelecer as prioridades de investimentos em um Sistema de Gerenciamento de Pavimentos. Para o dimensionamento de uma rodovia é necessário estabelecer a solicitação de tráfego na qual a pavimento será sujeito. Quando a análise é desenvolvida utilizando a carga atuante é aplicado o número N de repetições do eixo padrão. Caso o dimensionamento empregue a capacidade de tráfego, o Volume Médio de Tráfego – VMD é o parâmetro a ser aplicado.

O número N representa a repetição da solicitação do eixo padrão de 8,2 tf sobre um pavimento. Este valor é utilizado para determinar a estrutura necessária a rodovia para resistir as solicitações impostas pelo tráfego de veículos ao longo do período de serviço.

O fluxo de automóveis que diariamente solicita um pavimento é representado pelo VMD. Portanto, este parâmetro estabelece a demanda sobre um pavimento em termos de capacidade de tráfego e também é utilizado para a obtenção do número N. Para determinar a taxa anual de crescimento do tráfego é preciso avaliar as previsões econômicas, que afetam o incremento de fluxo de veículos em uma rodovia, juntamente ao VMD atual.

As atividades finais e, portanto, objetivos principais do Sistema de Gerenciamento de Pavimentos são o estabelecimento das prioridades de intervenções necessárias a malha rodoviária de forma a otimizar os recursos disponíveis e elaborar um Programa Plurianual de Investimentos a partir das análises técnicas, políticas e econômicas empreendidas.

#### **2.3.4. O SOFTWARE HDM 4**

O *Highway Development and Management* – HDM 4 foi desenvolvido pelo Banco Mundial a partir de estudos em várias partes do mundo. Seu primeiro exemplar foi criado

em 1976 e desde então essa ferramenta computacional foi aperfeiçoada até atingir a versão atual. O objetivo desse *software* é possibilitar a implementação do Sistema de Gerenciamento de Pavimentos de forma a realizar análises adequadas com a simulação de condições físicas e econômicas de rodovias ao longo do tempo de serventia do pavimento para diversas alternativas especificadas pelo usuário (KERALI, 2000).

#### (i) QUADRO ANALÍTICO DO HDM 4

De acordo com Kerali (2000), essa ferramenta é utilizada para prever o comportamento de uma malha rodoviária em relação a deterioração, intervenções implementadas, efeitos sobre o usuário e questões econômicas e socioambientais.

A deterioração do pavimento é causada principalmente devido ao carregamento gerado pelo tráfego de veículos, condições climáticas e sistemas de drenagem inadequados. A condição de serventia do pavimento depende diretamente dos padrões de manutenção estabelecidos para o reparo de defeitos na superfície do pavimento tais como trincas, panelas, trilhas de rodas e também na integridade da estrutura da rodovia.

Os impactos da qualidade da rodovia nos usuários e as questões econômicas e socioambientais são medidas em termos de custos. Em relação aos usuários, os principais custos são o de operação dos veículos, tempo de percurso e acidentes rodoviários. As questões sociais e ambientais são compreendidas em termos de emissão de poluentes, consumo de energia e ruído gerado pelo tráfego. O Gráfico 2.10 demonstra os impactos das condições das rodovias em relação aos custos para diferentes modais de transporte.

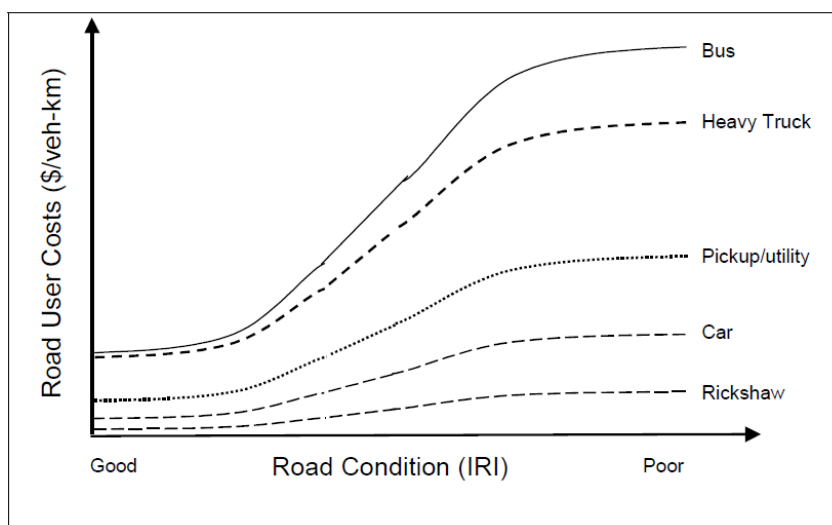


Gráfico 2.10 - Relação custo do usuário e IRI  
(KERALI, 2000)

Os custos são obtidos a partir da previsão do consumo de recursos multiplicados por um valor especificado de custo unitário. Portanto, O HDM 4 foi desenvolvido para realizar comparações de custos estimados e análises econômicas para diversas possibilidades de investimento. Para isso, utiliza métodos de avaliação como o Valor Presente Líquido – VPL, a Taxa Interna de retorno – TIR e a relação Benefício e Custo – B/C. Sendo que estes três índices são apresentados ao final da análise econômica empreendida.

A interface do programa HDM 4 é composta por três blocos: Gerenciador de dados, Ferramentas de análise e Modelos. O Gerenciador de dados possibilita o usuário estabelecer as características da situação a ser modelada. As Ferramentas de análise permitem atuar sobre o gerenciamento em três níveis de detalhamento sendo eles estratégia, programa e projetos. Por fim, os Modelos consistem na simulação dos trechos de rodovia para cada estratégia escolhida. A Figura 2.20 ilustra a interface do programa HDM 4 (NUNES, 2012).

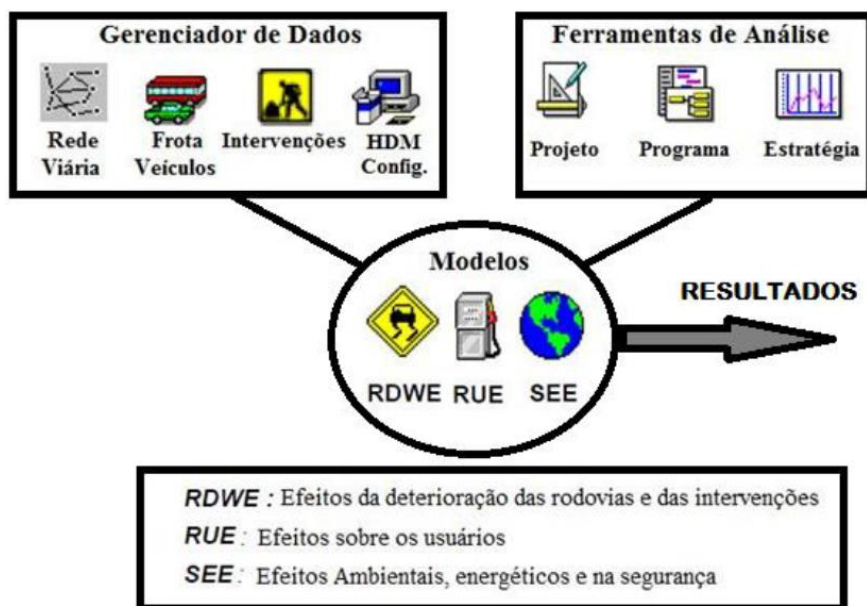


Figura 2.20 – Interface do programa HDM 4

Adaptada de (KERALI, 2000)

## (ii) GERENCIADOR DE DADOS

O HDM 4 foi desenvolvido para atuar em uma ampla variedade de contextos. Ele fornece a facilidade de personalizar o sistema operacional, ou seja, é flexível quanto a

alteração dos dados e dos coeficientes do *software* de forma que reflita as condições impostas em cada localidade. O Gerenciador de dados permite ao usuário definir características da malha rodoviária, frota de veículos e intervenções nas rodovias.

A função rede viária possibilita estabelecer diferentes redes, sub-redes e trechos da malha rodoviária e tem a capacidade de armazenar propriedades específicas de cada uma dessas seções. Os dados relativos a frota de veículos como quantidade de automóveis, modais de transporte, sendo eles motorizados ou não, também podem ser alterados. Permite ainda o cálculo da velocidade, dos custos de operação, dos custos do tempo de deslocamento e outros efeitos relacionados a frota de veículos. As intervenções de manutenção, restauração e ampliações e seus respectivos custos são igualmente passíveis de modificações que serão aplicadas nas diferentes seções das rodovias.

### (iii) FERRAMENTAS DE ANÁLISES

A função análise de estratégias atua sobre todas as redes e sub-redes que compõe a malha rodoviária gerenciada. Para isso, é aplicado uma matriz de categorias que agrupam as rodovias analisadas segundo características similares que mais influenciam o desempenho do pavimento e os custos dos usuários.

Um exemplo típico desse tipo de matriz é o que ordena as rodovias segundo categorias de volume de tráfego, tipo de pavimento, condições da estrutura do pavimento, zonas climáticas e condições funcionais das rodovias. Esse tipo de análise é utilizado no planejamento de investimentos de médio e longo prazo em operações de manutenção, restauração e ampliação visando a previsão de despesas, a Serventia do Pavimento e a otimização dos fundos alocados sob diferentes cenários de orçamento.

A análise de programas visa priorizar as melhores alternativas de despesas dentre uma lista de projetos rodoviários com o intuito de formular um plano de investimentos anual ou plurianual. Os critérios de seleção são definidos pelo usuário do HDM 4, no entanto, normalmente estão atrelados a manutenção, restauração, ampliação ou a padrões de desenvolvimento estabelecidos pelo órgão responsável.

Tendo sido selecionados os projetos, a função de análise de programas compara os custos relacionados ao ciclo de operação da rodovia na situação sem as intervenções com os custos do ciclo de operação da rodovia com as melhorias. Desta maneira é possível obter os benefícios econômicos que a inclusão de cada alternativa proporciona e os recursos necessários.

Por fim, a análise de projetos atua sobre a avaliação de uma ou mais alternativas de investimentos rodoviários. Utilizando informações mais detalhadas, essa função é aplicada em uma rodovia com as melhorias estabelecidas pelo usuário, seus custos e benefícios são projetados anualmente e, a partir disso, são determinados indicadores econômicos que diferenciam e priorizam as melhores alternativas. Portanto, o objetivo da análise de projetos é determinar a melhor solução econômica e de engenharia para uma seção específica de rodovia.

As funções presentes nas Ferramentas de Análises são distinguidas entre estratégia, programa e projeto. A principal diferença entre elas é o nível de detalhamento em que se deseja operar. As duas primeiras funções utilizam informações mais genéricas, enquanto, a análise de projetos emprega dados mais específicos. Por exemplo, na função projeto o dado referente ao IRI é usado como o valor real desse índice, enquanto, nas análises de estratégia e programa ele é especificado como bom, médio ou ruim. Em relação as funções de estratégia e programa a diferença está na forma como a malha rodoviária é analisada. O nível de estratégia trabalha sobre a rede como um todo ou um pedaço dela agrupando as rodovias com características similares em uma matriz de categorias, enquanto, na análise de programa essas seções ou rodovias são individualizadas e identificadas no estudo.

#### (iv) **MODELOS**

Os três tipos de ferramentas de análise: estratégia, programa e projeto operam com as informações contidas em um dos módulos do Gerenciador de Dados, sendo eles características da malha rodoviária, frota de veículos e intervenções nas rodovias. As análises são realizadas utilizando quatro tipos de modelos de cálculo presentes no *software* HDM 4.

- Deterioração da rodovia: prevê a deterioração ao longo do tempo de serviço de pavimentos do tipo asfáltico, concreto e sem revestimento.
- Efeitos das Intervenções: simula os impactos das ações de melhoria nas condições do pavimento e determina seus custos.
- Efeitos sobre o usuário: determina os custos de operação de veículos, tempo de deslocamento e acidentes de trânsito.
- Efeitos socioambientais: estabelece a emissão de poluentes e o consumo de energia.

Os modelos simulam, para cada seção da rodovia, ano por ano, as condições da rede rodoviária e os investimentos empreendidos em cada uma das estratégias. Para isso, são definidas a velocidade dos automóveis, a quantidade de recursos utilizados na operação de veículos, intervenções de manutenção, reabilitação e ampliação de rodovias. Os benefícios são então obtidos para cada uma das alternativas.

### 3. METODOLOGIA

O principal objetivo desta pesquisa é correlacionar a condição do pavimento por meio do seu índice de irregularidade longitudinal - IRI com o consumo de energia elétrica do banco de baterias do automóvel elétrico em diferentes velocidades. Para isso, é necessário estabelecer qual veículo será utilizado, qual é o método de aferição de descarga da bateria e descrever o trecho experimental quanto à sua extensão, perfil topográfico, condição do pavimento e equipamento utilizado para aferir o índice de irregularidade longitudinal.

#### 3.1. DESCRIÇÃO DOS VEÍCULOS

O automóvel a ser utilizado na pesquisa deve ser comercialmente disponível no mercado brasileiro. Isso se deve ao fato do estudo buscar desenvolver um modelo próximo à situação real. Desse modo, considerando que a frota de veículos elétricos tende a crescer no mercado nacional, é essencial a utilização de um automóvel compatível com os modelos que estarão trafegando nas rodovias brasileiras nos próximos anos.

Consultando os websites das montadoras instaladas no país, podem ser listados os seguintes veículos elétricos e híbridos mais comercializados em território nacional:

- Toyota Prius
- Renault Kangoo ZE
- BYD E6
- Nissan Leaf

Dentre esta lista de veículos, existem modelos híbridos como o Toyota Prius e automóveis elétricos “puros” também chamados de modelos *plug-in* como o BYD E6. Visando analisar o consumo de energia do banco de bateria tanto VEs quanto VEHs foram utilizados nesta pesquisa ambos os automóveis, Prius e E6, ilustrados na Figura 3.1.



Figura 3.1– BYD E6 a esquerda e Toyota Prius a direita  
Adaptada de (BYD Company, 2018) e (Toyota, 2018)

### 3.1.1. TOYOTA PRIUS

O Toyota Prius utilizado nesta pesquisa é da terceira geração (ano 2011). Este veículo possui um sistema híbrido, que combina a utilização de um motor à gasolina e de um motor elétrico (motor de tração), com a configuração em série que permite a utilização de somente um ou de ambos os motores. O motor à combustão é de 1,8 litros com 4 cilindros e potência de 83 cv. O motor elétrico utiliza um banco de baterias com pico de potência máxima de 60 kW e energia armazenada de 1,3 kWh. A potência máxima combinada de ambos os motores é de 134 cv. A figura 3.2 ilustra a configuração dos motores e do banco de baterias do Prius.

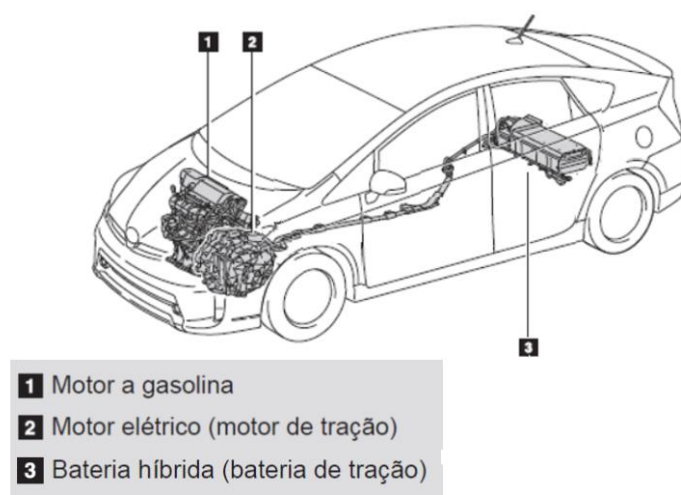


Figura 3.2 – Configuração do sistema propulsor do Toyota Prius

Adaptada de (TOYOTA, 2018)

Durante a condução normal predomina a utilização do motor à gasolina, porém, no momento da partida do veículo e ao trafegar em baixas velocidades o motor à combustão é desligado e o motor elétrico é utilizado para impulsionar o automóvel. Ao atingir um estado de carga do banco de baterias de 40% a situação se inverte, o motor elétrico desliga sendo acionando o motor à combustão.

O Prius por não ser um automóvel *plug-in* emprega o seu motor à gasolina para efetuar a recarga da bateria, dispensando a utilização de uma fonte externa. Além da recarga realizada pelo MCI, o sistema híbrido deste veículo permite realizar a frenagem regenerativa que transforma energia cinética em energia elétrica armazenada no banco de baterias do automóvel. Esta situação de recarga por frenagem ocorre tanto nos momentos



em que o pedal do acelerador é solto quando o pedal do freio é acionado. O painel do veículo apresenta estas informações durante o tráfego como demonstra a Figura 3.3.

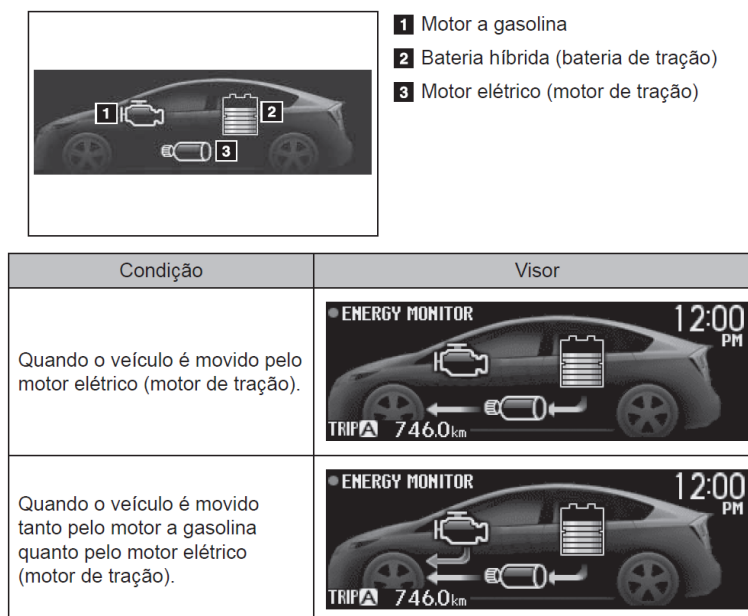


Figura 3.3 – Informações do painel do Toyota Prius

Adaptada de (TOYOTA, 2018)

O Toyota Prius apresenta além do modo convencional de utilização de seu sistema de propulsão, os modos elétrico e econômico. O modo elétrico emprega para o funcionamento do veículo somente seu motor elétrico, no entanto, esta configuração é interrompida ao atingir velocidades superiores a 45 km/h ou estado de carga equivalente a 40%. Além disso, por possuir um banco de baterias relativamente pequeno, o Toyota Prius percorre trechos de até 2 km utilizando somente o motor elétrico. O Modo Eco, por sua vez, visa a menor utilização de combustível possível e desliga o seu MCI quando a velocidade do veículo é estabilizada.

Os testes desta pesquisa foram realizados com velocidades entre 40 km/h e 70 km/h e os trechos em análise variavam entre 1,5 km a 4,0 km, diante disso, somente o modo econômico foi aplicado, pois ao estabilizar a velocidade antes de entrar no trecho experimental foi possível percorrer todo o trajeto utilizando somente o motor elétrico para o funcionamento do veículo.

### 3.1.2. BYD E6

O BYD E6 é um veículo elétrico *plug-in*, portanto se diferencia do modelo híbrido de propulsão do Toyota Prius, posto que utiliza fonte externa conectada à rede elétrica para

efetuar a recarga de sua bateria. O motor elétrico operado neste veículo usa uma bateria de fosfato de ferro produzida pela própria BYD, que possui grande capacidade de armazenamento com 80 kWh. O seu motor elétrico emprega 90 kW (121 cv) de potência, sua velocidade máxima é de 140 km/h e, dependendo da condição de utilização, sua autonomia pode chegar a 400 km. A Figura 3.4 expõe o modelo E6 e sua ficha técnica.



Figura 3.4 – BYD E6 e ficha técnica  
Adaptada de (BYD Company, 2018)

De maneira semelhante ao Prius, o BYD E6 também utiliza a frenagem regenerativa como uma alternativa para recarregar seu banco de baterias. Esse sistema de frenagem é aplicado quando o pedal do acelerador é solto ou quando o pedal do freio é acionado e permite transformar energia cinética em energia elétrica passível de ser armazenada em sua bateria. Segundo os próprios desenvolvedores da BYD, o sistema de frenagem regenerativa pode aumentar em cerca de 70 km a autonomia do veículo, como ilustrado na Figura 3.5.

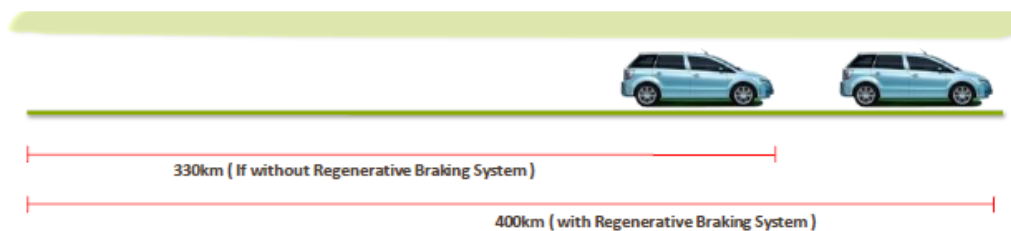


Figura 3.5 - Sistema de frenagem regenerativa  
Adaptada de (BYD Company, 2018)

### 3.2. DESCRIÇÃO DO TRECHO EXPERIMENTAL

Para a realização desta pesquisa, utilizou-se quatro trechos da rodovia DF 001, a saber: (1) trecho km 113; (2) km 111 com extensão de 1,5 km; (3) km 106 e (4) km 97, conforme representados na Figura 3.6.

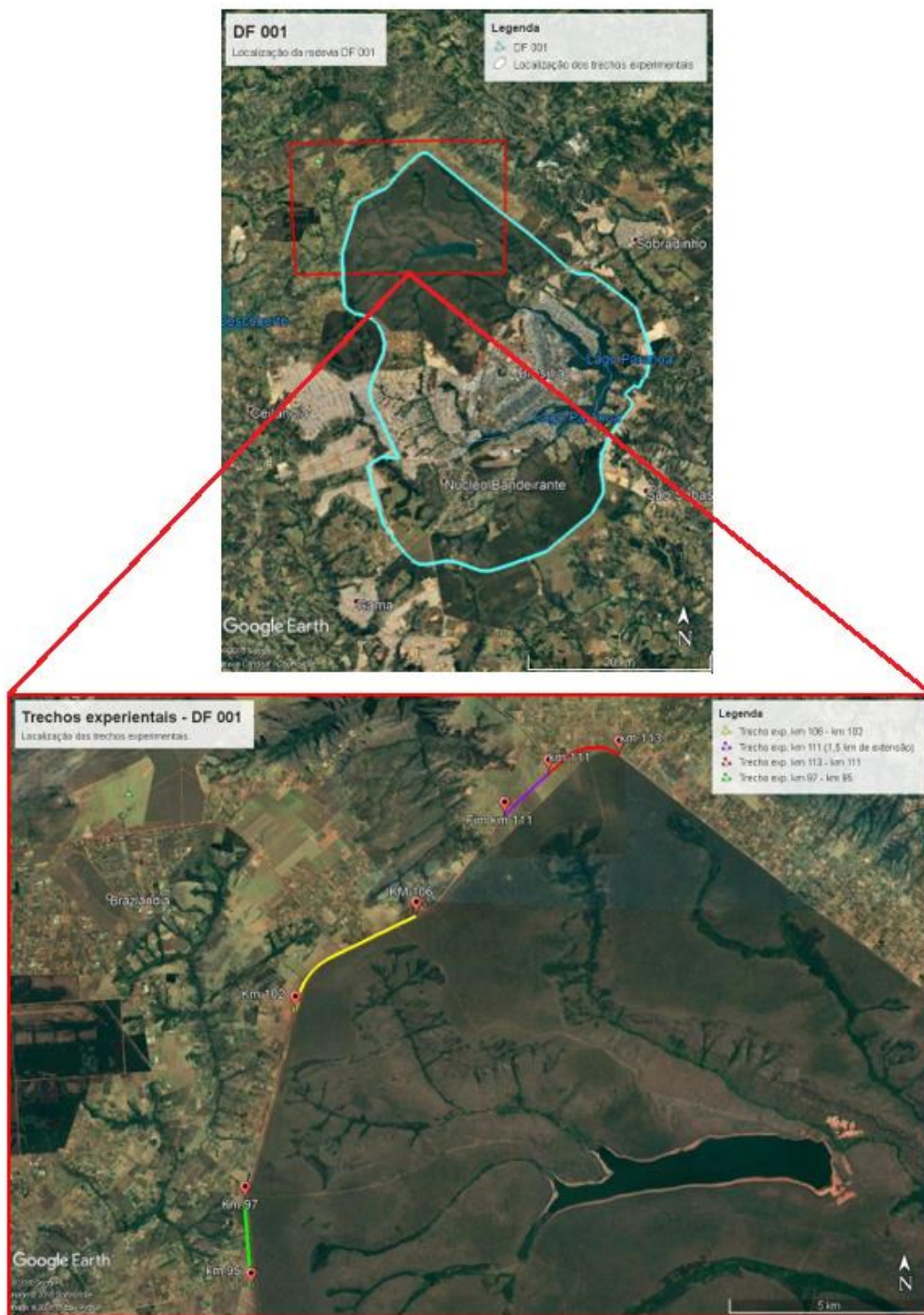


Figura 3.6 - Localização dos trechos experimentais

Elaboração própria do autor

Nos trechos experimentais foram escolhidos trajetos com baixo fluxo de automóveis e que não possuíssem elevações transversais e semáforos, pois a desaceleração dos veículos utilizados acarretaria em frenagem regenerativa que interferiria na análise do consumo de energia. Tais trechos também foram selecionados segundo perfis topográficos semelhantes visando uma menor interferência de aclividades e declividades no consumo energético. Estes perfis topográficos foram obtidos por meio de GPS e também com a utilização do software Google Earth PRO. Além disso, a extensão destes trechos deve ser representativa para que o comportamento do veículo, frente às diferentes condições do pavimento e velocidade, tenha influência no consumo de energia elétrica do banco de baterias.

Para a comparação do consumo de energia necessária para o tráfego do veículo em relação à qualidade do pavimento, foram selecionadas seções da rodovia DF 001 em diferentes estados de conservação. Dentre os trajetos escolhidos estão trechos de pavimento flexível e não pavimentado variando entre bom, mau e péssimo estados de conservação segundo critérios estabelecidos no manual do DNIT 2011 (Figura 3.7).

<b>Irregularidade Superficial</b>
IRI < 3 (BOM)
$3 \leq \text{IRI} < 4$ (REGULAR)
$4 \leq \text{IRI} < 5,5$ (MAU)
$\text{IRI} \geq 5,5$ (PÉSSIMO)

Figura 3.7 - Qualidade da irregularidade superficial  
(DNIT, 2011)

A condição do pavimento da rodovia, neste estudo, é estabelecida pelo índice de irregularidade longitudinal – IRI do pavimento e a aferição deste parâmetro é obtida com a utilização de um perfilômetro a laser disponibilizado pela empresa Dynatest (Figura 3.8).



Figura 3.8 – Perfilômetro a laser Dynatest RSP  
(Dynatest, 2018)

### 3.2.1. TRECHO EXPERIMENTAL KM 113

O trecho experimental km 113 possui quatro quilômetros de extensão e é composto por pavimento flexível. Os Gráficos 3.1 e 3.2 representam respectivamente o índice IRI e o perfil topográfico do trecho analisado.

