



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

GUILHERME MEDEIROS SOARES DE ANDRADE

**DESENVOLVIMENTO DE MÉTODO SIMPLIFICADO DE CONSTRUÇÃO E
ANÁLISE DE CICLOS DE CONDUÇÃO LOCAIS PARA CARROS E MOTOS: um
estudo de caso no horário fora de pico na cidade do Recife**

Recife
2020

GUILHERME MEDEIROS SOARES DE ANDRADE

**DESENVOLVIMENTO DE MÉTODO SIMPLIFICADO DE CONSTRUÇÃO E
ANÁLISE DE CICLOS DE CONDUÇÃO LOCAIS PARA CARROS E MOTOS: um
estudo de caso no horário fora de pico na cidade do Recife**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para obtenção do título de Doutor em Engenharia Mecânica.

Área de concentração: Energia.

Orientador: Prof. Dr. Fábio Santana Magnani.

Recife

2020

Catálogo na fonte
Bibliotecária Margareth Malta, CRB-4 / 1198

A553e

Andrade, Guilherme Medeiros Soares de.

Desenvolvimento de método simplificado de construção e análise de ciclos de condução locais para carros e motos: um estudo de caso no horário fora de pico na cidade do Recife / Guilherme Medeiros Soares de Andrade. - 2020.

134 folhas, il., gráfs., tabs.

Orientador: Prof. Dr. Fábio Santana Magnani.

Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, 2020.

Inclui Referências, Apêndice e Anexo.

1. Engenharia mecânica. 2. Carros. 3. Motos. 4. Ciclo de condução. 5. Tráfego. I. Magnani, Fábio Santana (Orientador). II. Título.

UFPE

621 CDD (22. ed.)

BCTG/2020-290

GUILHERME MEDEIROS SOARES DE ANDRADE

**DESENVOLVIMENTO DE MÉTODO SIMPLIFICADO DE CONSTRUÇÃO E
ANÁLISE DE CICLOS DE CONDUÇÃO LOCAIS PARA CARROS E MOTOS: um
estudo de caso no horário fora de pico na cidade do Recife**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para a obtenção do título de Doutor em Engenharia Mecânica.

Aprovada em: 14/12/2020.

BANCA EXAMINADORA

Participação via Videoconferência

Prof. Dr. Fábio Santana Magnani (Orientador)
Universidade Federal de Pernambuco

Participação via Videoconferência

Prof. Dr. Jorge Recarte Henriquez Guerrero (Examinador Interno)
Universidade Federal de Pernambuco

Participação via Videoconferência

Prof. Dr. Ramiro Brito Willmersdorf (Examinador Externo)
Universidade Federal de Pernambuco

Participação via Videoconferência

Prof. Dr. Sérgio Peres Ramos da Silva (Examinador Externo)
Universidade de Pernambuco

Participação via Videoconferência

Prof. Dr. Bruno Vieira Bertoncini (Examinador Externo)
Universidade Federal do Ceará

AGRADECIMENTOS

Este trabalho é fruto da ajuda de diversas pessoas, as quais presto meus sinceros agradecimentos e minha homenagem.

Agradeço primeiro a Deus, por ter permitido chegar ao fim deste projeto e ter superado todas as barreiras pessoais e profissionais encontradas ao longo desses 4 anos de doutorado.

Agradeço aos meus pais, Reginaldo Júnior e Taciane, pela dedicação em uma fase tão importante na formação de um ser humano, nutrindo o corpo e a mente de forma a incentivar o cientista latente. Ao meu irmão, Reginaldo Neto, que foi um grande incentivador dos meus estudos, assim como apoio técnico nos experimentos e na decisão de continuar meu desenvolvimento intelectual.

À amiga e Tia Tereza, que sempre apoiou o meu desenvolvimento acadêmico, e a todos os meus familiares, que sempre apoiaram a minha opção pelo desenvolvimento acadêmico.

Aos amigos e colegas de doutorado e grupo de pesquisa, Fernando e Maurício, com quem dividi as dificuldades encontradas ao longo deste projeto.

Ao professor Sílvio Garner, de DECart-UFPE, que sempre se prontificou em nos ajudar na coleta de informações com o seu receptor de GPS de alta precisão.

Ao jornalista automotivo Marcelo Barros, que forneceu informações técnicas para a motocicleta de teste.

À Autarquia de Trânsito e Transporte Urbano do Recife (CTTU) que, por meio do Sr. Fabiano Ferraz – Gerente Geral de Operação e Fiscalização, sempre se prontificou em nos disponibilizar os registros de tráfego das vias do Recife nos dias e horários solicitados.

Por fim, ao meu orientador, o professor Dr. Fábio Magnani, que utilizou da sua visão acadêmica e paixão pelo motociclismo para dar a devida luz às teorias e pensamentos aqui apresentados, assim como por todo o suporte na realização dos testes de rua e posteriores análises, permitindo, dessa forma, que a tese tivesse o caráter e a forma que um trabalho como este deve e merece ter.

RESUMO

Como forma de caracterizar e quantificar o tráfego e o consumo de combustível nas cidades é costume adotar um ciclo padrão que possibilite, de forma reproduzível, aferir as emissões e consumo dos veículos em laboratório, seguindo a norma local. Os ciclos padrão, por se tratar de ciclos genéricos construídos para abranger uma ampla região, não conseguem representar as especificidades de cada cidade, mas, fornecem uma média do conjunto. Devido à esta deficiência dos ciclos padrão, foi desenvolvido, neste trabalho, um método simplificado de construção de um ciclo de condução específico, que demanda apenas um GPS de celular, veículos, pilotos de teste e de um modelo computacional criado com a finalidade de quantificar os parâmetros cinemáticos de um ciclo de condução e o consumo de um determinado veículo nesse ciclo. O método desenvolvido foi aplicado para a criação do ciclo de condução da cidade do Recife, sendo possível a análise do ponto de vista energético (consumo de combustível) e cinemático (velocidades e acelerações médias, tempo, distância, dentre outros parâmetros) das diferenças existentes entre o tráfego médio do Recife e o ciclo imposto pela norma brasileira NBR 7024:2017, da Associação Brasileira de Normas Técnicas, para qualquer veículo (carro ou moto) que se deseje avaliar. A análise dos ciclos do Recife mostrou que existe uma grande diferença entre as características de carros e motos (velocidade 43% maior para as motos). Ao compará-los ao ciclo padrão imposto, os carros apresentam velocidade inferior (43%) e aceleração similar. Já as motos apresentam velocidade similar, porém aceleração superior (57%). Para a análise energética feita para a frota brasileira de veículos, os estudos mostraram que existe um erro médio de 24% (a menos) no consumo de combustível entre o ciclo padrão de condução e o medido na cidade do Recife. Um levantamento realizado em 28 ciclos de condução locais para carros ao redor do mundo mostrou que existe uma variação média de 17% entre o consumo esperado nos ciclos e de 28% na velocidade média, revelando que não é possível, com um ciclo padrão, representar todas as regiões pelo recém exposto, o que evidencia que há necessidade de se construir e aplicar ciclos locais sempre que for possível. Além disso, foi possível evidenciar que existe uma forte correlação entre a autonomia e os níveis de aceleração nos ciclos de condução locais ao redor do mundo.

Palavras-chave: Carros. Motos. Ciclo de condução. Tráfego.

ABSTRACT

As a way of characterizing and quantifying traffic and fuel consumption in cities, it is customary to adopt a standard cycle that makes it possible, in a reproducible way, to measure vehicle emissions and consumption in the laboratory, following a local standard. The standard cycles, being generic and adopted to represent an entire region, cannot represent the specificities of each city, but provide an average of the city set. As a result of this deficiency in the standard cycles of representing all cities well, a simplified method was created in this work to create a specific driving cycle, which requires only a cell phone GPS, vehicles, test pilots and a computational model created for the purpose of quantifying the kinematic parameters of a driving cycle and the consumption of a given vehicle in that cycle. This method was applied for the creation of the driving cycle of the city of Recife, being possible an analysis from the energy point of view (fuel consumption) and kinematic (average speed and average accelerations, time, distance, other parameters) of the existing differences between the Recife's average traffic and the cycle imposed by the Brazilian standard NBR 7024:2017, of the Brazilian Association of Technical Standards, for any vehicle (car or motorcycle) that need to be evaluate. The analysis of the Recife cycles revealed that there is a big difference between the characteristics of cars and motorcycles (43% higher speed for motorcycles). When comparing the Recife cycles to the Standard Driving Cycle imposed, cars have a lower speed in Recife (43%) and similar acceleration, and the motorcycles have similar speed, but higher acceleration (57%). For an energy analysis carried out for the Brazilian vehicle fleet, the studies show that there is an average error of 24% in fuel consumption between the standard driving cycle and that measured in the city of Recife. A survey conducted on 28 local driving cycles for cars around the world revealed that there is an average variation of 17% between the expected consumption in the cycles, revealing that it is not possible with a standard cycle to represent all regions. These differences show the need to develop a local cycle to quantify the consumption of vehicles in the city of Recife.

Keywords: Cars. Motorcycles. Driving Cycle. Traffic.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Procedimentos de teste padrão pelo mundo.....	17
Figura 2 – Ciclo de condução ECE15	23
Figura 3 – Ciclo padrão NEDC	24
Figura 4 – Ciclo padrão WLTC	24
Figura 5 – Etiqueta INMETRO classificação consumo veicular	26
Figura 6 – Área frontal do conjunto	29
Figura 7 – Variação do coeficiente de rolagem com a velocidade e o tipo de pneu	30
Figura 8 – Variação do coeficiente de rolagem com o tipo de piso	30
Figura 9 – Aplicação da força peso no deslocamento de um veículo em um plano inclinado	31
Figura 10 – Força de inércia no movimento de um veículo	32
Figura 11 – Forças resistivas ao movimento - VW Gol 1.0 2014 – $f_0 = 101,23 \text{ N}$ e $f_2 = 0,0405 \text{ N} \cdot (\text{km} \cdot \text{h}^{-1})^2$	33
Figura 12 – Ciclo padrão FTP-75 separado em seus estágios	39
Figura 13 – Correção autonomia medida na cidade e na estrada	40
Figura 14 – Ciclos padrão.....	41
Figura 15 – Ciclo padrão japonês - JC08	45
Figura 16 – Estágios do Ciclo WMTC para motos	47
Figura 17 – Ciclo de condução SAE J227	47
Figura 18 – Estágios de velocidade e aceleração de um CC	48
Figura 19 – Divergência entre as medições padrão e os valores rua	50
Figura 20 – Definição de uma micro-viagem aleatória	61
Figura 21 – Fluxograma do método adotado de análise energética	64
Figura 22 – Percorso teste CD - Av. Reitores - UFPE	73
Figura 23 – Percorso escolhido para o levantamento do Floating Recife	77
Figura 24 – Divisão da rota de análise em 4 zonas e sinais de trânsito com registro de velocidade.....	80
Figura 25 – Estimativa de dados no WEBPLOTDIGITIZER para o FTP-75.....	81
Figura 26 – Ciclo de condução FTP-75 a) antes da aplicação do filtro, b) após a aplicação do filtro	82
Figura 27 – Exemplos de CCL em que não foi possível se realizar a análise	83
Figura 28 – Fluxograma da obtenção dos parâmetros de caracterização	84
Figura 29 – Estrutura captação dados GPS 10hz a) Estrutura de fixação do GPS	

b) Fixação do GPS na estrutura c) GPS fixo para correção de posição e GPS móvel	85
Figura 30 – Comparativo GPS 10hz vs. GPS celular - teste 11/04 (sem filtro)	86
Figura 31 – Comparativo GPS celular vs OBD carro - teste 11/04.....	87
Figura 32 – Comparativo entre as velocidades médias registradas pelos veículos e a obtida pelo Google Maps a) testes com motos; e b) testes com carros	87
Figura 33 – Comparativos de velocidades carros - teste 02/04	88
Figura 34 – Comparativo de velocidades motos - teste 02/04.....	89
Figura 35 – Potência dinamômetro do veículo VW Gol 1.0 e da moto Honda CB300	89
Figura 36 – Registro do teste de CD Honda CB300 e VW GOL	93
Figura 37 – Carga resistiva em função da velocidade.....	94
Figura 38 – Motocicleta (M) filtrando os carros (A e B) em um dia de teste na Avenida Abdias de Carvalho.....	96
Figura 39 – Ciclo de condução Recife: carro	100
Figura 40 – Ciclo de condução Recife: Moto.....	100
Figura 41 – Distribuição da frequência de velocidade-aceleração: moto.....	102
Figura 42 – Distribuição da frequência de velocidade-aceleração: carro.....	102
Figura 43 – Autonomia do Ciclo Padrão vs. Ciclo Recife para os veículos homologados 2017	105
Figura 44 – Porcentagem da autonomia de acordo com a situação de aceleração do veículo.....	106
Figura 45 – Autonomia da frota: Ciclos locais Mundo	107
Figura 46 – Demanda energética frota Brasil: Ciclo Padrão vs Ciclo Recife (carro)	108
Figura 47 – Demanda energética: Ciclos locais mundo	108
Figura 48 – Energia específica frota Brasil: Ciclo Padrão vs Ciclo Recife (carro).....	109
Figura 49 – Energia específica frota Brasil - Ciclos locais mundo	109
Figura 50 – Tendências para a autonomia em função da velocidade média e da aceleração média positiva.....	113
Figura 51 – Autonomia de combustível em função das faixas de aceleração média dos ciclos.....	114
Figura 52 – Velocidade e consumo de combustível para o CCL de Sidney e CCL para caminhões em rodovias de Toronto.....	114
Figura 53 – Autonomia pela percentagem do tempo em velocidade constante, aceleração, parado e em desaceleração	115

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Classificações do ciclo WLTC de acordo com o veículo	42
Quadro 2 – Comparativo de Legislações emissões	43
Quadro 3 – Norma e ciclo de condução de alguns países	46
Quadro 4 – Parâmetros de caracterização dos ciclos desenvolvidos.....	62
Quadro 5 – Cronograma de testes – floating Recife: carro e moto	78

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 –	Parâmetros descritivos Ciclos padrão	44
Tabela 2 –	Parâmetros para as 4 variações do ciclo SAE J227	48
Tabela 3 –	PC dos Ciclos de Condução Local (CCL) para carros	50
Tabela 4 –	PC dos Ciclos de Condução Local (CCL) para motos, ônibus e caminhões	51
Tabela 5 –	Consumo dos motores em marcha lenta.....	70
Tabela 6 –	Condições implementadas no filtro de ajuste dos ciclos de condução analisados	82
Tabela 7 –	Análise do erro na simulação do consumo ao se adotar CD médio	90
Tabela 8 –	Resultados da validação	91
Tabela 9 –	Valores de CD médio obtidos em teste para a Honda CB300 e o VW GOL	93
Tabela 10 –	Dados de consumo para a Honda CB300 e VW GOL	94
Tabela 11 –	Dados cinemáticos - Floatings Recife: carro.....	95
Tabela 12 –	Dados cinemáticos - Floatings Recife: moto.....	96
Tabela 13 –	Dados energéticos - Floatings Recife: carro	98
Tabela 14 –	Dados energéticos - Floatings Recife: moto	99
Tabela 15 –	Medidas de avaliação do ciclo de condução de Recife para automóveis e motocicletas.....	101
Tabela 16 –	Parâmetros característicos e energéticos para o ciclo de condução de motos no Recife (Honda CB 300).....	103
Tabela 17 –	Parâmetros característicos e energéticos para o ciclo de condução de carros em Recife (carro compacto com motor de 1,0 litro)	103
Tabela 18 –	Ciclo de Condução Local simulado para carros (Resultado dos PCVNE e de Energia)	110
Tabela 19 –	Ciclo de Condução Local simulados para outros veículos.....	112

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
Art.	Artigo
CAFE	Economia Média de Combustível Corporativa (Corporate Average Fuel Economy)
CARB	Conselho de Recursos Atmosféricos da Califórnia (California Air Resources Board)
CCL	Ciclo de condução local
CPC	Ciclo padrão de condução
CD	Teste de Resistência ao Deslocamento (Coast Down)
CO	Monóxido de Carbono
CO ₂	Dióxido de Carbono
CONPET	Programa Nacional de Racionalização do Uso dos Derivados do Petróleo e do Gás Natural
CTTU	Autarquia de Trânsito e Transporte Urbano do Recife
ECU	Unidade de Controle Eletrônico (Electronic Control Unit)
ENCE	Etiqueta Nacional de Conservação de Energia
EPA	Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos da América (United States Environmental Protection Agency)
EUDC	Ciclo de Condução Extra-Urbano (Extra-Urban Driving Cycle)
FTP-75	Procedimento de Teste Federal EPA (EPA Federal Test Procedure)
GEE	Gases do Efeito Estufa
GPS	Sistema de Posicionamento Global
HC	Hidrocarbonetos
HWFET	Ciclo de Teste de Economia de Combustível na Estrada (Highway Fuel Economy Test Cycle)
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial
IPEA	Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada
JC08	Ciclo de Condução de emissão japonês (Japanese Emission Drive Cycle)
LOST	Laboratório de Otimização de Sistemas Térmicos e de Estudos Sobre Bicicletas e Motocicletas

mpg	Milhas por Galão
MP	Material Particulado
NBR	Norma Brasileira de Regulamentação
NEDC	Novo Ciclo de Condução Europeu (New European Driving Cycle)
NMHC	Hidrocarbonetos não metano
OBD	Sistema de Diagnóstico a Bordo (On-Board Diagnostic)
PBEV	Programa Brasileiro de Etiquetagem Veicular
PC	Parâmetros de Caracterização
PC _{Orig}	Parâmetros característicos oficiais
PC _{VNE}	Parâmetros característicos obtidos pelo vetor numérico extraído da imagem
PC _{VNO}	Parâmetros característicos obtidos pelo vetor numérico oficial
SC03	Ciclo de Condução Ar-Condicionado Suplementar ao FTP (Air Conditioning "Supplemental FTP" driving schedule)
SFTP	Procedimento Federal Suplementar de Teste (Supplemental Federal Test Procedure)
TEP	Tonelada equivalente de petróleo
UDC	Ciclo de Condução Urbano (Urban Driving Cycle)
UDDS	Plano de Ciclo de Condução Urbano em Dinamômetro EPA (EPA Urban Dynamometer Driving Schedule)
US06	Plano de Ciclo de Condução de Alta Aceleração – Plano de Ciclos de Condução Suplementares FTP (High acceleration aggressive driving schedule - "Supplemental FTP" driving schedule)
VLP	Veículo Leve de Passageiros
VNE	Vetor numérico extraído
VNO	Vetor numérico original
WLTC	Ciclo de teste de veículos leves harmonizados em todo o mundo (Worldwide Harmonised Light Vehicles Test Cycle)
WMTC	Ciclo de teste de motocicleta mundialmente harmonizado (Worldwide Harmonised Motorcycle Test Cycle)

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
1.1	OBJETIVOS	19
1.1.1	Objetivo Geral.....	19
1.1.2	Objetivos Secundários	20
1.1.3	Estrutura do Trabalho.....	20
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	22
2.1	DEFINIÇÃO DO CICLO DE CONDUÇÃO	22
2.2	REGULAMENTAÇÃO DE CONSUMO NO BRASIL	24
2.2.1	Programa Brasileiro de Etiquetagem Veicular (PBEV).....	24
2.3	NORMAS DE CONTROLE - MUNDO	26
2.3.1	Estados Unidos	27
2.3.2	União Europeia.....	27
2.4	FORÇAS ATUANTES SOBRE O VEÍCULO.....	28
2.4.1	Forças Aerodinâmicas (FA)	28
2.4.2	Forças de Rolagem (Frol)	29
2.4.3	Força Gravitacional (Fg)	31
2.4.4	Força de Inércia (Fine)	31
2.4.5	Conversão da Força de Resistencia pela NBR 10312.....	32
3	REVISÃO DA LITERATURA	34
3.1	CONTEXTO ENERGÉTICO	34
3.2	CARACTERIZAÇÃO DO CONSUMO E EMISSÕES DE COMBUSTÍVEL	37
3.2.1	Ciclo Padrão de Condução	37
3.2.1.1	Ciclo Padrão de Condução – Brasil	38
3.2.1.1.1	<i>Correção do Consumo</i>	<i>39</i>
3.2.1.2	Ciclo Padrão de Condução e sua Vigência – Em Alguns Países	40
3.2.2	Caracterização dos Parâmetros dos Ciclos de Condução	48
3.2.3	Ciclo de Condução Específico	49
3.2.3.1	Comparação de Parâmetros Cinemáticos e Energéticos de Ciclos de Condução ..	53
3.2.4	Construção de um Ciclo de Condução	54
3.2.5	Caracterização do consumo pela média da região	57
3.3	COMPARATIVO DOS MÉTODOS ADOTADOS NESTE TRABALHO COM OS PRINCIPAIS MÉTODOS PRESENTES NA LITERATURA	58

3.3.1	Instrumentação dos veículos	58
3.3.2	Coleta dos dados.....	59
3.3.3	Análise	59
4	MATERIAIS E MÉTODOS	60
4.1	MÉTODO DE CRIAÇÃO DE UM CICLO DE CONDUÇÃO	60
4.1.1	Criação do floating.....	60
4.2	MÉTODO DE ANÁLISE DE CICLOS DE CONDUÇÃO	63
4.2.1	Método de análise cinemática	63
4.2.2	Método de análise energética	63
4.2.2.1	Modelo do motor.....	64
4.2.2.1.1	<i>Obtenção Dados de Potência e Rendimento</i>	<i>64</i>
4.2.2.1.2	<i>Obtenção do Rendimento Máximo</i>	<i>65</i>
4.2.2.2	Modelo do Veículo.....	66
4.2.2.2.1	<i>Cálculo da rotação desejada do motor</i>	<i>66</i>
4.2.2.2.2	<i>Cálculo da potência desejada e disponível do motor</i>	<i>67</i>
4.2.2.2.3	<i>Análise da cinemática do veículo.....</i>	<i>68</i>
4.2.2.3	Modelo de consumo	69
4.2.2.3.1	<i>Estrutura do modelo e dados necessários.....</i>	<i>70</i>
4.2.2.3.2	<i>Dados de calibração</i>	<i>71</i>
4.2.2.3.3	<i>Fracionamento do Consumo.....</i>	<i>73</i>
4.2.2.3.4	<i>Quantificação do Consumo para o Ciclo Desejado</i>	<i>74</i>
4.2.2.3.5	<i>Quantificação da demanda energética do ciclo</i>	<i>75</i>
4.2.2.3.6	<i>Quantificação do consumo específico do ciclo.....</i>	<i>76</i>
4.2.2.4	Método de obtenção dos dados técnicos da frota brasileira.....	76
4.3	APLICAÇÃO DO MÉTODO DE CRIAÇÃO E ANÁLISE A RECIFE	76
4.3.1	Escolha dos veículos e motoristas	78
4.3.2	Cronograma de testes do ciclo local recife.....	78
4.3.3	Análise da representatividade do floating gerado.....	79
4.4	APLICAÇÃO DO MÉTODO DE ANÁLISE EM CICLOS AO REDOR DO MUNDO.....	80
4.4.1	Método de seleção dos Ciclos de Condução	80
4.4.2	Método de extração e filtro dos dados a partir de imagens	81
4.4.3	Método de obtenção dos PC dos Ciclos de Condução	83
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	85