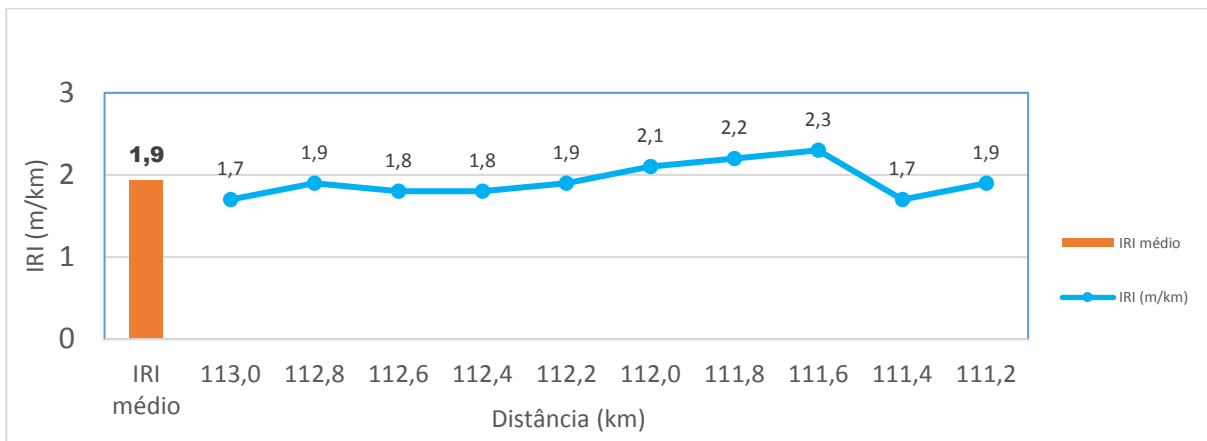


Gráfico 3.1 - Valores de IRI – Trecho experimental km 113

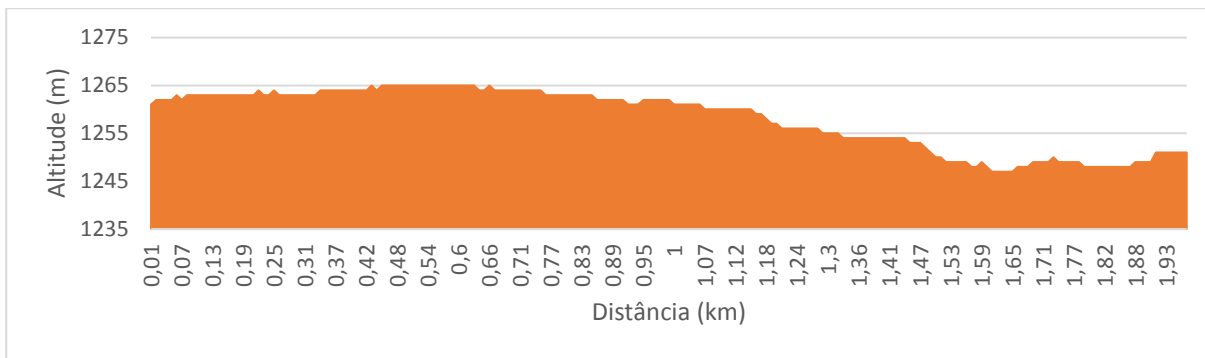


Gráfico 3.2 - Perfil topográfico – trecho experimental km 113

Como demonstrado, o trecho apresentado possui IRI médio igual a 1,9 que consiste em uma condição de pavimento de boa qualidade em relação à sua irregularidade longitudinal. O perfil topográfico apresenta máximo desnível de 17 metros e inclinação entre seus pontos de máxima e mínima altitude igual a 1,5%.

### 3.2.2. TRECHO EXPERIMENTAL KM 111

O trecho experimental km 111 é não pavimentado e apresenta um quilometro e meio de extensão. Os Gráficos 3.3 e 3.4 representam respectivamente o índice IRI e o perfil topográfico do trecho analisado.

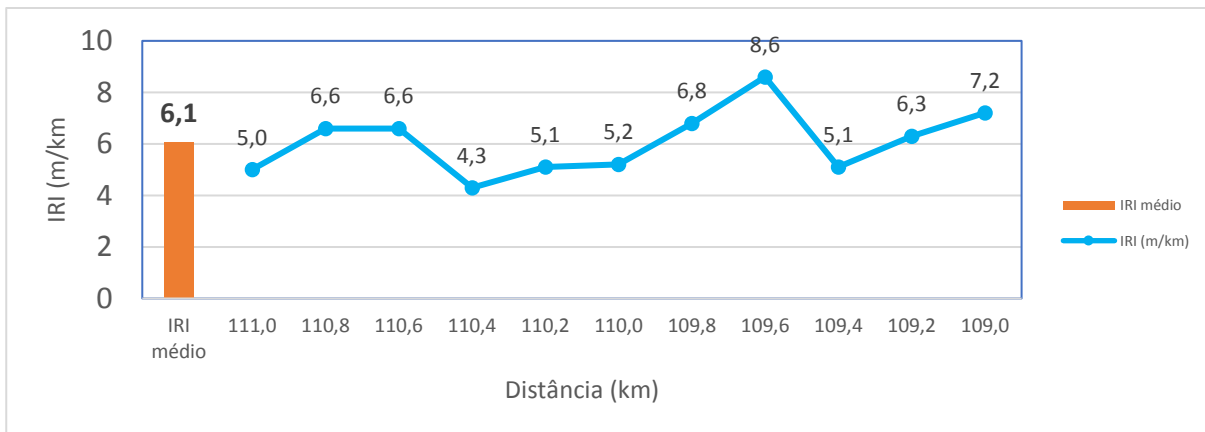


Gráfico 3.3 - Valores de IRI – Trecho experimental km 111

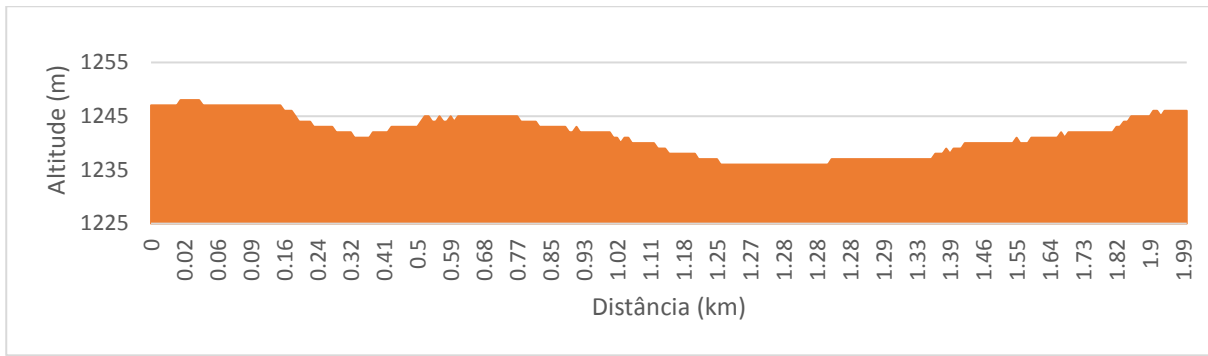


Gráfico 3.4 - Perfil topográfico – trecho experimental km 111

O trecho km 111 apresenta IRI médio de 6,1 que se enquadra na condição de péssima qualidade de pavimento quanto à sua irregularidade longitudinal. O perfil topográfico apresenta máximo desnível de 11 metros e inclinação entre seus pontos de máxima e mínima altitude igual a 0,9%.

### 3.2.3. TRECHO EXPERIMENTAL KM 106

O trecho experimental km 106 é não pavimentado e apresenta quatro quilômetros de extensão. Os Gráficos 3.5 e 3.6 representam respectivamente o índice IRI e o perfil topográfico do trecho analisado.

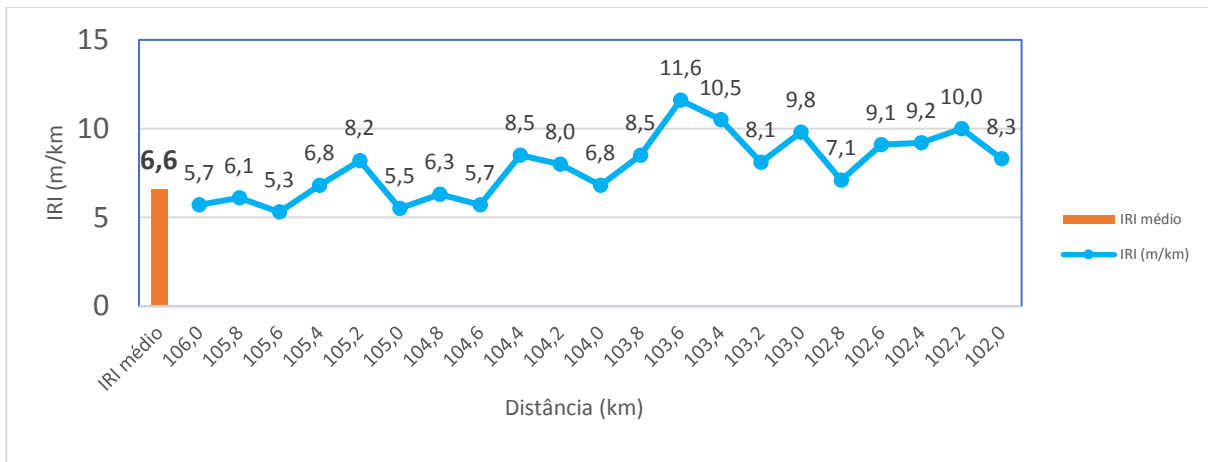


Gráfico 3.5 - Valores de IRI – Trecho experimental km 106

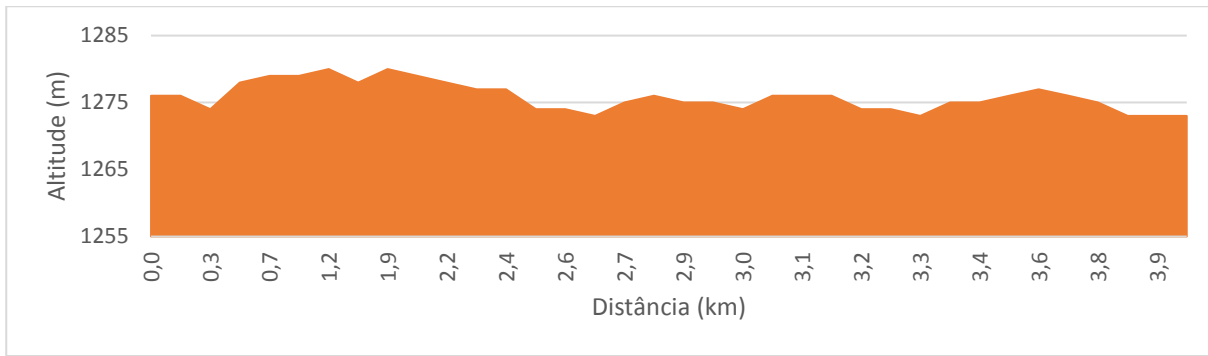


Gráfico 3.6 - Perfil topográfico – trecho experimental km 106

Como apresentado pelos gráficos, este trecho experimental apresenta IRI médio de 6,6 que consiste em péssima condição de irregularidade longitudinal. O perfil topográfico, por sua vez, apresenta máximo desnível de sete metros e sua inclinação entre os pontos de máxima e mínima altitude é de 1%.

### 3.2.4. TRECHO EXPERIMENTAL KM 97

O trecho experimental km 97 possui dois quilômetros e quatrocentos metros de extensão em pavimento flexível. Os Gráficos 3.7 e 3.8 representam respectivamente o índice IRI e o perfil topográfico do trecho analisado.

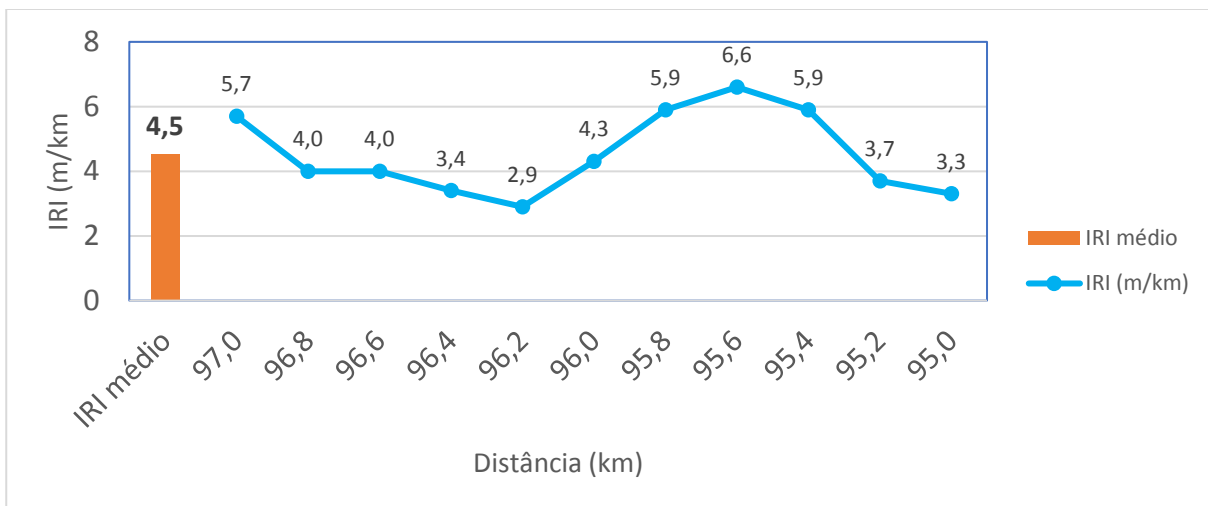


Gráfico 3.7 - Valores de IRI – Trecho experimental km 97



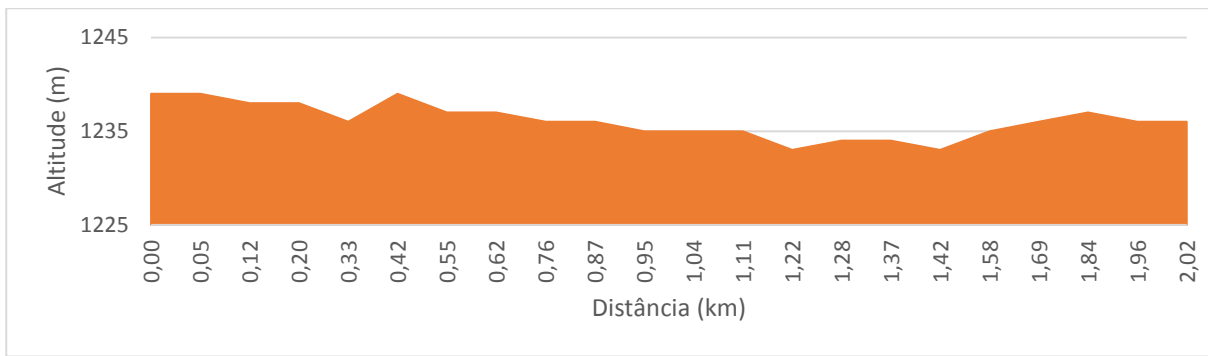


Gráfico 3.8 - Perfil topográfico – trecho experimental km 97

Constata-se que o trecho km 97 apresenta IRI médio de 4,5 que se enquadra na classificação de um “mau” pavimento quanto ao manual do DNIT 2011. O perfil topográfico possui o maior desnível, seis metros, e inclinação entre seus pontos de máxima e mínima altitude de 0,75%.

### 3.3. MONITORAMENTO DO CONSUMO DE ENERGIA

Para realizar a aferição do consumo de energia das baterias dos veículos Toyota Prius e BYD E6 foram utilizadas duas metodologias diferentes. Isto foi feito devido às características específicas de cada automóvel, tais como a arquitetura do sistema de propulsão e de armazenamento de energia e também a viabilidade da utilização de equipamentos de monitoramento das condições do veículo.

#### 3.3.1. TOYOTA PRIUS

O Toyota Prius possui compatibilidade com o equipamento *On Board Diagnostics* – OBD II, que significa diagnóstico de bordo e funciona como um scanner automotivo. Trata-se de um sistema que, conectado à central eletrônica do automóvel, permite a leitura e transmissão de dados referentes à situação do veículo. O modelo de OBD II utilizado foi o ELM 327 (Figura 3.9).



Figura 3.9 – OBD II (ELM 327)  
Adaptada de (ELETRONICS, 2018)

A interface entre o equipamento ELM 327 e o computador é realizada por meio do aplicativo Torque PRO que permite selecionar as informações necessárias ao estudo. Portanto, com a utilização do equipamento OBD II e do aplicativo foi possível armazenar informações a cada segundo sobre o estado de carga da bateria do veículo ao longo dos trechos experimentais para análise posterior. Ademais, cada trajeto foi percorrido três vezes para melhor avaliar a variação dos dados adquiridos e também o modo de direção.

A comparação entre o decaimento do estado de carga nos diferentes trajetos experimentais foi realizada por meio da taxa de variação do estado de carga em relação à distância percorrida. Em geral, se duas variáveis  $y$  e  $x$  forem quantidades relacionadas por uma equação  $y = f(x)$ , podemos considerar a taxa segundo a qual  $y$  varia com  $x$ . No entanto, é importante ressaltar que a inclinação da reta secante utilizada no estudo representa a taxa de variação média do estado de carga em relação a distância percorrida, como ilustrado na Figura 3.10.

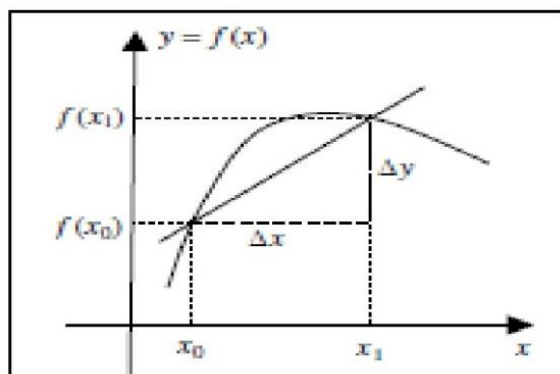


Figura 3.10 – Taxa de variação média

Elaboração própria do autor

#### Definição

Se  $y = f(x)$ , então a **taxa de variação média de  $y$  em relação a  $x$  no intervalo  $[x_0, x_1]$**  é a inclinação  $m_{sec}$  da reta secante ao gráfico de  $f$  que passa pelos pontos  $(x_0, f(x_0))$  e  $(x_1, f(x_1))$ , isto é,

$$m_{sec} = \frac{f(x_1) - f(x_0)}{x_1 - x_0}$$

Por meio da ferramenta *linha de tendência do software Excel*, que realiza uma interpolação polinomial utilizando o método dos mínimos quadrados, foi obtida uma equação de segundo grau que mais se aproxima dos valores de estado de carga a partir dos dados adquiridos com a emprego do ELM 327. Por fim, os valores do estado de carga ao iniciar o trecho experimental e ao finalizá-lo, ou seja, os valores de máximo e mínimo do estado de carga, foram calculados por meio da equação obtida pela linha de tendência. A partir destes valores, é traçada a reta secante utilizada para a determinação da taxa de variação média do estado de carga em relação a distância percorrida para o trajeto em análise.

A título de exemplo da metodologia descrita, o Gráfico 3.9 abaixo representa como utilizam-se os dados apresentados pelo equipamento ELM 327 para obter o estado de carga em relação à distância percorrida.

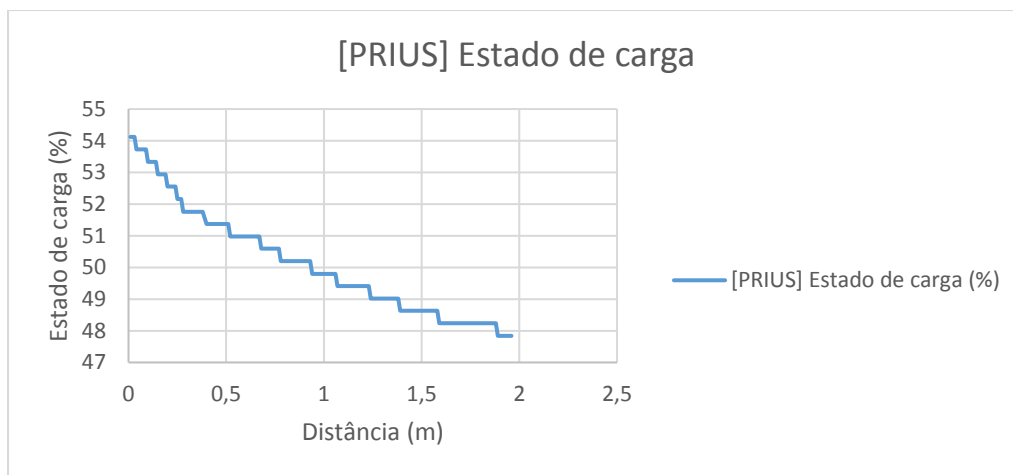


Gráfico 3.9 Variação do estado de carga do Toyota Prius

A partir dos dados do estado de carga apresentados pelo *scanner* automotivo é utilizada a ferramenta do Excel linha de tendência, que por meio do método dos mínimos quadrados, descreve a curva de segundo grau que melhor se aproxime dos valores obtidos, conforme a equação polinomial ilustrada no Gráfico 3.10.

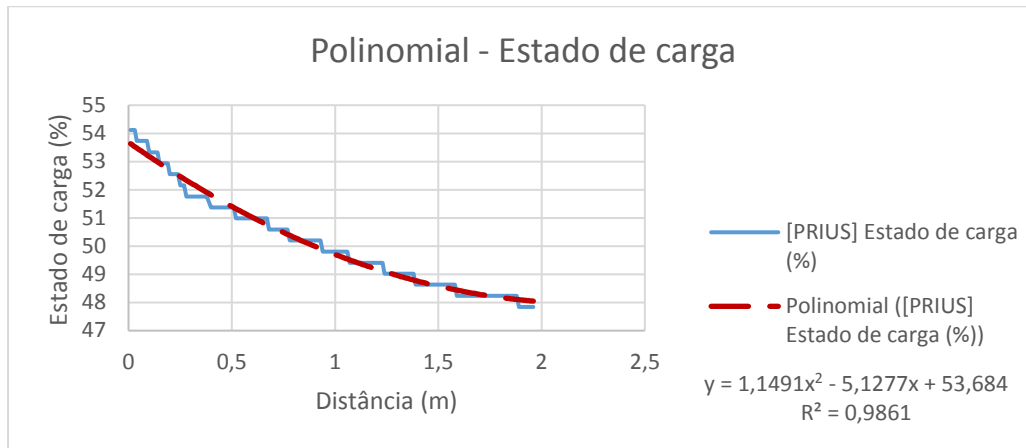


Gráfico 3.10 - Curva polinomial do estado de carga

Uma reta secante aos pontos de máximo e mínimo valores da equação polinomial é traçada e por meio desta reta é obtido o valor da taxa de variação média do estado de carga em relação à distância percorrida para o trecho em análise (Gráfico 3.11).

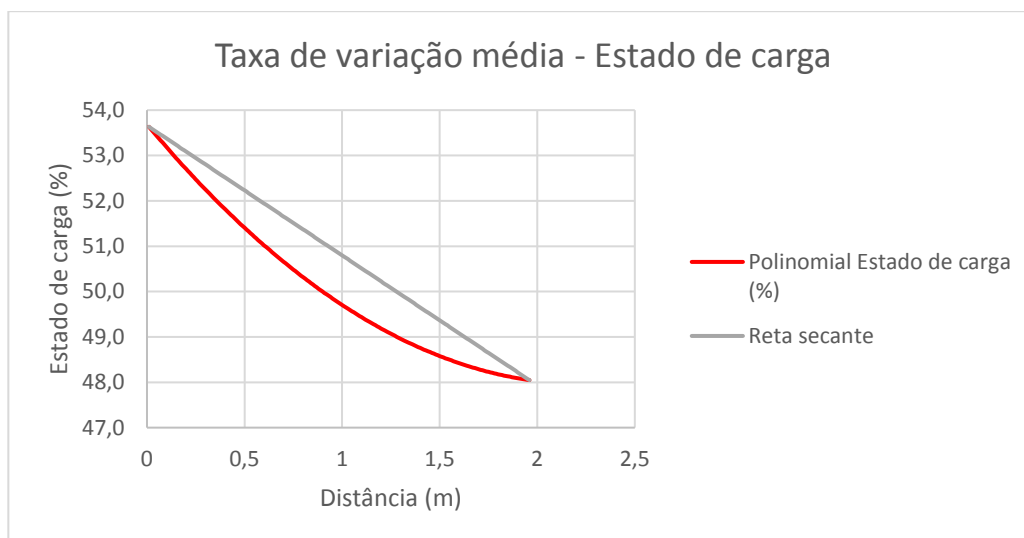


Gráfico 3.11 - Reta secante a equação polinomial

A taxa de variação média do estado de carga (%) em relação à distância percorrida (km), que para o exemplo apresentado é de  $-2,86 \text{ %/m}$ , é utilizada para comparar se houve aumento no consumo de energia da bateria devido à variação de velocidade no mesmo trecho experimental, bem como a comparação do consumo em relação as diferentes condições de qualidade do pavimento que cada percurso experimental possui.

### 3.3.2. BYD E6

O BYD E6 não possui entrada compatível com o equipamento OBD II, portanto não foi possível utilizar o scanner automotivo na análise do consumo energético do automóvel durante o percurso dos trechos experimentais. Diante disso, para a realização da aferição do consumo de energia foi utilizada a informação sobre a potência instantânea, em kW, empregada pelo motor elétrico e apresentada no painel do carro (figura 3.11)



*Figura 3.11 – Painel do BYD E6*

Elaboração própria do autor

O painel do veículo foi filmado durante todo o trajeto experimental e os dados referentes à potência instantânea foram extraídos a cada dois segundos para a formulação de uma planilha com a potência, em kW, utilizada pelo motor ao longo da distância percorrida. Cada trajeto foi percorrido em três diferentes velocidades para melhor avaliar a variação dos dados apresentados pelo painel do veículo e também a interferência do modo de direção.

Com os dados obtidos foram criados gráficos da potência utilizada ao longo da distância percorrida, extraindo-se a média e o desvio padrão da potência utilizada. Com estas informações foram comparados tanto o consumo de energia da bateria para diferentes velocidades aplicadas em um mesmo percurso experimental, quanto o consumo de energia frente a diferentes condições do pavimento segundo os valores do IRI. O exemplo do Gráfico 3.12 ilustra esta construção gráfica descrita.

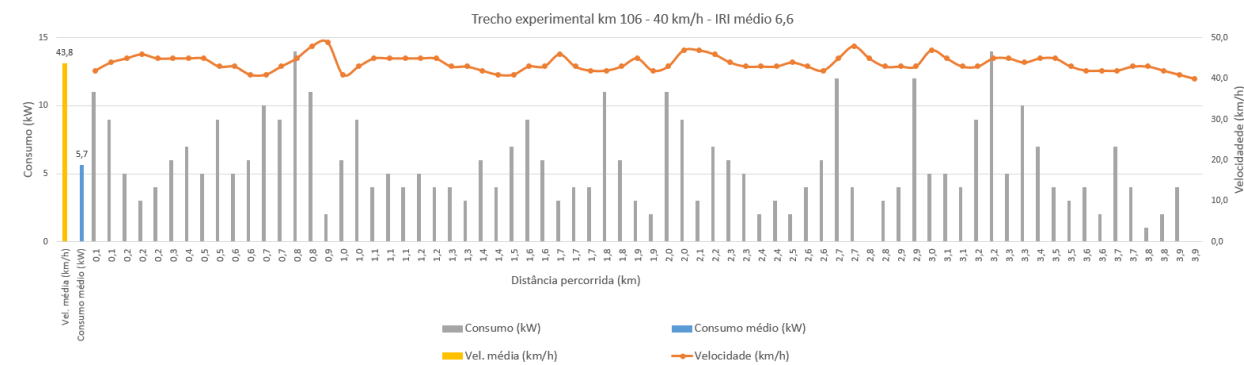


Gráfico 3.12 - Variação da potência

### 3.4. ANÁLISES ESTATÍSTICAS DOS DADOS

O programa experimental realizado com o Toyota Prius e o BYD E6 tem como variáveis controláveis (ou independentes) a qualidade do pavimento, definida por meio do índice de irregularidade longitudinal IRI, e também a velocidade. Por outro lado, as variáveis de resposta (ou dependentes) são a taxa de variação média do estado de carga da bateria em relação à distância percorrida, no caso do Prius, enquanto no veículo BYD E6 se aprecia a potência instantânea exercida pelo motor elétrico.