5.1	VALIDAÇÃO DOS PROCESSOS REALIZADOS	85
5.1.1	Validação do GPS de celular.....	85
5.1.2	Método de validação das curvas de potência.....	89
5.1.3	Método de validação da extração dos ciclos locais: mundo	90
5.2	CICLO DE CONDUÇÃO LOCAL RECIFE.....	92
5.2.1	Obtenção dos dados de CD e consumo: carro e moto.....	92
5.2.2	Caracterização cinemática dos testes de rua e do ciclo padrão	94
5.2.3	Estudo energético dos <i>floatings</i> e do ciclo padrão.....	98
5.2.4	Criação dos ciclos locais de condução: carro e moto	99
5.2.5	Estudo comparativo entre os CCL e os CPC: carro e moto.....	102
5.3	COMPARATIVO ENERGÉTICO, FROTA BRASILEIRA, CICLO PADRÃO E FLOATING RECIFE	104
5.3.1	Consumo de combustível	105
5.3.2	Demanda energética e consumo específico da frota.....	107
5.4	ANÁLISE CICLOS LOCAIS MUNDO	110
5.4.1	Resultado dos PC _{VNE} para Ciclos de Condução Local	110
5.4.2	Análise de tendências	113
6	CONCLUSÃO	116
6.1	TRABALHOS FUTUROS	118
	REFERÊNCIAS	119
	ANEXO – PROTOCOLO DE ATENDIMENTO À SOLICITAÇÃO DE INFORMAÇÕES AO INMETRO.....	128
	APÊNDICE – ARTIGOS PUBLICADOS AO LONGO DESTE TRABALHO.....	130

1 INTRODUÇÃO

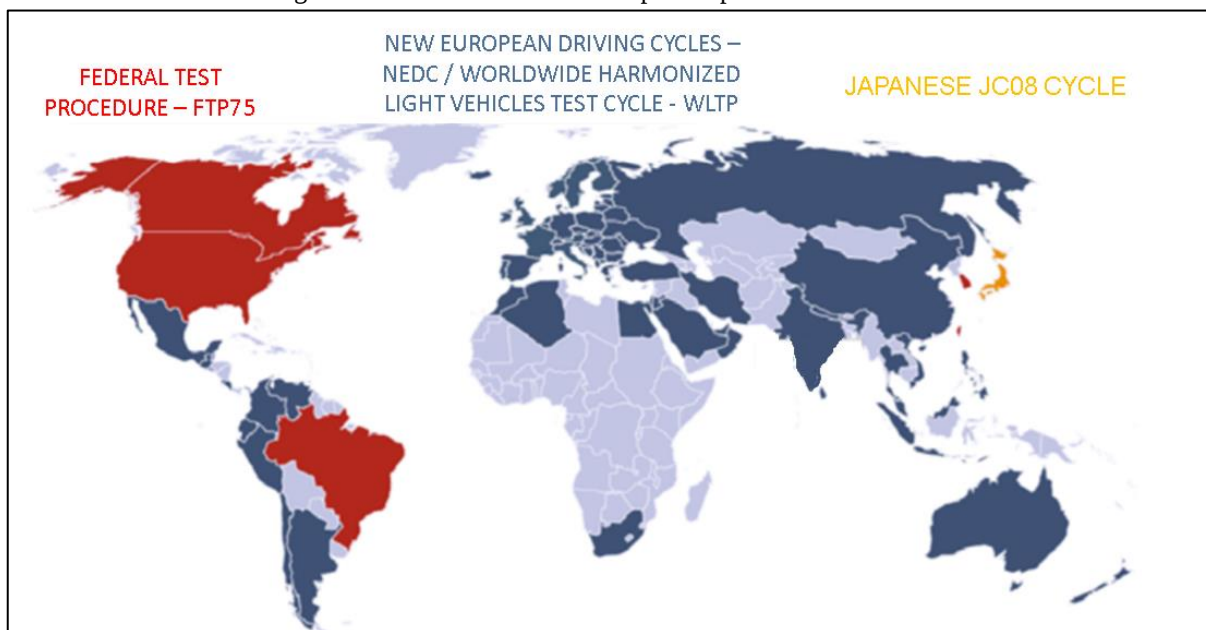
Um ciclo de condução é uma série de velocidade e tempo usado para representar o padrão de condução de veículos no tráfego do mundo real. Os ciclos de condução são usados para diversos fins: projeto de veículos (avaliação do impacto da modificação de peças do veículo, calibração do motor, escolha de pneus, consumo de combustível e dirigibilidade); otimização e avaliação de novas tecnologias; e avaliação dos níveis de emissão, conforme exigido pela legislação, tais como padrões de emissão europeus (EURO) e padrões de emissão brasileiros, definidos no Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores, em sua fase 6 (veículos leves), conhecida como PROCONVE L6.

Existem ciclos padrão de condução (CPC), usados para comparações em todo o país, e ciclos de condução locais (CCL), importantes para a análise regional. Esses CCL podem ser obtidos registrando o movimento real do veículo no trânsito, seguido de um método de tratamento dos dados coletados e da construção de um ciclo que preserva seus principais parâmetros cinemáticos.

O estudo dos CCL frente aos CPC é de grande valia, pois estudos no ramo automotivo mostram que tanto o consumo de combustível quanto as emissões são, na realidade, entre 8% e 60% maiores do que aqueles relatados pelos fabricantes de automóveis (HUERTAS et al., 2018b). Para tal afirmação, foi usada a hipótese que a representação incorreta dos padrões de condução locais de cada região, por meio de um único CPC para a homologação, é a principal fonte das diferenças observadas. Assim, há uma necessidade de criação de um Ciclo de Condução (CC) que represente os padrões de condução de uma determinada localidade e tipo de veículo. Cada região irá apresentar uma densidade média de tráfego diferente, com aceleração e velocidade média características, além de fatores topográficos únicos. Por isso, o consumo medido em laboratório, que segue um CPC, é provavelmente diferente do que é obtido nas ruas. A International Energy Agency (2019) comparou o consumo de combustível nos ciclos de condução no mundo real e na homologação, demonstrando um aumento na diferença ao longo do tempo. Na China, a diferença entre o mundo real e a homologação aumentou de 14%, em 2007, para 34% em 2017; na Europa, aumentou de 9%, em 2001, para 39% em 2017; enquanto no Japão, aumentou de 24%, em 2008, para 46% em 2014. Nos Estados Unidos, a diferença aumentou de 1%, em 2001, para 4% em 2007, passando para o valor de 8% em 2008, vindo quase a zerar em 2015, devido ao emprego de uma nova legislação com o uso de ciclos padrão mais condizentes da realidade local.

No geral, os CPC são adotados como base para análises oficiais de níveis de consumo e emissões. Basicamente, são adotados quatro procedimentos de teste no mundo (FTP, NEDC, WLTP e JC), que são os procedimentos de teste americanos, europeus e japoneses. Esses procedimentos também são adotados por outros países e regiões ao redor do mundo, de forma similar ou adaptada, como pode ser observado na Figura 1.

Figura 1 – Procedimentos de teste padrão pelo mundo



Fonte: Adaptado de Schütz (2016).

No Brasil, são adotados pelo Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO), como padrão de avaliação de consumo, os ciclos padrão americano: EPA FTP-75, para consumo nas cidades; e EPA HWFET, para o consumo nas estradas, embasadas nas especificações impostas pela norma ABNT NBR 7024, que determina os procedimentos técnicos e instrumentos laboratoriais para a quantificação dos níveis de consumo (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2017) e a ABNT NBR 6601, para a quantificação dos níveis de emissões dos veículos homologados para venda no Brasil (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2012).

Devido às inconsistências dos valores obtidos em laboratório, ao simular o consumo dos veículos segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas (2017), diante dos valores obtidos nas ruas pelos condutores, o Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO) lançou a Portaria n.º 10, de 11 de janeiro de 2012, que estabelece, em seu Art. 1º, que os consumos obtidos, segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas (2017), devem ser ajustados para melhor se adequarem às situações cotidianas brasileiras, a fim de minimizar a diferença entre os testes (BRASIL, 2012).

Como forma de demonstrar os valores de consumo corrigido dos carros homologados para venda no Brasil, conforme a Associação Brasileira de Normas Técnicas (2017), foi criado, em 2013, o Programa Brasileiro de Etiquetagem Veicular (PBEV), por meio do Decreto nº 7.819/2013, que regulou a Lei Nº 12.715/2012. Dessa forma, o governo incentivou o investimento da indústria automobilística na eficiência energética dos veículos e no conhecimento dos clientes sobre o consumo médio dos veículos, antes da sua compra, apresentando-se como um fator de análise na hora da escolha.

Para diminuir a discrepância entre o consumo informado pelos ciclos padrão e os valores obtidos em condições locais, é preciso abordar as características de cada localidade. É importante empregar um ciclo de condução local que contenha informações significativas sobre a frota de veículos, a topografia e o comportamento médio dos motoristas da região estudada (HUNG et al., 2007; MA et al., 2019). Os ciclos de condução locais são desenvolvidos para reduzir as diferenças entre os valores de emissão e consumo dos ciclos de condução padrão e os valores obtidos em testes do mundo real (MAYAKUNTLA; VERMA, 2018). Para tentar entender melhor o comportamento médio dos parâmetros cinemáticos em várias regiões do mundo, foi realizado, pelo Laboratório de Otimização de Sistemas Térmicos e de Estudos Sobre Bicicletas e Motocicletas (Grupo LOST), um levantamento de 77 ciclos de condução locais e um estudo de tendência entre esses ciclos locais e os CPC (oficiais). A análise mostrou que os CPC apresentam uma velocidade média de 38 km.h^{-1} contra 27 km.h^{-1} para os CCL, uma diferença média de 29%. Além disso, demonstrou que existe uma relação direta entre os níveis de aceleração média dos CCL com o consumo dos veículos (ANDRADE et al., 2020).

Como forma de ampliar esta análise e verificar a diferença entre CPC e CCL em qualquer região desejada, foi desenvolvido um método simplificado de criação e de validação da representatividade de um ciclo de condução local, através da realização de testes nos locais a serem representados pelo ciclo, com veículos equipados com GPS de celular (equipamento de fácil acesso). O método adotado permite a quantificação do consumo de qualquer veículo para o ciclo criado, por meio de um modelo computacional, desenvolvido para este estudo e da adoção de equipamentos de fácil acesso. Assim, foi possível conhecer o valor médio de consumo de um veículo (carro ou moto), em uma determinada localidade do país, além de possibilitar uma forma de quantificação do consumo médio de motocicletas, uma vez que não existe nenhum valor oficial de consumo, pois não contam com o sistema de etiquetagem do INMETRO (PBEV).

O método simplificado desenvolvido foi aplicado na criação de um ciclo de condução, em horário fora de pico, um para carro e um para moto, representativos da cidade do Recife. Cinco dias de testes foram realizados em uma rota representativa da cidade com o uso de um GPS de celular validado, obtendo 420 micro-viagens para carros e 305 para motos. Aplicou-se o Método das Micro-Viagens para analisar as viagens obtidas e, a partir delas, criou-se um ciclo de condução candidato que permitisse a comparação da dinâmica de cada um dos tipos de veículo na cidade (carro e moto). Verificou-se que os carros têm sua movimentação fortemente influenciada pelo trânsito, e as motos apresentam uma menor influência do trânsito em sua movimentação, devido a existência dos corredores.

Com o ciclo de condução para carros, foi possível realizar um estudo comparativo da representatividade do consumo, no horário fora de pico na cidade do Recife, entre a etiqueta do PBEV e o previsto pelo modelo computacional para a cidade do Recife. Verificou-se que existe uma boa correlação entre as condições simuladas para o Recife e o valor proposto pelo INMETRO (erro médio de 5%), porém isso não ocorre ao se comparar ciclo de condução locais ao redor do mundo, em que há uma variação média de 17% entre os consumos obtidos em cada ciclo local.

Frente a estas diferenças existentes entre as condições de cada realidade local e as representadas pelos CPC aplicados à região, este estudo objetiva mostrar se os CPC servem para representar as condições cinemáticas e energéticas de cada região. Além disso, CCL serão desenvolvidos e avaliados através de comparação entre os CCL gerados e com os CPC.

1.1 OBJETIVOS

Nesta seção serão apresentados os objetivos gerais e secundários, propostos por este trabalho.

1.1.1 Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho é propor e aplicar um método simplificado de criação de ciclo de condução para carros e motos na cidade do Recife, realizar análise cinemática e energética entre ciclos de condução locais e os ciclos padrões, e verificar se os ciclos padrões de condução são suficientes para representar diferentes localidades de forma adequada.

1.1.2 Objetivos Secundários

Os objetivos secundários são:

- a) Validar os métodos de criação e análise de um ciclo de condução;
- b) Validar a representatividade dos dados gerados nos testes;
- c) Padronizar as análises cinemáticas e energéticas;
- d) Calcular correlações entre as variáveis dos ciclos.

1.1.3 Estrutura do Trabalho

O capítulo 1 explana sobre a problemática do trabalho, abordando o contexto em que o trabalho está inserido e os assuntos que serão tratados no trabalho. Assim como alcançados ao longo da realização dos estudos. Seguido da indicação dos objetivos do presente trabalho e de sua estrutura.

Já no capítulo 2 se discute alguns conceitos básicos para o entendimento dos ciclos de condução, políticas de consumo e emissões e análise de forças resistivas ao movimento do veículo. O capítulo 3 apresenta uma grande revisão e contextualização dos principais estudos realizados na área de análise de consumo e emissões no Brasil e no mundo, demonstrando legislações, formas de desenvolvimento de ciclos padrão e ciclos específicos criados pelo mundo. Também é realizado um comparativo dos métodos adotados neste trabalho com os principais métodos adotados na literatura.

No capítulo 4 são discutidos os métodos adotados neste trabalho e a forma de aplicação dos métodos. Sendo assim abordado: o método de criação de um ciclo de condução local; o método de análise dos parâmetros cinemáticos e energéticos dos ciclos de condução; a aplicação dos métodos de criação e análise para a cidade do Recife; e por fim, a aplicação do método de análise em ciclos de condução local ao redor do mundo.

No capítulo 5, se verifica a validação dos processos e os resultados obtidos neste trabalho, para os estudos desenvolvidos: criação de um ciclo de condução Recife para carro e motocicleta; análise cinemática e energética dos ciclos de condução local Recife; análise de 40 ciclos locais ao redor do mundo. O capítulo 6 conclui este documento por meio da exposição das conclusões obtidas ao longo dos testes e análises realizados. Discute-se as respostas considerando os principais questionamentos do trabalho. Segue-se com a indicação de trabalhos futuros a serem realizados.

Finalmente, são incluídos dois apêndices na seguinte ordem: apêndice com a descrição do processo de obtenção dos dados técnicos dos veículos homologados no Brasil, por meio de solicitação ao INMETRO; e um segundo apêndice com as capas dos artigos e trabalhos de congressos gerados ao longo deste trabalho.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Esta seção contém os conceitos básicos de definição de ciclos de condução, políticas de consumo e emissões e análise de forças resistivas ao movimento do veículo, a fim de facilitar o entendimento do presente trabalho.

2.1 DEFINIÇÃO DO CICLO DE CONDUÇÃO

Como forma de representar as condições de tráfego do local e permitir a sua reprodução em laboratório, são criados os ciclos de condução. Os ciclos de condução são desenvolvidos aplicando dados obtidos em testes de rua e, em geral, esses testes são divididos de acordo com o tipo de rota, veículo, duração e níveis de velocidade (ROSO; MARTINS, 2015). Os ciclos devem ter uma duração média entre 600 s e 2400 s (ARUN et al., 2017).

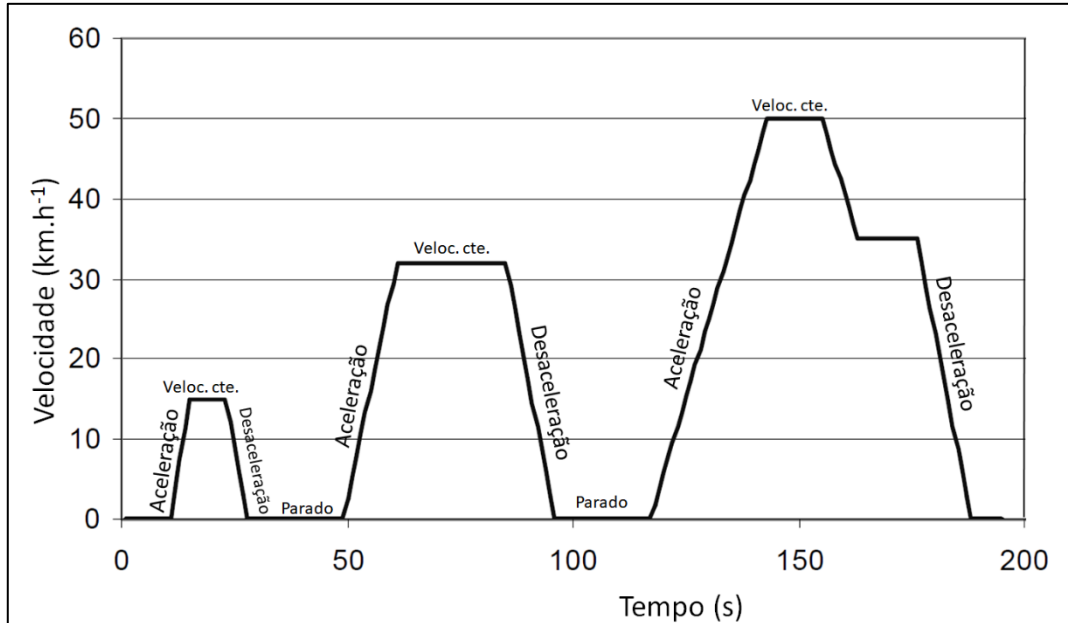
Um ciclo de condução envolve uma ampla gama de usuários: engenheiros de tráfego usam ciclo de condução para simulação do tráfego, controle de tráfego e cálculos de atrasos; já os engenheiros de automóveis fazem uso de ciclos de condução para o projeto e avaliação do desempenho do veículo (POURESMAEILI; AGHAYAN; TAGHIZADEH, 2018).

De acordo com Lai et al. (2013), um ciclo de condução representa um perfil de velocidade-tempo das características de condução, em uma determinada área, e os dados da atividade de condução, permitindo a sua reprodução. Já para Arun et al. (2017), os ciclos de condução caracterizam o comportamento do veículo nas vias, por meio de uma série de eventos de aceleração, desaceleração, marcha lenta e cruzeiro (Figura 2), e possuem uma ampla gama de usos, desde a concepção de sistemas de controle de tráfego até a determinação do desempenho dos veículos. Para Barlow et al. (2009), um ciclo de condução é um ciclo fixo de operação do veículo, que permite que um teste de emissão seja conduzido sob condições reproduzíveis.

Os ciclos de condução são geralmente definidos em termos da velocidade e seleção de marchas do veículo, em função do tempo. Um motorista treinado é empregado para seguir (reproduzir) o ciclo de condução no dinamômetro de chassi e um auxílio ao motorista é fornecido por um monitor que mostra a velocidade desejada em cada instante e a atual do veículo, sendo possível, por exemplo, uma variação na velocidade instantânea de $\pm 3,2 \text{ km.h}^{-1}$, pela legislação brasileira (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2012), e de $\pm 2 \text{ km.h}^{-1}$, pela europeia (GIAKOUMIS, 2016), de forma a garantir que o ciclo realizado

seja o mais próximo possível (*e.g.*, dentro das tolerâncias estabelecidas) do ciclo definido para o teste.

Figura 2 – Ciclo de condução ECE15

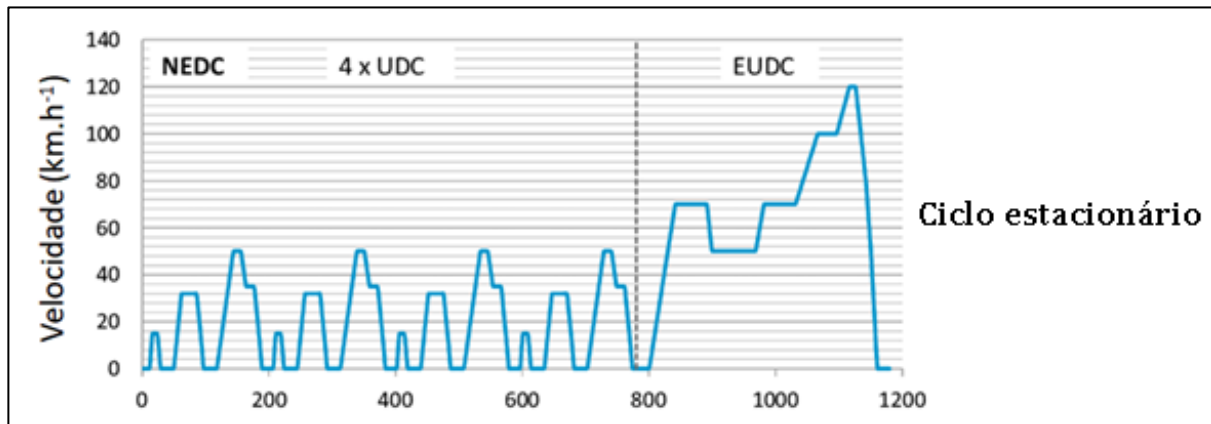


Fonte: Adaptado de Barlow *et al.* (2009).

Os ciclos de condução são usados principalmente por fabricantes e autoridades ambientais para avaliar o consumo de combustível e as emissões de poluentes de veículos, como parte do processo de regulamentação para introduzir novas tecnologias de veículos no mercado (HUERTAS; QUIRAMA; GIRALDO, 2019).

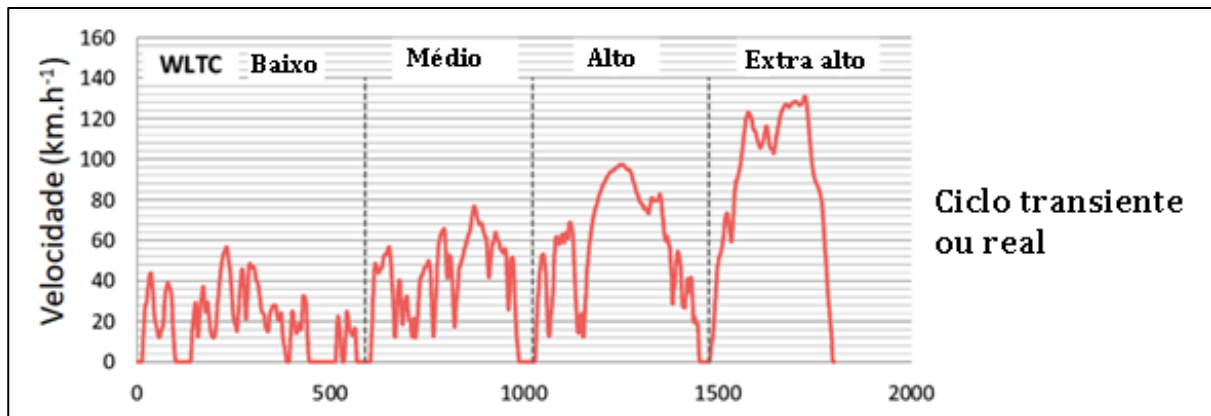
Os ciclos de condução podem ser categorizados como “ciclo estacionário” ou “ciclo transiente ou real” (KAMBLE; MATHEW; SHARMA, 2009). Um ciclo estacionário é uma sequência de velocidade constante do motor e de carga. Já um ciclo transiente ou real possui uma maior variação de níveis de aceleração e velocidade para o veículo (BARLOW *et al.*, 2009). Um exemplo clássico de ciclo estacionário é o Novo Ciclo de Condução Europeu, ou *New European Driving Cycle* (NEDC) (Figura 3), e de um ciclo transiente é o Ciclo de Teste de Veículos Leves Harmonizados em todo o mundo, ou *Worldwide Harmonised Light Vehicles Test Cycle* (WLTC) (Figura 4).