Realizou-se a análise de variância (ANOVA) para que fossem verificados os efeitos das variáveis independentes na variável de resposta (dependente). A análise considera a hipótese nula ( $H_0$ ) e a hipótese alternativa ( $H_1$ ), de modo que se for aceita a hipótese  $H_0$ , entende-se que a média dos grupos de dados analisados não difere de maneira estatisticamente significativa, ou seja, as variáveis independentes não têm efeito sobre a variável dependente. Entretanto, se houver a rejeição da hipótese nula, verifica-se que pelo menos uma média difere das demais, garantindo a influência exercida pelas variáveis independentes.

A avaliação das hipóteses descritas pode ser realizada por meio do P-valor ou probabilidade de significância, onde cada hipótese é testada a um nível de significância  $\alpha$ , que para o conjunto de experimentos realizados neste trabalho, foi de 5%, ou seja,  $\alpha = 0,05$ . Desta forma, o nível de confiança do teste é de 95%. A partir da probabilidade de significância determinada, tem-se que para P-valor inferior a 0,05, a hipótese  $H_0$  é rejeitada e se P-valor for igual ou superior a 0,05, não há rejeição.

Além da análise de variância (ANOVA), também foi realizado o teste de Duncan. Este teste compara a amplitude de um conjunto de médias amostrais com uma amplitude significativa calculada. Caso a amplitude das médias do conjunto exceder a amplitude

mínima significativa calculada, as médias da população são declaradas significativamente diferentes. Portanto, este método estatístico foi utilizado para dividir os dados em grupos que apresentam médias consideradas estatisticamente diferentes. Ambas as análises estatísticas, Anova e Duncan, foram realizadas utilizando os programas computacionais *Microsoft Excel e Statistica 10 da empresa Statsoft*.

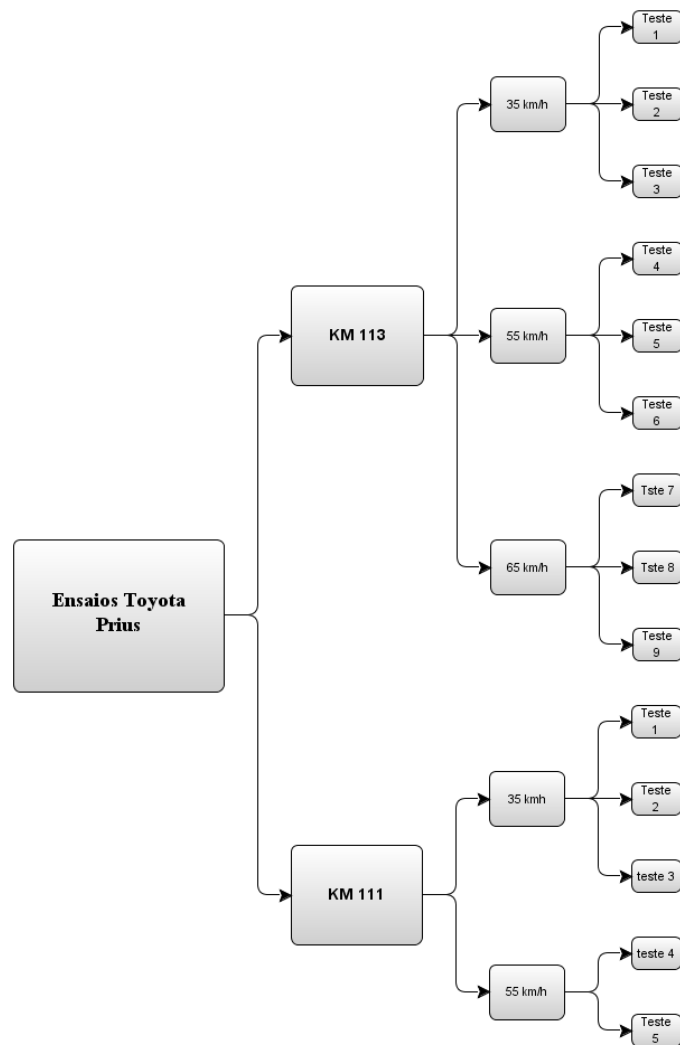
### **3.5. EXECUÇÃO DO EXPERIMENTO**

A metodologia para a execução do experimento foi desenvolvida de maneira específica para cada um dos dois veículos utilizados (Toyota Prius e BYD E6) por meio da descrição dos automóveis utilizados, do sistema empregado para o monitoramento do consumo de energia em cada automóvel e a caracterização dos trechos experimentais.

A condução dos veículos ao longo dos percursos experimentais foi realizada por um único motorista. Esta medida foi tomada com o intuito de minimizar a interferência do modo de direção que cada pessoa possui nos resultados experimentais.

Os testes com o Toyota Prius foram realizados nos trechos km 113 e km 111 com velocidade aproximadamente constante, desse modo, evitando grandes desacelerações que pudessem acarretar em recarga da bateria por frenagem regenerativa. Os trajetos experimentais foram percorridos predominantemente utilizando seu motor elétrico, porém, em alguns trechos na parte inicial, o veículo ainda se encontrava em aceleração e, portanto, empregando seu motor de combustão interna. Diante disso, essa região foi excluída da análise mantendo-se somente a extensão do trajeto percorrida unicamente com a utilização do motor elétrico. O modo ECO de funcionamento do veículo foi utilizado durante todo o experimento e os dados referentes ao estado de carga foram extraídos com a utilização do equipamento ELM 327.

O trajeto experimental km 113, de estrada pavimentada, foi percorrido em três velocidades diferentes de aproximadamente 35 km/h, 55km/h e 65 km/h. O trecho experimental km 111, de estrada não pavimentada, foi percorrido em duas velocidades diferentes de aproximadamente 35 km/h e 55km/h. Os ensaios no km 111 foram realizados em apenas duas velocidades, pois invariavelmente o motor à combustão era acionado pelo veículo quando se ultrapassava a velocidade de 60 km/h para o tipo de pavimento em questão. O teste no km 113 foi repetido nove vezes, sendo três vezes em cada velocidade. Em relação ao km 111, foram executados cinco ensaios, sendo três vezes para velocidade de 35 km/h e duas vezes para a 55 km/h. A Figura 3.12 ilustra o fluxograma da execução do ensaio com o Toyota Prius.

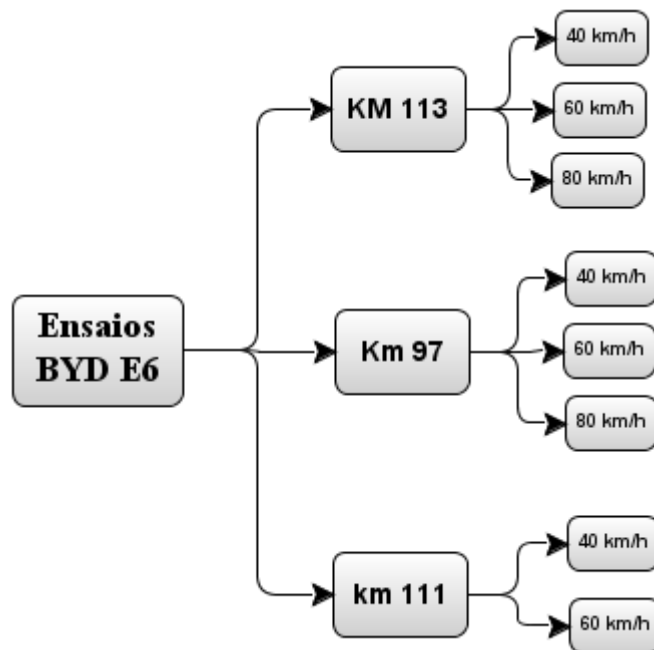


*Figura 3.12 – Fluxograma ensaio Toyota Prius*

Elaboração própria do autor

Os testes realizados com o BYD E6 foram executados nos trechos experimentais km 113, km 106 e km 97. De maneira similar ao efetuado com o outro veículo, os trechos foram percorridos com velocidades aproximadamente constantes buscando evitar desacelerações que pudessem acarretar em frenagem regenerativa. Cada um dos trajetos experimentais foi percorrido em três diferentes velocidades de aproximadamente 45 km/h, 60 km/h, 80 km/h, portanto, totalizando nove ensaios. O painel do veículo E6 foi filmado durante todos os trajetos experimentais, possibilitando o registro dos dados referentes a potência utilizada pelo motor elétrico do veículo, que posteriormente foram transferidos para planilhas para serem analisados. A Figura 3.13 ilustra o fluxograma da execução do ensaio com o BYD E6.





*Figura 3.13 – Fluxograma ensaio BYD E6*

Elaboração própria do autor

## 4. ANÁLISE DE RESULTADOS

A análise de resultados está dividida em três partes. A primeira, apresenta os resultados alcançados com o Toyota Prius e a segunda os resultados obtidos com o BYD E6. Isto se deve ao fato de cada um dos veículos possuir diferentes metodologias de análise e, cada uma delas, com sua especificidade em relação ao tipo de dado e tratamento experimental. A terceira parte, expõe o modelo matemático que relaciona a potência utilizada pelo motor do veículo devido às diferentes condições da rodovia, estabelecida pelo índice IRI.

### 4.1. RESULTADOS EXPERIMENTAIS TOYOTA PRIUS

Os resultados experimentais do Toyota Prius estão divididos em duas etapas. A primeira etapa, expõe os resultados do estado de carga e sua variação ao longo do percurso obtidos com a utilização do equipamento OBD II – ELM 327 para cada trecho experimental. Em seguida, é apresentada a análise estatística visando estabelecer a significância das variáveis independentes, qualidade do pavimento (IRI) e velocidade, em relação à variável dependente taxa de variação média do estado de carga da bateria do veículo.

#### 4.1.1. RESULTADOS DO TRECHO EXPERIMENTAL KM 113

Nos Gráficos 4.1, 4.2 e 4.3 são apresentados os resultados experimentais referentes ao Toyota Prius no trecho do km 113 com velocidade média de aproximadamente 35 km/h. Os gráficos apresentam os valores do estado de carga, a equação polinomial que descreve o estado de carga, a velocidade ao longo do trajeto e a velocidade média do percurso.

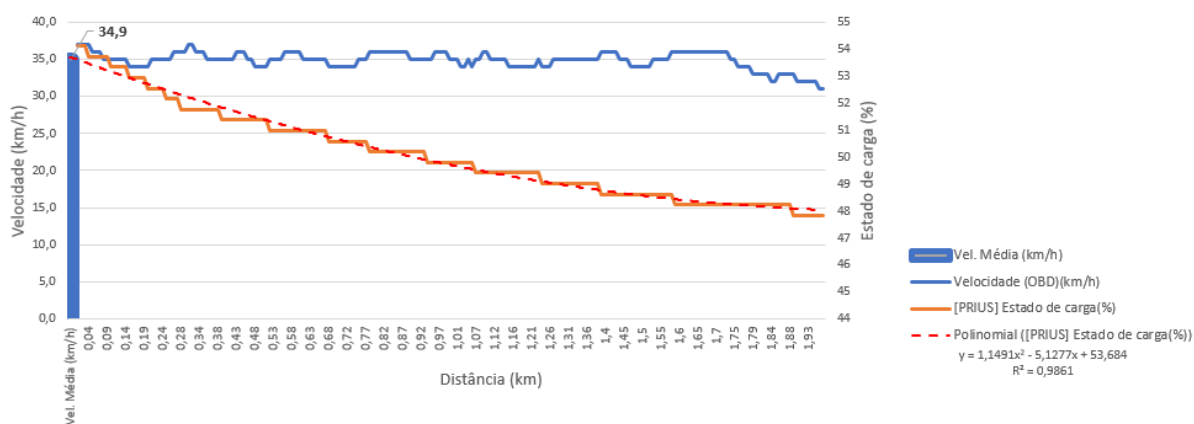


Gráfico 4.1 - Teste 1 Variação do estado de carga

O primeiro teste apresentou velocidade média de 34,9 km/h e desvio padrão da velocidade ( $\sigma$  vel.) igual a 1,1 km/h. A taxa de variação média ( $m_{sec}$ ) do estado de carga (%) em relação à distância percorrida (km) foi de -2,86 %/km.

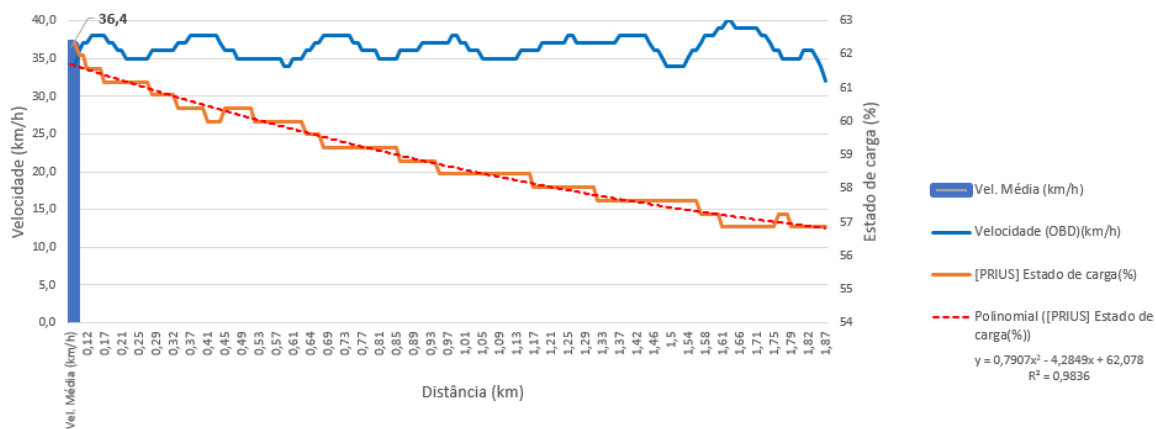


Gráfico 4.2 - Teste 2 Variação do estado de carga

O segundo teste obteve como resultados velocidade média de 36,4 km/h e desvio padrão da velocidade igual a 1,4 km/h. A taxa de variação média do estado de carga em relação à distância percorrida foi de -2,73 %/km.

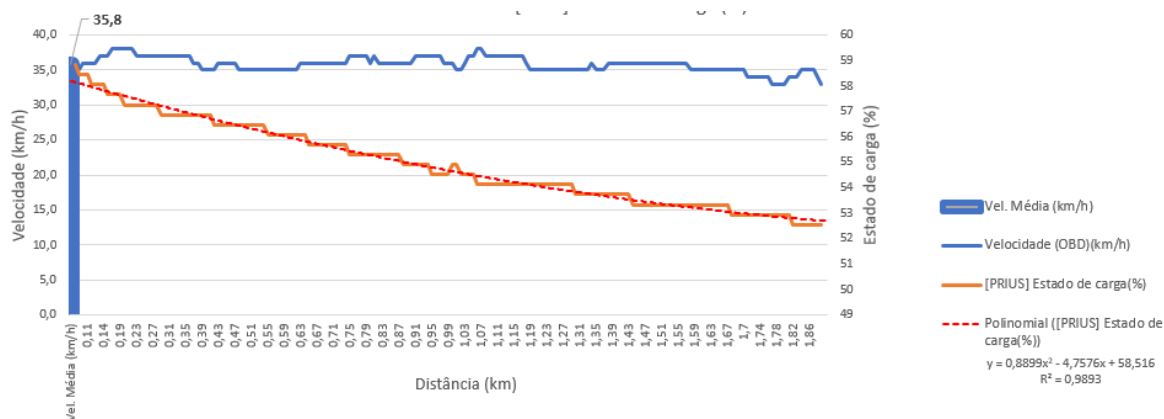


Gráfico 4.3 - Teste 3 Variação do estado de carga

O terceiro teste apresentou como resultados a velocidade média de 35,8 km/h e desvio padrão da velocidade igual a 1,1 km/h. A taxa de variação média do estado de carga em relação à distância percorrida foi de -3,01 %/km.

Os demais resultados do trecho experimental km 113 serão apresentados na tabela 4.1 com os dados referentes a velocidade média, desvio padrão da velocidade ( $\sigma$  vel.) e a taxa de variação média do estado de carga (%) em relação à distância percorrida (km). Os gráficos com todas estas informações e suas respectivas tabelas de valores obtidos com o emprego do equipamento ELM 327 estão dispostos no Anexo A.

<b>Trecho experimental km 113</b>		
Teste 1	V <sub>méd</sub> (km/h)	34,87
	$\sigma$ vel. (km/h)	1,14
	msec (%/km)	-2,86
Teste 2	V <sub>méd</sub> (km/h)	36,43
	$\sigma$ vel. (km/h)	1,40
	msec (%/km)	-2,73
Teste 3	V <sub>méd</sub> (km/h)	35,81
	$\sigma$ vel. (km/h)	1,08
	msec (%/km)	-3,01
Teste 4	V <sub>méd</sub> (km/h)	53,43
	$\sigma$ vel. (km/h)	1,28
	msec (%/km)	-3,39
Teste 5	V <sub>méd</sub> (km/h)	53,56
	$\sigma$ vel. (km/h)	1,50
	msec (%/km)	-2,83
Teste 6	V <sub>méd</sub> (km/h)	53,50
	$\sigma$ vel. (km/h)	1,01
	msec (%/km)	-3,55
Teste 7	V <sub>méd</sub> (km/h)	62,98
	$\sigma$ vel. (km/h)	1,12
	msec (%/km)	-3,25
Teste 8	V <sub>méd</sub> (km/h)	62,95
	$\sigma$ vel. (km/h)	1,30
	msec (%/km)	-4,27
Teste 9	V <sub>méd</sub> (km/h)	62,10
	$\sigma$ vel. (km/h)	1,20
	msec (%/km)	-3,74

*Tabela 4.1 - Dados experimentais km 113 Toyota Prius*

A partir da tabela 4.1 foi obtido o gráfico 4.4 com as taxas de variações médias ( $m_{sec}$ ) separadas em blocos dos testes experimentais: [1, 2 e 3]; [4, 5 e 6] e [7, 8 e 9] e suas respectivas médias de  $m_{sec}$  para cada conjunto.

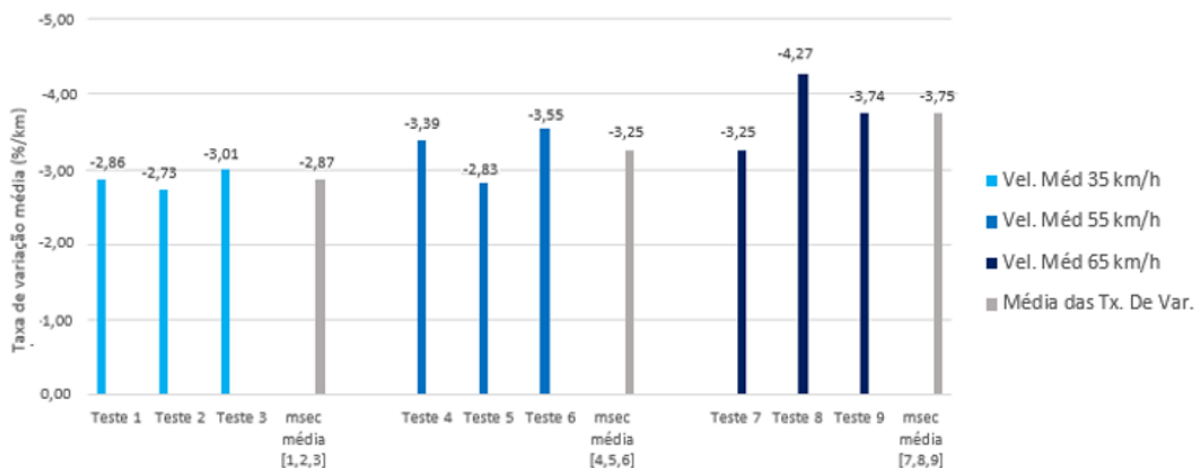


Gráfico 4.4 - Taxa de variação média trecho experimental km 113

Na Gráfico 4.4, pode ser observado que os testes realizados com a velocidade de aproximadamente 35 km/h alcançaram valores de  $m_{sec}$  variando entre -2,73%/km e -3,01%/km e a média de  $m_{sec}$  para este conjunto de testes equivalendo a -2,87%/km. Em relação ao segundo conjunto de ensaios com velocidade de aproximadamente 55 km/h, os valores mínimo e máximo de  $m_{sec}$  foram respectivamente -2,83%/km e -3,55%/km e a média de  $m_{sec}$  igual a -3,25%/km. O terceiro e último conjunto de testes com velocidade de aproximadamente 65 km/h apresentou valores de  $m_{sec}$  entre -3,25%/km e -4,27%/km e a média de  $m_{sec}$  para grupo de -3,75%/km.

#### 4.1.2. RESULTADOS DO TRECHO EXPERIMENTAL KM 111

Os resultados do trecho experimental km 111 serão apresentados na tabela 4.2 com os dados referentes à velocidade média, desvio padrão da velocidade ( $\sigma_{vel.}$ ) e a taxa de variação média do estado de carga (%) em relação à distância percorrida (km). Os gráficos com todas estas informações e suas respectivas tabelas de valores obtidos com o emprego do equipamento ELM 327 estão dispostos no Anexo A

Trecho experimental km 111		
Teste 1	V <sub>méd</sub> (km/h)	34,5
	$\sigma$ vel. (km/h)	1,3
	msec (%/km)	-3,51
Teste 2	V <sub>méd</sub> (km/h)	34,6
	$\sigma$ vel. (km/h)	1,2
	msec (%/km)	-3,01
Teste 3	V <sub>méd</sub> (km/h)	34,3
	$\sigma$ vel. (km/h)	1,2
	msec (%/km)	-3,82
Teste 4	V <sub>méd</sub> (km/h)	53,4
	$\sigma$ vel. (km/h)	1,7
	msec (%/km)	-3,66
Teste 5	V <sub>méd</sub> (km/h)	53,4
	$\sigma$ vel. (km/h)	1,0
	msec (%/km)	-4,60

Tabela 4.2 - Dados experimentais km 111 Toyota Prius

A partir da tabela 4.2 foi obtido o gráfico 4.5 com as taxas de variações médias (msec) separadas em blocos dos testes experimentais: [1, 2 e 3]; [4, 5] e suas respectivas médias de msec para cada conjunto.

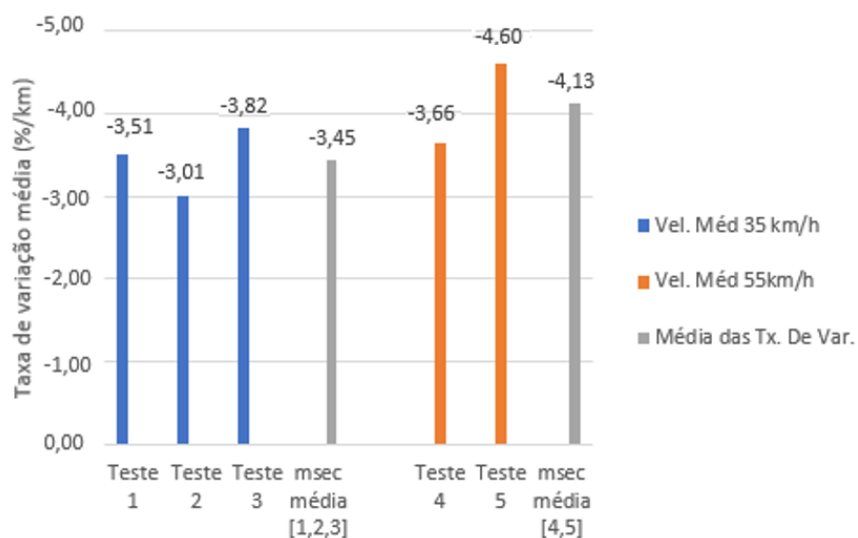


Gráfico 4.5 - Taxa de variação média trecho experimental km 111

Na Gráfico 4.5, observa-se que os ensaios realizados com a velocidade de aproximadamente 35 km/h alcançaram valores de  $m_{sec}$  variando entre -3,01%/km e -3,82%/km e a média de  $m_{sec}$  para este conjunto de testes equivalendo a -3,45%/km. Em relação ao segundo conjunto de ensaios com velocidade de aproximadamente 55 km/h, os valores mínimo e máximo de  $m_{sec}$  foram respectivamente -3,66%/km e -4,60%/km e a média de  $m_{sec}$  igual a -4,13%/km.

#### 4.1.3. ANÁLISE ESTATÍSTICA – RELAÇÃO ESTADO DE CARGA X VELOCIDADE

A partir das Tabelas 4.1 e 4.2, foram obtidos os Gráficos 4.6 e 4.7 nos quais são apresentadas as médias dos valores  $m_{sec}$  para cada conjunto de ensaios e acrescidas dos respectivos desvios-padrão. Com este procedimento, busca-se avaliar a significância da velocidade no estado de carga da bateria do veículo.

A análise de variância (ANOVA) foi realizada a partir dos dados de  $m_{sec}$  para determinar se existe ou não a influência da velocidade (variável independente) nos valores das taxas de variação média do estado de carga (variável dependente). Os resultados estão apresentados nos itens i e ii.

##### i. TRECHO EXPERIMENTAL KM 113

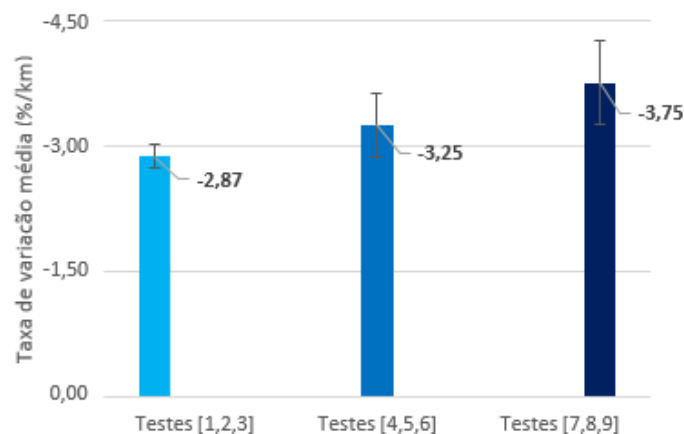


Gráfico 4.6 - Taxa de variação média e desvio padrão trecho experimental km 113

ANOVA						
Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	1,181394825	2	0,590697413	4,216649957	0,071838432	5,14325285
Dentro dos grupos	0,840521388	6	0,140086898			
Total	2,021916214	8				

Tabela 4.3 – Resultados ANOVA km 113 Toyota Prius

O P-valor obtido para trecho experimental km 113 por meio do teste de hipóteses ANOVA foi de 0,07. Portanto, este resultado está acima do valor de significância  $\alpha = 0,05$ , ou seja, estatisticamente não houve relevância da velocidade nos valores das taxas de variação média do estado de carga ( $m_{sec}$ ).