Figura 3 – Ciclo padrão NEDC



Fonte: Adaptado de Fontaras et al. (2017).

Figura 4 – Ciclo padrão WLTC



Fonte: Adaptado de Fontaras et al. (2017).

2.2 REGULAMENTAÇÃO DE CONSUMO NO BRASIL

O controle dos níveis de emissões e consumo de combustível no Brasil é regulamentado por alguns programas governamentais, estabelecidos por lei. Dentre eles, o Programa Brasileiro de Etiquetagem Veicular (PBEV), que rege de forma não obrigatória a divulgação dos níveis de consumo e emissão dos carros homologados no Brasil.

2.2.1 Programa Brasileiro de Etiquetagem Veicular (PBEV)

O Programa Brasileiro de Etiquetagem Veicular (PBEV) é um programa de eficiência energética para veículos leves, coordenado e regulamentado pelo INMETRO. O PBEV foi desenvolvido em parceria com o Programa Nacional da Racionalização do Uso dos Derivados do Petróleo e do Gás Natural (CONPET), programa vinculado ao Ministério de

Minas e Energia e implementado pela Petrobras (COSTA, 2017). O PBEV foi criado em 2008 para melhorar a eficiência energética da frota no Brasil, mas, pela baixa aderência da indústria ao programa, em decorrência da falta de incentivo por parte do Governo e a não obrigatoriedade de adesão por parte das empresas, seus impactos foram modestos (MELO; JANNUZZI; SANTANA, 2018).

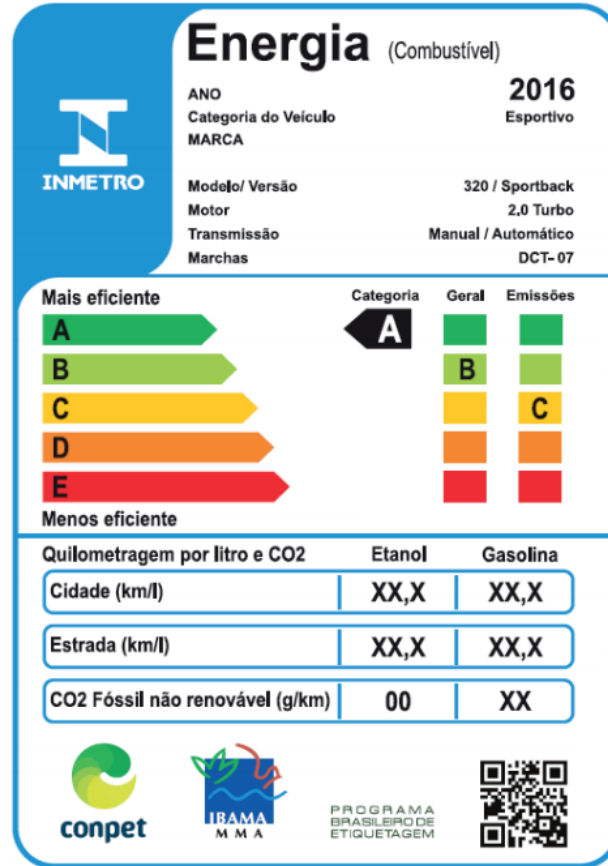
De acordo com Costa (2017), o PBEV tem por objetivo medir, padronizar e registrar o nível de eficiência energética de cada veículo etiquetado, de forma que venha a promover um maior nível de informação ao consumidor no exercício de sua demanda. Pressupõe-se, nesse programa de política energética, que a adesão ao programa de etiquetagem veicular influencia a demanda por inovações verdes, uma vez que o programa informa aos consumidores os diferentes níveis de eficiência energética entre modelos e versões de veículos. Portanto, o uso desse programa de normalização das medições de consumo veicular na política governamental busca diminuir a assimetria de informação no mercado automobilístico, de forma a incentivar a produção de veículos mais eficientes, pois disponibiliza as informações ao consumidor e melhora, potencialmente, o nível de exigência do mercado consumidor local.

No PBEV, uma etiqueta (Figura 5) é afixada de forma voluntária nos modelos participantes, denominada Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE), que classifica os modelos veiculares de acordo com a sua eficiência energética, na categoria a que pertence (SUV, sedã, compacto etc.). Além disso, traz informações sobre a autonomia do veículo em km por litro (km.L^{-1}) de combustível, na cidade e na estrada, sobre as emissões de gases ao efeito estufa (em CO_2 eq.) e gases poluentes, de acordo com as medições feitas em laboratório, seguindo as normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (2012, 2017). Além das informações presentes na ENCE, estão disponíveis também no site do PBEV os valores de consumo energético combinado (MJ.km^{-1}) de todos os carros avaliados desde o início do programa.

As medições laboratoriais normatizadas permitem que todos os modelos sejam testados de forma padronizada, em condições controladas, e feita uma comparação uniforme entre modelos de veículos diferentes, dentro de uma mesma categoria. Essa avaliação dos veículos, dentro de uma mesma categoria, é feita por meio da classificação de acordo com sua eficiência energética. Esta classificação vai de 'A' – mais eficiente – até 'E' – menos eficiente (BRASIL, 2013). São considerados mais eficientes os automóveis que, nas mesmas condições, gastam menos energia em relação a seus pares e, portanto, consomem menos combustível. Para comparar veículos que usam combustíveis diferentes, os valores de

consumo verificados no etanol e na gasolina são convertidos em MJ.km^{-1} (MORAES; MACHADO, 2015).

Figura 5 – Etiqueta INMETRO classificação consumo veicular



Fonte: Redação Autoesporte (2016).

Ademais, entende-se que a escolha do consumidor é baseada no preço do veículo, combinado à sua eficiência energética. A racionalidade do programa é a de que a etiquetagem levará o fabricante a introduzir inovações nos veículos, de forma que eles se tornem mais eficientes energeticamente e recebam etiquetas de melhor desempenho energético. Note-se que a adesão é voluntária, evoluindo ao longo dos anos.

2.3 NORMAS DE CONTROLE - MUNDO

Analisar as melhores práticas internacionais é fundamental para compreender e avaliar a política de eficiência veicular brasileira. Nesta pesquisa, observou-se as práticas nos Estados Unidos e na Europa.

2.3.1 Estados Unidos

De acordo com Lubetsky (2011), em resposta ao aumento de preços do petróleo no início da década de 1970, devido ao embargo árabe, foi aprovado pelo congresso americano, em 1975, a Economia Média de Combustível Corporativa, ou *Corporate Average Fuel Economy* (CAFE). A lei, originalmente, buscava dobrar a eficiência dos carros em 10 anos, de 13,5 mpg (5,8 km.L⁻¹) para 27,5 mpg (11,8 km.L⁻¹). No mesmo período, a eficiência de caminhões leves aumentou de 11,6 mpg (5 km.L⁻¹) para 19,5 mpg (8,4 km.L⁻¹). Durante a década de 80, com a queda dos preços do petróleo e *lobby* por parte de montadoras, não houve incremento na meta do programa por quase duas décadas.

Somente no ano de 2007, o congresso americano voltou a aumentar os padrões de eficiência da CAFE e, a partir de 2009, o governo passou a aumentar, progressivamente, os padrões de eficiência. Atualmente, as metas americanas são determinadas em termos de emissões de CO₂, de acordo com a distância percorrida. O programa tem como objetivo alcançar, até 2025, a emissão de 163 gramas de CO₂ equivalente por milha (101,3 gCO₂.km⁻¹), para veículos leves. Caso esse padrão de emissão seja alcançado somente por meio de maior eficiência dos veículos, isso significaria uma autonomia de 54,5 mpg (23,4 km.L⁻¹) (MORAES; MACHADO, 2015).

2.3.2 União Europeia

De acordo com Moraes e Machado (2015, p. 184):

A União Europeia buscou incentivar a eficiência da indústria automotiva por meio de acordos voluntários com as montadoras, que tinham o objetivo de atingir uma eficiência média de 140 gramas de CO₂ por quilômetro até 2008. Contudo a meta não foi atingida. Em abril de 2009, a Comissão Europeia estabeleceu regulações mandatórias com o objetivo de atingir a emissão média de 130 g CO₂.km⁻¹ para a frota no ano de 2015.

Sendo essa regulação baseada na massa do veículo, de forma similar à legislação brasileira, o valor máximo médio permitido de emissões para cada montadora, para o ano de 2015, é calculado pela seguinte equação:

$$(\text{gCO}_2/\text{km}) = 130 + a \cdot (M - M_0) \quad (1)$$

Em que:

“a” é o coeficiente angular da reta, igual a 0,0457;

“M” é a média ponderada da massa dos carros pelas vendas, para cada montadora;

“Mo” é igual a 1289 (massa média da frota à época da elaboração da regulação).

Através da equação 1, constrói-se uma curva de valores limites, chamada *limit value curve*, que é capaz de especificar a eficiência média mínima a ser atingida pelas montadoras. Desse modo, apenas a média da frota é regulada, o que permite que as montadoras continuem fabricando veículos com emissões acima das metas, se compensarem esses valores fabricando veículos abaixo delas. Posteriormente, a União Europeia estabeleceu novas metas e acordaram que as montadoras terão que reduzir as emissões médias de CO₂ de carros novos em 15% até 2025, e em 37,5% até 2030, referente aos níveis de emissões de 2021, quando é esperado 95 g.km⁻¹ (TIETGE, 2018).

2.4 FORÇAS ATUANTES SOBRE O VEÍCULO

Para o estudo do deslocamento de um corpo, algumas forças resistivas devem ser consideradas. Tais forças decorrem da resistência ao escoamento do ar sobre o veículo, ou força de arrasto (F_A); das forças de resistência à rolagem (F_{rol}); e da força de resistência devido a inclinação da pista (F_g). Tem-se, então, que as forças resistivas ao movimento são dadas por Cossalter (2006) como:

$$F_R = F_A + F_{rol} + F_g \quad (2)$$

Caso o veículo esteja em movimento acelerado, é necessário inserir o esforço referente à aceleração do veículo (F_{ine}):

$$F_R = F_A + F_{rol} + F_g + F_{ine} \quad (3)$$

2.4.1 Forças Aerodinâmicas (F_A)

De acordo com Cossalter (2006), a força de arrasto do veículo pode ser expressa pela equação 4. Para a análise das forças em motos, deve ser levado em consideração a área frontal da moto e do piloto, tendo impacto a posição do piloto na moto.

$$F_A = C_A \frac{\rho_{amb} (v_{veic} - w)^2 A_{front}}{2} \quad (4)$$

Em que:

C_A : Coeficiente de arrasto que indica a eficiência aerodinâmica do projeto;

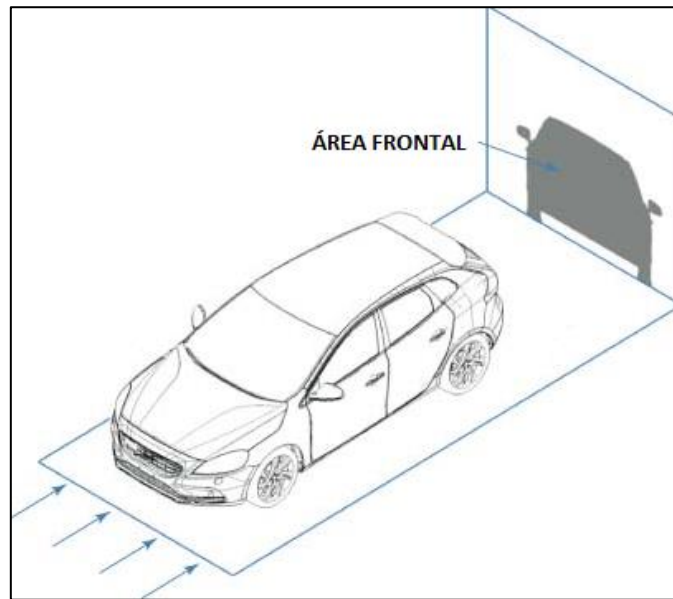
ρ_{amb} : Massa específica do ar (kg/m^3);

v_{veic} : Velocidade do veículo (m/s);

w : Velocidade do vento (m/s);

A_{front} : Área frontal do conjunto (m^2).

Figura 6 – Área frontal do conjunto



Fonte: Adaptado de Sebben; Walker; Landström (2014).

Ao longo do trabalho, o fator de arrasto (K_a) será tratado como $K_a = \frac{\rho_{amb} C_A A_{front}}{2}$ e dado em kg/m . Dessa forma, a equação 4 pode ser simplificada como:

$$F_A = K_A (v_{veic} - w)^2 \quad (5)$$

2.4.2 Forças de Rolagem (Frol)

Para a análise da resistência à rolagem dos pneus de um veículo, sem que haja escorregamento, deve-se verificar os esforços normais e cisalhantes criados sobre a região de contato do pneu com o solo. Para medir a Força de Rolagem, é possível aplicar um coeficiente de resistência à rolagem (C_R), que abrange a resistência à deformação do pneu e a carga normal aplicada (F_{NP}) (COSSALTER, 2006).

$$F_{rol} = C_R F_{NP} \cos(\phi) \quad (6)$$

Em que:

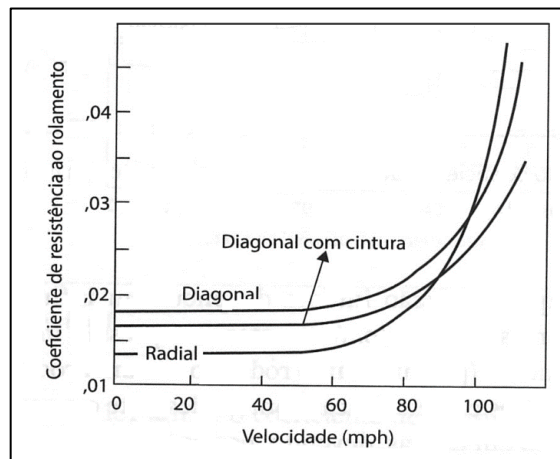
C_R : Coeficiente de resistência a rolagem do pneu

F_{NP} : força peso aplicada pelo pneu (N)

ϕ : Inclinação do piso

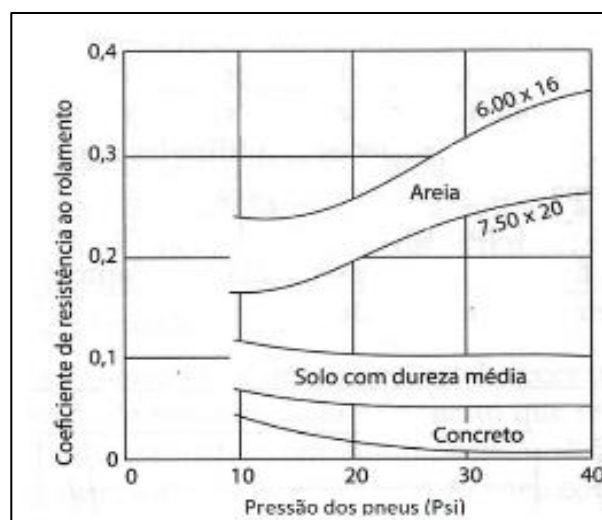
De acordo com Donadio (2009) alguns parâmetros influenciam a resistência à rolagem (Figura 6), como o tipo de pneu, dimensões, temperatura, condições de resistência à rolagem e principalmente a velocidade de deslocamento do veículo e calibragem dos pneus.

Figura 7 – Variação do coeficiente de rolagem com a velocidade e o tipo de pneu



Fonte: Brunetti (2012).

Figura 8 – Variação do coeficiente de rolagem com o tipo de piso



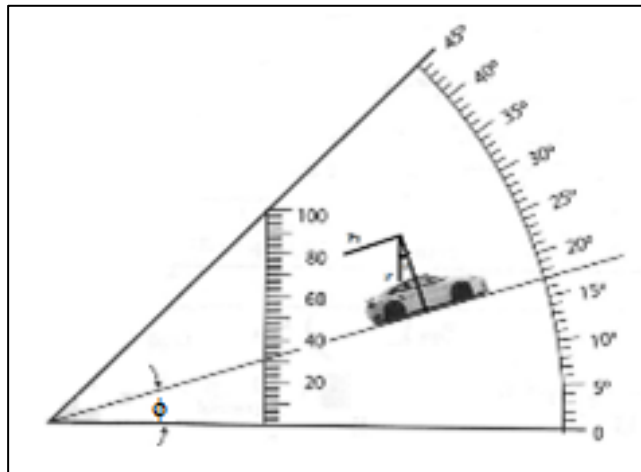
Fonte: Brunetti (2012).

2.4.3 Força Gravitacional (F_g)

No deslocamento do veículo em regiões com inclinação do piso, há o surgimento de uma força resistiva (veículo em subida) ou impulsora (veículo em descida) ao movimento, devido ao surgimento de um componente paralelo ao piso: a força gravitacional. De acordo com Cossalter (2006), a força de resistência gravitacional pode ser dada por:

$$F_g = mg \sin(\phi) \quad (7)$$

Figura 9 – Aplicação da força peso no deslocamento de um veículo em um plano inclinado



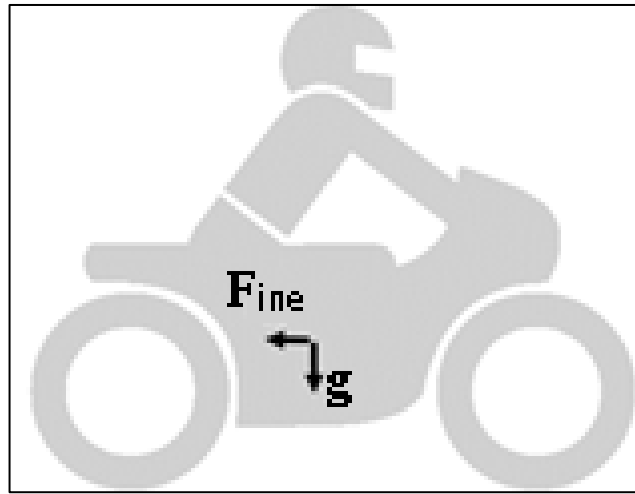
Fonte: Adaptado de Brunetti (2012).

2.4.4 Força de Inércia (F_{ine})

Em um deslocamento com aceleração, o veículo precisa vencer os esforços inerciais para elevar a velocidade com a aceleração desejada. Pela 2ª Lei de Newton:

$$F_{ine} = ma \quad (8)$$

Figura 10 – Força de inércia no movimento de um veículo



Fonte: Adaptado de Cunha (2016).

2.4.5 Conversão da Força de Resistência pela NBR 10312

A partir da equação da força resistiva ao movimento, tem-se:

$$F_R = F_A + F_{rol} + F_g \quad (2)$$

Substituindo as equações 5, 6 e 7 na equação 2, se obtém a expressão expandida (equação 9), para as forças resistivas ao movimento do veículo.

$$F_R = k_A(v_{veic} - W)^2 + C_R mg \cos(\phi) + mg \sin(\phi) \quad (9)$$

Para a situação de velocidade do vento nula e pista plana, a força de propulsão do veículo se iguala às forças resistivas ao movimento do veículo.

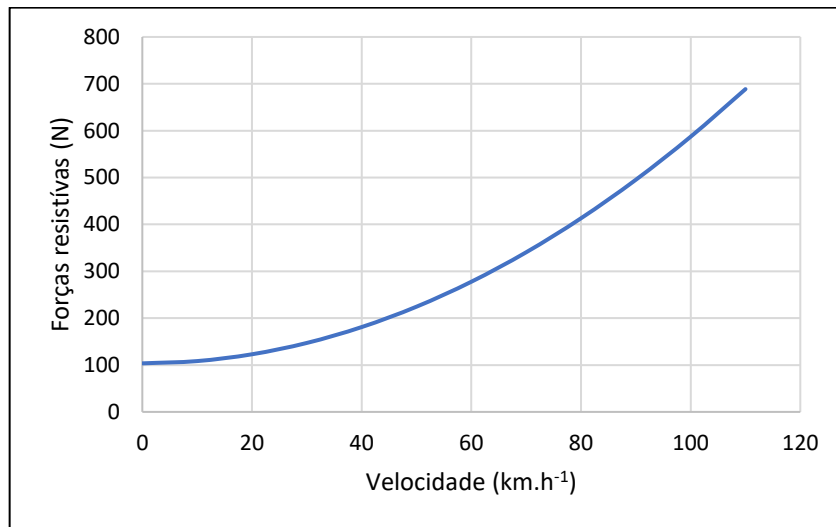
$$F_{resist} = k_A v_{veic}^2 + C_R mg \quad (10)$$

Como a F_{resist} apresenta um termo de 2ª ordem em relação a v (constante média aerodinâmica - k_A) e um conjunto de constantes referentes ao termo de ordem zero (constante média de rolagem - C_R , dentre outras, como perdas referentes a transmissão, freio etc.). A ABNT NBR 10312 aproxima a equação por um ajuste de curva de 2º grau, com duas constantes f_0 em N e f_2 em $N/(km.h^{-1})^2$, sendo os parâmetros f_0 e f_2 os ajustes da parábola (Figura 11) que representa os esforços resistivos ao movimento do veículo em função de sua velocidade (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2014).

$$F_{\text{resist}} = f_2 \cdot v_{\text{veic}}^2 + f_0 \quad (11)$$

O levantamento desses dados é feito de forma experimental, como recomenda a Associação Brasileira de Normas Técnicas (2014), em um teste realizado em pistas de teste, denominado Teste de resistência ao deslocamento (*Coast Down – CD*).

Figura 11 – Forças resistivas ao movimento - VW Gol 1.0 2014 – $f_0 = 101,23 \text{ N}$ e $f_2 = 0,0405 \text{ N} \cdot (\text{km} \cdot \text{h}^{-1})^2$



Fonte: O Autor (2020).

3 REVISÃO DA LITERATURA

Esta seção apresenta uma revisão e contextualização dos estudos realizados na área de análise de consumo e emissões no Brasil e no mundo, demonstrando legislações, formas de desenvolvimento de ciclos padrão e ciclos específicos criados pelo mundo.

3.1 CONTEXTO ENERGÉTICO

O uso intensivo de veículos leves de passageiros (VLP) como uma das principais causas do aumento das emissões de CO₂ no mundo. A frota de VLP deve atingir cerca de 2 bilhões de unidades até 2050, o que significa 0,9 bilhão de unidades adicionais a partir de 2014, representando um aumento de 3 bilhões de toneladas de CO₂ lançadas anualmente na atmosfera, caso não sejam implementadas ações para resolver esse problema.

Além de maiores níveis de emissões de gases de efeito estufa (GEE), haverá também um maior congestionamento nos centros urbanos, o que já é uma questão crítica em muitas cidades em todo o mundo, incluindo o Recife. Some-se a isso um grande consumo de combustível por veículos ineficientes, ainda em operação com tecnologia obsoleta, o que agrava a poluição do ar e causa vários problemas de saúde, como doenças respiratórias, e, conseqüentemente, aumento dos custos de saúde (MELO; JANNUZZI; SANTANA, 2018).

Qualquer iniciativa para a redução das emissões de GEE deve levar em consideração o setor de transporte, pois o setor contribui significativamente com as emissões de carbono. “A atividade de transporte é responsável por 13% de todas as emissões de gases de efeito estufa e por 23% das emissões mundiais de CO₂ por combustão de combustíveis fósseis” (ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT, 2010, p. 112).

De acordo com a Empresa de Pesquisa Energética (2020), a demanda total de energia do Brasil foi de 259,4 milhões de tep ($10,86 \times 10^6$ TJ) em 2019. O setor de transportes foi o principal responsável por esse consumo, com 32,7% do total. Portanto, o desenvolvimento de novas fontes de energia terá a função de garantir a continuidade do abastecimento e/ou suprimento de energia a um menor custo, menor risco e um menor impacto socioeconômico e ambiental para a sociedade (AGÊNCIA DE DESENVOLVIMENTO DO NORDESTE, 2005).