## ii. TRECHO EXPERIMENTAL KM 111

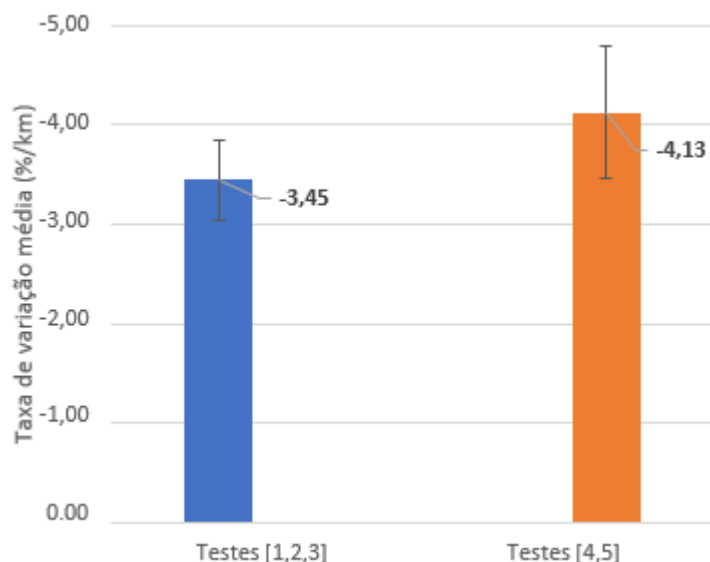


Gráfico 4.7 - Taxa de variação média e desvio padrão trecho experimental km 111

ANOVA						
Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	0,559872588	1	0,559872588	2,149876776	0,238844155	10,12796449
Dentro dos grupos	0,781262342	3	0,260420781			
Total	1,34113493	4				

Tabela 4.4 - Resultados ANOVA km 111 Toyota Prius

O P-valor obtido para trecho experimental km 111 por meio do teste de hipóteses ANOVA foi de 0,24. Portanto, este resultado está acima do valor de significância  $\alpha = 0,05$ , ou seja, novamente não houve relevância estatística da velocidade nos valores das taxas de variação média do estado de carga ( $m_{sec}$ ).



#### 4.1.4. ANÁLISE ESTATÍSTICA – RELAÇÃO ESTADO DE CARGA X QUALIDADE DO PAVIMENTO

A partir das Tabelas 4.1 e 4.2, foram obtidos os Gráficos 4.8 e 4.9 nos quais são apresentadas as médias dos valores de  $m_{sec}$  para cada conjunto de ensaios e acrescidas dos respectivos desvios padrão. Com este procedimento, busca-se avaliar a significância da qualidade do pavimento (IRI) no estado de carga da bateria do veículo Prius.

A partir dos dados de  $m_{sec}$  para as velocidades médias de aproximadamente 35 km/h e 55 km/h foi realizada a análise de variância para determinar se existe ou não a influência da qualidade do pavimento (variável independente) nos valores das taxas de variação média do estado de carga (variável dependente). Os resultados estão apresentados nos itens i e ii.

##### i. VELOCIDADE MÉDIA 35 KM/H

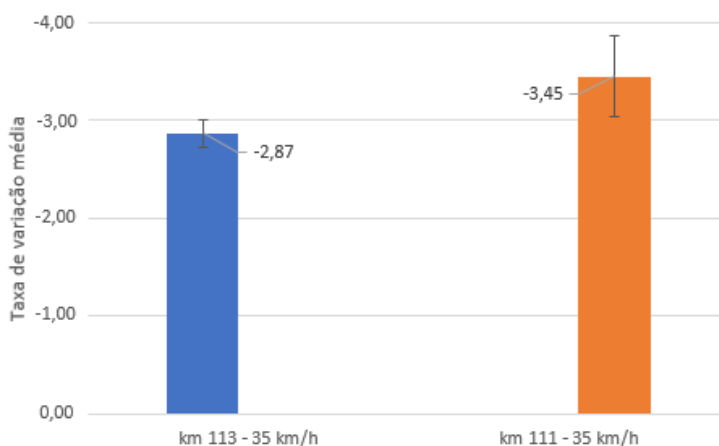


Gráfico 4.8 - Taxa de variação média e desvio velocidade de 35 km/h

ANOVA						
Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	0,503485276	1	0,503485276	5,341892156	0,081919	7,708647
Dentro dos grupos	0,377008941	4	0,094252235			
Total	0,880494217	5				

Tabela 4.5 – Resultados ANOVA 35 km/h Toyota Prius

O P-valor obtido por meio do teste de hipóteses ANOVA foi de 0,08 para os ensaios com velocidade média de aproximadamente 35 km/h nos trechos km 113 e km 111.

Portanto, este resultado está acima do valor de significância  $\alpha = 0,05$ , ou seja, estatisticamente não houve relevância da qualidade do pavimento nos valores das taxas de variação média do estado de carga (m<sub>sec</sub>).

## ii. VELOCIDADE MÉDIA 55 KM/H

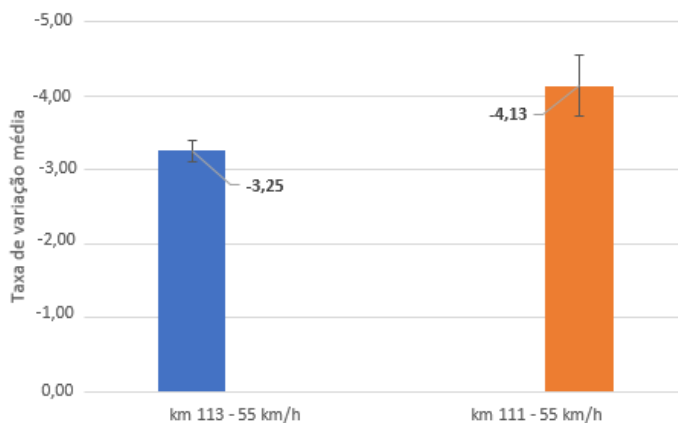


Gráfico 4.9 – Taxa de variação média e desvio velocidade de 55 km/h

ANOVA						
Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	0,921211446	1	0,921211446	3,76808677	0,147545	10,12796
Dentro dos grupos	0,733431714	3	0,244477238			
Total	1,654643161	4				

Tabela 4.6 Resultados ANOVA 55 km/h Toyota Prius

Para os ensaios com velocidade média de aproximadamente 55 km/h nos trechos km 113 e km 111, o P-valor obtido por meio do teste de hipóteses ANOVA foi de 0,15. Portanto, este resultado está acima do valor de significância  $\alpha = 0,05$ , ou seja, não houve relevância estatística da qualidade do pavimento nos valores das taxas de variação média do estado de carga (m<sub>sec</sub>).

## 4.2. RESULTADOS EXPERIMENTAIS BYD E6

A análise de resultados experimentais do BYD E6 está dividida em duas etapas. A primeira etapa expõe os resultados da potência (kW) utilizada pelo motor elétrico do veículo e sua variação ao longo dos percursos experimentais. Estes dados foram obtidos com a filmagem do painel do automóvel e depois transcritos para planilhas para cada trecho experimental. Em sequência, é apresentada a análise estatística visando estabelecer a

significância das variáveis independentes, qualidade do pavimento (IRI) e velocidade, em relação a variável dependente potência (kW).

#### 4.2.1. RESULTADOS EXPERIMENTAIS DOS TRECHOS KM 113, KM 106 E KM 97

Nos Gráficos 4.10, 4.11 e 4.12 são apresentados os resultados experimentais referentes ao BYD E6 no trecho do km 113 com as velocidades médias de aproximadamente 45 km/h, 60 km/h e 80 km/h respectivamente. Os gráficos apresentam os valores da potência instantânea (kW), potência média (kW), velocidade ao longo do trajeto e a velocidade média do percurso.

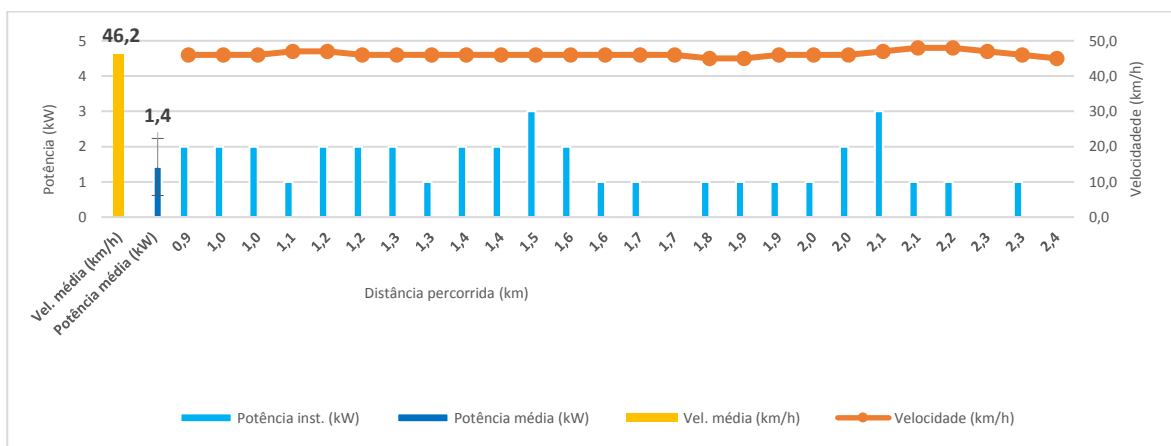


Gráfico 4.10 – Variação da potência (45km/h, km 113, BYD E6)

O primeiro teste apresentou velocidade média de 46,2 km/h e desvio padrão da velocidade igual à 0,7 km/h. A potência média obtida ao longo do trecho experimental foi de 1,4 kW e o desvio padrão da potência no percurso equivalendo à 0,8 kW.

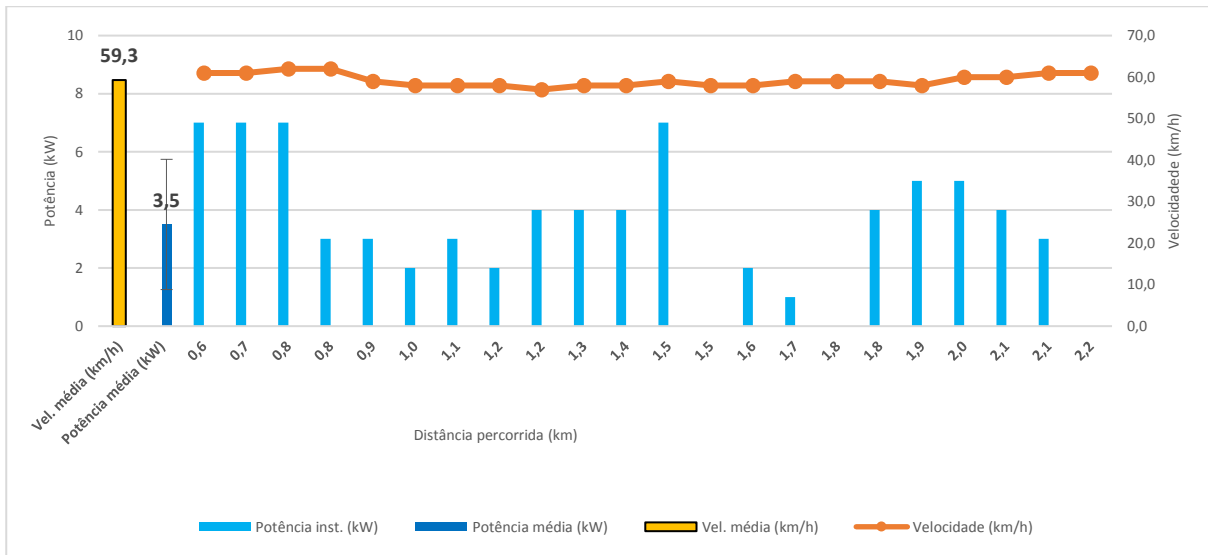


Gráfico 4.11 - Variação da potência (60km/h, km 113, BYD E6)

O segundo teste obteve como resultados velocidade média de 59,3 km/h e desvio padrão da velocidade equivalente a 1,5 km/h. A potência média obtida ao longo do trecho experimental foi de 3,5 kW e o desvio padrão da potência no percurso equivalendo à 2,2 kW.

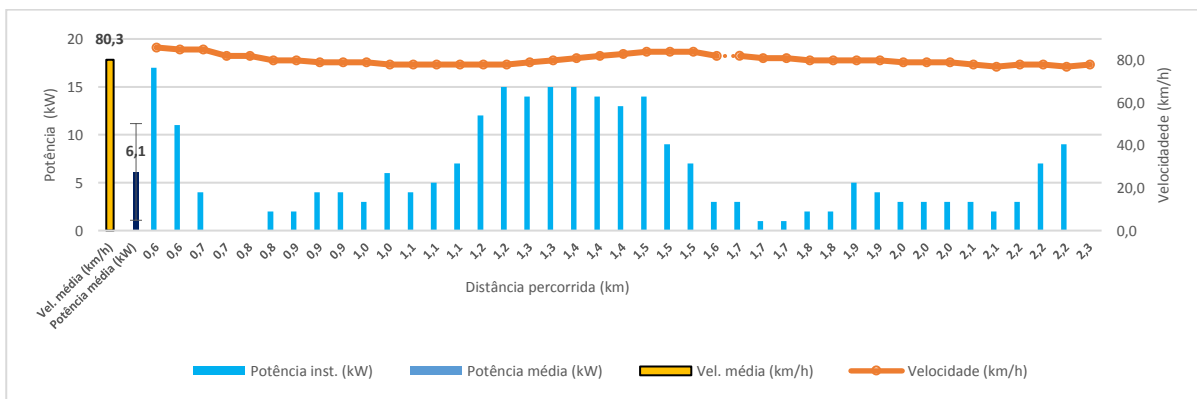


Gráfico 4.12 - Variação da potência (80km/h, km 113, BYD E6)

O terceiro e último teste no km 113 obteve como resultados velocidade média de 80,3 km/h e desvio padrão da velocidade equivalente a 2,4 km/h. A potência média obtida ao longo do trecho experimental foi de 6,1 kW e o desvio padrão da potência no percurso equivalendo à 5,0 kW.

Os demais resultados dos trechos experimentais km 97 e km 106 serão apresentados na tabela 4.7 com os dados referentes a velocidade média (km/h), desvio padrão da

velocidade (km/h), potência instantânea (kW) e o desvio padrão da potência (kW) em relação à distância percorrida (km). Os gráficos com todas estas informações e suas respectivas tabelas de valores obtidos estão dispostos no Anexo B.

<b>Trecho experimental km 113</b>		
Teste 1	V. Méd. (km/h)	46,2
	$\sigma$ vel. (km/h)	0,7
	Pot. Méd. (kW)	1,4
	$\sigma$ Pot. Méd. (kW)	0,8
Teste 2	V. Méd. (km/h)	59,3
	$\sigma$ vel. (km/h)	1,5
	Pot. Méd. (kW)	3,5
	$\sigma$ Pot. Méd. (kW)	2,2
Teste 3	V. Méd. (km/h)	80,3
	$\sigma$ vel. (km/h)	2,4
	Pot. Méd. (kW)	6,1
	$\sigma$ Pot. Méd. (kW)	5,0
<b>Trecho experimental km 106</b>		
Teste 4	V. Méd. (km/h)	43,8
	$\sigma$ vel. (km/h)	1,5
	Pot. Méd. (kW)	5,9
	$\sigma$ Pot. Méd. (kW)	2,7
Teste 5	V. Méd. (km/h)	59,9
	$\sigma$ vel. (km/h)	2,3
	Pot. Méd. (kW)	10,0
	$\sigma$ Pot. Méd. (kW)	5,3
<b>Trecho experimental km 97</b>		
Teste 6	V. Méd. (km/h)	44,2
	$\sigma$ vel. (km/h)	1,4
	Pot. Méd. (kW)	4,5
	$\sigma$ Pot. Méd. (kW)	2,3
Teste 7	V. Méd. (km/h)	61,0
	$\sigma$ vel. (km/h)	2,2
	Pot. Méd. (kW)	5,9
	$\sigma$ Pot. Méd. (kW)	2,6
Teste 8	V. Méd. (km/h)	79,7
	$\sigma$ vel. (km/h)	2,5
	Pot. Méd. (kW)	10,7
	$\sigma$ Pot. Méd. (kW)	4,0

Tabela 4.7 - Dados experimentais BYD E6 (km 113, km 106 e km 97)

A partir da tabela 4.7 foi obtido o gráfico 4.13 com as potências médias separadas em blocos dos testes experimentais: km 113 [1, 2 e 3]; km 106 [4 e 5] e km 97 [6, 7 e 8].

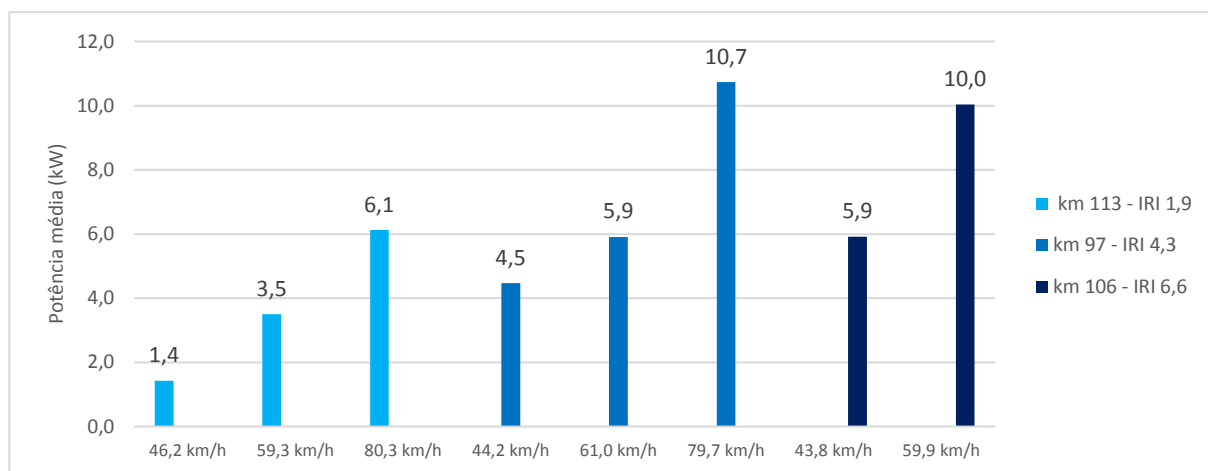


Gráfico 4.13 – Potências médias BYD E6

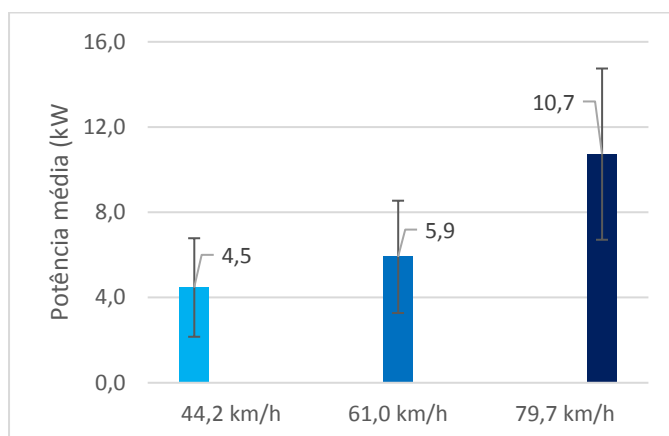
No Gráfico 4.13, observa-se que para o trecho km 113 que possui IRI igual a 1,9 as potências médias foram 1,4 kW, 3,5 kW e 6,1 kW para suas respectivas velocidades. Na sequência, o trecho km 97 com IRI equivalente a 4,5 obteve como resultados as potências médias 4,5 kW, 5,9 kW e 10,7 kW para velocidades similares ao trecho anterior. Por último, o trecho km 106 que possui IRI igual 6,6 atingiu as potências médias de 5,9 kW e 10,0 kW.

#### 4.2.2. ANÁLISE ESTATÍSTICA – RELAÇÃO POTÊNCIA X VELOCIDADE

A partir da Tabela 4.7, foram obtidos os Gráficos 4.14, 4.15 e 4.16 nos quais são apresentadas as médias das potências utilizadas pelo motor elétrico do veículo E6 durante os ensaios realizados nos trechos experimentais km 113, km 97 e km 106, sendo acrescentadas dos respectivos desvios-padrão. Com este procedimento, busca-se avaliar a significância da velocidade na potência utilizada pelo motor elétrico do automóvel.

A análise de variância e o teste de Duncan foram realizados a partir dos dados de potência instantânea, obtidas em cada um dos trechos experimentais, para determinar se existe ou não a influência da velocidade (variável independente) nos valores da potência (variável dependente) utilizada pelo motor elétrico do automóvel e também para dividir os dados em grupos que apresentam médias consideradas estatisticamente diferentes. Os resultados estão apresentados nos itens i, ii e iii.

**i. TRECHO EXPERIMENTAL KM 113**



*Gráfico 4.14 – Potências médias km 113 BYD E6*

ANOVA						
Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	361,8534899	2	180,9267	13,64602998	7,12617E-06	3,102552079
Dentro dos grupos	1140,236398	86	13,25856			
Total	1502,089888	88				

*Tabela 4 8 – Resultados ANOVA km 113 BYD E6*

O P-valor obtido para trecho experimental km 113 por meio do teste de hipóteses ANOVA foi de  $7,13 \cdot 10^{-6}$ . Portanto, este resultado é inferior ao valor de significância  $\alpha = 0,05$ , ou seja, houve relevância estatística da velocidade nos valores das potências utilizadas pelo motor do veículo.

Duncan test				
variable Potência (kW)				
Homogenous Group			alpha = ,05000	
Error: Between MS = 13,259			df = 86,000	
Velocidade (km/h)	Potência média (kW)	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3
km 113 - 45 km/h	1,423077	****		
km 113 - 60 km/h	3,500000		****	
km 113 - 80 km/h	6,121951			****

*Tabela 4.9 – Resultados teste de Duncan km 113 BYD E6*

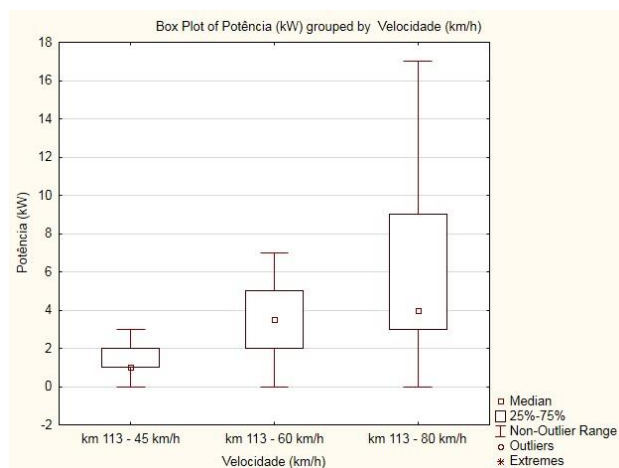


Gráfico 4.15 – Box plot teste de Duncan km113 BYD E6

O Gráfico 4.15 e a Tabela 4.9 representam os resultados do teste de Duncan em relação a velocidade no km 113. Os resultados demonstram que existem três grupos diferentes. Portanto, as médias de potência obtidas para as velocidades de 45 km/h, 60 km/h e 80 km/h são estatisticamente díspares.

**ii. TRECHO EXPERIMENTAL KM 97**

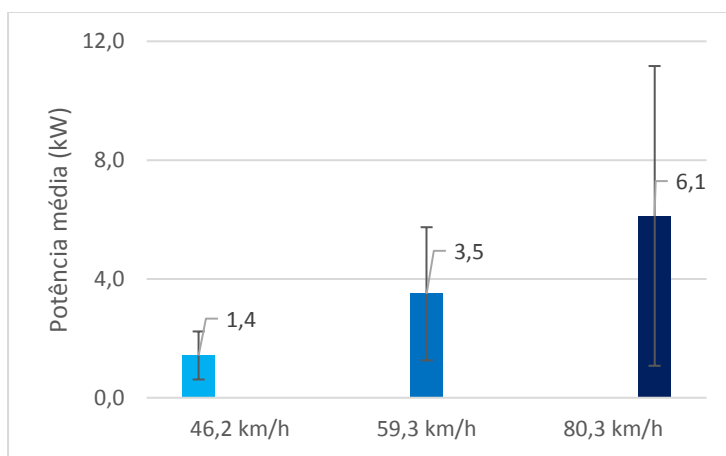


Gráfico 4.16 – Potências médias km 97 BYD E6

ANOVA						
Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítica
Entre grupos	749,9838251	2	374,9919126	37,35036799	1,54744E-12	3,097698035
Dentro dos grupos	903,5860674	90	10,03984519			
Total	1653,569892	92				

Tabela 4.10 – Resultados ANOVA km 97 BYD E6

O P-valor obtido para trecho experimental km 97 por meio do teste de hipóteses ANOVA foi de  $1,55 \cdot 10^{-12}$ . Portanto, este resultado é inferior ao valor de significância  $\alpha$ .



= 0,05, ou seja, houve relevância estatística da velocidade nos valores das potências utilizadas pelo motor do veículo.

Duncan test				
variable Potência (kW)				
Homogenous Group			alpha = ,05000	
Error: Between MS = 10,040			df = 90,00	
Velocidade (km/h)	Potência média (kW)	Grupo 1	Grupo 2	
km 97 - 45 km/h	4,47059	****		
km 97 - 60 km/h	5,90909	****		
km 97 - 80 km/h	10,72973		****	

Tabela 4.11 – Resultados teste de Duncan km 97 BYD E6

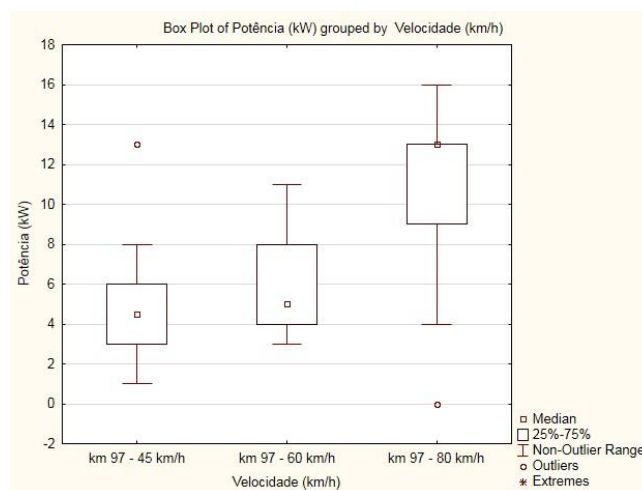


Gráfico 4.17 – Box plot teste de Duncan km 97 BYD E6

O Gráfico 4.17 e a Tabela 4.11 representam os resultados do teste de Duncan em relação à velocidade no km 97. Os resultados demonstram que existem dois grupos diferentes. Portanto, as médias de potência obtidas para as velocidades de 45 km/h, 60 km/h são estatisticamente semelhantes, enquanto a média de potência para a velocidade de 80 km/h é diferente.

### iii. TRECHO EXPERIMENTAL KM 106

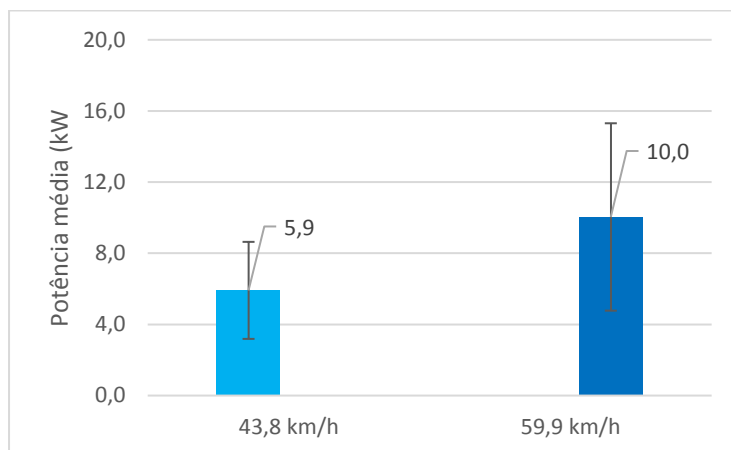


Gráfico 4.18 – Potências médias km 106 BYD E6

ANOVA						
Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	490,8144058	1	490,8144058	31,11800068	1,59E-07	3,922173
Dentro dos grupos	1845,404082	117	15,77268446			
Total	2336,218487	118				

Tabela 4.12 – Resultados ANOVA km 106 BYD E6

O P-valor obtido para trecho experimental km 106 por meio do teste de hipóteses ANOVA foi de  $1,59 \cdot 10^{-7}$ . Portanto, este resultado é inferior ao valor de significância  $\alpha = 0,05$ , ou seja, houve relevância estatística da velocidade nos valores das potências utilizadas pelo motor do veículo.

Duncan test			
variable Potência (kW)			
Homogenous Group		alpha = ,05000	
Error: Between MS = 15,773		df = 117,00	
Velocidade (km/h)	Potência média (kW)	Grupo 1	Grupo 2
km 106 - 45 km/h	5,91429	****	
km 106 - 60 km/h	10,04082		****

Tabela 4.13 – Resultados teste de Duncan km 106 BYD E6

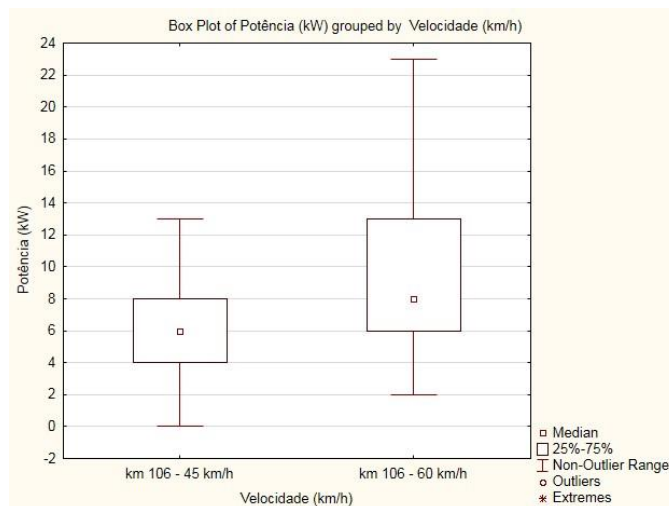


Gráfico 4.19 – Box plot teste de Duncan km 106 BYD E6

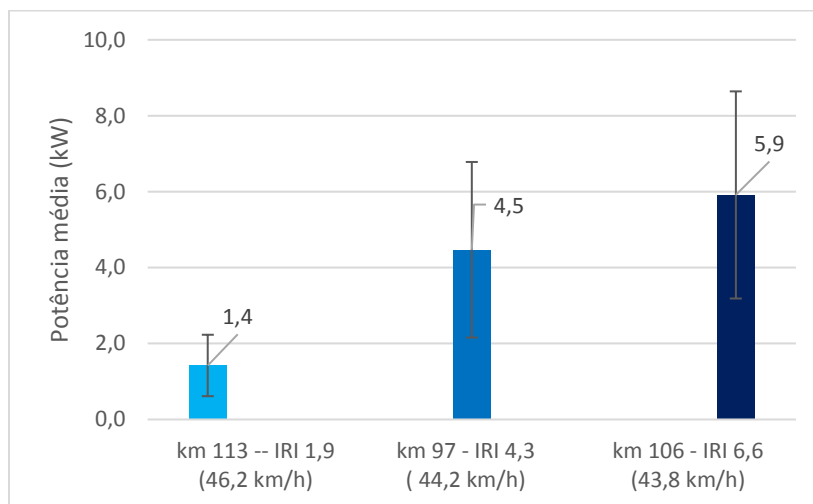
O Gráfico 4.19 e a Tabela 4.13 representam os resultados do teste de Duncan em relação a velocidade no km 106. Os resultados demonstram que existem dois grupos diferentes. Portanto, as médias de potência obtidas para as velocidades de 45 km/h e 60 km/h são estatisticamente díspares.

#### 4.2.3. ANÁLISE ESTATÍSTICA – RELAÇÃO POTÊNCIA X QUALIDADE DO PAVIMENTO (IRI)

A partir da Tabela 4.7, são gerados os Gráficos 4.20, 4.21 e 4.22 nos quais são apresentadas as médias de potência (kW) e desvios-padrão para as velocidades médias de aproximadamente 45 km/h, 60 km/h e 80 km/h respectivamente. Com este procedimento, busca-se avaliar a significância da qualidade do pavimento (IRI) na potência utilizada pelo motor elétrico do veículo BYD E6.

A análise de variância e o teste de Duncan foram realizados a partir dos dados de potência instantânea para determinar se existe ou não a influência da qualidade do pavimento (variável independente), estabelecida pelo valor de IRI, nos valores da potência (variável dependente) utilizada pelo motor elétrico do automóvel e também para dividir os dados em grupos que apresentam médias consideradas estatisticamente diferentes. Os resultados estão apresentados nos itens i, ii e iii.

**i. VELOCIDADE MÉDIA 45 KM/H**



*Gráfico 4.20 – Potências médias 45 km/h BYD E6*

ANOVA						
Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	383,7052359	2	191,852618	34,49695278	1,08E-12	3,067521
Dentro dos grupos	706,3024564	127	5,561436664			
Total	1090,007692	129				

*Tabela 4.14 – Resultados Anova 45 km/h BYD E6*

O P-valor obtido para os trechos experimentais km 113, km 97 e km 106 com velocidade média de aproximadamente 45 km/h por meio do teste de hipóteses ANOVA foi de  $1,08 \cdot 10^{-12}$ . Portanto, este resultado é inferior ao valor de significância  $\alpha = 0,05$ , ou seja, houve relevância estatística da qualidade do pavimento nos valores das potências utilizadas pelo motor do veículo.

Duncan test				
variable Potência (kW) - 45 km/h				
Homogenous Group			alpha = ,05000	
Error: Between MS = 5,5614			df = 127,00	
Trecho experimental	Potência média (kW) 45 km/h	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3
km 113 IRI 1,9	1,423077	****		
km 97 IRI 4,5	4,470588		****	
km 106 IRI 6,6	5,914286			****

*Tabela 4.15 – Resultados teste de Duncan 45 km/h BYD E6*

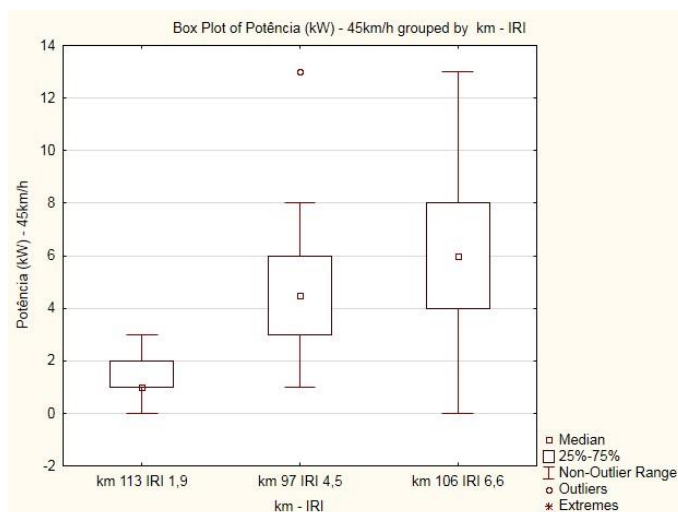


Gráfico 4.21 – Box plot teste de Duncan 45 km/h BYD E6

O Gráfico 4.21 e a Tabela 4.15 representam os resultados do teste de Duncan em relação à qualidade do pavimento. Os resultados demonstram que existem três grupos diferentes. Portanto, as médias de potência obtidas para os valores de IRI 1,9; 4,5 e 6,6 são estatisticamente díspares.

## ii. VELOCIDADE MÉDIA DE 60 KM/H

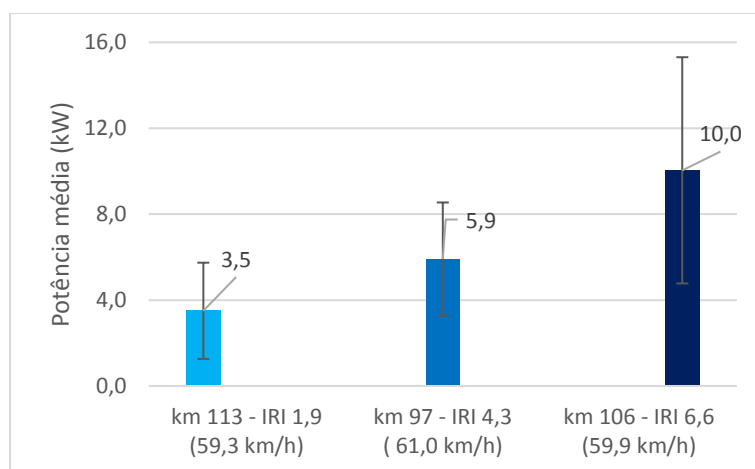


Gráfico 4.22 – Potências médias 60 km/h BYD E6

ANOVA						
Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	723,9893	2	361,9946	20,57779	4,37E-08	3,097698
Dentro dos grupos	1583,237	90	17,59152			
Total	2307,226	92				

Tabela 4.16 – Resultados ANOVA 60 km/h BYD E6

O P-valor obtido para os trechos experimentais km 113, km 97 e km 106 com velocidade média de aproximadamente 60 km/h por meio do teste de hipóteses ANOVA foi de  $4,37 \cdot 10^{-8}$ . Portanto, este resultado é inferior ao valor de significância  $\alpha = 0,05$ , ou seja, houve relevância estatística da Qualidade do pavimento nos valores das potências utilizadas pelo motor do veículo.

Duncan test				
variable Potência (kW) - 60km/h				
Homogenous Group			alpha = ,05000	
Error: Between MS = 17,645			df = 89,000	
Trecho experimental	Potência média (kW) 60 km/h	Grupo 1	Grupo 2	
km 113 IRI 1,9	3,66667	****		
km 97 IRI 4,5	5,90909	****		
km 106 IRI 6,6	10,04082		****	

Tabela 4.17 – Resultados teste de Duncan 60 km/h BYD E6

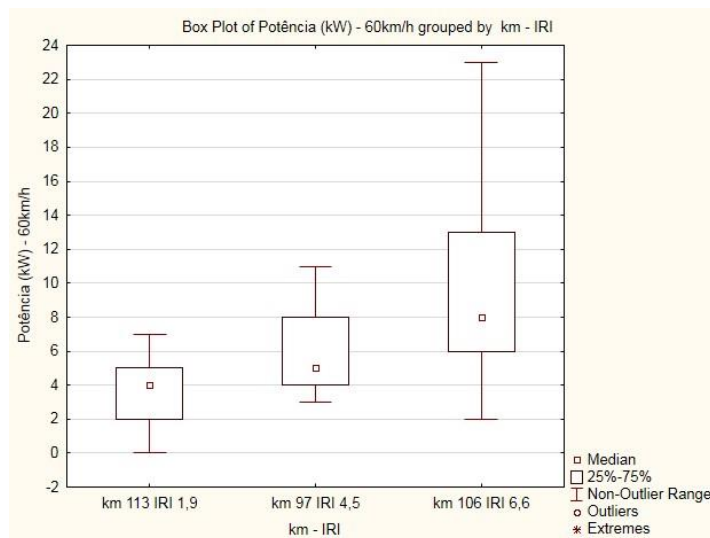


Gráfico 4.23 – Box plot teste de Duncan 60 km/h BYD E6

O Gráfico 4.23 e a Tabela 4.17 representam os resultados do teste de Duncan em relação à qualidade do pavimento. Os resultados demonstram que existem dois grupos diferentes. Portanto, as médias de potência obtidas para os valores de IRI 1,9 e 4,5 são estatisticamente semelhantes, enquanto a média de potência para o IRI igual 6,6 é diferente.

### iii. VELOCIDADE MÉDIA DE 80 KM/H

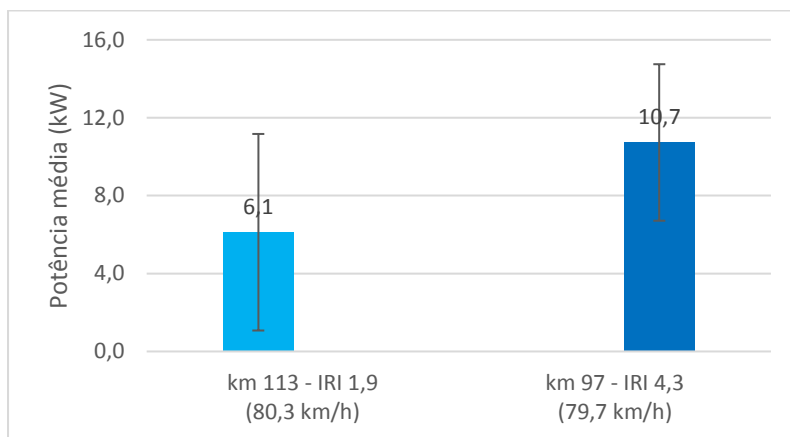


Gráfico 4.24 – Potências médias 80 km/h BYD E6

ANOVA						
Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	412,9278434	1	412,9278434	19,61790368	3,13E-05	3,96676
Dentro dos grupos	1599,687541	76	21,04852028			
Total	2012,615385	77				

Tabela 4.18 – Resultados ANOVA 80 km/h BYD E6

O P-valor obtido para os trechos experimentais km 113 e km 97 com velocidade média de aproximadamente 80 km/h por meio do teste de hipóteses ANOVA foi de  $3,15 \cdot 10^{-5}$ . Portanto, este resultado é inferior ao valor de significância  $\alpha = 0,05$ , ou seja, houve relevância estatística da qualidade do pavimento nos valores das potências utilizadas pelo motor do veículo.

Duncan test				
variable Potência (kW) - 80 km/h				
Homogenous Group			alpha = ,05000	
Error: Between MS = 21,049			df = 76,000	
Trecho experimental	Potência média (kW) 80 km/h	Grupo 1	Grupo 2	
km 113 IRI 1,9	6,12195	****		
km 97 IRI 4,5	10,72973		****	

Tabela 4.19 – Resultados teste de Duncan 80 km/h BYD E6

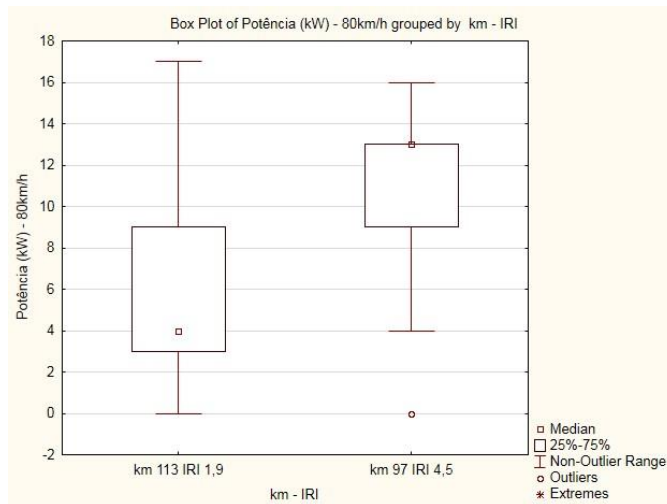


Gráfico 4.25 – Box plot teste de Duncan 80 km/h BYD E6

O Gráfico 4.25 e a Tabela 4.19 representam os resultados do teste de Duncan em relação à qualidade do pavimento. Os resultados demonstram que existem dois grupos diferentes. Portanto, as médias de potência obtidas para os valores de IRI 1,9 e 4,5 são estatisticamente díspares.

### 4.3. EQUAÇÃO DA POTÊNCIA EM FUNÇÃO DO IRI

A partir dos resultados alcançados na etapa anterior 4.2 em relação ao veículo BYD E6, foi desenvolvido o modelo, representado no gráfico 4.26, que apresenta as equações que descrevem a potência utilizada pelo motor em função do IRI para diferentes velocidades.

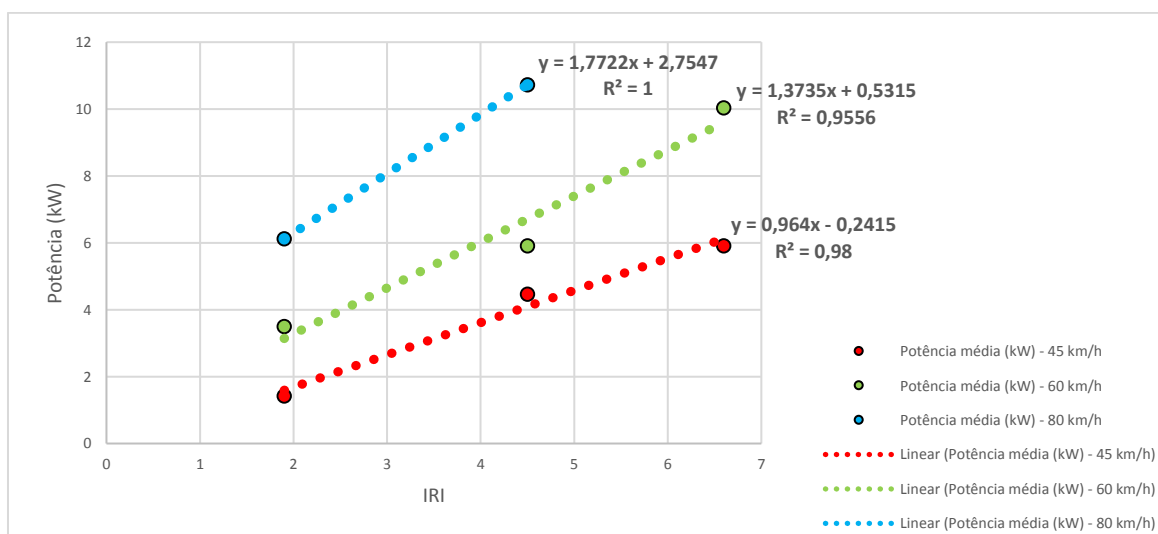


Gráfico 4.26 – Equações da potência em função do IRI



Através de uma interpolação linear das médias da potência (kW) utilizadas pelo motor elétrico nas diferentes condições de pavimento, determinada pelo índice IRI, nas velocidades de aproximadamente 45 km/h, 60 km/h e 80 km/h foram estabelecidas as equações que relacionam a potência em função do IRI. O modelo demonstra por meio de suas equações a evolução no incremento da potência utilizada pelo motor devido ao aumento da irregularidade longitudinal – IRI.

## 5. CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS

Assim como o corpo desta pesquisa foi ordenado de maneira a organizar melhor as avaliações sobre o consumo de energia do banco de baterias de um veículo elétrico ou híbrido devido a variação da qualidade do pavimento e da velocidade, aqui em seu último capítulo, as efetivas contribuições sobre o tema serão apresentadas na mesma ordem em que foram discutidas. Por fim, serão dispostas as sugestões para pesquisas futuras.

Os resultados experimentais obtidos com o Toyota Prius não alcançaram relevância estatística na relação entre o estado de carga da bateria do veículo com a velocidade e também com o índice IRI. Um possível motivo para o insucesso da análise é a pequena quantidade de dados inferidos a partir da metodologia utilizada. Uma provável solução seria realizar um maior número de ensaios, que gerariam, conseqüentemente, uma quantidade significativa de dados ou então alterar a variável dependente de estado de carga para potência instantânea necessária ao motor.

Por outro lado, os testes realizados com o BYD E6 obtiveram êxito. Isso porque foram aferidos a partir da potência instantânea, gerando uma maior quantidade de dados por ensaio. A análise de variância (Anova), que avalia a influência das variáveis independentes na variável de resposta, mostrou que tanto a velocidade quanto a qualidade do pavimento, determinada por seu índice de irregularidade longitudinal IRI, têm influência direta na potência utilizada pelo motor do veículo em todos os testes realizados com o BYD E6.

Já o teste de Duncan foi aplicado para identificar os grupos com médias estatisticamente diferentes. Desta forma, foi possível estabelecer o modelo matemático que relaciona o consumo de energia em automóveis elétricos e a condição da rodovia – a partir da criação de uma função que relaciona o índice IRI com a potência utilizada pelo motor elétrico – originando as equações, apresentadas no gráfico 4.26, sendo este o principal objetivo desta pesquisa.

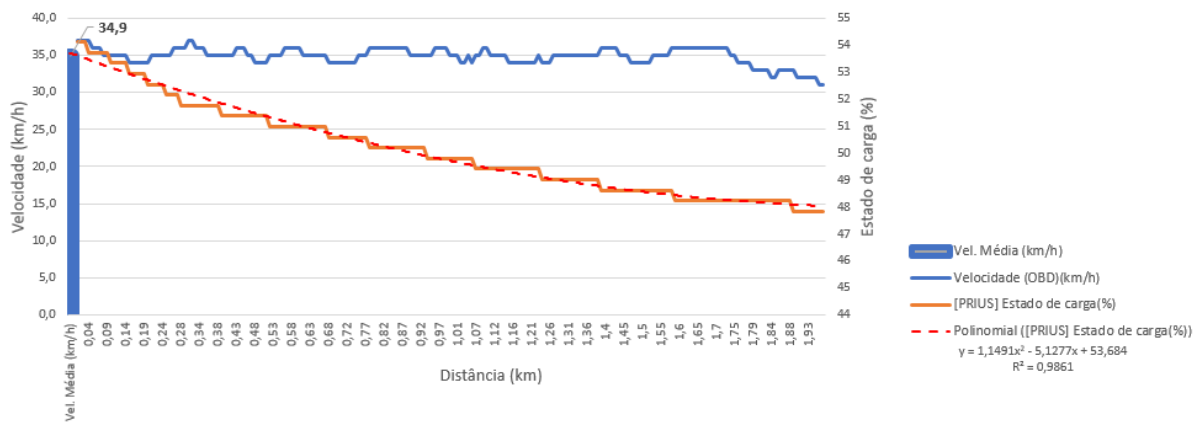
Por mais que o estudo com o BYD E6 apresente suas limitações quanto ao número de dados coletados e analisados, vale destacar que o modelo proposto é inédito para a relação entre potência empregada pelo motor elétrico e o índice IRI do pavimento. O modelo atual serve como referência para pesquisas futuras mais extensas e abrangentes a fim de garantir uma equação com maior precisão nos resultados finais. Desta forma, espera-se poder proporcionar informações necessárias para atualização de *softwares* de gerência de pavimento como o programa HDM 4 e, assim, prover os gestores de pavimento com dados fundamentais para a escolha da melhor alternativa socioambiental de investimento.

Como sugestão para trabalhos futuros, pode-se citar que é fundamental realizar experimentos em pavimentos rígidos, além dos flexíveis e dos trechos não pavimentados (utilizados nesta pesquisa). Vale ressaltar que este estudo utilizou três trechos da rodovia DF 001 em diferentes condições de irregularidade longitudinal, entretanto, para uma análise mais precisa, seria interessante realizar os testes em uma maior gama de pavimentos com diferentes valores de IRI.

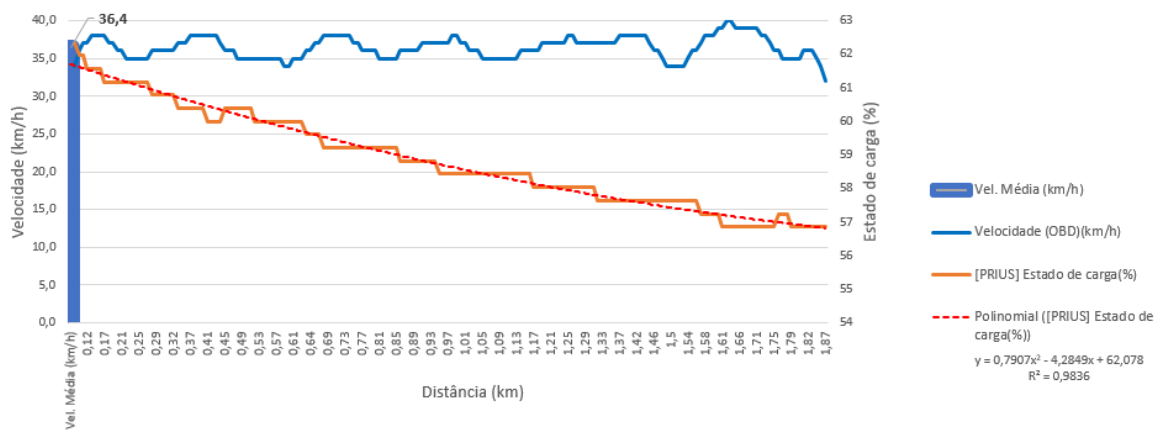
Também se faz necessário realizar os testes com mais veículos elétricos de passeio, por exemplo, o Nissan Leaf e Renault Kangoo ZE e também de carga, como o caminhão E-Delivery desenvolvido pela empresa MAN, marca de ônibus e caminhões da Volkswagen. Posto todos serem modelos disponíveis no mercado brasileiro.

Outra sugestão para novas pesquisas diz respeito à maneira como as atividades e declividades do perfil longitudinal da rodovia, assim como o modo de direção do condutor, influenciam nos resultados finais sobre o consumo de energia elétrica da bateria.