Os fenômenos ambientais, como o efeito estufa, o aumento da temperatura global e outros, são, de acordo com Kirby (2012), fenômenos gerados principalmente pela emissão de

CO₂ (77% dos gases formadores dos efeitos), sendo 57% dessa percentagem em decorrência da queima de combustíveis fósseis. Isso fez com que se devessem ser tomadas medidas que impactaram diretamente o planejamento energético do Brasil, para reduzir os níveis de emissões, como a redução imposta pela ONU de 37% nos níveis de emissão entre 2005 e 2025 (INICIATIVA PARA USO DA TERRA, 2016).

Segundo Cruz, Souza e Cortez (2014), desde a crise do petróleo em 1973, algumas medidas para a redução dos níveis de emissões foram instituídas pelo Governo Federal. Dentre essas medidas, ocorreu, para o setor automobilístico, o apoio ao uso do etanol, com o Decreto nº 76.593, de 14 de novembro de 1975, que institui o Programa Nacional do Álcool (Pró Álcool), e, em outro período, com incentivos ao uso do gás natural e de biocombustíveis (Resolução nº 16, de 29 de outubro de 2018 do Conselho Nacional de Política Energética, impõe o acréscimo de 12% de biodiesel ao diesel vendido ao consumidor final no ano de 2020, chegando a 15% no ano de 2023).

Com relação ao uso de combustível para carros de passeio e motocicletas, o Brasil é um mercado de combustível duplo. O etanol e a gasolina estão disponíveis, juntos, em postos de combustível, para automóveis desde a década de 1980. O uso do etanol como combustível foi uma resposta do governo à primeira crise do petróleo, na tentativa de se tornar independente do combustível importado. Inicialmente, os carros eram fabricados com motores ajustados para operar com apenas um desses combustíveis, mas, em 2003, a criação dos veículos que permitem a queima de 2 tipos de combustíveis, conhecidos como veículos flex, proporcionou aos proprietários escolherem qualquer proporção de gasolina e etanol. O avanço da tecnologia de controle de injeção de combustível permitiu a instalação de sensores eletrônicos, que conseguem identificar a mistura e ajustar a injeção de combustível de acordo com a proporção de cada combustível (PESSOA; REZENDE; ASSUNÇÃO, 2019; SANTOS et al., 2018).

A migração do uso de derivados de petróleo (fonte não-renovável de energia) para derivados de fontes renováveis, tem se mostrado uma importante ação para mitigação de CO₂. É o caso do etanol, obtido a partir do processamento da cana-de-açúcar, milho, bagaços e outros meios, que se tornou um substituto renovável da gasolina nos motores de combustão interna (MCI), pois é possível a adaptação de motores a gasolina para que passem a funcionar de forma flexível (movido a etanol e/ou gasolina). Essa adaptação de motores vem ocorrendo em grande escala com os veículos nacionais desde o lançamento do primeiro veículo flex, o VW Gol, em 2003, e da primeira motocicleta flex, a Honda CG 150, em 2009. Além disso, segundo o método adotado pelo INMETRO no PBEV, o uso do etanol apresenta um nível de

emissão menor do que a apresentada pela gasolina, pois o CO_2 liberado em sua produção e queima é quantitativamente menor que a quantidade consumida durante os processos de fotossíntese do vegetal base para a produção do etanol. Desse modo, as emissões de CO_2 decorrentes do uso do etanol são consideradas nulas pelo PBEV (MORAES; MACHADO, 2015).

O combustível comum encontrado nos postos – gasolina tipo C – é a gasolina (73% v/v) misturada ao etanol anidro (27% v/v). A opção alternativa, etanol hidratado (E100 - 100% em volume de etanol), possui 5% v/v de água (WEBER et al., 2019). Na Europa, 75,4% da gasolina vendida era E5 (5% v/v de etanol), 9,3% era E10 (10% v/v de etanol), 15,2% E0 (sem etanol) e apenas 0,1% E+ (acima de 10% v/v de etanol) (EUROPEAN ENVIRONMENTAL AGENCY, 2015). Em 2011, nos Estados Unidos, 95% da gasolina vendida em bombas foi o E10. No mesmo ano, foi aprovado o uso do E15 para veículos leves, de modelo de produção 2001 ou mais recente, e E85 (misturas contendo de 51% à 83% v/v de etanol) para veículos flex (EUROPEAN ENVIRONMENTAL AGENCY, 2015).

Em 2018, o Brasil tinha 95% da produção de carros novos como veículos que permitem a queima de 2 tipos de combustíveis e mais da metade da frota nacional já era de veículos *flex fuel* (SANTOS et al., 2018). Em relação à escolha do combustível, o cidadão brasileiro médio conhece, devido à publicidade governamental, que é vantajoso abastecer com etanol quando o preço é inferior a 70% do cobrado pela gasolina C (RODRIGUES; LOSEKANN; SILVEIRA FILHO, 2018; SALVO, 2018). Isso ocorre pela diferença de consumo existente entre a adoção de um dos dois combustíveis, o que na realidade é um valor médio, que irá depender das características construtivas do motor e do poder calorífico dos combustíveis.

Atualmente, os Estados Unidos e o Brasil são os maiores produtores de etanol do mundo. Juntos, os dois países respondem por uma produção anual de mais 94 bilhões de litros de etanol. Isso corresponde a cerca de 85% da produção mundial (BERTRAND et al., 2016).

Para os carros no Brasil, a economia de combustível é medida pela ABNT NBR 7024 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2017) e os níveis de emissões de HC, CO, NO_x , CO_2 e MP pela ABNT NBR 6601 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2012). De acordo com resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), a partir de 2014, os veículos devem atender à fase L6 do PROCONVE (Programa de Controle de Emissões Veiculares), na qual os limites de emissões para automóveis passaram a ser de (BRASIL, 2009):

- a) $CO < 1,30 \text{ g.km}^{-1}$;

b) $\text{NMHC} < 0,050 \text{ g.km}^{-1}$;

c) $\text{NOx} < 0,08 \text{ g.km}^{-1}$.

O PROCONVE estabeleceu também que, a partir de 1º de janeiro de 2022, por meio da fase L7 do programa, serão adotados novos limites máximos de emissão de poluentes para veículos rodoviários leves de passageiros e leves comerciais, nacionais e importados, a serem comercializados no país, quando os limites para automóveis passarão a ser:

d) $\text{CO} < 1,0 \text{ g.km}^{-1}$;

e) $\text{NMHC} + \text{NOx} < 0,080 \text{ g.km}^{-1}$.

Por fim, a partir de 1º de janeiro de 2027, entrará em vigor a fase L8 do PROCONVE, na qual os limites de emissões dos automóveis passarão a ser de:

f) fase 1: $\text{NMHC} + \text{NOx} < 0,070 \text{ g.km}^{-1}$;

g) fase 2: $\text{NMHC} + \text{NOx} < 0,060 \text{ g.km}^{-1}$;

h) fase 3: $\text{NMHC} + \text{NOx} < 0,050 \text{ g.km}^{-1}$.

Observa-se, cada vez mais, maiores restrições para os níveis permitidos de emissões veiculares, de modo a adequar a frota nacional às imposições internacionais de controle do clima.

3.2 CARACTERIZAÇÃO DO CONSUMO E EMISSÕES DE COMBUSTÍVEL

Para quantificar as emissões e consumo veiculares, os pesquisadores desenvolvem ciclos de condução para testes de emissão e consumo por meio de dinamômetros em laboratórios (SEEDAM et al., 2015). O ciclo de condução fornece um perfil de velocidade-tempo representativo do comportamento de condução em uma área ou cidade específica. Ciclos padrão de condução, como o ciclo WLTC, têm sido amplamente utilizados para testar a conformidade do veículo com as normas legais (DEGRAEUWE; WEISS, 2017).

3.2.1 Ciclo Padrão de Condução

Quando os ciclos de condução são usados para fins de regulamentação, refere-se a um ciclo de condução de aprovação ou padrão. Atualmente, o Procedimento de Teste Federal – *Federal Test Procedure* (FTP); o Plano de Ciclo de Condução Urbano em Dinamômetro – *Urban Dynamometer Driving Schedule* (UDDS); o Novo Ciclo de Condução Europeu – *New European Driving Cycle* (NEDC); o Ciclo de teste de veículos leves harmonizados em todo o mundo – *Worldwide Harmonized Light Vehicles Test Cycle* (WLTC); e o Ciclo de teste de

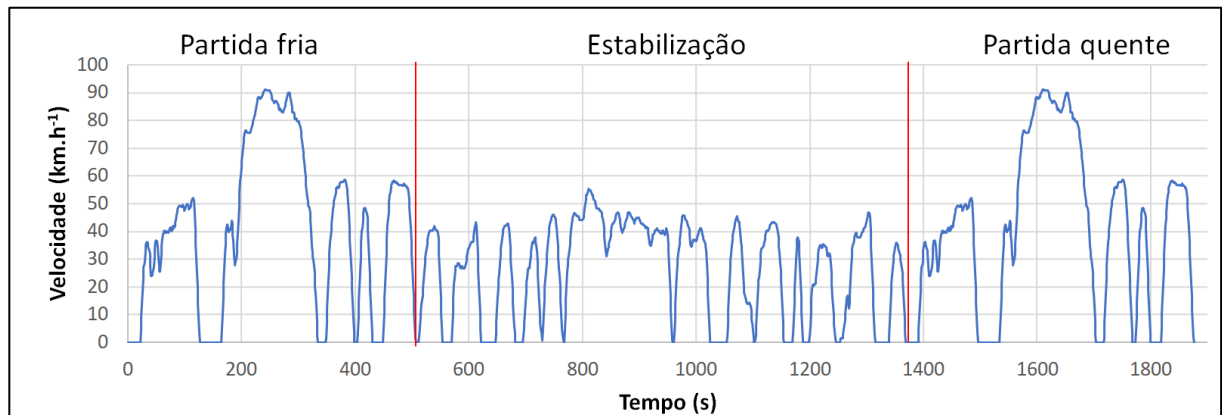
motocicleta mundialmente harmonizado (*Worldwide Harmonized Motorcycle Test Cycle* (WMTC)) são alguns dos ciclos mais utilizados para relatar o consumo de combustível e as emissões dos veículos em todo o mundo (HUERTAS; QUIRAMA; GIRALDO, 2019). Os valores de consumo e emissões obtidos com os testes padrão de condução, em laboratórios, nem sempre estão condizentes com o que é obtido realmente nas ruas. Como mostra Fontaras, Zacharof e Ciuffo (2017) em seus trabalhos de análises de dados oficiais de monitorização medidos em laboratório, em que foi demonstrado que existe um declínio progressivo do consumo médio de combustível e das emissões de CO₂ da frota europeia de automóveis. Segundo os autores, há evidências crescentes para sugerir que os valores de consumo relatados oficialmente não refletem o desempenho real do veículo na estrada, tendo sido encontrada uma diferença de 30 a 40% a mais para as estimativas do mundo real em relação aos valores oficiais e que essa diferença tem aumentado continuamente. Isso mostra a ineficiência da adoção de um ciclo padrão único para representar o consumo e emissão de um país ou região como um todo (HUERTAS et al., 2018b).

3.2.1.1 Ciclo Padrão de Condução – Brasil

No Brasil, o ciclo de condução oficial para testes de consumo e emissões segue as Normas ABNT NBR 7024 e ABNT NBR 6601, respectivamente, sendo adotado o ciclo padrão EPA FTP-75, que é um ciclo de 17,7 km e 1875 s, para os testes referentes a cidade; e o ciclo padrão EPA HWFET, com extensão de 16,5 km e 765 s, para os testes referentes a estrada (ASSOCIACAO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2012, 2017).

A medição do consumo de combustível de veículos rodoviários automotores leves é feita através da realização dos ciclos de condução em dinamômetro de chassi – conduzir o veículo no dinamômetro de acordo com o vetor velocidade indicado pelo ciclo de condução, que simula o uso do veículo no trânsito urbano por meio da calibração prévia dos esforços resistivos ao movimento (valores de f_0 e f_2 , equação 11) no dinamômetro. O teste no ciclo cidade (FTP-75) é dividido em duas fases, motor quente e motor frio, e cada uma dessas em duas outras, partida fria ou quente e estabilização, para quantificar de forma mais precisa os diferentes comportamentos do motor no cotidiano (Figura 12), desde partidas frias (início do dia) até o deslocamento com o motor já devidamente aquecido (estabilização).

Figura 12 – Ciclo padrão FTP-75 separado em seus estágios



Fonte: O Autor (2020).

3.2.1.1.1 Correção do Consumo

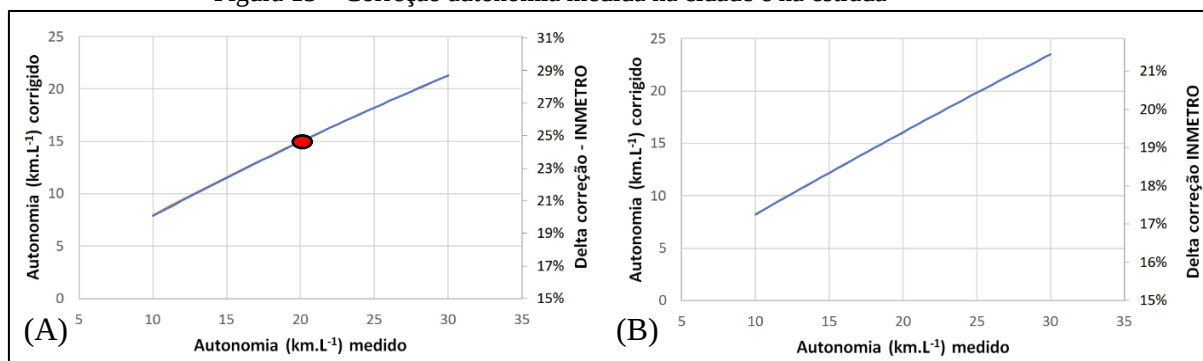
Em decorrência da diferença de tráfego médio existente entre os Estados Unidos e o Brasil, há uma considerável variação entre os consumos registrados nos dois países. Como medida de correção do consumo, foi criada, com base na Associação Brasileira de Normas Técnicas (2017), a Portaria n.º 10, de 11 de janeiro de 2012, que estabeleceu a correção sobre os valores de consumo medidos (BRASIL, 2012). Essa correção altera os valores obtidos em laboratórios para valores mais próximos da realidade brasileira. De acordo com o exposto na Figura 13 (exemplo ilustrativo), verifica-se, por exemplo, que para um veículo abastecido com E22 e sendo utilizado na cidade, caso apresente uma autonomia de 20 km.L⁻¹, a sua autonomia corrigida será de 15 km.L⁻¹ (conforme marcado na Figura 13), apresentando uma variação de aproximadamente 25%.

$$\text{a) Para ciclo Urbano (E22): } A_{\text{corrigida/Urb}} = \frac{1}{0,0076712 + \frac{1,18053}{A_{\text{Urb}}}}$$

$$\text{b) Para ciclo Estrada (E22): } A_{\text{corrigida/Est}} = \frac{1}{0,0032389 + \frac{1,3466}{A_{\text{Est}}}}$$

Para a análise do combustível E100, deve-se aplicar a variação (em percentagem) obtida na análise do combustível E22 e não a equação do E22.

Figura 13 – Correção autonomia medida na cidade e na estrada



Fonte: O Autor (2020).

Legenda: (A) Cidade; (B) Estrada.

3.2.1.2 Ciclo Padrão de Condução e sua Vigência – Em Alguns Países

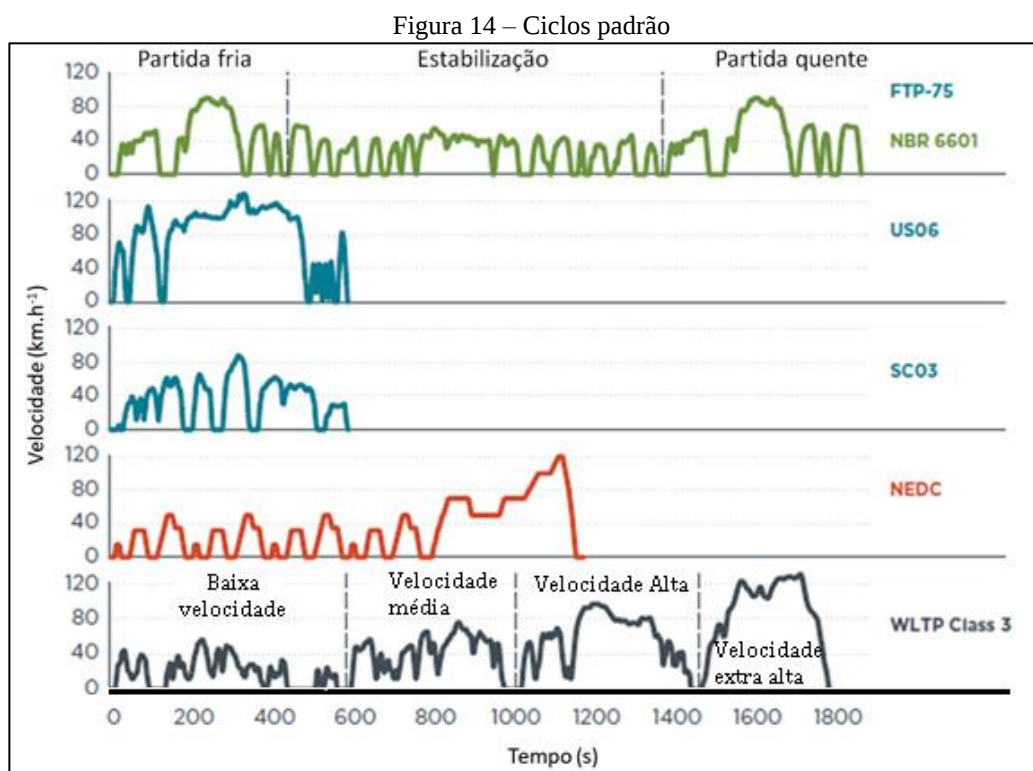
Cada país segue um ciclo padrão para realizar a caracterização do consumo e níveis de emissões dos veículos em circulação. No Brasil, a ABNT NBR 6601 estabelece que o ciclo FTP-75 é o único ciclo de condução necessário para a realização de testes de certificação de emissões em cidades (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2012). Em contraste, os Estados Unidos adotaram padrões suplementares, ou Procedimento de Testes Suplementares (SFTP), que exigem testes adicionais sobre ciclos de condução com modos de operações não representados apenas pelo FTP-75 e HWFET. O SFTP inclui testes de emissões em ciclos que representam condução agressiva de alta velocidade (US06) e operação em altas temperaturas ambientes e com uma carga de ar-condicionado (SC03), em adição aos já adotados nos testes FTP-75 e HWFET. O SFTP abrange padrões de condução que aumentam as emissões de poluentes e, assim, aumentam a representatividade e fortalecem o programa de testes de certificação dos Estados Unidos. O FTP-75 e o FTP-72 são duas variantes do UDDS da EPA. O ciclo FTP-75 (Figura 14) é derivado do FTP-72, porém adicionado de uma terceira fase de 505 s, idêntica à primeira fase do FTP-72, mas com uma inicialização a quente. A terceira fase começa depois que o motor é parado por 10 minutos.

O comportamento das regiões avaliadas pelos CPC varia de acordo com vários fatores, como a característica do veículo (por exemplo, idade e quilometragem do veículo, combustível empregado, forma do veículo), condições de tráfego, estrada, comportamento do motorista e o procedimento aplicado para avaliar o consumo de energia do veículo (ANDRADE et al., 2020). Além disso, esses fatores irão variar com o passar do tempo, fazendo com que os ciclos de condução que representam um determinado local precisem ser

avaliados ou substituídos de tempos em tempos, de forma a manter os valores obtidos em laboratório similar aos reais obtidos nas ruas.

Nos Estados Unidos, os valores de economia de combustível estabelecidos pela CAFE eram calculados, até o ano de 2007, com base, apenas, nos testes FTP-75 e HWFET, sendo os valores de economia de combustível mostrados nas etiquetas dos novos veículos: os valores obtidos com base no teste FTP-75, para a classificação da cidade, e com base no teste HWFET, para a classificação da rodovia, de forma similar ao utilizado no Brasil. Desde o ano 2008, passou a ser usado para a determinação das classificações de economia de combustível o Método de 5 ciclos da EPA. Os resultados do Método de 5 ciclos são calculados com base nos resultados dos seguintes testes: dois testes FTP, sendo um teste de temperatura regular e um de temperatura fria, executado a uma temperatura de laboratório de $-6,7\text{ }^{\circ}\text{C}$; o HWFET; o US06; e o SC03 (DIESELNET, 2014).

Testes de homologação, na União Europeia, eram conduzidos segundo o Novo Ciclo Europeu de Condução (NEDC). O ciclo NEDC é um ciclo teórico ou estacionário, projetado na década de 80. Como pode ser visto na Figura 14, o NEDC é menos dinâmico que o ciclo FTP-75, com mais períodos de velocidade e aceleração constantes.



Fonte: Kühlwein; German; Bandivadekar (2014).

No geral, isso resulta em um ciclo de carga menos agressivo e menor. Ao contrário do ciclo FTP-75, não há ponderação das emissões medidas durante os subciclos do NEDC e

quaisquer efeitos de arranque a frio nas emissões são implicitamente ponderados a 100% (KÜHLWEIN; GERMAN; BANDIVADEKAR, 2014). A União Europeia iniciou, em 2017, um processo de transição dos procedimentos de aprovação de novos veículos, baseados no NEDC para o WLTC, que foi finalizado em janeiro de 2019. O WLTC é um ciclo de condução transiente, baseado em dados reais de condução. Ele inclui três ciclos de teste de condução (três classes), aplicáveis a categorias de veículos de diferentes relações de potência / massa (Quadro 1). Um traçado de velocidade para o ciclo WLTC classe 3 é mostrado na Figura 14. Os ciclos de teste WLTC foram projetados para serem mais característicos das condições reais de condução do que o NEDC.

Quadro 1 – Classificações do ciclo WLTC de acordo com o veículo

Categoria	PMR ($W.kg^{-1}$)	$v_{máx}$ ($km.h^{-1}$)	Sequência de fase de velocidade
Classe 3b	PMR > 34	$v_{máx} \geq 120$	Baixo + Médio + Alta + Extra alta
Classe 3a		$v_{máx} < 120$	Baixo + Médio + Alta + Extra alta
Classe 2	$34 \geq PMR > 22$	-	Baixo + Médio + Alta + Extra alta
Classe 1	PMR ≤ 22	-	Baixo + Médio + Baixo

Fonte: Dieselnets (2019).

Um estudo realizado por Pavlovic et al. (2018) mostra que, com relação à contabilidade das emissões de CO₂ e o consumo de combustível, o WLTC trará uma melhoria significativa em comparação ao NEDC. De fato, alguns cálculos e requisitos do antigo teste (procedimentos), que eram matematicamente e fisicamente incorretos e menos rigorosos, foram alterados e/ou tornados mais severos e com um menor espaço para interpretações erradas (INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, 2019). Além disso, é esperado, segundo o mesmo estudo, que a diferença entre as estimativas e o real consumo de combustível, em 2020, por meio do NEDC, seja de 49% maior, enquanto pelo novo ciclo adotado na Europa (WLTC), passe a ser 23% maior. Mostrando como o novo ciclo está mais alinhado com as reais condições de tráfego na Europa, apesar de ainda conter um erro considerável.

Pela análise do Quadro 1, tem-se a divisão do WLTC de acordo com a classe do veículo, sendo o PMR a relação entre a potência em Watts do veículo e a sua massa em ordem de marcha (kg), ou seja, a massa do veículo sem o condutor. As fases “baixa”, “média”, “alta” e “extra alta” são sequências fixas de velocidades, que, somadas, compõem o ciclo padrão (Figura 14) a ser seguido por cada classe de veículo. A fase “baixa” representa o trecho de baixa velocidade (até +/- 50 $km.h^{-1}$) do ciclo, passando pelas fases de velocidade

intermediárias (“média” e “alta”) até a fase “extra alta”, que representa as áreas de maiores velocidades, chegando a ultrapassar os 120 km.h⁻¹.

O Quadro 2 mostra alguns países que implementaram legislações padrões e lista os diferentes tipos, períodos e metas das normas adotadas. As normas aplicadas aos veículos podem ser voluntárias ou obrigatórias. Nesse último caso, são promulgados regulamentos que proíbem a comercialização de veículos que não cumprem os limites específicos da economia de combustível, consumo ou emissões de gases.

Os padrões obrigatórios mostraram ser mais eficazes na redução de emissões de gases de efeito estufa, com uma redução média de 2-3% por ano, do que os padrões voluntários, que permitiram reduções médias de 0-1% por ano (MELO; JANNUZZI; SANTANA, 2018).

Quadro 2 – Comparativo de Legislações emissões

Local	Tipo de norma padrão	Período de implementação	Emissões de CO ₂ (g.km ⁻¹)	Taxa de redução média de CO ₂ (g.km ⁻¹)
China	Obrigatória – Consumo de combustível	2012–2015	161 para 117	9%
UE	Obrigatória – Emissão CO ₂	2020–2021	130 para 95	27%
EUA	Obrigatória – Consumo de combustível / Emissão GEE	2012–2025	139 para 88	50%
Japão	Obrigatória – Consumo de combustível	2020	139 para 115	16%
Brasil	Voluntária – Consumo de combustível	2013–2017	Não determina limites para o CO ₂	
Índia	Obrigatória - Emissão CO ₂	2017–2021	130 para 113	17%
Canada	Obrigatória - Emissão GEE	2017–2025	135 para 88	35%
Coreia do Sul	Obrigatória – Consumo de combustível / Emissão GEE	2012–2015	140 para 97	9%
México	Obrigatória – Consumo de combustível /Emissão GEE	2014–2016	161 para 140	13%

Fonte: Melo; Jannuzzi; Santana (2018).

Comparações internacionais de procedimentos de testes de certificação destacam as áreas-chaves, nas quais o Programa Brasileiro de Etiquetagem Veicular (PBEV) pode ser melhorado. O Brasil usa o FTP-75 como o único ciclo de condução para testes de emissões de gases de escape em cidades, assim como a Austrália, que adota o ciclo FTP-75 por meio da norma australiana de projetos, *Australian Design Rules* (ADR37). Esse ciclo não inclui certos padrões de condução que podem levar a taxas de emissão de poluentes para níveis mais altos. Por isso, o Brasil deve considerar a adoção de padrões suplementares, semelhantes aos atualmente em vigor nos Estados Unidos (SFTP), para garantir que esses modos de operação sejam totalmente representados no processo de teste de veículos. Dada a predominância de veículos do ciclo Otto na frota brasileira, que, de acordo com a Federação Nacional Da Distribuição De Veículos Automotores (2019), representa 91% da frota de automóveis e

comerciais leves, essa etapa deve levar a melhorias no desempenho de emissões do mundo real (DALLMANN; FAÇANHA, 2017; KÜHLWEIN; GERMAN; BANDIVADEKAR, 2014).

A China adota o NEDC como seu ciclo de testes, que se trata de um ciclo de teste desenvolvido com base em um ciclo de condução europeu com mais de vinte anos e que não representa com precisão as condições de condução presentes na China, principalmente devido à disposição urbana variável, condições de estrada e comportamentos de direção que impactam muito a velocidade e aceleração dos veículos. Esses fatores são chave para a verificação do consumo do veículo (BEN DROR; QIN; AN, 2019), além de ser um ciclo ultrapassado, que já caiu em desuso em sua região de origem (INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, 2019). Porém, o WLTP será adotado como o regulamento de teste do consumo de combustível para veículos leves na China entre 2021 e 2025 (LIU et al., 2020).

Do ponto de vista cinemático, existem diferenças significativas entre os ciclos relevantes em relação às cargas resultantes do veículo e do motor. A Tabela 1 resume alguns parâmetros importantes que revelam as principais características, incluindo condições iniciais, durações, distâncias, velocidades médias e acelerações dos principais CPC.

Tabela 1 – Parâmetros descritivos Ciclos padrão

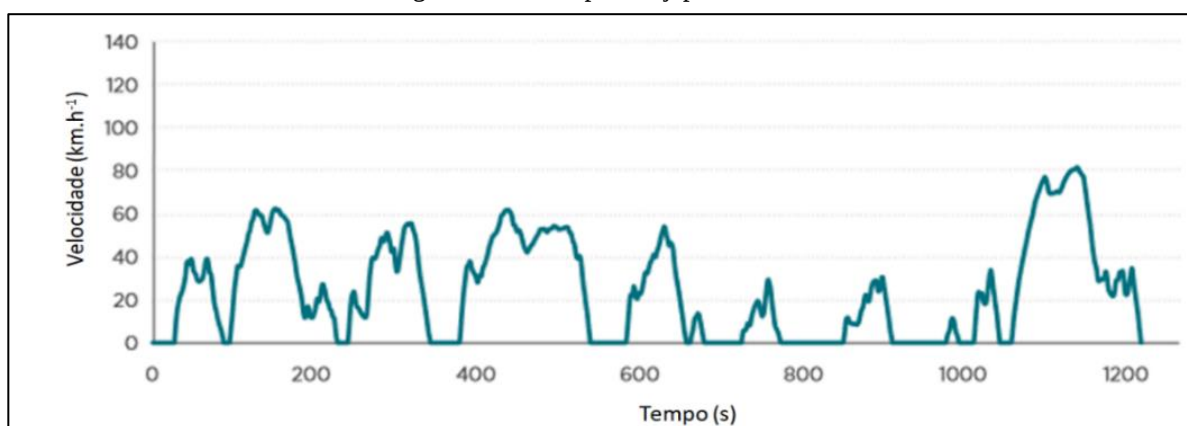
	Unidade	FTP-75	HWFET	NEDC	JC08	WLTC
Duração	s	1875	765	1180	1204	1800
Distância	km	17.7	16.51	11.03	8.17	23.27
Velocidade média	km.h ⁻¹	31.5	77.7	33.6	24.4	46.5
Velocidade máxima	km.h ⁻¹	91.2	96.4	120	81.6	131.3
Duração						
Paradas		18	2	14	12	9
Parado	s	241	4	280	346	226
Velocidade constante	s	109	126	475	21	66
Aceleração	s	544	338	247	432	789
Desaceleração	s	475	297	178	405	719

Fonte: Kühlwein; German; Bandivadekar (2014).

O NEDC é um ciclo artificialmente construído, com fases longas de velocidade igual e de aceleração constante, o que resulta, em geral, de uma área estreita de condições de baixa carga. A potência demandada pela aceleração no NEDC é bastante alta durante as fases de aceleração, devido a sua elevada aceleração média (0,59 m.s⁻²), mas, por causa da baixa quota temporal geral de acelerações (percentagem do tempo em aceleração), a potência demandada é baixa, se comparada ao WLTC, apresenta uma aceleração média inferior (0,41 m.s⁻²) e um maior percentual do tempo em aceleração, gerando uma maior demanda de potência nos trechos de aceleração, mesmo com uma menor aceleração. Os ciclos norte-americanos

também podem ser avaliados como altamente dinâmicos e mostram as velocidades médias mais altas, enquanto o JC08, ciclo padrão japonês (Figura 15), requer acelerações mais agressivas, mas em um nível de velocidade baixo (KÜHLWEIN; GERMAN; BANDIVADEKAR, 2014).

Figura 15 – Ciclo padrão japonês - JC08



Fonte: Kühlwein, German e Bandivadekar (2014)

A UE, os Estados Unidos e o Japão têm sido as regiões pioneiras no mundo no desenvolvimento de ciclos padrão de consumo e emissão, bem como na legislação dos procedimentos de teste relevantes para veículos leves (e pesados). Não é de surpreender que a maioria dos outros países do mundo seguem os padrões europeus, ou a legislação dos Estados Unidos ou do Japão, geralmente com um atraso de alguns anos (GIAKOUMIS, 2016). O Quadro 3 ilustra alguns exemplos de aplicação dessas normas e padrões por outros países pelo mundo, assim como ocorre no Brasil, que se baseia nos padrões dos Estados Unidos.

Para as motos, foi iniciado, no ano de 1999, o desenvolvimento de um novo ciclo de condução (WMTC) para representar as motos de diferentes tamanhos e capacidades ao redor do mundo. Para isso, foram usados dados registrados na Europa, Japão, China e Estados Unidos, durante a década de 90, criando o Ciclo WMTC (Figura 16) dividido em três partes: urbano, suburbano e rodovias (GIAKOUMIS, 2016).

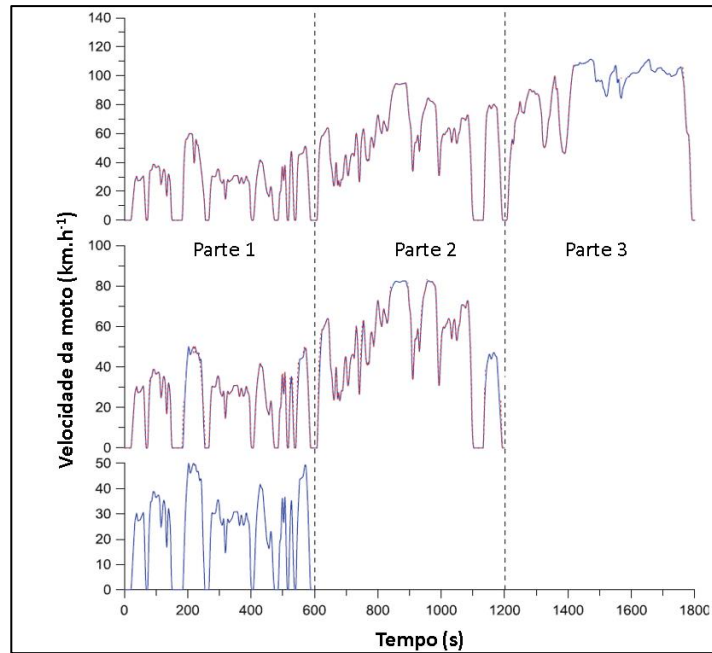
Quadro 3 – Norma e ciclo de condução de alguns países

País	Norma / Ciclo
EUA	Adota os SFTP
UE	Adota o WLTP
Brasil	Usa o padrão americano FTP-75 e HWFET corrigidos
Canadá	Segue os padrões dos EUA desde 2004
China	Segue a regulação Europeia
Hong Kong	De acordo com o fabricante, aceita as normas UE, EUA, e Japão
Índia	A Índia segue os regulamentos europeus (a versão de baixa potência do NEDC foi usada para certificação até 2010, denominada MIDC - ciclo de condução indiano modificado)
Argentina	Segue as regulações de emissões e testes da EU
Rússia	Adota os padrões europeus
Coréia do Sul	Usa o padrão americano FTP-75 desde 2005
Taiwan	FTP-75 é usado para certificação de emissões e FTP-75 ou NEDC para consumo combustível desde 2005
Turquia	Segue a legislação da UE

Fonte: Adaptado de Giakoumis (2016).

Na Europa, o WMTC foi adotado inicialmente em 2006, com a Diretiva 2006/72/EC, em que os fabricantes tiveram a opção de testar seus veículos – apenas motocicletas com capacidade de motor superior a 150 cm³ – no WMTC, como uma alternativa ao padrão de níveis de emissão Europeu da época. O WMTC virou obrigatório para todos os tipos de motocicletas na Europa, visando, a partir de janeiro de 2020, uma conformidade com a norma de níveis de emissões europeia. Nos Estados Unidos, espera-se que o WMTC seja introduzido como uma alternativa ao ciclo UDDS, com limites equivalentes aos atuais padrões de emissão do país. Após um período, que será determinado pelo processo de regulamentação dos Estados Unidos, a eliminação progressiva do UDDS se destina a contar com o WMTC para fins de certificação de motocicletas. O WMTC já foi adotado, para emissões, pela legislação japonesa e brasileira (GIAKOUMIS, 2016). Na China, entrou em vigor a partir de 1º de julho de 2018 para os novos modelos de homologação e a partir de 1º de julho de 2019 para todas as vendas e registros de motocicletas novas (TRANSPORTPOLICY.NET, 2018).

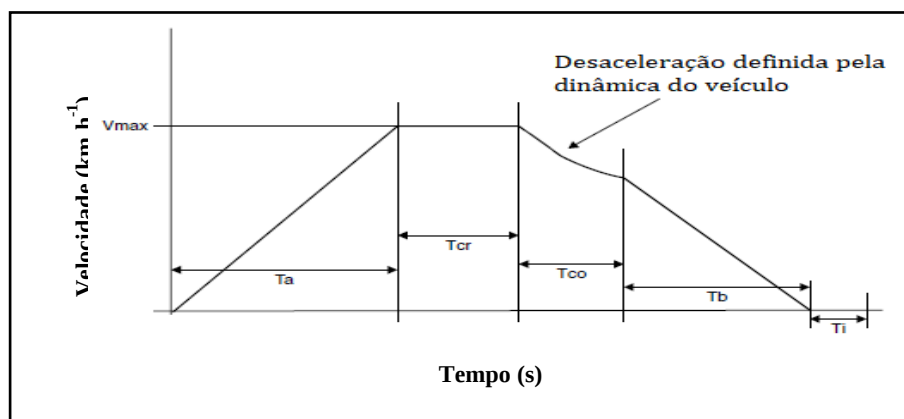
Figura 16 – Estágios do Ciclo WMTC para motos



Fonte: Giakoumis (2016)

Um outro tipo de ciclo padrão específico é o SAE J227, um antigo ciclo de condução, desenvolvido na década de 1970 com o intuito de simular veículos elétricos de baixa potência, uma vez que as faixas de velocidade dos veículos elétricos de pequeno porte diferem bastante das velocidades impostas pelos ciclos padrão para veículos com motores de combustão. A SAE, ao criar o J227, o desenvolveu como um ciclo simplificado, que é dotado de apenas uma micro-viagem, sendo essa micro-viagem (Figura 17) composta de 6 parâmetros que irão definir as características desejadas do ciclo (Tabela 2). O ciclo também é dividido em quatro tipos, que variam de acordo com a faixa de potência do veículo elétrico (LARMINIE; LOWRY, 2003).

Figura 17 – Ciclo de condução SAE J227



Fonte: Adaptado de Larminie e Lowry (2003).

Tabela 2 – Parâmetros para as 4 variações do ciclo SAE J227

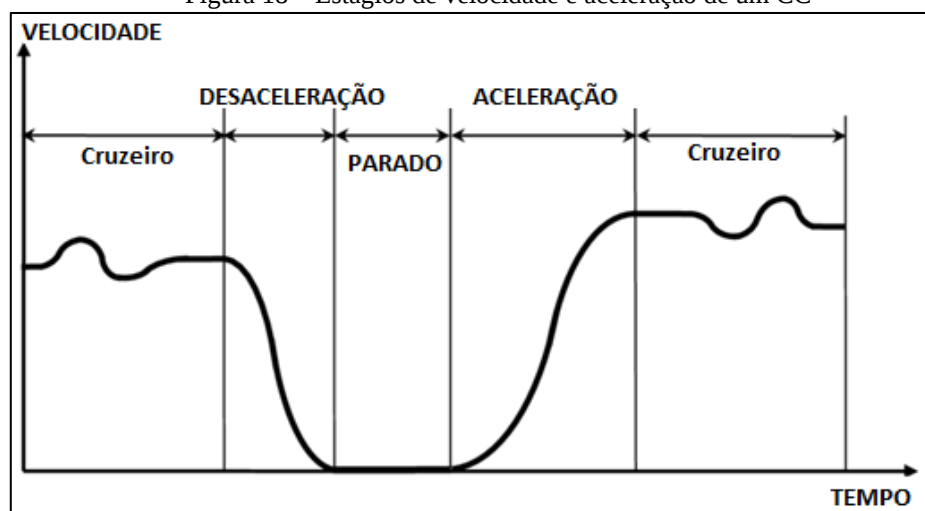
Parâmetro	Unidade	Ciclo A	Ciclo B	Ciclo C	Ciclo D
Velocidade máxima	$km.h^{-1}$	16	32	48	72
Tempo em aceleração - T_a	s	4	19	18	28
Tempo em veloc. cte. - T_{cr}	s	0	19	20	50
Tempo em desaceleração livre - T_{co}	s	2	4	8	10
Tempo em desaceleração cte. - T_b	s	3	5	9	9
Tempo parado - T_p	s	30	25	25	25

Fonte: Adaptado de Larminie e Lowry (2003).

3.2.2 Caracterização dos Parâmetros dos Ciclos de Condução

De acordo com Hung et al. (2007), os ciclos de condução são compostos por uma série de modos de operação do veículo, incluindo veículo parado, cruzeiro e em instantes de aceleração e desaceleração, envolvendo distribuições de velocidade durante o trajeto (Figura 18). Assim, o modo de operação parado se refere à situação em que tanto a aceleração quanto a velocidade são nulas; o modo cruzeiro é quando a condição de velocidade for diferente de zero e a aceleração for nula; o modo aceleração é quando essa taxa for positiva e a velocidade for não nula; e desaceleração, quando essa taxa for negativa e a velocidade for diferente de zero (AZEVEDO et al., 2017).

Figura 18 – Estágios de velocidade e aceleração de um CC



Fonte: Hung et al. (2007)

Além disso, para caracterizar um ciclo, vários autores adotam diferentes parâmetros cinemáticos, ou parâmetros de caracterização (PC), que servem para comparar o comportamento de ciclos distintos e permitem quantificar o comportamento cinemático dos ciclos de condução. De acordo com Barlow et al. (2009), existem mais de 30 PC

correlacionados a fatores como tempo, velocidade, aceleração, paradas e dinâmica. Alguns desses PC são:

- a) velocidade média do ciclo de condução (V);
- b) velocidade média de corrida (V_c);
- c) aceleração média (a);
- d) desaceleração média (d);
- e) duração média da micro-viagem;
- f) proporções de tempo de modos de condução para marcha lenta (T_p);
- g) proporções de tempo dos modos de condução para aceleração (T_a);
- h) proporções de tempo de modos de condução para cruzeiro (T_c);
- i) proporções temporais dos modos de condução para a desaceleração (T_d);
- j) número médio de mudanças de aceleração-desaceleração;
- k) energia cinética positiva.

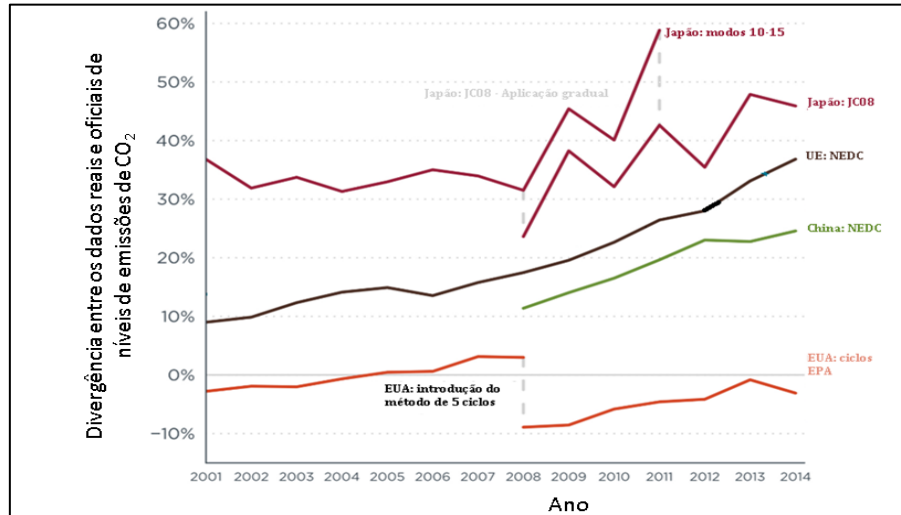
3.2.3 Ciclo de Condução Específico

Os ciclos de condução padrão são desenvolvidos para representar o tráfego local de grandes regiões, como Europa (WLTC), Estados Unidos (ciclos EPA), Japão (JC08) e outros, porém cada localidade apresenta o seu tráfego específico, com densidades específicas de veículos, velocidades e acelerações médias distintas. Por isso, os ciclos padrão não descrevem corretamente a realidade de qualquer região em particular (HUERTAS et al., 2018a).

A International Energy Agency (2019) compara a relação média entre os valores obtidos no ciclo real e os valores propostos pelos ciclos padrão, em alguns países. Na China, foi obtida uma diferença 14% maior em consumo de combustível no ciclo real no ano de 2007, aumentando para 34% em 2017. Já para a União Europeia, ocorreu uma diferença no consumo de combustível em carros novos, entre o ciclo real e o padrão, de 9% em 2001, chegando a 39% em 2017. Já para o Japão, a diferença foi de 24% em 2008 e passou para 46% em 2014. Para os Estados Unidos, os valores das etiquetas da EPA refletem com mais precisão a diferença do consumo de combustível com relação ao ciclo de condução real, mas a diferença entre o EPA e o consumo real de combustível também aumentou ao longo do tempo. Antes de 2008, os valores expostos nas etiquetas da EPA estavam consistentemente abaixo do CAFE, passando de cerca de 1%, em 2001, para 4% no ano de 2007. A nova metodologia, aplicada desde 2008, produz valores de consumo de combustível mais realistas,

com estimativas variando de cerca de 8% de diferença, no de 2008, para quase nenhuma lacuna em 2014 (Figura 19).

Figura 19 – Divergência entre as medições padrão e os valores rua



Fonte: International Energy Agency (2019).

Com o intuito de avaliar a variação dos aspectos característicos de distintas localidades ao redor do mundo, foi realizado um levantamento, em artigos científicos de CCL, pelos membros do Grupo LOST, de 77 CCL (ANDRADE et al., 2020), considerando diferentes tipos de veículos (TV) como referência, em cada CCL (Tabelas 3 e 4).

A Tabela 3 lista os PC para 36 CCL desenvolvidos para os carros e a Tabela 4 lista os PC para 41 CCL desenvolvidos para as outras classes de veículos (ônibus, caminhões e motocicletas). O eventual aparecimento de traços em ambas as tabelas corresponde aos casos em que os autores não informaram o valor do PC. Cada autor, em seu trabalho, usa uma fórmula específica para calcular os seus PC.