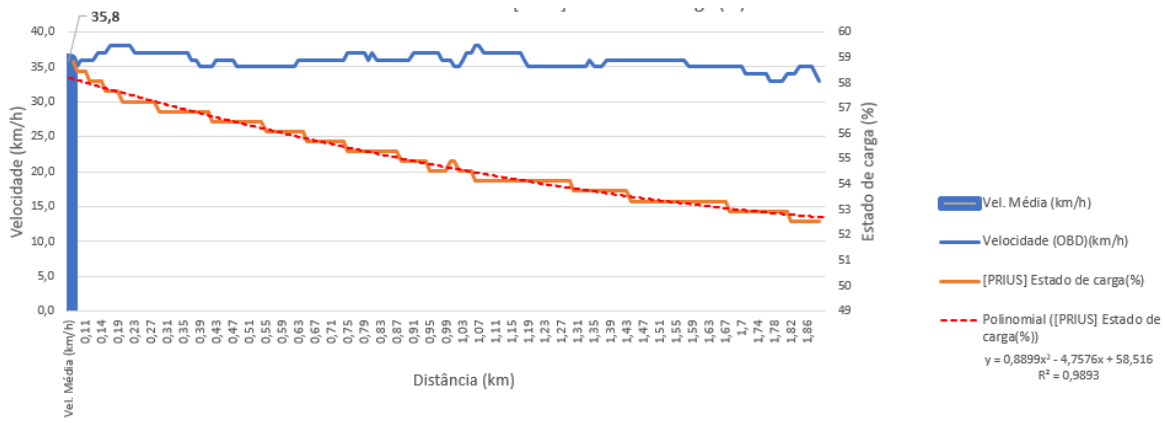
# ANEXO A – RESULTADOS TOYOTA PRIUS



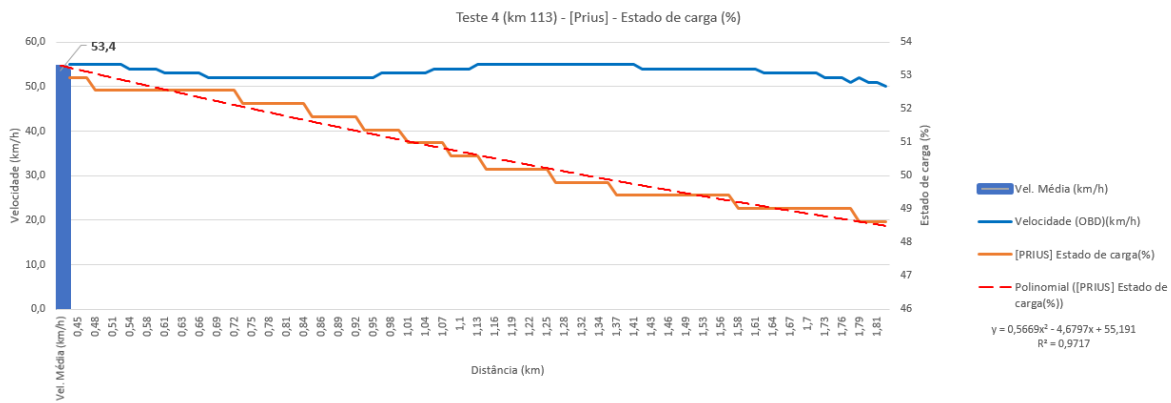
TESTE 1								
Distância (km)	Estado de carga(%)	Velocidade (km/h)	Distância (km)	Estado de carga(%)	Velocidade (km/h)	Distância (km)	Estado de carga(%)	Velocidade (km/h)
0,01	54,12	37	0,67	50,98	35	1,32	49,02	35
0,02	54,12	37	0,68	50,59	34	1,32	49,02	35
0,03	54,12	37	0,69	50,59	34	1,34	49,02	35
0,04	53,73	37	0,7	50,59	34	1,34	49,02	35
0,05	53,73	36	0,71	50,59	34	1,36	49,02	35
0,06	53,73	36	0,71	50,59	34	1,36	49,02	35
0,07	53,73	36	0,72	50,59	34	1,37	49,02	35
0,08	53,73	35	0,73	50,59	34	1,38	49,02	35
0,09	53,73	35	0,74	50,59	34	1,39	48,63	36
0,1	53,33	35	0,75	50,59	35	1,4	48,63	36
0,11	53,33	35	0,76	50,59	35	1,41	48,63	36
0,12	53,33	35	0,77	50,59	35	1,42	48,63	36
0,13	53,33	35	0,78	50,2	36	1,43	48,63	36
0,14	53,33	35	0,79	50,2	36	1,44	48,63	35
0,15	52,94	34	0,8	50,2	36	1,45	48,63	35
0,16	52,94	34	0,81	50,2	36	1,46	48,63	35
0,17	52,94	34	0,82	50,2	36	1,47	48,63	34
0,18	52,94	34	0,83	50,2	36	1,48	48,63	34
0,19	52,94	34	0,84	50,2	36	1,49	48,63	34
0,2	52,55	34	0,85	50,2	36	1,5	48,63	34
0,21	52,55	35	0,86	50,2	36	1,51	48,63	34
0,22	52,55	35	0,87	50,2	36	1,52	48,63	34
0,23	52,55	35	0,88	50,2	36	1,53	48,63	35
0,24	52,55	35	0,89	50,2	35	1,54	48,63	35
0,25	52,16	35	0,9	50,2	35	1,55	48,63	35
0,26	52,16	35	0,91	50,2	35	1,56	48,63	35
0,26	52,16	36	0,92	50,2	35	1,57	48,63	35
0,27	52,16	36	0,93	50,2	35	1,58	48,63	36
0,28	51,76	36	0,94	49,8	35	1,59	48,24	36
0,3	51,76	36	0,95	49,8	35	1,6	48,24	36
0,31	51,76	37	0,96	49,8	36	1,61	48,24	36
0,32	51,76	37	0,97	49,8	36	1,62	48,24	36
0,32	51,76	36	0,98	49,8	36	1,63	48,24	36
0,34	51,76	36	0,99	49,8	36	1,64	48,24	36
0,35	51,76	36	1	49,8	35	1,65	48,24	36
0,36	51,76	35	1	49,8	35	1,66	48,24	36
0,37	51,76	35	1,01	49,8	35	1,67	48,24	36
0,37	51,76	35	1,03	49,8	34	1,68	48,24	36
0,38	51,76	35	1,04	49,8	34	1,69	48,24	36
0,4	51,37	35	1,05	49,8	35	1,7	48,24	36
0,41	51,37	35	1,06	49,8	34	1,71	48,24	36
0,41	51,37	35	1,07	49,41	35	1,72	48,24	36
0,42	51,37	35	1,07	49,41	35	1,73	48,24	36
0,43	51,37	36	1,09	49,41	36	1,74	48,24	35
0,44	51,37	36	1,1	49,41	36	1,75	48,24	35
0,45	51,37	36	1,11	49,41	35	1,76	48,24	34
0,46	51,37	35	1,12	49,41	35	1,77	48,24	34
0,47	51,37	35	1,12	49,41	35	1,78	48,24	34
0,48	51,37	34	1,14	49,41	35	1,79	48,24	34
0,49	51,37	34	1,14	49,41	35	1,79	48,24	33
0,5	51,37	34	1,16	49,41	34	1,8	48,24	33
0,51	51,37	34	1,16	49,41	34	1,81	48,24	33
0,52	50,98	35	1,17	49,41	34	1,82	48,24	33
0,53	50,98	35	1,18	49,41	34	1,83	48,24	33
0,54	50,98	35	1,19	49,41	34	1,84	48,24	32
0,55	50,98	35	1,2	49,41	34	1,85	48,24	32
0,56	50,98	36	1,21	49,41	34	1,86	48,24	33
0,57	50,98	36	1,22	49,41	34	1,87	48,24	33
0,58	50,98	36	1,23	49,41	35	1,88	48,24	33
0,59	50,98	36	1,24	49,02	34	1,88	48,24	33
0,6	50,98	36	1,25	49,02	34	1,89	47,84	33
0,61	50,98	35	1,26	49,02	34	1,9	47,84	32
0,62	50,98	35	1,27	49,02	35	1,91	47,84	32
0,63	50,98	35	1,28	49,02	35	1,92	47,84	32
0,64	50,98	35	1,29	49,02	35	1,93	47,84	32
0,65	50,98	35	1,3	49,02	35	1,94	47,84	32
0,66	50,98	35	1,31	49,02	35	1,95	47,84	32



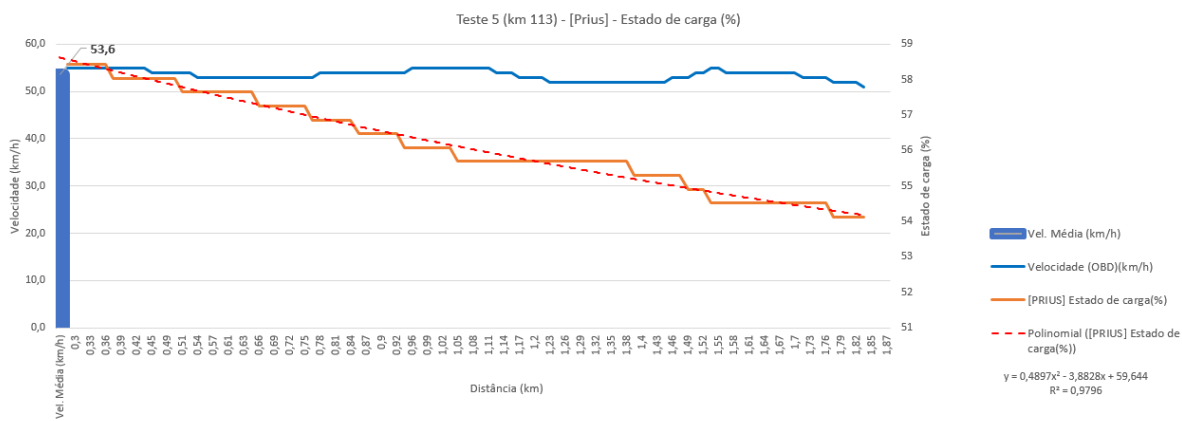
TESTE 2								
Distância (km)	Estado de carga(%)	Velocidade (km/h)	Distância (km)	Estado de carga(%)	Velocidade (km/h)	Distância (km)	Estado de carga(%)	Velocidade (km/h)
0,1	62,35	34	0,69	59,22	38	1,28	58,04	37
0,11	61,96	36	0,7	59,22	38	1,29	58,04	37
0,11	61,96	37	0,71	59,22	38	1,3	58,04	37
0,12	61,57	37	0,72	59,22	38	1,31	58,04	37
0,13	61,57	38	0,73	59,22	38	1,32	57,65	37
0,15	61,57	38	0,74	59,22	38	1,33	57,65	37
0,16	61,57	38	0,75	59,22	37	1,34	57,65	37
0,17	61,18	38	0,76	59,22	37	1,35	57,65	37
0,18	61,18	37	0,77	59,22	36	1,37	57,65	37
0,19	61,18	37	0,78	59,22	36	1,37	57,65	38
0,2	61,18	36	0,79	59,22	36	1,38	57,65	38
0,21	61,18	36	0,8	59,22	36	1,4	57,65	38
0,22	61,18	35	0,81	59,22	35	1,41	57,65	38
0,23	61,18	35	0,82	59,22	35	1,42	57,65	38
0,23	61,18	35	0,83	59,22	35	1,43	57,65	38
0,25	61,18	35	0,84	59,22	35	1,44	57,65	38
0,26	61,18	35	0,85	59,22	35	1,45	57,65	37
0,27	61,18	35	0,86	58,82	36	1,46	57,65	36
0,28	60,78	36	0,87	58,82	36	1,47	57,65	36
0,29	60,78	36	0,88	58,82	36	1,48	57,65	35
0,29	60,78	36	0,89	58,82	36	1,49	57,65	34
0,31	60,78	36	0,9	58,82	36	1,5	57,65	34
0,31	60,78	36	0,91	58,82	37	1,51	57,65	34
0,32	60,78	36	0,92	58,82	37	1,52	57,65	34
0,34	60,39	37	0,93	58,82	37	1,53	57,65	34
0,35	60,39	37	0,94	58,82	37	1,54	57,65	35
0,36	60,39	37	0,95	58,43	37	1,54	57,65	36
0,37	60,39	38	0,96	58,43	37	1,56	57,65	36
0,38	60,39	38	0,97	58,43	37	1,57	57,25	37
0,39	60,39	38	0,98	58,43	38	1,58	57,25	38
0,4	60,39	38	0,99	58,43	38	1,59	57,25	38
0,41	60	38	1	58,43	37	1,6	57,25	38
0,42	60	38	1,01	58,43	37	1,6	57,25	39
0,43	60	38	1,02	58,43	36	1,61	56,86	39
0,44	60	37	1,03	58,43	36	1,62	56,86	40
0,45	60,39	36	1,04	58,43	36	1,64	56,86	40
0,46	60,39	36	1,05	58,43	35	1,65	56,86	39
0,47	60,39	36	1,06	58,43	35	1,66	56,86	39
0,48	60,39	35	1,07	58,43	35	1,67	56,86	39
0,49	60,39	35	1,08	58,43	35	1,68	56,86	39
0,5	60,39	35	1,09	58,43	35	1,69	56,86	39
0,51	60,39	35	1,1	58,43	35	1,71	56,86	39
0,52	60	35	1,11	58,43	35	1,72	56,86	38
0,53	60	35	1,12	58,43	35	1,73	56,86	38
0,54	60	35	1,13	58,43	35	1,74	56,86	37
0,55	60	35	1,14	58,43	36	1,75	56,86	36
0,56	60	35	1,15	58,43	36	1,76	57,25	36
0,57	60	35	1,16	58,43	36	1,77	57,25	35
0,58	60	35	1,17	58,04	36	1,78	57,25	35
0,59	60	34	1,18	58,04	36	1,79	56,86	35
0,6	60	34	1,19	58,04	37	1,8	56,86	35
0,61	60	35	1,2	58,04	37	1,81	56,86	35
0,62	60	35	1,21	58,04	37	1,82	56,86	36
0,62	60	35	1,22	58,04	37	1,82	56,86	36
0,64	59,61	36	1,23	58,04	37	1,84	56,86	36
0,64	59,61	36	1,24	58,04	37	1,85	56,86	35
0,66	59,61	37	1,25	58,04	38	1,85	56,86	34
0,66	59,61	37	1,26	58,04	38	1,87	56,86	32
0,67	59,22	38	1,27	58,04	37			



TESTE 3								
Distância (km)	Estado de carga(%)	Velocidade (km/h)	Distância (km)	Estado de carga(%)	Velocidade (km/h)	Distância (km)	Estado de carga(%)	Velocidade (km/h)
0,08	58,82	35	0,69	55,69	36	1,3	53,73	35
0,08	58,43	35	0,7	55,69	36	1,31	53,73	35
0,1	58,43	36	0,71	55,69	36	1,32	53,73	35
0,11	58,43	36	0,72	55,69	36	1,33	53,73	35
0,11	58,04	36	0,73	55,69	36	1,34	53,73	36
0,13	58,04	36	0,74	55,69	36	1,35	53,73	35
0,13	58,04	37	0,75	55,29	37	1,36	53,73	35
0,14	58,04	37	0,76	55,29	37	1,37	53,73	35
0,16	57,65	37	0,77	55,29	37	1,38	53,73	36
0,16	57,65	38	0,78	55,29	37	1,39	53,73	36
0,18	57,65	38	0,79	55,29	37	1,4	53,73	36
0,19	57,65	38	0,8	55,29	36	1,41	53,73	36
0,2	57,25	38	0,81	55,29	37	1,42	53,73	36
0,21	57,25	38	0,82	55,29	36	1,43	53,73	36
0,22	57,25	38	0,83	55,29	36	1,44	53,33	36
0,23	57,25	37	0,84	55,29	36	1,45	53,33	36
0,24	57,25	37	0,85	55,29	36	1,46	53,33	36
0,25	57,25	37	0,86	55,29	36	1,47	53,33	36
0,26	57,25	37	0,87	55,29	36	1,48	53,33	36
0,27	57,25	37	0,88	54,9	36	1,49	53,33	36
0,28	57,25	37	0,89	54,9	36	1,5	53,33	36
0,29	56,86	37	0,9	54,9	36	1,51	53,33	36
0,3	56,86	37	0,91	54,9	37	1,52	53,33	36
0,31	56,86	37	0,92	54,9	37	1,53	53,33	36
0,32	56,86	37	0,93	54,9	37	1,54	53,33	36
0,33	56,86	37	0,94	54,9	37	1,55	53,33	36
0,34	56,86	37	0,95	54,51	37	1,56	53,33	36
0,35	56,86	37	0,96	54,51	37	1,57	53,33	36
0,36	56,86	37	0,97	54,51	37	1,58	53,33	35
0,37	56,86	36	0,98	54,51	36	1,59	53,33	35
0,38	56,86	36	0,99	54,51	36	1,6	53,33	35
0,39	56,86	35	1	54,9	36	1,61	53,33	35
0,4	56,86	35	1,01	54,9	35	1,62	53,33	35
0,41	56,86	35	1,02	54,51	35	1,63	53,33	35
0,42	56,47	35	1,03	54,51	36	1,64	53,33	35
0,43	56,47	36	1,04	54,51	37	1,65	53,33	35
0,44	56,47	36	1,05	54,51	37	1,66	53,33	35
0,45	56,47	36	1,06	54,12	38	1,67	53,33	35
0,46	56,47	36	1,07	54,12	38	1,67	52,94	35
0,47	56,47	36	1,08	54,12	37	1,69	52,94	35
0,48	56,47	35	1,09	54,12	37	1,7	52,94	35
0,49	56,47	35	1,1	54,12	37	1,7	52,94	35
0,5	56,47	35	1,11	54,12	37	1,71	52,94	34
0,51	56,47	35	1,12	54,12	37	1,73	52,94	34
0,52	56,47	35	1,13	54,12	37	1,73	52,94	34
0,53	56,47	35	1,14	54,12	37	1,74	52,94	34
0,54	56,47	35	1,15	54,12	37	1,75	52,94	34
0,55	56,08	35	1,16	54,12	37	1,76	52,94	34
0,56	56,08	35	1,17	54,12	37	1,77	52,94	33
0,57	56,08	35	1,18	54,12	36	1,78	52,94	33
0,58	56,08	35	1,19	54,12	35	1,79	52,94	33
0,59	56,08	35	1,2	54,12	35	1,8	52,94	33
0,6	56,08	35	1,21	54,12	35	1,81	52,94	34
0,61	56,08	35	1,22	54,12	35	1,82	52,55	34
0,62	56,08	35	1,23	54,12	35	1,82	52,55	34
0,63	56,08	36	1,24	54,12	35	1,84	52,55	35
0,64	56,08	36	1,25	54,12	35	1,85	52,55	35
0,65	55,69	36	1,26	54,12	35	1,86	52,55	35
0,66	55,69	36	1,27	54,12	35	1,86	52,55	35
0,67	55,69	36	1,28	54,12	35	1,88	52,55	34
0,68	55,69	36	1,29	54,12	35	1,88	52,55	33

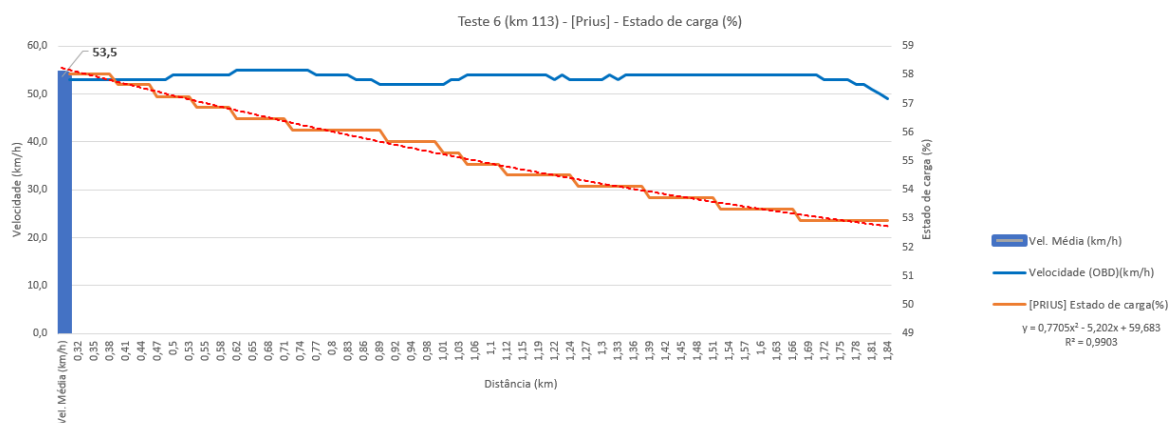


TESTE 4					
Distância (km)	Estado de carga(%)	Velocidade (km/h)	Distância (km)	Estado de carga(%)	Velocidade (km/h)
0,44	52,94	55	1,1	50,59	54
0,45	52,94	55	1,12	50,59	54
0,47	52,94	55	1,13	50,59	55
0,48	52,55	55	1,14	50,2	55
0,5	52,55	55	1,16	50,2	55
0,51	52,55	55	1,18	50,2	55
0,53	52,55	55	1,19	50,2	55
0,54	52,55	54	1,2	50,2	55
0,56	52,55	54	1,22	50,2	55
0,58	52,55	54	1,24	50,2	55
0,59	52,55	54	1,25	50,2	55
0,61	52,55	53	1,27	49,8	55
0,62	52,55	53	1,28	49,8	55
0,63	52,55	53	1,3	49,8	55
0,65	52,55	53	1,32	49,8	55
0,66	52,55	53	1,33	49,8	55
0,68	52,55	52	1,34	49,8	55
0,69	52,55	52	1,36	49,8	55
0,71	52,55	52	1,37	49,41	55
0,72	52,55	52	1,39	49,41	55
0,73	52,16	52	1,41	49,41	55
0,75	52,16	52	1,42	49,41	54
0,77	52,16	52	1,43	49,41	54
0,78	52,16	52	1,45	49,41	54
0,79	52,16	52	1,46	49,41	54
0,81	52,16	52	1,48	49,41	54
0,82	52,16	52	1,49	49,41	54
0,84	52,16	52	1,51	49,41	54
0,85	51,76	52	1,53	49,41	54
0,86	51,76	52	1,54	49,41	54
0,88	51,76	52	1,56	49,41	54
0,89	51,76	52	1,57	49,41	54
0,91	51,76	52	1,58	49,02	54
0,92	51,76	52	1,6	49,02	54
0,94	51,37	52	1,61	49,02	54
0,95	51,37	52	1,63	49,02	53
0,97	51,37	53	1,64	49,02	53
0,98	51,37	53	1,66	49,02	53
0,99	51,37	53	1,67	49,02	53
1,01	50,98	53	1,69	49,02	53
1,02	50,98	53	1,7	49,02	53
1,04	50,98	53	1,72	49,02	53
1,05	50,98	54	1,73	49,02	52
1,07	50,98	54	1,75	49,02	52
1,09	50,59	54	1,76	49,02	52
1,1	50,59	54	1,78	49,02	51
1,12	50,59	54	1,79	48,63	52
1,13	50,59	55	1,8	48,63	51
1,14	50,2	55	1,81	48,63	51
1,16	50,2	55	1,83	48,63	50

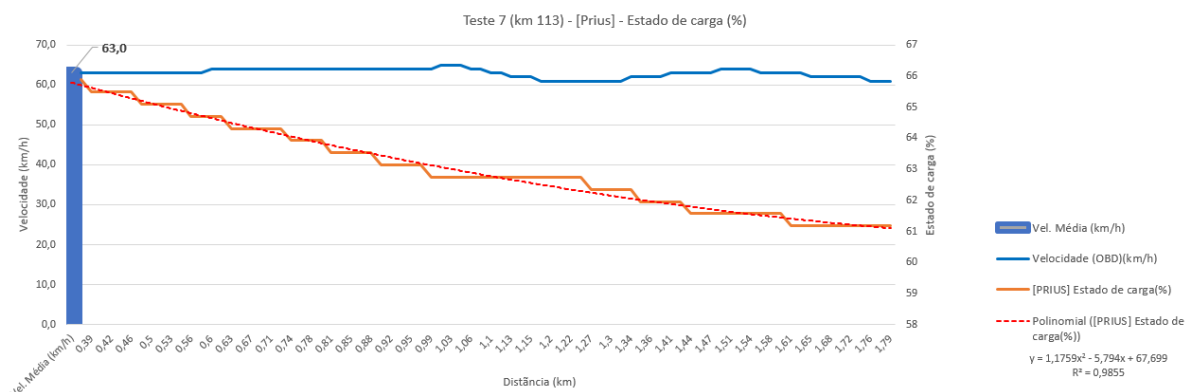


TESTE 5					
Distância (km)	Estado de carga(%)	Velocidade (km/h)	Distância (km)	Estado de carga(%)	Velocidade (km/h)
0,29	58,43	55	1,1	55,69	55
0,3	58,43	55	1,11	55,69	55
0,32	58,43	55	1,13	55,69	54
0,33	58,43	55	1,14	55,69	54
0,35	58,43	55	1,16	55,69	54
0,36	58,43	55	1,17	55,69	53
0,38	58,04	55	1,19	55,69	53
0,39	58,04	55	1,2	55,69	53
0,41	58,04	55	1,21	55,69	53
0,42	58,04	55	1,23	55,69	52
0,44	58,04	55	1,24	55,69	52
0,45	58,04	54	1,26	55,69	52
0,47	58,04	54	1,27	55,69	52
0,49	58,04	54	1,29	55,69	52
0,5	58,04	54	1,3	55,69	52
0,51	57,65	54	1,32	55,69	52
0,53	57,65	54	1,33	55,69	52
0,54	57,65	53	1,35	55,69	52
0,55	57,65	53	1,36	55,69	52
0,57	57,65	53	1,38	55,69	52
0,59	57,65	53	1,39	55,29	52
0,61	57,65	53	1,4	55,29	52
0,62	57,65	53	1,42	55,29	52
0,63	57,65	53	1,43	55,29	52
0,64	57,65	53	1,44	55,29	52
0,66	57,25	53	1,46	55,29	53
0,68	57,25	53	1,47	55,29	53
0,69	57,25	53	1,49	54,9	53
0,7	57,25	53	1,5	54,9	54
0,72	57,25	53	1,52	54,9	54
0,73	57,25	53	1,53	54,51	55
0,75	57,25	53	1,55	54,51	55
0,76	56,86	53	1,56	54,51	54
0,78	56,86	54	1,58	54,51	54
0,8	56,86	54	1,59	54,51	54
0,81	56,86	54	1,61	54,51	54
0,83	56,86	54	1,63	54,51	54
0,84	56,86	54	1,64	54,51	54
0,85	56,47	54	1,66	54,51	54
0,87	56,47	54	1,67	54,51	54
0,88	56,47	54	1,68	54,51	54
0,9	56,47	54	1,7	54,51	54
0,91	56,47	54	1,71	54,51	53
0,92	56,47	54	1,73	54,51	53
0,95	56,08	54	1,74	54,51	53
0,96	56,08	55	1,76	54,51	53
0,98	56,08	55	1,78	54,12	52
0,99	56,08	55	1,79	54,12	52
1	56,08	55	1,8	54,12	52
1,02	56,08	55	1,82	54,12	52
1,03	56,08	55	1,83	54,12	51
1,05	55,69	55	1,85	54,51	50
1,06	55,69	55	1,86	54,51	49
1,08	55,69	55	1,87	54,9	44

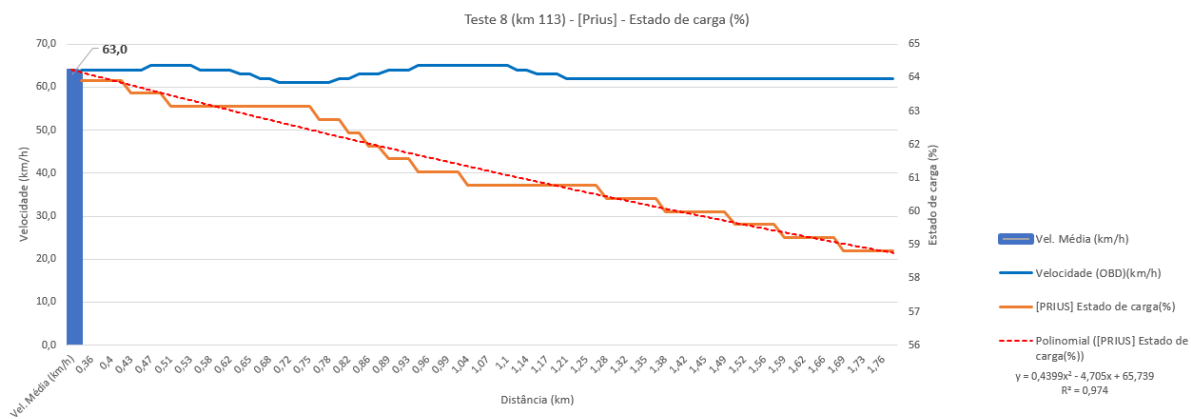




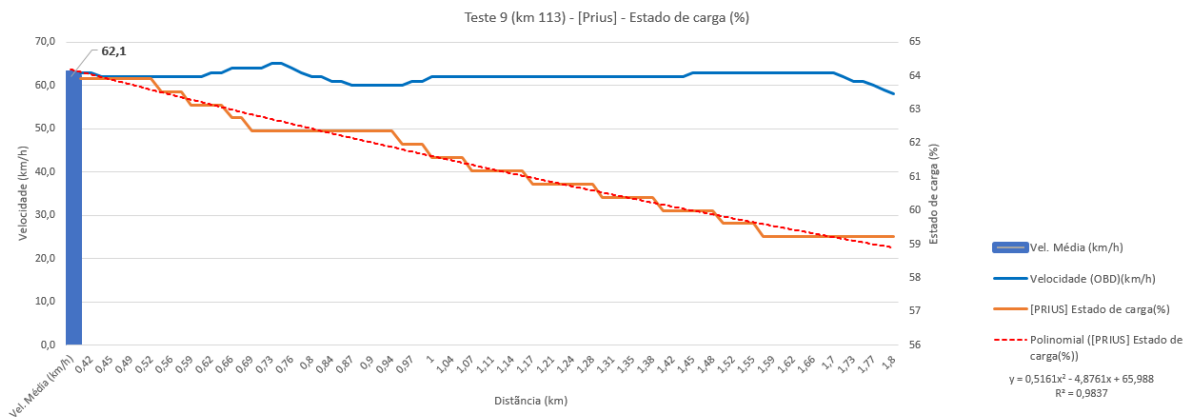
TESTE 6					
Distância (km)	Estado de carga(%)	Velocidade (km/h)	Distância (km)	Estado de carga(%)	Velocidade (km/h)
0,31	58,04	53	1,08	54,9	54
0,32	58,04	53	1,1	54,9	54
0,34	58,04	53	1,11	54,9	54
0,35	58,04	53	1,12	54,51	54
0,36	58,04	53	1,14	54,51	54
0,38	58,04	53	1,15	54,51	54
0,39	57,65	53	1,17	54,51	54
0,41	57,65	53	1,19	54,51	54
0,42	57,65	53	1,19	54,51	54
0,44	57,65	53	1,22	54,51	53
0,45	57,65	53	1,23	54,51	54
0,47	57,25	53	1,24	54,51	53
0,48	57,25	53	1,26	54,12	53
0,5	57,25	54	1,27	54,12	53
0,51	57,25	54	1,28	54,12	53
0,53	57,25	54	1,3	54,12	53
0,54	56,86	54	1,32	54,12	54
0,55	56,86	54	1,33	54,12	53
0,57	56,86	54	1,35	54,12	54
0,58	56,86	54	1,36	54,12	54
0,6	56,86	54	1,37	54,12	54
0,62	56,47	55	1,39	53,73	54
0,63	56,47	55	1,41	53,73	54
0,65	56,47	55	1,42	53,73	54
0,67	56,47	55	1,43	53,73	54
0,68	56,47	55	1,45	53,73	54
0,69	56,47	55	1,46	53,73	54
0,71	56,47	55	1,48	53,73	54
0,72	56,08	55	1,5	53,73	54
0,74	56,08	55	1,51	53,73	54
0,75	56,08	55	1,52	53,33	54
0,77	56,08	54	1,54	53,33	54
0,79	56,08	54	1,55	53,33	54
0,8	56,08	54	1,57	53,33	54
0,82	56,08	54	1,58	53,33	54
0,83	56,08	54	1,6	53,33	54
0,84	56,08	53	1,62	53,33	54
0,86	56,08	53	1,63	53,33	54
0,88	56,08	53	1,64	53,33	54
0,89	56,08	52	1,66	53,33	54
0,9	55,69	52	1,68	52,94	54
0,92	55,69	52	1,69	52,94	54
0,93	55,69	52	1,7	52,94	54
0,94	55,69	52	1,72	52,94	53
0,96	55,69	52	1,74	52,94	53
0,98	55,69	52	1,75	52,94	53
0,99	55,69	52	1,76	52,94	53
1,01	55,29	52	1,78	52,94	52
1,02	55,29	53	1,79	52,94	52
1,03	55,29	53	1,81	52,94	51
1,04	54,9	54	1,82	52,94	50
1,06	54,9	54	1,84	52,94	49