Tabela 3 – PC dos Ciclos de Condução Local (CCL) para carros

		(continua)									
CCL	Referências	v (km.h ⁻¹)	D (km)	a (m.s ⁻²)	d (m.s ⁻²)	t (s)	T _c (%)	T _p (%)	T _a (%)	T _d (%)	
Atenas ⁷	Karavalakis et al. (2007)	21.2	6.5	0.67	-	1160	-	-	36%	-	
Bangalore ⁸	Mayakuntla; Verma (2018)	16.2	9.4	1.51	-1.76	2088	14%	22%	35%	30%	
Baqubah ¹⁰	Al-Samari (2017)	21.6	6.3	0.24	-0.24	1052	0%	25%	-	-	
Beijing ⁴	Wang et al. (2008)	26.1	-	0.51	-0.51	-	15%	13%	36%	37%	
Beijing ⁴	Gong et al. (2018)	-	14.5	0.37	-0.40	2536	11%	24%	34%	31%	
Beijing – fora de pico ⁴	Ma et al. (2019)	28.8	-	0.51	-0.56	-	39%	24%	19%	18%	
Beijing – pico ⁴	Ma et al. (2019)	23.9	-	0.51	-0.57	-	37%	26%	19%	18%	
Beijing ⁴	Wang et al. (2019)	38.5	-	-	-	1200	28%	16%	29%	27%	
Celje ⁶	Knez et al. (2014)	25.5	13.0	0.79	-0.84	2453	25%	25%	26%	25%	
Changchun ⁴	Wang et al. (2008)	27.8	-	0.56	-0.62	-	12%	19%	36%	33%	
Chengdu ⁴	Wang et al. (2008)	31.3	-	0.55	-0.60	-	15%	12%	38%	35%	
Chennai - pico ⁸	Arun et al. (2017)	17.7	5.2	0.45	-0.54	1065	14%	31%	30%	25%	
Chennai – fora de pico ⁸	Arun et al. (2017)	22.1	-	0.61	-0.71	-	20%	16%	34%	29%	

Tabela 3 – PC dos Ciclos de Condução Local (CCL) para carros

(conclusão)										
CCL	Referências	v (km.h ⁻¹)	D (km)	a (m.s ⁻²)	d (m.s ⁻²)	t (s)	T _c (%)	T _p (%)	T _a (%)	T _d (%)
Chongqing ⁴	Wang et al. (2008)	31.3	-	0.49	-0.56	-	16%	8%	41%	35%
Cingapura ¹¹	Ho; Wong; Chang (2014)	32.8	21.5	-	-	2344	26%	21%	29%	25%
Edinburgo ⁴	Esteves-Booth et al. (2001)	20	4.2	-	-	835	9%	31%	31%	29%
Fortaleza ²	Azevedo et al. (2017)	23.8	8.4	-	-	1216	0%	43%	30%	27%
Hanoi ¹⁴	Tong et al. (2011)	19.4	10.0	0.41	-0.38	1862	20%	10%	33%	37%
Hefei ⁴	Liu et al. (2018)	20.2	-	-	-	1237	25%	12%	29%	34%
Hong Kong ⁴	Tong; Hung; Cheung (1999)	15.5	6.3	0.55	-0.59	1471	9%	31%	31%	29%
Hong Kong - cidade ⁴	Hung et al. (2007)	25.0	10.3	0.59	-0.60	1548	12%	18%	35%	34%
Hong Kong - Suburbanob ⁴	Hung et al. (2007)	44.4	18.3	0.56	-0.56	1476	14%	5%	40%	40%
Hong Kong - Estrada ⁴	Hung et al. (2007)	38.3	14.9	0.40	-0.41	1401	17%	8%	38%	36%
Jilin City ⁴	Wang et al. (2008)	36.8	-	0.35	-0.50	-	20%	6%	44%	31%
Jiutai ⁴	Wang et al. (2008)	25.5	-	0.37	-0.41	-	20%	5%	39%	36%
Mashad ⁹	Pouresmaeili; Aghayan; Taghizadeh (2018)	20.3	-	0.53	-0.54	-	3%	22%	37%	38%
Mianyang ⁴	Wang et al. (2008)	35.3	-	0.48	-0.57	-	15%	12%	40%	33%
Nanjing ⁴	Yang et al. (2019)	30.7	-	0.49	-0.55	-	30%	20%	27%	23%
Ningbo ⁴	Wang et al. (2008)	23.7	-	0.51	-0.58	-	11%	20%	37%	33%
Pune ⁸	Kamble; Mathew; Sharma (2009)	19.6	-	-	-	1533	56%	18%	14%	11%
Santa maria - 5 p.m. ²	Roso; Martins (2015)	30.8	11.7	-	-	2017	2%	0%	51%	48%
Santa maria - 12 a.m. ²	Roso; Martins (2015)	42.9	11.7	-	-	1294	3%	0%	45%	53%
Shanghai ⁴	Wang et al. (2008)	27.6	-	0.55	-0.60	-	9%	26%	34%	31%
Sidney ¹	Kent; Allen; Rule (1978)	33.6	5.94	-	-	637	-	18%	-	-
Tianjin ⁴	Wang et al. (2008)	22.5	-	0.36	0.43	-	21%	12%	36%	30%
Zitong ⁴	Wang et al. (2008)	32.3	-	0.29	-0.39	-	24%	6%	40%	30%
Média		27.2	10.5	0.53	-0.54	1521	17%	17%	34%	31%
Desvio Padrão		7.5	4.8	0.23	0.33	534	12%	10%	7%	8%

Fonte: Andrade *et al.* (2020).

Legenda: 1- Austrália; 2- Brasil; 3- Canadá; 4- China; 5- Escócia; 6- Eslovênia; 7- Grécia; 8- Índia; 9- Irã; 10- Iraque; 11- Malásia; 12- Tailândia; 13- Taiwan; 14- Vietnam

Os desvios padrão, relativamente grandes para a velocidade média ($V = 27,2 \pm 7,5$ km.h⁻¹) e aceleração ($a = 0,53 \pm 0,23$ m.s⁻²), reconfirmam numericamente que os CCL no mundo são distintos, justificando assim suas diferenças. Em relação a comparação dos CCL com CPC, o ciclo FTP-75 e WLTC apresentam uma velocidade média de 34,1 km.h⁻¹ e 46,5 km.h⁻¹, respectivamente, sendo ambos superiores à velocidade média dos CCL (27,2 km.h⁻¹).

Tabela 4 – PC dos Ciclos de Condução Local (CCL) para motos, ônibus e caminhões

(continua)											
CCL	Referências	TV	v (km,h-1)	D (km)	a (m,s-2)	d (m,s-2)	t (s)	T _c (%)	T _p (%)	T _a (%)	T _d (%)
Beijing - BRT LS ³	Lai et al. (2013)	O	8,6	2,8	-	-	1167	-	-	-	-
Beijing - BRT MS ³	Lai et al. (2013)	O	21,7	7,4	-	-	1220	-	-	-	-
Beijing - BRT HS ³	Lai et al. (2013)	O	31,3	10,3	-	-	1185	-	-	-	-
Beijing - Express LS ³	Lai et al. (2013)	O	7	2,4	-	-	1226	-	-	-	-
Beijing - Express MS ³	Lai et al. (2013)	O	19,5	6,8	-	-	1257	-	-	-	-
Beijing - Express HS ³	Lai et al. (2013)	O	35,9	11,3	-	-	1130	-	-	-	-
Beijing - Regular LS ³	Lai et al. (2013)	O	8,1	2,7	-	-	1188	-	-	-	-
Beijing - Regular MS ³	Lai et al. (2013)	O	19,9	6	-	-	1084	-	-	-	-
Beijing - Regular HS ³	Lai et al. (2013)	O	30,9	10,9	-	-	1275	-	-	-	-
Chennai ⁸	Arun et al. (2017)	M	22,8	9,1	0,65	-0,73	1448	24%	19%	30%	27%
Edinburgh – Urbano ⁵	Saleh et al. (2009)	M	33,5	7,3	1,28	-2,59	770	7%	2%	44%	47%
Edinburgh - Rural ⁵	Saleh et al. (2009)	M	49,7	9	0,89	-0,95	656	8%	1%	45%	46%
Hanoi ¹³	Tong et al. (2011)	M	20,1	11,5	0,42	-0,46	2061	21%	8%	37%	34%
Kaohsiung ¹²	Chen et al. (2003)	M	19,2	4,3	0,66	-0,64	803	24%	24%	25%	26%

Tabela 4 – PC dos Ciclos de Condução Local (CCL) para motos, ônibus e caminhões

(conclusão)											
CCL	Referências	TV	v (km,h-1)	D (km)	a (m,s-2)	d (m,s-2)	t (s)	T _c (%)	T _p (%)	T _a (%)	T _d (%)
Kaohsiung ¹²	Tsai et al. (2005)	M	21	6,6	0,58	-0,61	1126	9%	28%	33%	31%
Khon Kaen ¹¹	Seedam et al. (2015)	M	25	8,1	0,64	-0,69	1164	18%	21%	32%	29%
Khon Kaen – Elétrico ¹¹	Koossalapeerom et al. (2019)	M	22,6	5	1,42	-1,05	781	38%	24%	15%	21%
Khon Kaen - Gasolina ¹¹	Koossalapeerom et al. (2019)	M	22,5	4,9	0,64	-0,65	775	19%	27%	28%	26%
Pingtung ¹²	Chen et al. (2003)	M	30,2	6,8	0,69	-0,79	810	22%	10%	36%	32%
Shanghai ⁴	Shen et al. (2018)	B	23	-	0,71	-0,83	-	5%	34%	33%	28%
Shangai – Electric ⁴	Rechkemmer et al. (2019)	M	19,9	9,43	0,5	-0,45	1704	33%	11%	27%	30%
Shenyang ⁴	Yang et al. (2018)	-	28,1	-	0,31	0,36	-	44%	0%	31%	25%
Taichung ¹²	Chen et al. (2003)	M	18,9	3,8	0,63	-0,61	714	25%	23%	26%	26%
Taipei ¹²	Tzeng; Chen (1998)	M	19,4	5,1	0,8	-0,83	950	19%	20%	32%	30%
Taipei ¹²	Tzeng; Chen (1998)	M	16,6	3,5	0,68	-0,68	763	22%	30%	24%	24%
Toronto ³ - HDT Estrada ^a	Amirjamshidi; Roorda (2015)	C	40,9	-	0,15	-0,28	-	3%	2%	63%	33%
Toronto ³ - MDT Estrada ^b	Amirjamshidi; Roorda (2015)	C	39,7	-	0,14	-0,34	-	1%	2%	69%	28%
Toronto ³ - LDT Estrada ^c	Amirjamshidi; Roorda (2015)	C	52,7	-	0,29	-0,54	-	4%	2%	61%	33%
Toronto ³ - LDT M, arterial ^d	Amirjamshidi; Roorda (2015)	C	18,4	-	0,58	-0,71	-	3%	17%	44%	36%
Toronto ³ - MDT M, Estrada ^e	Amirjamshidi; Roorda (2015)	C	15,2	-	0,36	-0,65	-	1%	18%	52%	29%
Toronto ³ - HDT M, Estrada ^f	Amirjamshidi; Roorda (2015)	C	16,6	-	0,4	-0,59	-	2%	16%	49%	34%
Toronto ³ - HDT LS, Blvd ^g	Amirjamshidi; Roorda (2015)	C	28,4	-	0,28	-0,61	-	1%	12%	59%	28%
Toronto ³ - MDT LS, Blvd ^h	Amirjamshidi; Roorda (2015)	C	25,7	-	0,27	-0,65	-	1%	10%	63%	26%
Toronto ³ - LDT ^c LS, Blvd ⁱ	Amirjamshidi; Roorda (2015)	C	34,8	-	0,57	-0,75	-	8%	12%	46%	35%
Toronto ³ - HDT U, Avenida ^j	Amirjamshidi; Roorda (2015)	C	12,4	-	0,4	-0,6	-	1%	22%	46%	31%
Toronto ³ - MDT U, Avenida ^k	Amirjamshidi; Roorda (2015)	C	13,1	-	0,38	-0,63	-	0%	19%	50%	30%
Toronto ³ - LDT ^c U, Avenida ^l	Amirjamshidi; Roorda (2015)	C	13,9	-	0,6	-0,75	-	1%	20%	44%	36%
Toronto ³ - HDT Arterial ^m	Amirjamshidi; Roorda (2015)	C	16,9	-	0,41	-0,56	-	6%	19%	43%	32%
Toronto ³ - MDT Arterial ⁿ	Amirjamshidi; Roorda (2015)	C	15,8	-	0,36	-0,59	-	6%	18%	48%	29%
Toronto ³ - LDT ^c Arterial ^o	Amirjamshidi; Roorda (2015)	C	19,4	-	0,57	-0,57	-	12%	14%	37%	37%
URB ¹²	Chen et al. (2003)	M	17,4	4,2	0,66	-0,6	877	20%	28%	25%	27%
Média			23,3	6,6	0,56	-0,67	1089	13%	16%	41%	31%
Desvio Padrão			10,3	2,8	0,28	0,42	332	12%	9%	13%	6%

Fonte: Andrade et al. (2020)

Legendas: TV = Tipo do Veículo; M = Motos; O = Ônibus; C = Caminhões

1- Austrália; 2- Brasil; 3- Canadá; 4- China; 5- Escócia; 6- Eslovênia; 7- Grécia; 8- Índia; 9- Irã; 10- Iraque; 11- Tailândia; 12- Taiwan; 13- Vietnam; a - Caminhão pesado estrada; b - Caminhão médio estrada; c - Caminhão leve estrada; d - Caminhão leve ramificações principais; e - Caminhão médio ramificações principais; f - Caminhão pesado ramificações principais; g - Caminhão pesado via Lake Shore Blvd.; h - Caminhão médio via Lake Shore Blvd.; i - Caminhão leve via Lake Shore Blvd.; j - Caminhão pesado Avenida Universidade; k - Caminhão médio Avenida Universidade; l - Caminhão leve Avenida Universidade; j - Caminhão pesado Via Arterial; k - Caminhão médio Via Arterial; l - Caminhão leve Via Arterial

Comparando os resultados dos carros e dos outros veículos, observou-se que a velocidade média diminui (Tabela 3: $V = 27,2 \pm 7,5 \text{ km.h}^{-1}$; Tabela 4: $V = 23,3 \pm 10,3 \text{ km.h}^{-1}$)

e a aceleração aumenta (Tabela 3: $a = 0,53 \pm 0,23 \text{ m.s}^{-2}$; Tabela 4: $a = 0,56 \pm 0,28 \text{ m.s}^{-2}$). Para entender esses resultados, dividiu-se a Tabela 4 com base na categoria do veículo, obtendo uma velocidade maior para caminhões ($V = 24,3 \pm 12,4 \text{ km.h}^{-1}$), depois para motocicletas ($V = 23,9 \pm 8,5 \text{ km.h}^{-1}$) e, por último, para os ônibus ($V = 20,6 \pm 10,3 \text{ km.h}^{-1}$). Os ciclos de motocicletas têm velocidades médias mais baixas, provavelmente porque os ciclos de caminhões têm mais trechos de rodovias. Em termos de aceleração, os maiores valores foram para as motocicletas ($a = 0,75 \pm 0,27 \text{ m.s}^{-2}$), conforme esperado pelas suas menores massas, seguidos pelos dos caminhões ($a = 0,38 \pm 0,15 \text{ m.s}^{-2}$). Não há informações de aceleração para os ônibus. Outro resultado interessante é encontrado analisando os modos de movimento. Para caminhões, obteve-se um tempo de cruzeiro (T_C) muito curto ($T_C = 3\% \pm 3\%$), enquanto para as motocicletas, curiosamente, encontrou-se um tempo maior para a velocidade de cruzeiro ($T_C = 21\% \pm 8\%$). Por serem ágeis, seria de se esperar que as motocicletas gastassem mais tempo acelerando.

3.2.3.1 Comparação de Parâmetros Cinemáticos e Energéticos de Ciclos de Condução

Analisando os 77 CCL desenvolvidos de 1978 a 2020, para cidades da Ásia, Europa, Oceania, América do Sul e América do Norte, do ponto de vista de seus PC, alguns trabalhos desenvolveram estudos comparativos entre os CC. Arun et al. (2017) gerou dois CCL para carros em Chennai, Índia, encontrando a diferença entre horário de pico e fora de pico ($\Delta V = 4,4 \text{ km.h}^{-1}$, $\Delta a = 0,16 \text{ m.s}^{-2}$, $\Delta T_P = 15\%$), bem como quando em comparação com o ciclo FTP-75 ($\Delta V = 14,2 \text{ km.h}^{-1}$, $\Delta a = 0,08 \text{ m.s}^{-2}$, $\Delta T_P = 12\%$). Tong et al. (2011) propôs um CCL para Hanói (Vietnã) concluindo que havia uma diferença entre seu ciclo e o ciclo padrão usado na época, NEDC ($\Delta V = 13,7 \text{ km.h}^{-1}$, $\Delta a = 0,13 \text{ m.s}^{-2}$, $\Delta T_P = 15\%$). Knez et al. (2014) comparou ciclos anteriores com o ciclo de condução proposto para Celje (Eslovênia), observando que as pequenas cidades têm velocidade média mais alta ($\Delta V = 6,1 \text{ km.h}^{-1}$, $\Delta a = 0,17 \text{ m.s}^{-2}$, $\Delta T_P = 5\%$). Mayakuntla e Verma (2018) desenvolveram um ciclo de condução para Bangalore (Índia) descobrindo que diferentes regiões precisavam de ciclos diferentes ($\Delta V = 2,3 \text{ km.h}^{-1}$, $\Delta T_P = 13\%$ em sua comparação). Eles também enfatizaram a necessidade de abandonar o CPC, usado para fins legislativos, em favor dos CCL e encontraram $\Delta V = 10,7 \text{ km.h}^{-1}$, $\Delta a = 0,93 \text{ m.s}^{-2}$, e $\Delta T_P = 6\%$ ao comparar seu CCL com um CPC.

Uma grande revisão dos ciclos de condução foi realizada por Barlow et al. (2009), apresentando PC para 256 ciclos de condução em todo o mundo (oficiais e não oficiais). É um

documento importante que fornece as definições matemáticas dos PC mais relevantes e permite sua comparação em vários ciclos.

Além de estudar os PC para os ciclos de condução, alguns autores também avaliaram parâmetros energéticos, como por exemplo o consumo energético e autonomia. Aproximadamente, um terço dos artigos listados nas Tabelas 3 e 4 avaliaram a energia. Tsai et al. (2005) descobriram que o consumo de energia do ciclo de condução em Kaohsiung (Taiwan) é aproximadamente 10% maior do que o do ECE, um ciclo padrão europeu. Chen et al. (2003), em seus estudos, mostram que a economia de combustível do ciclo de condução urbano é 21% menor do que o ciclo de condução rural, em Taiwan. Ho, Wong e Chang (2014) calcularam que o consumo de energia do NEDC é 5% menor do que o ciclo de condução de Cingapura (Malásia). O estudo de Karavalakis et al. (2007) mostra que o consumo de energia em Atenas (Grécia) é cerca de 30% maior, em comparação ao NEDC. Roso e Martins (2015) estimaram que o consumo de energia da rodovia de Santa Maria (Brasil), às 12h e às 17h, é menor que o ciclo FTP-75 em 1,5% e 21%, respectivamente. De acordo com o estudo de Ma et al. (2019), o consumo de energia dos ciclos de pico e fora de pico de Pequim (China) são maiores do que o NEDC em 37,5% e 29,3%, respectivamente. Outros trabalhos também analisaram parâmetros de energia, como Azevedo et al. (2017), Gong et al. (2018), Koossalapeerom et al. (2019), Rechkemmer et al. (2019) e Tzeng e Chen (1998).

3.2.4 Construção de um Ciclo de Condução

O processo de obtenção de ciclos de condução envolve 3 fases, de acordo com Huertas et al. (2018b):

- a) instrumentação de um ou vários veículos para registrar sua velocidade em 1Hz;
- b) amostragem representativa de ciclos reais (*floatings*);
- c) análise dos dados para construir um ciclo de condução representativo.

A forma mais aplicada de análise dos registros feitos com os veículos é por meio da divisão dos registros de velocidade (*floatings*) de cada experimento em micro-viagem, percurso entre dois períodos de inatividade ou velocidade nula (GIAKOUMIS, 2016), e, conseqüentemente, a junção das micro-viagens de forma aleatória, formando ciclos de condução que têm uma duração de cerca de 10-40 min (ARUN et al., 2017; HUERTAS; QUIRAMA; GIRALDO, 2019; HUNG et al., 2007; WOLF, 2015; ZHANG; ZHAO; SHEN, 2011). Essa duração deve ser longa o bastante para conter micro-viagens necessárias para

refletir o comportamento de direção do mundo real, mas curta o suficiente para facilitar o teste de muitos veículos no laboratório e, conseqüentemente, o seu tratamento.

Já para a coleta dos dados, se a frequência for muito baixa, é fácil perder informações, pois, o intervalo de amostragem fica muito longo, o que gera uma diminuição da precisão dos dados e afeta os resultados da análise. Mas, por outro lado, uma alta frequência pode aumentar a carga de trabalho do sistema, causando desperdício desnecessário de recursos, tendo sido adotada a frequência de 1Hz em estudos (ARUN et al., 2017; HUERTAS et al., 2018b).

De acordo com Rechkemmer et al. (2019), as informações de velocidade para a criação de um CC podem ser obtidas com 1Hz pelo GPS de um celular, apresentando um erro médio, em relação a um receptor GPS de alta precisão, de $0,87 \text{ m.s}^{-1}$, com um desvio padrão de $0,28 \text{ m.s}^{-1}$. Esses valores são aceitáveis, segundo o estudo, além de o erro estar de acordo com o previsto pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (2017).

O primeiro CC importante, construído usando micro-viagens, foi o ciclo unificado da Califórnia 1992, ou *California Unified Cycle* 1992 (LA-92), desenvolvido pelo Conselho de Recursos Atmosféricos da Califórnia (CARB, do inglês *California Air Resources Board*) (GIAKOUMIS, 2016). Depois de extrair as micro-viagens de dados do mundo real, elas foram combinadas e permutadas até obter um ciclo de condução representativo para Los Angeles, Califórnia. Ao longo dos anos, vários outros ciclos foram desenvolvidos. A micro-viagem tem sido empregada para gerar ciclos de condução para motocicletas (ARUN et al., 2017; KOOSSALAPEEROM et al., 2019; SEEDAM et al., 2015; TONG et al., 2011; TSAI et al., 2005), carros (ARUN et al., 2017; HUNG et al., 2007; KAMBLE; MATHEW; SHARMA, 2009; TONG et al., 2011) e até mesmo caminhões (AMIRJAMSHIDI; ROORDA, 2015). Esse método permite a utilização de dados coletados da técnica de perseguição de carros (*car-chase*) (HUNG et al., 2007; KAMBLE; MATHEW; SHARMA, 2009), dados coletados diretamente do veículo estudado (*on-board measurement*) (KOOSSALAPEEROM et al., 2019; SEEDAM et al., 2015), ou obtidos de um simulador de tráfego (AMIRJAMSHIDI; ROORDA, 2015).

Para Pouresmaeili, Aghayan e Taghizadeh (2018), a análise das micro-viagens pode ser feita por meio da quantificação de 10 parâmetros:

- a) Velocidade média (km.h^{-1})
- b) Velocidade média corrida (km.h^{-1})
- c) Aceleração média (m.s^{-2})
- d) Desaceleração média (m.s^{-2})

- e) Percentagem do tempo acelerando (%)
- f) Percentagem do tempo desacelerando (%)
- g) Percentagem do tempo parado (%)
- h) Percentagem do tempo velocidade constante (%)
- i) Percentagem do tempo em baixa velocidade (menor que 5 km.h⁻¹) (%)
- j) Desvio padrão da aceleração (m.s⁻²)
- k) Energia cinética para acelerar (m.s⁻²)

Ou por meio desses 10 parâmetros de caracterização mais um parâmetro, de acordo com Arun et al. (2017):

- l) Percentagem do tempo em baixa velocidade (menor que 5 km.h⁻¹) (%)

Após o cálculo dos parâmetros característicos de avaliação para o ciclo candidato (e da média de todos os ciclos como valor alvo), a diferença entre os valores do ciclo em análise do valor alvo (médio) é determinado. Se a diferença entre a média dos parâmetros característicos do ciclo criado, em relação aos dados originais, for menor do que 4%, então esse ciclo candidato é aceito como ciclo de condução. Por fim, escolhe-se o ciclo que apresentar o menor erro (POURESMAEILI; AGHAYAN; TAGHIZADEH, 2018). Não é preciso um número muito elevado de dados para a geração de um ciclo. Arun et al. (2017), em seus estudos para a criação de um ciclo para carros na cidade de Chennai, Índia, coletaram 520 micro-viagens no horário de pico, horário com um maior número de paradas, e 236 micro-viagens para a criação de um ciclo fora do horário de pico.

Outro método é proposto por Dai, Niemeier e Eisinger (2008); Hereijgers et al. (2017); Huertas, Quirama e Giraldo (2019); Mayakuntla e Verma (2018); e Wang et al. (2019) é o método de cadeia de Markov. Em comparação com os métodos de construção convencionais, o método da cadeia de Markov reflete melhor a natureza da mudança de velocidade, uma vez que a velocidade num instante posterior depende inteiramente da que ocorre no instante anterior (SHI et al., 2016). Porém, esse método demanda uma quantidade de dados elevada (meses de registros diários de dados no veículo) (YANG et al., 2018). Wang et al. (2019), em seus estudos, coletaram dados, utilizando a frequência de 1Hz, em 40 taxis, por um período de 6 meses, para obter dados suficientes para sua análise. O que mostra a grande demanda de dados desse método.

Em outro método, proposto por Al-samari (2017), as micro-viagens geradas são analisadas com base nos limites máximo e mínimo de tolerância dos parâmetros (aceleração, desaceleração, cruzeiro e inativo), comparando-os entre si. A primeira micro-viagem é comparada a todas as outras micro-viagens. As micro-viagens são relacionadas em relação aos

4 parâmetros de análise e então agrupadas por parâmetro (aquele se aproxima mais da média). Esse processo é repetido com as micro-viagem geradas e, depois de terminar a comparação, as mais frequentes são selecionadas. As micro-viagens selecionadas são conectadas em série com base no número de frequências da micro-viagem e as mais frequentes vêm em primeiro lugar. Se a duração do ciclo de condução gerado não for suficiente, as outras micro-viagens podem ser adicionadas para obter uma duração suficiente do ciclo de condução. O número total de micro-viagens diminuiu significativamente de acordo com essa estratégia.

Já para Roso e Martins (2015), é possível se criar um ciclo de condução de duas outras formas. Pela criação de um “Ciclo de Condução Médio” ou pela criação de um “Ciclo de Condução Cumulativo”. O “Ciclo de Condução Médio” é feito pela divisão do trajeto adotado para realização dos testes em trechos de 100 m (segmentos). Pega-se, então, a velocidade média que cada teste de rua obteve em cada um desses trechos, assim como o tempo gasto para percorrer o trecho de 100 m, e, então, se contabiliza a velocidade média das médias. Monta-se, assim, um ciclo com as velocidades e tempos de cada trecho, sendo possível se interpolar entre os pontos para se eliminar grandes discontinuidades. Porém, obtém-se, por esse método, um ciclo sem paradas, já que as velocidades médias nunca vão dar valores nulos. Já o método do “Ciclo de Condução Cumulativo” é feito por meio da junção dos testes feitos (floatings), montando um ciclo composto pela junção de todos os vetores velocidade/tempo obtidos.

3.2.5 Caracterização do consumo pela média da região

De acordo com Ben Dror, Qin e An (2019), existe uma outra forma de se medir o real consumo de combustível de uma localidade, além da metodologia de uso de ciclos de condução. Assim, é possível se comparar a diferença existente entre o consumo real e o consumo padrão medidos segundo as normas do país. Em seus estudos, os dados de consumo no mundo real, empregados pelos autores, foram gerados pelo aplicativo *BearOil*, um aplicativo móvel independente, destinado a avaliar os custos de combustível desde 2008. O conjunto de dados incluiu mais de 45 milhões de registros, inseridos por 1.167.915 proprietários de carros de 31 cidades e províncias da China. Os usuários informaram voluntariamente a quantidade de combustível que compraram, as despesas e as leituras do hodômetro de seus carros, todas as vezes que eles reabasteceram.

O conjunto de dados forneceu valores reais de consumo para mais de 17.000 modelos e 200 marcas de veículos, para os anos de modelo de 2008 a 2017. Já os dados padrões de

consumo dos veículos foram obtidos pelo programa de etiquetagem do Ministério da Indústria e Informação da Tecnologia da China, possibilitando obter o consumo médio esperado de cada tipo de veículo nas cidades chinesas e comparar com os valores padronizados. Encontrou-se um erro de até 29% para veículos automáticos no ano de 2017, porém esse método não permite a criação de um CC, uma vez que ele apenas quantifica o consumo médio por região e modelo de veículo, não registrando dados de velocidade e tempo, necessários para a criação de um CCL.

3.3 COMPARATIVO DOS MÉTODOS ADOTADOS NESTE TRABALHO COM OS PRINCIPAIS MÉTODOS PRESENTES NA LITERATURA

O desenvolvimento de um ciclo de condução envolve a aplicação de diversos métodos, sendo em geral divididos 3 fases, instrumentação, coleta dos dados e análise, como citado anteriormente. A seguir, foi analisado como esses procedimentos são realizados pelos principais autores e como foi feito neste trabalho.

3.3.1 Instrumentação dos veículos

Para a coleta dos dados gerados nos testes, normalmente é feito o registro dos dados por meio do uso de dispositivos de GPS, como realizado por Berzi, Delogu e Pierini (2016); Nesamani e Subramanian (2011); e Wang, Zhang e Ouyang (2015). Porém, alguns trabalhos também utilizam do sistema de OBD do veículo, para coletar diretamente da unidade de controle eletrônico do veículo (ECU), como Ho, Wong e Chang (2014); Roso e Martins (2015); Seers, Nachin e Glaus (2015); e Arun et al. (2017), que utiliza os dois dispositivos para validar as suas análises (GPS e OBD). De forma a simplificar e facilitar a obtenção dos dados, este trabalho será realizado com a coleta por meio do uso de GPS, porém com o uso de um GPS de celular, assim como feito na construção de CC por Rechkemmer et al. (2019). Apesar desses autores adotarem o mesmo método de obtenção dos registros para a criação de um CCL, eles aplicaram um diferente método de tratamento dos dados (mais complexo) e seus estudos são voltados para veículos elétricos.

3.3.2 Coleta dos dados

A coleta dos dados é feita nos dias e horários de testes determinados, porém ela é normalmente feita de duas maneiras: por meio da perseguição de carros aleatórios em uma rota determinada (*chase-car*) (KAMBLE; MATHEW; SHARMA, 2009; KENT; ALLEN; RULE, 1978; KNEZ et al., 2014); ou por meio das medições no veículo, um outro método existente e adotado neste trabalho, em que os registros são feitos de acordo com a condução realizada pelo condutor do teste (LAI et al., 2013; NESAMANI; SUBRAMANIAN, 2011; SEEDAM et al., 2015; TONG et al., 2011). O método adotado neste trabalho, apesar de ser considerado menos preciso por Arun et al. (2017), considera que, para trânsitos de grandes cidades, é difícil conseguir seguir um determinado veículo de forma coerente, sendo melhor estar sujeito a condições de condução do condutor de teste. Além disso, foi adotado, neste trabalho, um método inovador de validação da representatividade dos dados gerados, por meio do comparativo com dados do Google Maps e da companhia local de trânsito do Recife, a Autarquia de Trânsito e Transporte Urbano (CTTU), de modo a se verificar se o condutor realizou o teste de forma representativa, ou não, ao final de cada dia de teste.

3.3.3 Análise

Como mencionado anteriormente, as análises das informações coletadas nos testes são normalmente processadas por meio de dois métodos (Micro-Viagens e Markov), tendo sido adotado, neste trabalho, o Método das Micro-Viagens, uma vez que se buscou o desenvolvimento de um método simplificado, que demande uma menor quantidade de dados. Além da criação de um ciclo, este trabalho também propõe um método de análise cinemática e energética do ciclo, realizando um comparativo dos ciclos criados com CPC e com outros 40 CCL. No entanto, normalmente, os trabalhos realizam apenas a análise cinemática, e em alguns casos realizam também uma análise energética e/ou de emissões, porém comparando apenas o CC desenvolvido a poucos CCL e CPC, geralmente os adotados na região. Um exemplo é o trabalho de Yang et al. (2019), que compara Nanjing, na China, com quatro outras cidades Chinesas, e a CPC com o NEDC e WLTC.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste trabalho os seguintes métodos foram adotados para o desenvolvimento desta tese: método de criação de um ciclo de condução local; método de análise dos parâmetros cinemáticos e energéticos dos CCL; aplicação dos métodos de criação e análise para a cidade do Recife; aplicação do método de análise em CCL ao redor do mundo; e o método de validação dos processos realizados.

4.1 MÉTODO DE CRIAÇÃO DE UM CICLO DE CONDUÇÃO

Para a criação de um CCL, foi feita a coleta de dados e o seu processamento, sendo demonstrado o método adotado desde a coleta das informações nas ruas, passando pelo tratamento dos dados e criação do ciclo de condução local.

4.1.1 Criação do *floating*

Para a obtenção dos registros de velocidade-tempo do veículo (*Floating car data*), foi necessário, primeiramente, a determinação do trajeto desejado, com base na representatividade do trajeto escolhido em relação ao tráfego do local em que se espera construir um ciclo de condução. Também foi relevante a escolha dos veículos, equipamentos de análise e horários de teste, por serem fatores determinantes na criação do *floating* (TSAI et al., 2005).

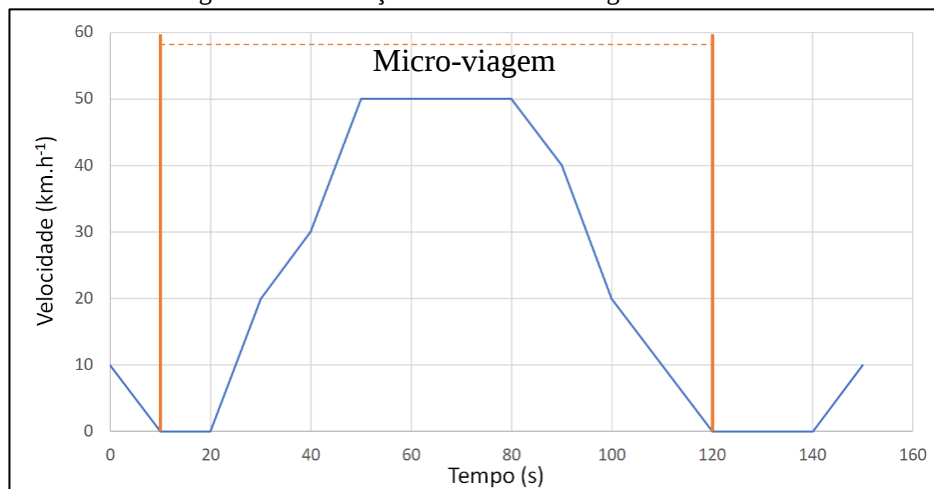
Para a obtenção do vetor velocidade versus tempo, no trajeto desejado (*floating*), foi adotado um GPS de celular com frequência de 1Hz (HUERTAS et al., 2018b). A frequência de amostragem dos dados foi definida como de 1Hz, conforme Zhang, Guo e Huang (2017).

As leituras do GPS de celular foram auxiliadas pelo aplicativo *SpeedTracker*, para captação das informações: velocidade, tempo e posição de mesma frequência de registro (1Hz). O GPS de celular possui acurácia posicional planimétrica de em média 1 a 4 m, permitindo o registro das informações obtidas no teste. Já na altimetria, os resultados apresentam uma menor coerência e o erro pode chegar a dezenas de metros.

Após a coleta das informações pelo aplicativo, os dados gerados foram tratados, para eliminar possíveis erros de leitura, por meio de um filtro que remove as leituras divergentes e substitui por pontos interpolados entre os instantes anteriores e posteriores à posição eliminada.

Em seguida, foi feita a obtenção das micro-viagens referentes aos testes realizados em motos e carros. As micro-viagens (Figura 20) se definem como a duração da condução, os registros de velocidade-tempo, entre duas paradas consecutivas. Em outras palavras, as atividades do veículo são separadas com base nas paradas do veículo. Esse método funciona por meio do agrupamento, de forma aleatória, das micro-viagens geradas ao longo dos testes, formando os candidatos a ciclo de condução para carro e para moto, sendo os ciclos candidatos criados pela junção das micro-viagens, até a obtenção do tempo desejado para o ciclo.

Figura 20 – Definição de uma micro-viagem aleatória



Fonte: O Autor (2020).

Para a validação dos ciclos candidatos, montados com base nas micro-viagens, como um ciclo local para carro e para moto, foi adotado o método proposto por Arun et al. (2017); Kancharla e Ramadurai (2018); e Pouresmaeili, Aghayan e Taghizadeh (2018). Esse método faz uma análise dos dados obtidos (*floatings*), com base em dez parâmetros de caracterização (PC) selecionados (Quadro 4), de modo a caracterizar cinematicamente esses dados.

Quadro 4 – Parâmetros de caracterização dos ciclos desenvolvidos

Caracterização do floating	
Vel. média com base no tempo andando – V (km.h ⁻¹)	$v = 3,6 \frac{\text{dist}}{t_{\text{cond}}}$
Vel. média com base no tempo total - V _c (km.h ⁻¹)	$v_c = 3,6 \frac{\text{dist}}{t_{\text{total}}}$
Aceleração média – a (m.s ⁻²)	$a = \left(\sum_{i=1}^n \begin{cases} 1 & (a_i > 0,1) \\ 0 & \text{se não} \end{cases} \right)^{-1} \sum_{i=1}^n \begin{cases} a_i & (a_i > 0,1) \\ 0 & \text{se não} \end{cases}$
Desaceleração Média – d (m.s ⁻²)	$d = \left(\sum_{i=1}^n \begin{cases} 1 & (a_i < -0,1) \\ 0 & \text{se não} \end{cases} \right)^{-1} \sum_{i=1}^n \begin{cases} a_i & (a_i < -0,1) \\ 0 & \text{se não} \end{cases}$
Percentual do tempo parado - T _p	$T_p = (t_{\text{Total}})^{-1} \sum_{i=1}^n \begin{cases} 1 & (v = 0 \text{ e } a_i < 0,1) \\ 0 & \text{se não} \end{cases}$
Percentual do tempo com velocidade cte - T _c	$T_c = (t_{\text{Total}})^{-1} \sum_{i=1}^n \begin{cases} 1 & (v > 0 \text{ e } -0,1 < a_i < 0,1) \\ 0 & \text{se não} \end{cases}$
Percentual do tempo acelerando - T _a	$T_a = (t_{\text{Total}})^{-1} \sum_{i=1}^n \begin{cases} 1 & (a_i > 0,1) \\ 0 & \text{se não} \end{cases}$
Percentual do tempo desacelerando - T _d	$T_d = (t_{\text{Total}})^{-1} \sum_{i=1}^n \begin{cases} 1 & (a_i < -0,1) \\ 0 & \text{se não} \end{cases}$
Desvio padrão da velocidade – σ _v (km.h ⁻¹)	$\sigma_v = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n v_i^2}$

Fonte: Barlow *et al.* (2009)

Os dez PC foram obtidos também para os CC candidatos desenvolvidos. O erro relativo, de cada um desses dez parâmetros básicos, foi avaliado para o CC em desenvolvimento e para todos os dados coletados. Um erro médio de até 4% foi considerado aceitável para os parâmetros, como descrito pela equação 12 (POURESMAEILI; AGHAYAN; TAGHIZADEH, 2018). Quanto menor o erro, o candidato a ciclo de condução está mais próximo da realidade coletada pelos testes. Se o erro médio dos parâmetros foi maior do que 4%, o candidato a ciclo de condução foi então descartado e um novo ciclo foi desenvolvido por uma nova combinação aleatória das micro-viagens.

$$e = \frac{\sum_{i=1}^9 \left| \frac{p_i - P_i}{P_i} \right|}{9} < 0,04 \quad (12)$$

Onde:

p_i = Parâmetro médio obtido por todos os dados;

P_i = Parâmetro médio obtido pelo ciclo em desenvolvimento (análise).

4.2 MÉTODO DE ANÁLISE DE CICLOS DE CONDUÇÃO

Para a realização das análises cinemáticas e energéticas dos ciclos de condução estudados, foi desenvolvido um método de análise cinemática e energética, sendo demonstrado, a seguir, os procedimentos necessários para a realização das análises.

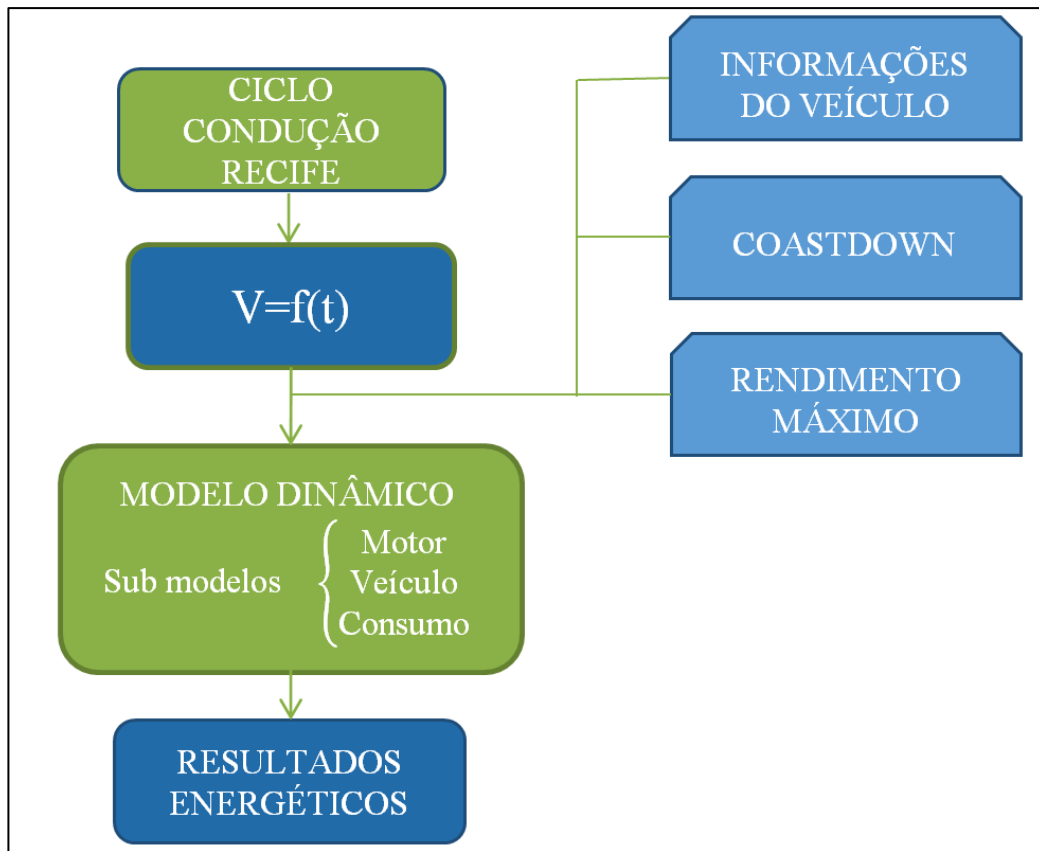
4.2.1 Método de análise cinemática

Após a obtenção dos ciclos locais, foi feito o levantamento dos PC dos ciclos que se desejava analisar, comparando, por meio de suas características cinemáticas, os ciclos locais desenvolvidos com os ciclos padrões adotados normalmente. Para as análises com carros, foram utilizados os ciclos padrão de condução FTP-75, NEDC e WLTC; e para as análises com motos, os ciclos FTP-75 e WMTC, além de comparar com outros ciclos locais ao redor do mundo, visando entender o comportamento desses ciclos e suas diferenciações através da comparação dos dez PC (Quadro 4) dos ciclos analisados.

4.2.2 Método de análise energética

A análise energética dos veículos, segundo o ciclo de condução adotado, foi feita a partir de um modelo dinâmico, subdividido em três modelos (Figura 21) que representam: o motor do veículo e suas curvas de potência e rendimento; o veículo e suas demandas energéticas em relação ao movimento; e o modelo de consumo, responsável pela quantificação do consumo obtido no ciclo, com base nas informações dos submodelos anteriores.

Figura 21 – Fluxograma do método adotado de análise energética



Fonte: O Autor (2020).

4.2.2.1 Modelo do motor

O Modelo do motor tem como função modelar o comportamento do motor, determinando a potência e o rendimento do motor em cada uma das situações a que ele venha ser solicitado.

4.2.2.1.1 Obtenção Dados de Potência e Rendimento

De acordo com Ni e Henclewood (2008), a potência máxima disponível no motor, por faixa de rotação, pode ser dada pela expressão abaixo (Equação 13). Para a sua aplicação, foi necessário coletar as informações de potência de pico do motor, das velocidades de ocorrência, da potência de pico e do torque de pico, que são normalmente encontradas nos manuais técnicos dos veículos.

$$P_{\text{máx}} = \frac{P_{\text{pico}}}{2\omega_p^2} (3\omega_p - \omega_t)\omega + \frac{-P_{\text{pico}}}{2\omega_p^2(\omega_p - \omega_t)} (\omega - \omega_t)^2 \omega \text{ [kW]} \quad (13)$$

Onde:

P_{pico} = Potência máxima obtida pelo motor em toda sua faixa de operação (kW);

$P_{\text{máx}}$ = Potência máxima na velocidade atual do motor, no instante de análise (kW);

ω_p = Velocidade de ocorrência da potência de pico (rpm);

ω_t = Velocidade de ocorrência do torque máximo (rpm);

ω = Velocidade do motor no instante analisado (rpm).

A determinação do rendimento entregue pelo motor em cada instante de sua operação (equação 14), foi obtido por meio da expressão proposta por Ben-Chaim; Shmerling; Kuperman (2013). Esta expressão é baseada na potência que o veículo demanda ao motor, na potência máxima que o motor consegue fornecer (para a velocidade de operação do veículo no instante de análise), e no valor do rendimento máximo do motor (η_0).

$$\eta_{\text{motor}} = \eta_0 \mu_P \mu_N \quad (14)$$

$$\mu_P = 0,234 + 1,0592 \left(\frac{P}{P_{\text{máx}}} \right) + 0,8149 \left(\frac{P}{P_{\text{máx}}} \right)^2 - 1,2121 \left(\frac{P}{P_{\text{máx}}} \right)^3 \quad (15)$$

$$\mu_N = 0,7101 + 0,9963 \left(\frac{\omega}{\omega_p} \right) + 1,0582 \left(\frac{\omega}{\omega_p} \right)^2 - 0,3124 \left(\frac{\omega}{\omega_p} \right)^3 \quad (16)$$

Onde:

η_0 = Rendimento máximo do motor;

η_{motor} = Rendimento do motor no instante analisado;

μ_P = Termo que indica desempenho do motor com relação a carga;

μ_N = Termo que considera a rotação do motor;

P = Potência demandada ao motor na velocidade atual do motor, no instante de análise (kW).