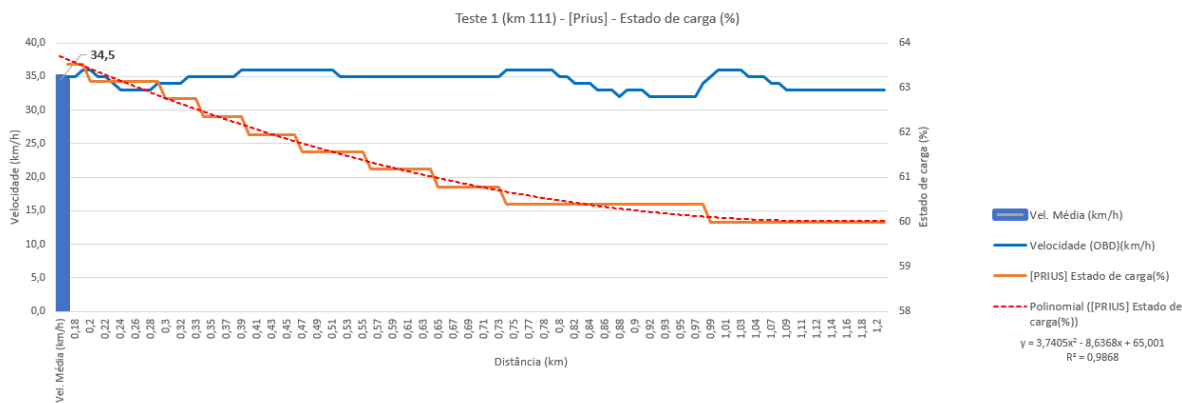
TESTE 7					
Distância (km)	Estado de carga(%)	Velocidade (km/h)	Distância (km)	Estado de carga(%)	Velocidade (km/h)
0,37	65,88	63	1,1	62,75	63
0,39	65,49	63	1,11	62,75	63
0,41	65,49	63	1,13	62,75	62
0,42	65,49	63	1,14	62,75	62
0,44	65,49	63	1,15	62,75	62
0,46	65,49	63	1,19	62,75	61
0,48	65,1	63	1,2	62,75	61
0,5	65,1	63	1,21	62,75	61
0,51	65,1	63	1,22	62,75	61
0,53	65,1	63	1,24	62,75	61
0,55	65,1	63	1,27	62,35	61
0,56	64,71	63	1,28	62,35	61
0,58	64,71	63	1,3	62,35	61
0,6	64,71	64	1,31	62,35	61
0,62	64,71	64	1,34	62,35	62
0,63	64,31	64	1,35	61,96	62
0,65	64,31	64	1,36	61,96	62
0,67	64,31	64	1,38	61,96	62
0,68	64,31	64	1,41	61,96	63
0,71	64,31	64	1,42	61,96	63
0,73	64,31	64	1,44	61,57	63
0,74	63,92	64	1,46	61,57	63
0,76	63,92	64	1,47	61,57	63
0,78	63,92	64	1,5	61,57	64
0,79	63,92	64	1,51	61,57	64
0,81	63,53	64	1,53	61,57	64
0,82	63,53	64	1,54	61,57	64
0,85	63,53	64	1,56	61,57	63
0,87	63,53	64	1,58	61,57	63
0,88	63,53	64	1,6	61,57	63
0,9	63,14	64	1,61	61,18	63
0,92	63,14	64	1,63	61,18	63
0,93	63,14	64	1,65	61,18	62
0,95	63,14	64	1,67	61,18	62
0,97	63,14	64	1,68	61,18	62
0,99	62,75	64	1,71	61,18	62
1,01	62,75	65	1,72	61,18	62
1,03	62,75	65	1,74	61,18	62
1,04	62,75	65	1,76	61,18	61
1,06	62,75	64	1,77	61,18	61
1,07	62,75	64	1,79	61,18	61



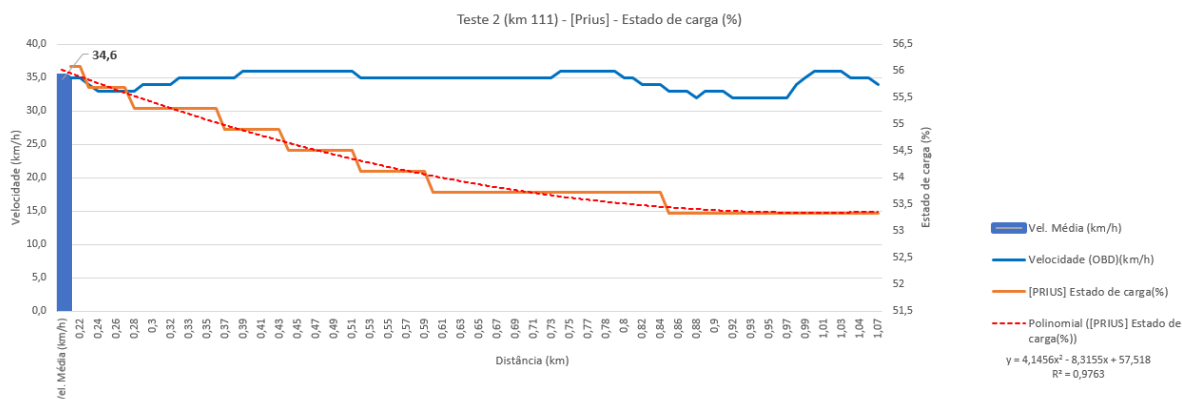
TESTE 8					
Distância (km)	Estado de carga(%)	Velocidade (km/h)	Distância (km)	Estado de carga(%)	Velocidade (km/h)
0,35	63,92	64	1,09	60,78	65
0,36	63,92	64	1,1	60,78	65
0,39	63,92	64	1,12	60,78	64
0,4	63,92	64	1,14	60,78	64
0,42	63,92	64	1,16	60,78	63
0,43	63,53	64	1,17	60,78	63
0,46	63,53	64	1,18	60,78	63
0,47	63,53	65	1,21	60,78	62
0,49	63,53	65	1,23	60,78	62
0,51	63,14	65	1,25	60,78	62
0,53	63,14	65	1,26	60,78	62
0,53	63,14	65	1,28	60,39	62
0,56	63,14	64	1,3	60,39	62
0,58	63,14	64	1,32	60,39	62
0,59	63,14	64	1,33	60,39	62
0,62	63,14	64	1,35	60,39	62
0,63	63,14	63	1,36	60,39	62
0,65	63,14	63	1,38	60	62
0,66	63,14	62	1,4	60	62
0,68	63,14	62	1,42	60	62
0,7	63,14	61	1,44	60	62
0,72	63,14	61	1,45	60	62
0,73	63,14	61	1,47	60	62
0,75	63,14	61	1,49	60	62
0,77	62,75	61	1,51	59,61	62
0,78	62,75	61	1,52	59,61	62
0,8	62,75	62	1,53	59,61	62
0,82	62,35	62	1,56	59,61	62
0,83	62,35	63	1,57	59,61	62
0,86	61,96	63	1,59	59,22	62
0,87	61,96	63	1,61	59,22	62
0,89	61,57	64	1,62	59,22	62
0,91	61,57	64	1,63	59,22	62
0,93	61,57	64	1,66	59,22	62
0,94	61,18	65	1,67	59,22	62
0,96	61,18	65	1,69	58,82	62
0,98	61,18	65	1,71	58,82	62
0,99	61,18	65	1,73	58,82	62
1,01	61,18	65	1,74	58,82	62
1,04	60,78	65	1,76	58,82	62
1,05	60,78	65	1,78	58,82	62
1,07	60,78	65			



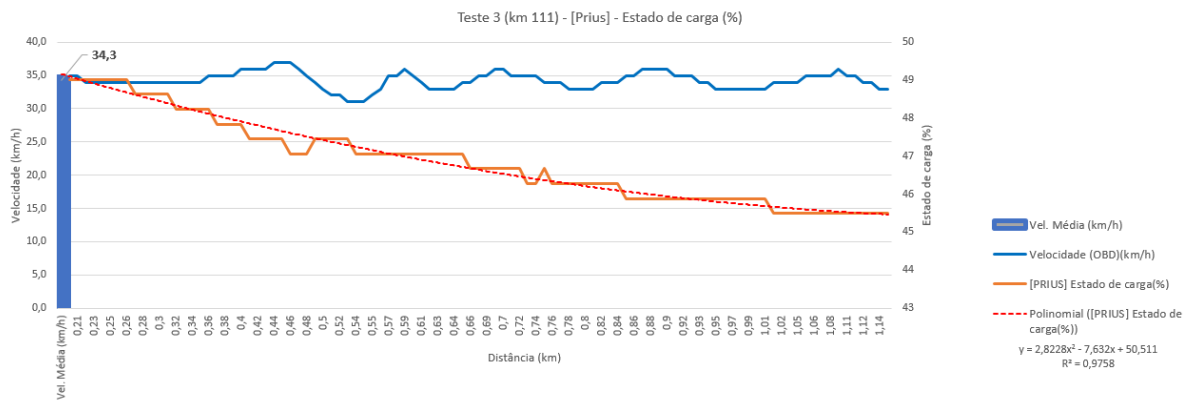
TESTE 9					
Distância (km)	Estado de carga(%)	Velocidade (km/h)	Distância (km)	Estado de carga(%)	Velocidade (km/h)
0,4	63,92	63	1,11	61,18	62
0,42	63,92	63	1,12	61,18	62
0,44	63,92	62	1,14	61,18	62
0,45	63,92	62	1,16	61,18	62
0,47	63,92	62	1,17	60,78	62
0,49	63,92	62	1,19	60,78	62
0,5	63,92	62	1,21	60,78	62
0,52	63,92	62	1,23	60,78	62
0,53	63,53	62	1,24	60,78	62
0,56	63,53	62	1,26	60,78	62
0,57	63,53	62	1,28	60,78	62
0,59	63,14	62	1,29	60,39	62
0,6	63,14	62	1,31	60,39	62
0,62	63,14	63	1,33	60,39	62
0,64	63,14	63	1,35	60,39	62
0,66	62,75	64	1,36	60,39	62
0,67	62,75	64	1,38	60,39	62
0,69	62,35	64	1,4	60	62
0,71	62,35	64	1,42	60	62
0,73	62,35	65	1,44	60	62
0,75	62,35	65	1,45	60	63
0,76	62,35	64	1,47	60	63
0,79	62,35	63	1,48	60	63
0,8	62,35	62	1,5	59,61	63
0,82	62,35	62	1,52	59,61	63
0,84	62,35	61	1,54	59,61	63
0,86	62,35	61	1,55	59,61	63
0,87	62,35	60	1,57	59,22	63
0,89	62,35	60	1,59	59,22	63
0,9	62,35	60	1,61	59,22	63
0,92	62,35	60	1,62	59,22	63
0,94	62,35	60	1,63	59,22	63
0,95	61,96	60	1,66	59,22	63
0,97	61,96	61	1,68	59,22	63
0,99	61,96	61	1,7	59,22	63
1	61,57	62	1,72	59,22	62
1,02	61,57	62	1,73	59,22	61
1,04	61,57	62	1,74	59,22	61
1,06	61,57	62	1,77	59,22	60
1,07	61,18	62	1,78	59,22	59
1,09	61,18	62	1,8	59,22	58



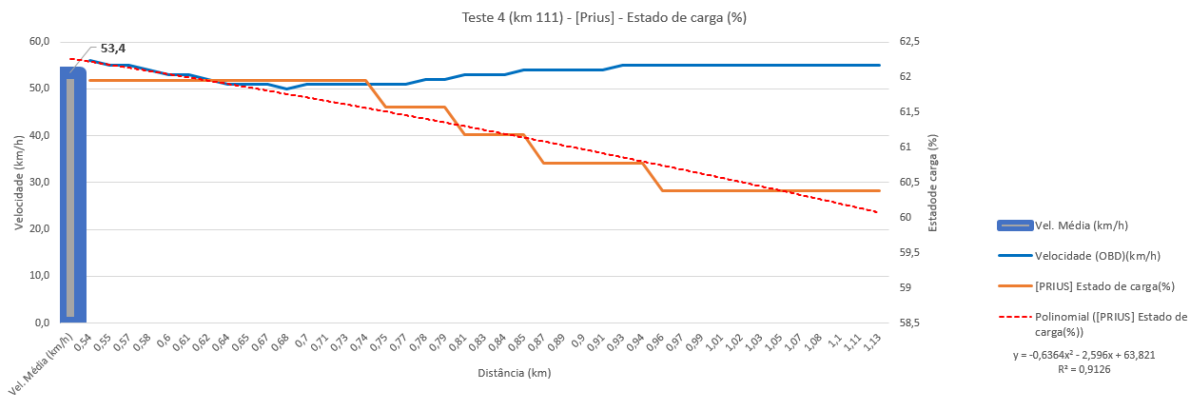
TESTE 1					
Distância (km)	Estado de carga(%)	Velocidade (km/h)	Distância (km)	Estado de carga(%)	Velocidade (km/h)
0,17	63,53	35	0,71	60,78	35
0,18	63,53	35	0,71	60,78	35
0,19	63,53	36	0,73	60,78	35
0,2	63,14	36	0,73	60,39	36
0,21	63,14	35	0,75	60,39	36
0,22	63,14	35	0,76	60,39	36
0,23	63,14	34	0,77	60,39	36
0,24	63,14	33	0,77	60,39	36
0,25	63,14	33	0,78	60,39	36
0,26	63,14	33	0,8	60,39	36
0,27	63,14	33	0,8	60,39	35
0,28	63,14	33	0,81	60,39	35
0,29	63,14	34	0,82	60,39	34
0,3	62,75	34	0,83	60,39	34
0,31	62,75	34	0,84	60,39	34
0,32	62,75	34	0,85	60,39	33
0,32	62,75	35	0,86	60,39	33
0,33	62,75	35	0,87	60,39	33
0,34	62,35	35	0,88	60,39	32
0,35	62,35	35	0,89	60,39	33
0,36	62,35	35	0,9	60,39	33
0,37	62,35	35	0,91	60,39	33
0,38	62,35	35	0,92	60,39	32
0,39	62,35	36	0,92	60,39	32
0,4	61,96	36	0,93	60,39	32
0,41	61,96	36	0,94	60,39	32
0,42	61,96	36	0,95	60,39	32
0,43	61,96	36	0,96	60,39	32
0,44	61,96	36	0,97	60,39	32
0,45	61,96	36	0,98	60,39	34
0,46	61,96	36	0,99	60	35
0,47	61,57	36	1	60	36
0,48	61,57	36	1,01	60	36
0,49	61,57	36	1,02	60	36
0,5	61,57	36	1,03	60	36
0,51	61,57	36	1,04	60	35
0,52	61,57	35	1,04	60	35
0,53	61,57	35	1,06	60	35
0,54	61,57	35	1,07	60	34
0,55	61,57	35	1,08	60	34
0,56	61,18	35	1,09	60	33
0,57	61,18	35	1,1	60	33
0,58	61,18	35	1,11	60	33
0,59	61,18	35	1,11	60	33
0,6	61,18	35	1,12	60	33
0,61	61,18	35	1,13	60	33
0,62	61,18	35	1,14	60	33
0,63	61,18	35	1,15	60	33
0,64	61,18	35	1,16	60	33
0,65	60,78	35	1,17	60	33
0,66	60,78	35	1,18	60	33
0,67	60,78	35	1,18	60	33
0,68	60,78	35	1,2	60	33
0,69	60,78	35	1,2	60	33
0,7	60,78	35			



TESTE 2					
Distância (km)	Estado de carga(%)	Velocidade (km/h)	Distância (km)	Estado de carga(%)	Velocidade (km/h)
0,21	56,08	35	0,65	53,73	35
0,22	56,08	35	0,66	53,73	35
0,23	55,69	34	0,67	53,73	35
0,24	55,69	33	0,68	53,73	35
0,25	55,69	33	0,69	53,73	35
0,26	55,69	33	0,7	53,73	35
0,27	55,69	33	0,71	53,73	35
0,28	55,29	33	0,71	53,73	35
0,29	55,29	34	0,73	53,73	35
0,3	55,29	34	0,73	53,73	36
0,31	55,29	34	0,75	53,73	36
0,32	55,29	34	0,76	53,73	36
0,32	55,29	35	0,77	53,73	36
0,33	55,29	35	0,77	53,73	36
0,34	55,29	35	0,78	53,73	36
0,35	55,29	35	0,8	53,73	36
0,36	55,29	35	0,8	53,73	35
0,37	54,9	35	0,81	53,73	35
0,38	54,9	35	0,82	53,73	34
0,39	54,9	36	0,83	53,73	34
0,4	54,9	36	0,84	53,73	34
0,41	54,9	36	0,85	53,33	33
0,42	54,9	36	0,86	53,33	33
0,43	54,9	36	0,87	53,33	33
0,44	54,51	36	0,88	53,33	32
0,45	54,51	36	0,89	53,33	33
0,46	54,51	36	0,9	53,33	33
0,47	54,51	36	0,91	53,33	33
0,48	54,51	36	0,92	53,33	32
0,49	54,51	36	0,92	53,33	32
0,5	54,51	36	0,93	53,33	32
0,51	54,51	36	0,94	53,33	32
0,52	54,12	35	0,95	53,33	32
0,53	54,12	35	0,96	53,33	32
0,54	54,12	35	0,97	53,33	32
0,55	54,12	35	0,98	53,33	34
0,56	54,12	35	0,99	53,33	35
0,57	54,12	35	1	53,33	36
0,58	54,12	35	1,01	53,33	36
0,59	54,12	35	1,02	53,33	36
0,6	53,73	35	1,03	53,33	36
0,61	53,73	35	1,04	53,33	35
0,62	53,73	35	1,04	53,33	35
0,63	53,73	35	1,06	53,33	35
0,64	53,73	35	1,07	53,33	34

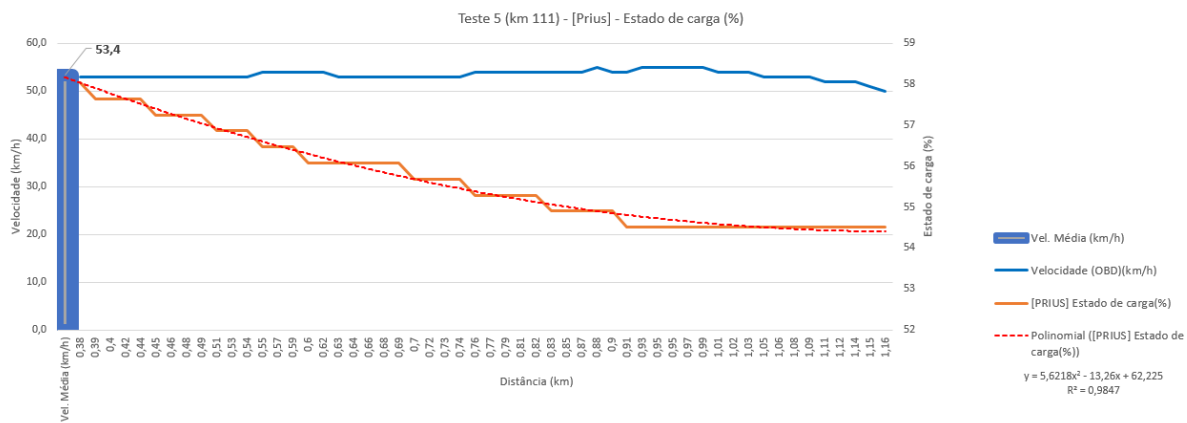


TESTE 3					
Distância (km)	Estado de carga(%)	Velocidade (km/h)	Distância (km)	Estado de carga(%)	Velocidade (km/h)
0,2	49,02	35	0,69	46,67	35
0,21	49,02	35	0,69	46,67	36
0,22	49,02	34	0,7	46,67	36
0,23	49,02	34	0,72	46,67	35
0,24	49,02	34	0,72	46,67	35
0,25	49,02	34	0,73	46,27	35
0,25	49,02	34	0,74	46,27	35
0,26	49,02	34	0,75	46,67	34
0,28	48,63	34	0,76	46,27	34
0,28	48,63	34	0,77	46,27	34
0,3	48,63	34	0,78	46,27	33
0,3	48,63	34	0,79	46,27	33
0,31	48,63	34	0,8	46,27	33
0,32	48,24	34	0,81	46,27	33
0,33	48,24	34	0,82	46,27	34
0,34	48,24	34	0,83	46,27	34
0,35	48,24	34	0,84	46,27	34
0,36	48,24	35	0,85	45,88	35
0,37	47,84	35	0,86	45,88	35
0,38	47,84	35	0,87	45,88	36
0,39	47,84	35	0,88	45,88	36
0,4	47,84	36	0,88	45,88	36
0,41	47,45	36	0,9	45,88	36
0,42	47,45	36	0,9	45,88	35
0,43	47,45	36	0,92	45,88	35
0,44	47,45	37	0,92	45,88	35
0,45	47,45	37	0,93	45,88	34
0,46	47,06	37	0,94	45,88	34
0,47	47,06	36	0,95	45,88	33
0,48	47,06	35	0,96	45,88	33
0,49	47,45	34	0,97	45,88	33
0,5	47,45	33	0,98	45,88	33
0,51	47,45	32	0,99	45,88	33
0,52	47,45	32	1	45,88	33
0,52	47,45	31	1,01	45,88	33
0,54	47,06	31	1,02	45,49	34
0,54	47,06	31	1,02	45,49	34
0,55	47,06	32	1,03	45,49	34
0,56	47,06	33	1,05	45,49	34
0,57	47,06	35	1,05	45,49	35
0,58	47,06	35	1,06	45,49	35
0,59	47,06	36	1,08	45,49	35
0,6	47,06	35	1,08	45,49	35
0,61	47,06	34	1,09	45,49	36
0,62	47,06	33	1,11	45,49	35
0,63	47,06	33	1,11	45,49	35
0,64	47,06	33	1,12	45,49	34
0,64	47,06	33	1,13	45,49	34
0,65	47,06	34	1,14	45,49	33
0,66	46,67	34	1,15	45,49	33
0,67	46,67	35			



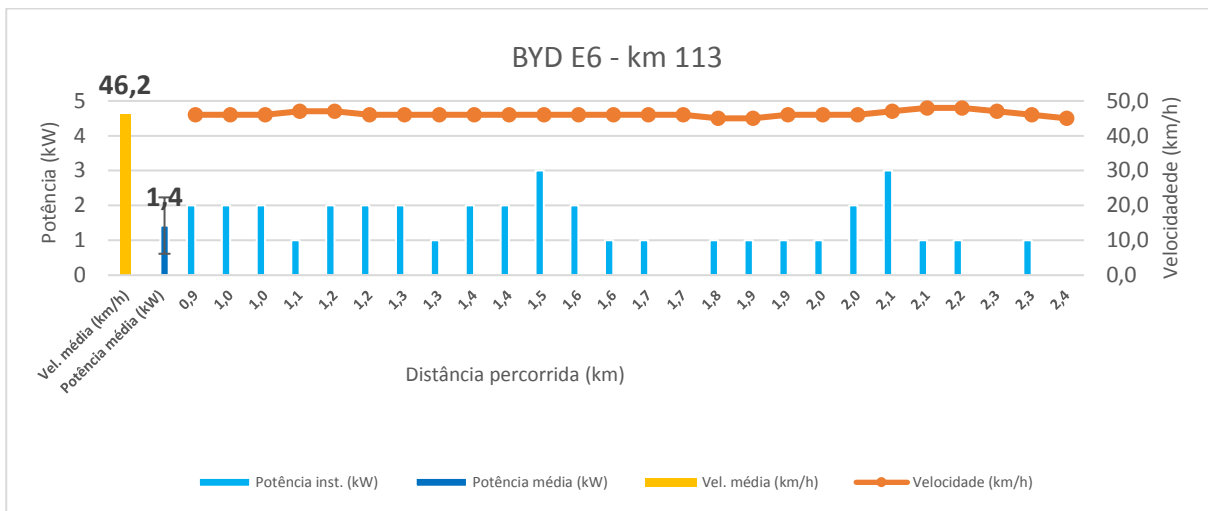
TESTE 4			
Distância (km)	Estado de carga(%)	Velocidade (km/h)	
0,54	61,96	56	
0,55	61,96	55	
0,57	61,96	55	
0,58	61,96	54	
0,6	61,96	53	
0,61	61,96	53	
0,62	61,96	52	
0,64	61,96	51	
0,65	61,96	51	
0,67	61,96	51	
0,68	61,96	50	
0,7	61,96	51	
0,71	61,96	51	
0,73	61,96	51	
0,74	61,96	51	
0,75	61,57	51	
0,77	61,57	51	
0,78	61,57	52	
0,79	61,57	52	
0,81	61,18	53	
0,83	61,18	53	
0,84	61,18	53	
0,85	61,18	54	
0,87	60,78	54	
0,89	60,78	54	
0,9	60,78	54	
0,91	60,78	54	
0,93	60,78	55	
0,94	60,78	55	
0,96	60,39	55	
0,97	60,39	55	
0,99	60,39	55	
1,01	60,39	55	
1,02	60,39	55	
1,03	60,39	55	
1,05	60,39	55	
1,07	60,39	55	
1,08	60,39	55	
1,1	60,39	55	
1,11	60,39	55	
1,13	60,39	55	



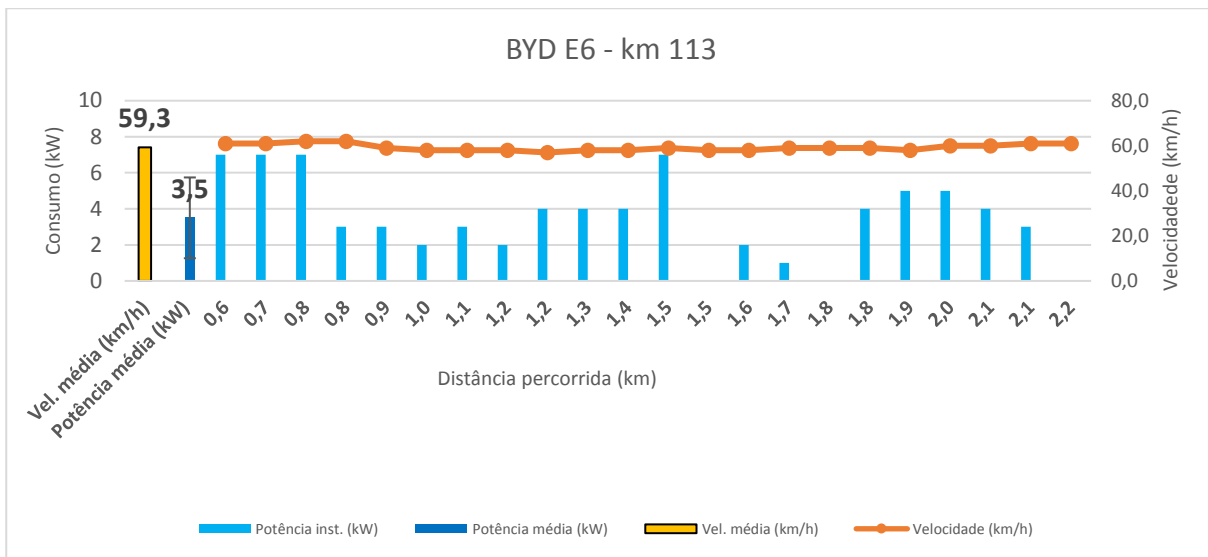


TESTE 5			
Distância (km)	Estado de carga(%)	Velocidade (km/h)	
0,38		58,04	53
0,39		57,65	53
0,4		57,65	53
0,42		57,65	53
0,44		57,65	53
0,45		57,25	53
0,46		57,25	53
0,48		57,25	53
0,49		57,25	53
0,51		56,86	53
0,53		56,86	53
0,54		56,86	53
0,55		56,47	54
0,57		56,47	54
0,59		56,47	54
0,6		56,08	54
0,62		56,08	54
0,63		56,08	53
0,64		56,08	53
0,66		56,08	53
0,68		56,08	53
0,69		56,08	53
0,7		55,69	53
0,72		55,69	53
0,73		55,69	53
0,74		55,69	53
0,76		55,29	54
0,77		55,29	54
0,79		55,29	54
0,81		55,29	54
0,82		55,29	54
0,83		54,9	54
0,85		54,9	54
0,87		54,9	54
0,88		54,9	55
0,9		54,9	54
0,91		54,51	54
0,93		54,51	55
0,95		54,51	55
0,97		54,51	55
0,99		54,51	55
1,01		54,51	54
1,02		54,51	54
1,03		54,51	54
1,05		54,51	53
1,06		54,51	53
1,08		54,51	53
1,09		54,51	53
1,11		54,51	52
1,12		54,51	52
1,14		54,51	52
1,15		54,51	51
1,16		54,51	50

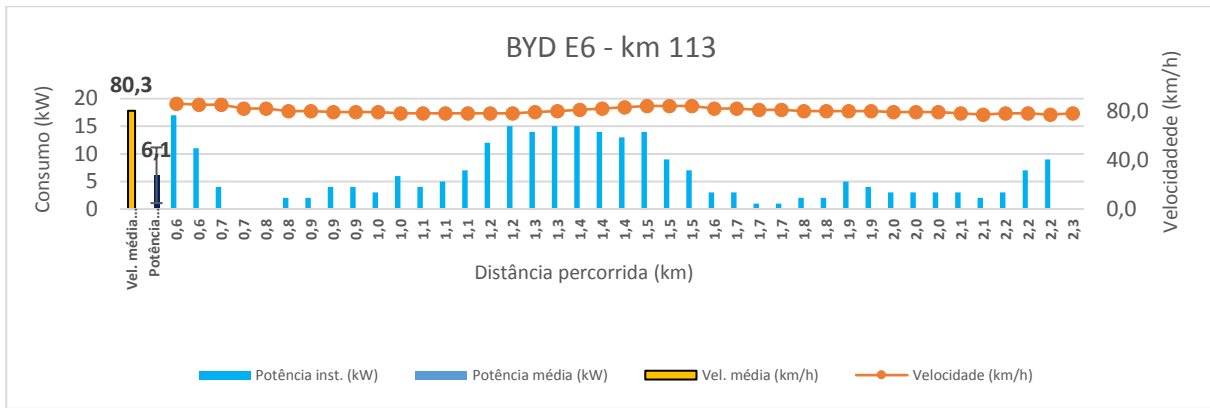
## ANEXO B - RESULTADOS BYD E6



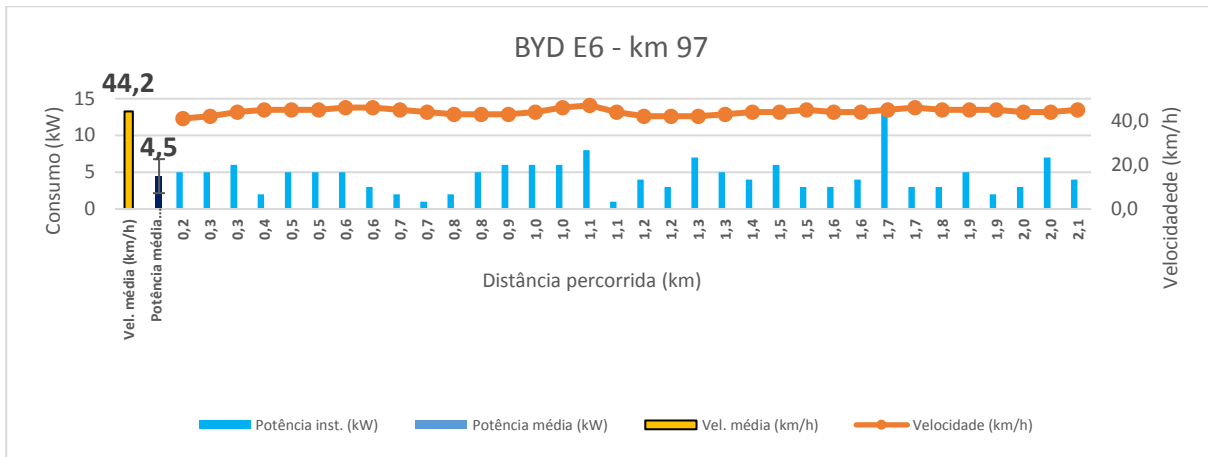
Teste 1		
Potência inst. (kW)	Velocidade (km/h)	Distância percorrida (km)
2	46	0,9
2	46	1,0
2	46	1,0
1	47	1,1
2	47	1,2
2	46	1,2
2	46	1,3
1	46	1,3
2	46	1,4
2	46	1,4
3	46	1,5
2	46	1,6
1	46	1,6
1	46	1,7
0	46	1,7
1	45	1,8
1	45	1,9
1	46	1,9
1	46	2,0
2	46	2,0
3	47	2,1
1	48	2,1
1	48	2,2
0	47	2,3
1	46	2,3
0	45	2,4



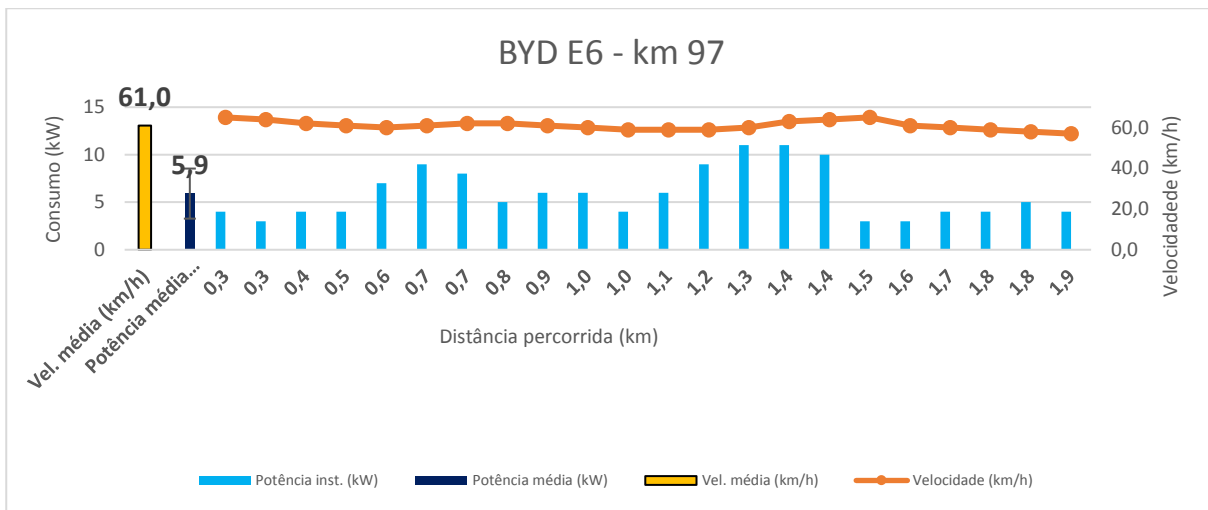
Teste 2		
Potência inst. (kW)	Velocidade (km/h)	Distância percorrida (km)
7	61	0,6
7	61	0,7
7	62	0,8
3	62	0,8
3	59	0,9
2	58	1,0
3	58	1,1
2	58	1,2
4	57	1,2
4	58	1,3
4	58	1,4
7	59	1,5
0	58	1,5
2	58	1,6
1	59	1,7
0	59	1,8
4	59	1,8
5	58	1,9
5	60	2,0
4	60	2,1
3	61	2,1
0	61	2,2



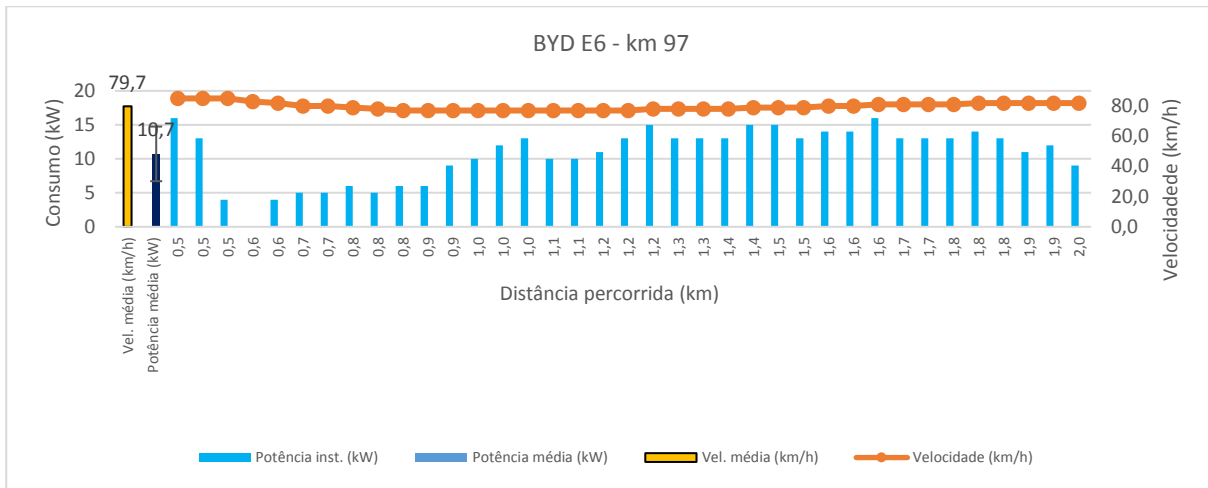
Teste 3		
Potência inst. (kW)	Velocidade (km/h)	Distância percorrida (km)
17	86	0,6
11	85	0,6
4	85	0,7
0	82	0,7
0	82	0,8
2	80	0,8
2	80	0,9
4	79	0,9
4	79	0,9
3	79	1
6	78	1
4	78	1,1
5	78	1,1
7	78	1,1
12	78	1,2
15	78	1,2
14	79	1,3
15	80	1,3
15	81	1,4
14	82	1,4
13	83	1,4
14	84	1,5
9	84	1,5
7	84	1,5
3	82	1,6
3	82	1,7
1	81	1,7
1	81	1,7
2	80	1,8
2	80	1,8
5	80	1,9
4	80	1,9
3	79	2
3	79	2
3	79	2
3	78	2,1
2	77	2,1
3	78	2,2
7	78	2,2
9	77	2,2
0	78	2,3



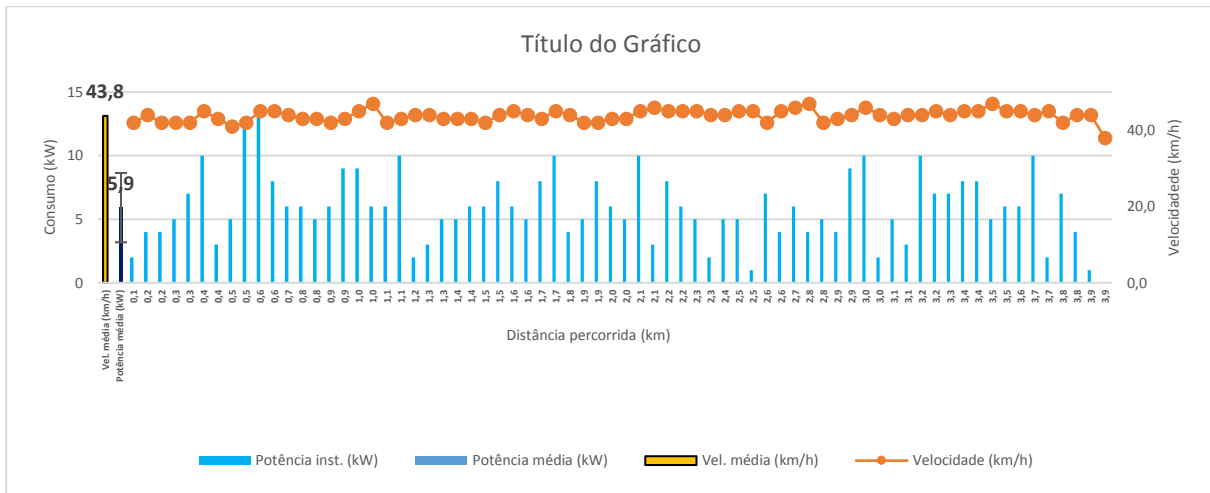
Teste 4		
Potência inst. (kW)	Velocidade (km/h)	Distância percorrida (km)
5	41	0,2
5	42	0,3
6	44	0,3
2	45	0,4
5	45	0,5
5	45	0,5
5	46	0,6
3	46	0,6
2	45	0,7
1	44	0,7
2	43	0,8
5	43	0,8
6	43	0,9
6	44	1
6	46	1
8	47	1,1
1	44	1,1
4	42	1,2
3	42	1,2
7	42	1,3
5	43	1,3
4	44	1,4
6	44	1,5
3	45	1,5
3	44	1,6
4	44	1,6
13	45	1,7
3	46	1,7
3	45	1,8
5	45	1,9
2	45	1,9
3	44	2
7	44	2
4	45	2,1



Teste 5		
Potência inst. (kW)	Velocidade (km/h)	Distância percorrida (km)
4	65	0,3
3	64	0,3
4	62	0,4
4	61	0,5
7	60	0,6
9	61	0,7
8	62	0,7
5	62	0,8
6	61	0,9
6	60	1
4	59	1
6	59	1,1
9	59	1,2
11	60	1,3
11	63	1,4
10	64	1,4
3	65	1,5
3	61	1,6
4	60	1,7
4	59	1,8
5	58	1,8
4	57	1,9

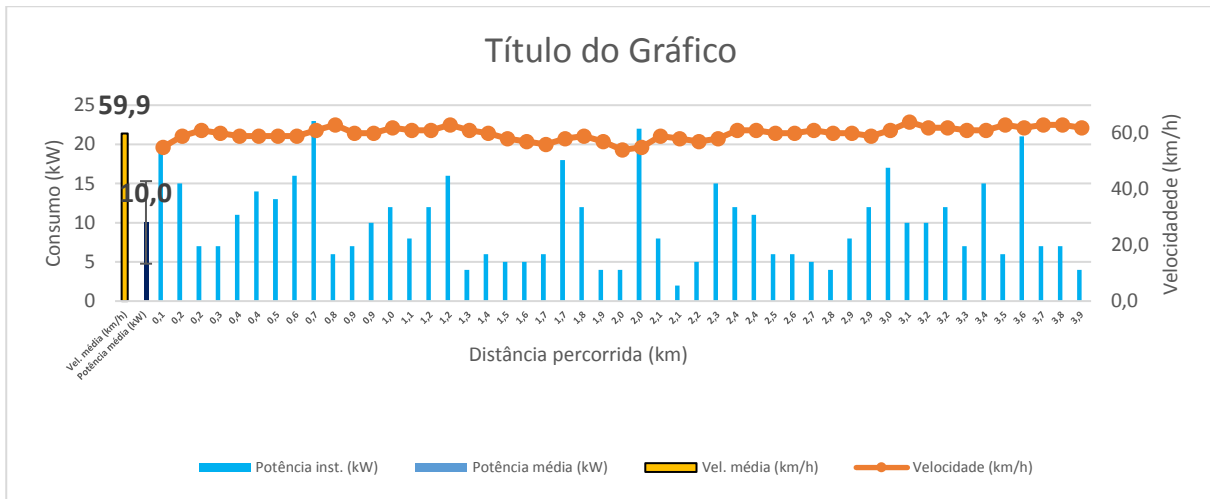


Teste 6		
Potência inst. (kW)	Velocidade (km/h)	Distância percorrida (km)
16	85	0,5
13	85	0,5
4	85	0,5
0	83	0,6
4	82	0,6
5	80	0,7
5	80	0,7
6	79	0,8
5	78	0,8
6	77	0,8
6	77	0,9
9	77	0,9
10	77	1
12	77	1
13	77	1
10	77	1,1
10	77	1,1
11	77	1,2
13	77	1,2
15	78	1,2
13	78	1,3
13	78	1,3
13	78	1,4
15	79	1,4
15	79	1,5
13	79	1,5
14	80	1,6
14	80	1,6
16	81	1,6
13	81	1,7
13	81	1,7
13	81	1,8
14	82	1,8
13	82	1,8
11	82	1,9
12	82	1,9
9	82	2



Teste 7		
Potência inst. (kW)	Velocidade (km/h)	Distância percorrida (km)
2	42	0,1
4	44	0,2
4	42	0,2
5	42	0,3
7	42	0,3
10	45	0,4
3	43	0,4
5	41	0,5
13	42	0,5
13	45	0,6
8	45	0,6
6	44	0,7
6	43	0,8
5	43	0,8
6	42	0,9
9	43	0,9
9	45	1
6	47	1
6	42	1,1
10	43	1,1
2	44	1,2
3	44	1,3
5	43	1,3
5	43	1,4
6	43	1,4
6	42	1,5
8	44	1,5
6	45	1,6
5	44	1,6
8	43	1,7
10	45	1,7
4	44	1,8
5	42	1,9
8	42	1,9
6	43	2
5	43	2
10	45	2,1
3	46	2,1
8	45	2,2
6	45	2,2
5	45	2,3
2	44	2,3
5	44	2,4
5	45	2,5
1	45	2,5
7	42	2,6
4	45	2,6
6	46	2,7
4	47	2,8
5	42	2,8
4	43	2,9
9	44	2,9
10	46	3
2	44	3
5	43	3,1
3	44	3,1
10	44	3,2
7	45	3,2
7	44	3,3
8	45	3,4
8	45	3,4
5	47	3,5
6	45	3,5
6	45	3,6
10	44	3,7
2	45	3,7
7	42	3,8
4	44	3,8
1	44	3,9
0	38	3,9





Teste 8		
Potência inst. (kW)	Velocidade (km/h)	Distância percorrida (km)
19	55	0,1
15	59	0,2
7	61	0,2
7	60	0,3
11	59	0,4
14	59	0,4
13	59	0,5
16	59	0,6
23	61	0,7
6	63	0,8
7	60	0,9
10	60	0,9
12	62	1
8	61	1,1
12	61	1,2
16	63	1,2
4	61	1,3
6	60	1,4
5	58	1,5
5	57	1,6
6	56	1,7
18	58	1,7
12	59	1,8
4	57	1,9
4	54	2
22	55	2
8	59	2,1
2	58	2,1
5	57	2,2
15	58	2,3
12	61	2,4
11	61	2,4
6	60	2,5
6	60	2,6
5	61	2,7
4	60	2,8
8	60	2,9
12	59	2,9
17	61	3
10	64	3,1
10	62	3,2
12	62	3,2
7	61	3,3
15	61	3,4
6	63	3,5
21	62	3,6
7	63	3,7
7	63	3,8
4	62	3,9

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- A Origem das Coisas*. (2018). Acesso em 10 de Maio de 2018, disponível em [//aorigemdascoisas.wordpress.com](http://aorigemdascoisas.wordpress.com)
- ARRB Group*. (2018). Acesso em 24 de Maio de 2018, disponível em <http://arrbgroup.net/products/walking-profiler-g3/>
- ASTM E 867-04, A. S. (2004). *Terminology relating to Vehicle- Pavement Systems*. ASTM, Estados Unidos.
- Auto Concept*. (2018). Acesso em 10 de Maio de 2018, disponível em <http://www.autoconcept-reviews.com>
- Autoo*. (2018). Acesso em 10 de Maio de 2018, disponível em [www.autoo.com.br](http://www.autoo.com.br)
- BARAN, R. (2012). *A introdução de veículos elétricos no brasil: avaliação do impacto no consumo de gasolina e eletricidade*. COPPE - UFRJ, Rio de Janeiro.
- BARASSA, E. (2015). *Trajatória tecnológica do veículo elétrico: atores, políticas e esforços tecnológicos no brasil*. UniCAMP, Campinas.
- BARELLA, R. M. (2008). *Contribuição para a avaliação da irregularidade longitudinal de pavimentos com perfilômetros inerciais*. Politécnicade São Paulo - universidade de São Paulo , São Paulo.
- BYD. (19 de Novembro de 2018). Fonte: <http://www.byd.com>
- BYD Company*. (2018). Fonte: <https://bydcompany.wordpress.com/news/auto/e6/>
- CAREY, W. N., & IRICK, P. E. (1960). The Pavement serviceability - Performance Concept. *Highway Research Board, HBR bulletin*, pp. 40-58.

CHAN, C. (2013). The Rise & Fall of Electric Vehicles in 1828–1930: Lessons Learned. *Scanning Our Past*, 206-212.

*Ciber Métrica*. (2018). Acesso em 16 de Junho de 2018, disponível em <http://www.cibermetrica.com.br/CiberLaser.html>

COWAN, R., & HULTÉN, S. (1996). Escaping Lock-in: The Case of Electric Vehicle. *Technological Forecasting Social Change*, 61-79.

CUNDILL, M. A. (1996). *The Merlin Road Roughness Machine: User Guide*. Transport Research Laboratory, Londres.

*Daimler*. (2018). Acesso em 10 de Maio de 2018, disponível em [www.daimler.com/company/tradition/company-history/1885-1886.html](http://www.daimler.com/company/tradition/company-history/1885-1886.html)

DNER. (2000). *O Sistema de Gerenciamento de Pavimentos do DNER*. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem.

DNER PRO 164/94, D. N. (1994). *Calibração e controle de sistemas medidores de irregularidade de superfície de pavimento (Sistemas integrados IPR/USP e Maysmeter)*. DNER, Rio de Janeiro.

DNIT, D. N. (2011). *Manual de Gerência de Pavimentos*. DNIT, Rio de Janeiro.

Dynatest. (19 de Novembro de 2018). Fonte: <http://dynatest.com.br/>

ELETRONICS, E. (19 de Novembro de 2018). *ELM ELETRONICS*. Fonte: <https://www.elmelectronics.com>

*Face Construction Technologies Inc.* (2018). Acesso em 24 de Maio de 2018, disponível em <http://www.dipstick.com/>

Fernandes, F. M. (2017). *Software de Gerenciamento de Pavimentos Aplicado a Vias urbanas de Cidades de Pequeno a Médio Porte*. Universidade federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

*Flat Out*. (2018). Acesso em 10 de Maio de 2018, disponível em [www.flatout.com.br](http://www.flatout.com.br)

FLINK, j. j. (1970). *America Adopts the Automobile, 1895-1910*. Cambridge, Massachusetts: Cambridge, Mass. : MIT Press.

*FLUKE*. (2018). Acesso em 16 de Junho de 2018, disponível em <http://www.fluke.com>

Gillespie, T. (22-24 de September de 1992). Everything you always wanted to Know about the IRI, but were afraid to ask! *Road Profile Users Group Meeting*, p. 13.

*Groupe Renault*. (2018). Acesso em 16 de Junho de 2018, disponível em <http://www.imprensa.renault.com.br/produto/item/kangoo-ze/pt>

HAAS, R., & HUDSON, W. R. (1994). *Future Directions and Needs for Innovation in Pavement Management*. International Conference on Managing Pavements, San Antonio.

HOBBSAWM, E. J. (1995). *A Era das Revoluções: 1789-1848*. (2ª ed., Vol. II). (M. Santarrita, Ed.) São Paulo: Companhia das Letras.

HOYER, K. (2008). The history of alternative fuels in transportation: The case of electric and hybrid cars. *Science Direct*, 63-71.

HVEEM, F. (1960). Devices for Recording and Evaluating Pavement Roughness. *Highway Research Board Bulletin 264*, pp. 1-26.

KERALI, G. G. (2000). *Volume one: Overview of HDM - 4*. University of Birmingham , Birmingham.

- LARMINIE, J., & LOWRY, J. (2003). *Electric Vehicle Technology Explained* (1ª ed.). Chichester: John Eiley and Sons Ltd.
- NUNES, D. F. (2012). *Procedimento para a Análise de Sensibilidade do Programa HDM-4*. Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo, São Carlos.
- PEIXOTO, L. R. (2012). *Monitoramento de Descarga de Bateria com o uso de Microprocessador ARM*. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- Phoenix Scientific Inc.* (2018). Acesso em 24 de Maio de 2018, disponível em <http://www.phnx-sci.com/PPS/Installation/Installation.html>
- REVOREDO, T. C. (2007). *Modelagem e gerenciamento de potência de um veículo elétrico híbrido de célula a combustível*. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- RTAC. (1977). *Pavement Management Guide*. Roads and Transportation Association of Canada, Ottawa.
- SAYERS, M. W., & KARAMIHAS, S. M. (1998). *The Little Book of Profiling - Basic Information about Measuring and Interpreting Road Profiles*.
- Sovacool, B. K., & Hirsh, R. F. (2008). Beyond batteries: An examination of the benefits and barriers to plug-in hybrid electric vehicles (PHEVs) and a Vehicle to grid (V2G) transition. *Elsevier*, 1095-1103.
- Struben, J., & Sterman, J. D. (2006). Transition Challenges for Alternative Fuel Vehicle and transportation systems. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 1070-1097.
- TIMM, D. H., & McQUEEN, J. M. (2004). *A Study of Manual vs. Automated Pavement Condition Surveys*. Alabama Department of Transportation, Montgomery.

*Toyota.* (2018). Acesso em 16 de Junho de 2018, disponível em <https://www.toyota.com.br/modelos/prius/>

TOYOTA. (2018). *MANUAL DO PROPRIETARIO.*

*Vias Romanas.* (2018). Acesso em 23 de Maio de 2018, disponível em <http://www.viasromanas.pt/vrnews.html>