4.2.2.1.2 Obtenção do Rendimento Máximo

Para a calibração do rendimento máximo do motor (η_0) no modelo, foi necessário o conhecimento do consumo do veículo em um floating conhecido. Para os carros, foram adotados os dados de consumo disponíveis no PBEV para o modelo desejado, simulando o veículo no ciclo padrão e ajustando o valor do η_0 , até se obter o valor de consumo proposto pelo INMETRO. Já para as motos, foi escolhido um floating realizado em um dos testes de rua no ciclo Recife, em que o consumo era conhecido, repetindo, então, o mesmo processo iterativo de ajuste do η_0 realizado para os carros. Para a obtenção da expressão representativa

do η_0 , é necessário, inicialmente, analisar a relação entre a potência mecânica na roda (P_{trac}) e a potência demandada ao motor (P), por meio da eficiência de transmissão (η_{trans}):

$$P_{\text{trac}} = \eta_{\text{trans}} P \quad (17)$$

A potência entregue pelo motor é dada pela relação entre o seu rendimento e a potência liberada pelo volume de combustível consumido.

$$P = PC_{\text{comb}} \eta_0 \mu_P \mu_N A \quad (18)$$

Reorganizando as equações 17 e 18, é possível isolar η_0 , conforme mostrado na equação 19.

$$\eta_0 = \frac{P_{\text{trac}}}{PC_{\text{comb}} \eta_{\text{trans}} \mu_P \mu_N A} \quad (19)$$

Onde:

PC_{comb} = Poder Calorífico do combustível (MJ.kg^{-1});

η_{trans} = Eficiência de transmissão do veículo (adotado como constante = 0,8);

P_{trac} = Potência mecânica na roda (kW);

μ_P = Termo que indica desempenho do motor com relação a carga;

μ_N = Termo que considera a rotação do motor;

A = Autonomia (km.L^{-1}).

4.2.2.2 Modelo do Veículo

O modelo do veículo tem como função simular o movimento dos veículos, determinando a potência usada para acelerar ou desacelerar e a sua eficiência térmica, o que permite calcular as demandas energéticas do veículo em um *floating* desejado.

4.2.2.2.1 Cálculo da rotação desejada do motor

Para o cálculo da velocidade desejada de rotação do motor (ω_i), é necessário estabelecer a taxa de relação de transmissão de velocidade existente no veículo $r_{\text{tot}}(i)$ por marcha engatada (γ_i). Determinou-se, através da velocidade desejada do veículo, das relações de transmissão estabelecidas e da marcha engatada, qual era a rotação do motor, porém deve ser levado em consideração as rotações limites a que o motor pode ser submetido e que irão variar de acordo com o projeto do motor.

$$\omega_i = \begin{cases} \omega_{\text{máx,mot}} & \frac{v_i}{R_{\text{roda}}} \frac{60}{2\pi} r_{\text{tot}}(\gamma_i) \geq \omega_{\text{máx,mot}} \\ \frac{v_i}{R_{\text{roda}}} \frac{60}{2\pi} r_{\text{tot}}(\gamma_i) & \frac{v_i}{R_{\text{roda}}} \frac{60}{2\pi} r_{\text{tot}}(\gamma_i) \geq \omega_{\text{min,mot}} \\ \omega_{\text{min,mot}} & \frac{v_i}{R_{\text{roda}}} \frac{60}{2\pi} r_{\text{tot}}(\gamma_i) < \omega_{\text{min,mot}} \end{cases} \quad (20)$$

Em que:

R_{roda} = Raio da roda (m);

v_i = Velocidade no instante i (m/s);

$\omega_{\text{máx,mot}}$ = Velocidade máxima de operação do motor (rpm);

$\omega_{\text{min,mot}}$ = Velocidade mínima de operação do motor (rpm).

4.2.2.2.2 Cálculo da potência desejada e disponível do motor

Para o veículo acelerar ou se manter em velocidade constante, é necessário que seja fornecida potência à roda, suficiente para vencer as forças de rolagem, aerodinâmica, gravitacional e inercial. O modelo do veículo necessita, então, calcular a potência desejada na roda (P_{des}), para que o veículo seja capaz de cumprir as acelerações expressas, em cada instante, pelo *floating* desejado.

A equação 21 é resultante da integração da equação do movimento, usando a Segunda Lei de Newton, assumindo a potência desejada na roda e as resistências constantes durante a integração (equação 11). Essas simplificações foram realizadas, pois a potência desejada nas rodas e a resistência aerodinâmica são funções não lineares em v , e o tempo de integração (Δt) corresponderá a apenas 1 segundo.

$$P_{\text{des}} = Fv_i = (ma_i + F_{\text{res}})v_i = (ma_i + f_0 + f_2v_i^2)v_i \quad (21)$$

Onde:

F = Forças resultantes sobre o veículo (N);

v_i = Velocidade em cada instante de tempo (m.s^{-1});

m = Massa do conjunto em deslocamento (kg);

a_i = Aceleração do veículo (m.s^{-2});

F_{res} = Forças resistivas ao movimento (aerodinâmica e rolagem) (N);

f_0 = Termo de ordem zero do ajuste da curva de forças resistivas (N);

f_2 = Termo de ordem dois do ajuste da curva de forças resistivas ($\text{N} \cdot (\text{km.h}^{-1})^{-2}$).

Para a análise da disponibilidade de potência no motor para a rotação desejada, deve-se aplicar o polinômio de 3º grau (Equação 13), proposto por Ni e Henclewood (2008), em

função da rotação do motor, como explicado no modelo do motor, levando em consideração os limites superior e inferior de velocidade de operação do motor.

$$\dot{P}_{\max, \text{mot}, t} = \begin{cases} P_{\max} = \frac{P_{\text{pico}}}{2\omega_p^2} (3\omega_p - \omega_t)\omega + \frac{-P_{\text{pico}}}{2\omega_p^2 (\omega_p - \omega_t)} (\omega - \omega_t)^2 \omega & \omega_{\min, \text{mot}} \leq \omega \leq \omega_{\max, \text{mot}} \\ 0 & \omega > \omega_{\max, \text{mot}} \end{cases} \quad (22)$$

Como forma de controlar a potência disponível do motor, para que se iguale a desejada, aplica-se o fator de controle α , que irá funcionar como o acelerador, limitando a potência entregue pelo motor de acordo com a potência desejada (0 - 100%). O cálculo do coeficiente α_i , em cada instante, é determinado como sendo:

$$\alpha_i = \begin{cases} 1 & \dot{P}_{\text{des}, \text{roda}, i} > \eta_{\text{trans}} \dot{P}_{\max, \text{mot}, i} \\ \frac{\dot{P}_{\text{des}, \text{roda}, i}}{\eta_{\text{trans}} \dot{P}_{\max, \text{mot}, i}} & 0 \leq \dot{P}_{\text{des}, \text{roda}, i} \leq \eta_{\text{trans}} \dot{P}_{\max, \text{mot}, i} \\ 0 & \dot{P}_{\text{des}, \text{roda}, i} < 0 \end{cases} \quad (23)$$

Em que:

η_{trans} = Eficiência estimada do veículo na transmissão de potência do motor para as rodas;

$\dot{P}_{\text{des}, \text{roda}, i}$ = Potência desejada na roda no instante analisado (kW);

$\dot{P}_{\max, \text{mot}, i}$ = Potência disponível no motor no instante analisado (kW).

A potência aplicada ao veículo em análise (potência na roda) é, então, dada da seguinte forma:

$$\dot{P}_{\text{trac}, i} = \alpha_i \eta_{\text{trans}} \dot{P}_{\max, \text{mot}, i} \quad (24)$$

4.2.2.2.3 Análise da cinemática do veículo

A aceleração alcançada pelo veículo pode ser calculada por meio da igualdade da potência desejada (equação 21) e a potência na roda (equação 24), e pelo ajuste (reorganização) da equação obtida.

$$a_i = \frac{\frac{\dot{P}_{\text{trac}, i}}{v_i} - f_0 - f_2 v_i^2}{m} \quad (25)$$

Calcula-se, então, o deslocamento possível, pelo movimento retilíneo uniformemente variado, com a aceleração entregue pela potência empregada pelo motor.

$$x_{i+\Delta t} = x_i + v_i \Delta t_i + \frac{a_i}{2} \Delta t_i^2 \quad (26)$$

Para a determinação da marcha (δ) a cada instante da análise, de forma a se garantir que as marchas adotadas estejam dentro do *range* esperado:

$$\delta_{i+\Delta t} = \begin{cases} \max(\delta_i - 1, 1) & \frac{v_{i+\Delta t}}{R_{roda}} \frac{60}{2\pi} r_{tot}(\delta_i) < \omega_{min,mud} \\ \delta_i & \omega_{min,mud} \leq \frac{v_{i+\Delta t}}{R_{roda}} \frac{60}{2\pi} r_{tot}(\delta_i) \leq \omega_{max,mud} \\ \min(\delta_i + 1, n_{mar}) & \frac{v_{i+\Delta t}}{R_{roda}} \frac{60}{2\pi} r_{tot}(\delta_i) > \omega_{max,mud} \end{cases} \quad (27)$$

Onde:

R_{roda} = O raio do pneu adotado (m);

n_{mar} = Número de marchas do veículo;

$\omega_{min,mud}$ = Rotação mínima para permanecer o veículo na marcha atual (rpm);

$\omega_{max,mud}$ = Rotação máxima para permanecer o veículo na marcha atual (rpm).

Antes, deve-se estabelecer as rotações limites de mudança de marcha ($\omega_{min,mud}$, e $\omega_{max,mud}$), além das velocidades limites do motor ($\omega_{min,mot}$ e $\omega_{máx,mot}$).

4.2.2.3 Modelo de consumo

O consumo do veículo (C) foi calculado em litros por segundo, utilizando a potência instantânea no motor, que corresponde à potência de tração demandada pela roda (P_{roda}), somando-se as perdas mecânicas resultantes dos componentes do sistema de transmissão (η_{transm}). Considera-se, também, as ineficiências do motor, devido a suas perdas térmicas (η) em função do processo de combustão. Pode-se, então, determinar o consumo, pelo poder calorífico do combustível (PCI) e a densidade do combustível ($\rho_{C_xH_yO_z}$).

Para simular situações particulares do motor, algumas considerações são feitas, tais como: os instantes de velocidade nula do veículo; veículo em marcha lenta; e de desaceleração, com ocorrência do *Shut-off*. Para a situação de velocidade nula, os seguintes valores de consumo foram estimados para os veículos, de acordo com a litragem do motor:

Tabela 5 – Consumo dos motores em marcha lenta

Motor	Consumo (g.h⁻¹)	Consumo (L.s⁻¹)
0,3	381	1,49E-04
1	500	1,96E-04
1,2	539,4	2,11E-04
1,3	560	2,19E-04
1,4	581,2	2,27E-04
1,5	603	2,36E-04
1,6	625,4	2,45E-04
1,8	672	2,63E-04
2	721	2,82E-04

Fonte: O Autor (2020).

Já para a situação de *Shut-Off*, que é uma estratégia de economia de combustível, adotada nos veículos com sistema de injeção eletrônica, em que se corta a injeção de combustível em rotações de giro do motor acima de 1000-1200 *RPM*, quando se encontra em desaceleração, movimentando-se, o motor, apenas pela inercia do veículo. Sendo assim, foi considerado, nessa situação, um consumo nulo para o veículo.

4.2.2.3.1 Estrutura do modelo e dados necessários

O modelo do consumo foi baseado nas demandas de potência nas rodas e a sua respectiva conversão – por meio dos rendimentos de transmissão e motor – em potência necessária do motor e combustível, permitindo a quantificação do consumo (C), em cada instante de tempo (1Hz), em $L.s^{-1}$:

$$C = \frac{P_{comb}}{PC_{comb}} = \frac{P_{trac}}{PC_{comb}\eta_{trans}\eta_{motor}} \quad (28)$$

$$P_{comb} = \frac{P_{motor}}{\eta_{motor}} = \frac{P_{trac}}{\eta_{trans}\eta_{motor}} \quad (29)$$

$$P_{roda} = v_i \left(ma_i + \sum F_{res} \right) \quad (30)$$

Onde:

P_{comb} = Potência liberada pela massa de combustível (kW);

PC_{comb} = Poder calorífico do combustível por unidade volumétrica ($MJ.L^{-1}$);

η_{motor} = Rendimento térmico e mecânico do motor.

4.2.2.3.2 *Dados de calibração*

Para a utilização dos modelos computacionais desenvolvidos, foi necessário realizar, inicialmente, a calibração do modelo com as informações do veículo a ser analisado. Essas informações constituem seus dados técnicos de peso, potência, torque, relação de transmissão, dentre outras informações pertinentes à simulação do veículo.

4.2.2.3.2.1 Escolha do carro representativo

Com base na Lei de acesso à informação, Lei nº 12.527, de 18 de novembro de 2011, foi solicitado, ao INMETRO, os dados técnicos disponíveis de consumo e teste de resistência ao deslocamento, ou *Coast Down* (CD), dos veículos homologados para venda no Brasil (ANEXO A). Porém, por se tratar de informações sigilosas dos fabricantes, foram omitidos o nome e a versão dos veículos correspondentes aos dados emitidos, estando disponível, apenas, como informação caracterizante do veículo, a categoria e a litragem do motor, para permitir a sua identificação, além dos demais dados de CD, como o consumo, emissões, massa, dentre outros.

Por não se ter o conhecimento de qual carro cada informação se referia, foi feito um levantamento dos veículos, por categoria e litragem do motor, e escolhido para representar o conjunto o modelo mais vendido no ano base do levantamento, conforme informado pelo relatório disponibilizado pela Federação Nacional da Distribuição de Veículos Automotores (FENABRAVE). Dessa forma, foi possível analisar a frota brasileira com o veículo representativo de cada categoria e litragem de motor, simulando esse veículo com suas especificações técnicas e o CD médio registrado para o grupo ao qual o veículo representa. Foram feitos, então, alguns estudos de casos de análise de consumo no ciclo padrão, no ciclo Recife desenvolvido e em alguns outros ciclos mundo, para os veículos representativos por categoria e litragem do motor.

4.2.2.3.2.2 Método de obtenção dos fatores f_0 e f_2 para o CD

Para a alimentação no modelo computacional dos esforços resistivos ao movimento do veículo, foram adotados dois métodos de obtenção: um para a frota brasileira de carros e outro experimental para carros e motos, para os quais se deseja obter valores mais precisos.

Para a frota brasileira de carros, foi feita a obtenção por meio do fator médio para cada categoria e litragem de motor do veículo em análise, encontrado na planilha de veículos homologados que foi disponibilizada pelo PBEV. Já para os carros e motos específicos, devido a inexistência de dados exatos do PBEV, foi necessário quantificar os valores de f_0 e f_2 desses veículos para a sua aplicação no modelo. Para a determinação dos fatores, foi realizado o teste de Resistência ao deslocamento (teste para levantamento dos valores de f_0 e f_2 de um veículo), conforme especificado pela norma ABNT NBR 10312). Essa norma descreve o passo a passo para realização do teste – condições de pista e veículo – e para o tratamento dos dados obtidos (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2014).

Para a captação das informações de CD, foram adotados dois GPS modelo *Topcon Hiper Lite Plus* (Figura 29) de alta frequência (10Hz). A adoção do receptor de GPS de alta frequência, nesta pesquisa, foi necessária para obter uma maior quantidade de pontos de análise, uma vez que o GPS de celular apresenta uma menor frequência de registro de dados (1Hz). Isso permitiu o tratamento dos dados e a obtenção dos valores de f_0 e f_2 com uma maior precisão. Como local para a realização dos testes de resistência ao deslocamento, foi escolhido a Av. dos Reitores da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), por ser um local plano e com uma boa extensão.

Para a realização dos testes de resistência ao deslocamento, foi feita a aceleração dos veículos de 0-60 km.h⁻¹ e, conseqüentemente, a sua desaceleração e quantificação dos tempos de queda da velocidade, utilizando o GPS 10 Hz. Por meio dos registros dos tempos de desaceleração dos veículos, foi possível ajustar as curvas dos esforços resistivos ao movimento dos veículos e chegar aos fatores f_0 e f_2 na faixa de velocidade de 0-60 km.h⁻¹. Conforme descrito pela ABNT (2014), esse ajuste da curva pode ser feito pela divisão do teste em dois trechos de desaceleração (trecho 1: 55-45 km.h⁻¹ e trecho 2: 35-25 km.h⁻¹), e a quantificação dos tempos nesses trechos, conforme as equações 31 e 32.

$$f_0 = \frac{m_e}{(v_2^2 - v_1^2)} \left(\frac{\Delta v_2}{\Delta t_2} v_1^2 - \frac{\Delta v_1}{\Delta t_1} v_2^2 \right) \quad (31)$$

$$f_2 = \frac{m_e}{(v_2^2 - v_1^2)} \left(\frac{\Delta v_1}{\Delta t_1} - \frac{\Delta v}{\Delta t_2} \right) \quad (32)$$

Onde:

m_e = Massa do veículo de teste;

v_1 e v_2 = Velocidades médias nos trechos 1 e 2;

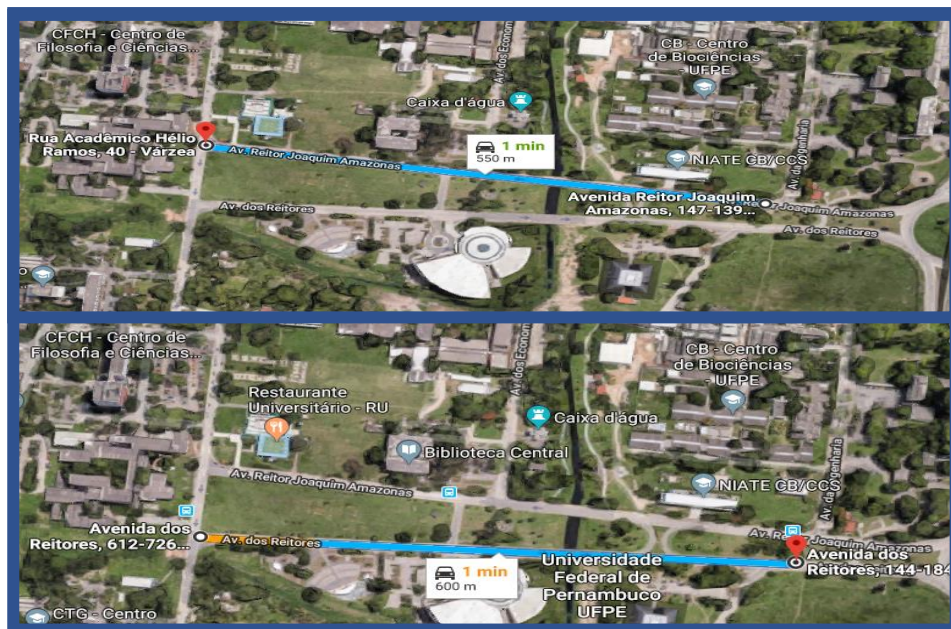
Δt_1 e Δt_2 = Duração do trecho 1 e 2;

Δv_1 e Δv_2 = Variação da velocidade no trecho 1 e 2.

Para a obtenção dos dados de f_0 e f_2 , da moto e do carro usado nas simulações, o teste de resistência ao deslocamento foi realizado na Av. dos Reitores, na UFPE, em um sábado, dia 01 de dezembro de 2018, tendo sido solicitada a liberação da via ao Departamento de Segurança Institucional da UFPE. O experimento foi realizado seguindo os pré-requisitos estabelecidos pela ABNT (2014). Na realização do experimento, foram feitas cinco passadas em cada sentido da pista de teste (Figura 22).

Foi registrado, em cada passada de teste, o tempo de desaceleração do veículo, permitindo a obtenção das curvas de esforços da moto e do carro em cada passada.

Figura 22 – Percurso teste CD - Av. Reitores - UFPE



Fonte: O Autor (2020).

4.2.2.3.3 Fracionamento do Consumo

Como forma de melhor analisar o consumo do veículo, adotou-se, na construção do modelo, o método de fracionamento do consumo, de acordo com a situação de aceleração do veículo, proposto por Tong, Hung e Cheung (2000). O modelo calcula tanto o consumo médio quanto o consumo nas situações de aceleração, desaceleração, marcha lenta e velocidade constante, por faixa de velocidade, permitindo uma melhor análise do comportamento energético do veículo. Esse modelo foi adotado para diferenciar as situações do veículo em

relação a sua velocidade (consumo em cada instante), o mesmo método utilizado para quantificar os parâmetros de caracterização cinemáticos do ciclo (Quadro 4).

4.2.2.3.4 Quantificação do Consumo para o Ciclo Desejado

Para realizar a medição do consumo dos veículos analisados neste trabalho, utilizou-se dois métodos de análise. Para o consumo, segundo os ciclos padrão adotados pelo Brasil, foi aplicado no modelo de método de fracionamento do ciclo, indicado pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (2017), e para os demais ciclos de condução locais estudados, foram analisados os ciclos como um todo.

4.2.2.3.4.1 Ciclo Padrão Brasileiro: Cidade

Para a quantificação do consumo segundo o ciclo de condução FTP-75 (Figura 12), algumas regras devem ser consideradas. De acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas (2017), o vetor velocidade do ciclo FTP-75 deve ter seu consumo medido em cada um dos 4 trechos presentes em sua estrutura (partida fria, partida quente e 2 estágios de estabilização), sendo o consumo ($L \cdot (100 \cdot km)^{-1}$) e a autonomia ($km \cdot L^{-1}$) medidos em cada um dos trechos pela seguinte equação:

$$C_{Urb} = 0,43 \frac{C_I D_I + C_{II} D_{II}}{D_I + D_{II}} + 0,57 \frac{C_{III} D_{III} + C_{IV} D_{IV}}{D_{III} + D_{IV}} \quad (33)$$

$$A = \frac{100}{C_{Urb}} \quad (34)$$

Onde:

- C_I = Consumo na fase partida a frio ($L \cdot (100 \cdot km)^{-1}$);
- C_{II} = Consumo na fase estabilização ($L \cdot (100 \cdot km)^{-1}$);
- C_{III} = Consumo na fase partida a quente ($L \cdot (100 \cdot km)^{-1}$);
- D_I = Distância percorrida na fase partida a frio (km);
- D_{II} = Distância percorrida na fase estabilização (km);
- D_{III} = Distância percorrida na fase partida a quente (km).

Diante das limitações do modelo computacional, em diferenciar a eficiência do motor entre as fases fria e quente, o modelo não consegue realizar a distinção devida nessas fases, considerando o mesmo consumo em ambas.

4.2.2.3.4.2 Ciclo Real Genérico

Para a quantificação de um ciclo real (genérico), o modelo simulou o vetor velocidade (ciclo de condução) inteiramente, sem realizar separação por estágios, como determinado pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (2017) para o ciclo padrão FTP-75.

4.2.2.3.5 *Quantificação da demanda energética do ciclo*

A demanda energética do veículo (DEV) foi quantificada em MJ.km⁻¹. Esse valor é referente à energia demandada, pelo veículo em análise, para percorrer o percurso desejado (ciclo de condução). A demanda de energia é considerada nula quando o veículo é desacelerado pelo seu movimento e o peso das forças for negativo, quando forças de inércia em desaceleração são maiores do que as forças resistivas, ou o veículo estiver parado.

$$\Delta E_i = P_{des}\Delta t = (ma_i + F_{res})v_i\Delta t = (ma_i + f_0 + f_2v_i^2)v_i\Delta t \quad (35)$$

Onde:

ΔE_i = Energia requerida pelas rodas em um determinado intervalo de tempo (J);

Δt = Intervalo de tempo (s);

P_{des} = Potência requerida pelo veículo em um determinado intervalo de tempo (W);

F_{res} = Forças resistivas em um determinado intervalo de tempo (N);

m = Massa de inércia do veículo (kg);

a_i = Aceleração do veículo em um determinado intervalo de tempo (m.s⁻²);

f_0 e f_2 = Coeficientes de Resistência ao deslocamento (N e N.(km.h⁻¹)⁻², respectivamente);

v_i = Velocidade do veículo em um determinado intervalo de tempo (km.h⁻¹).

A demanda total de energia do veículo pode ser obtida pela relação entre a energia total demandada ao percorrer o ciclo em análise e a distância total percorrida no ciclo (D), em quilômetros.

$$DEV = \frac{\sum \Delta E_i}{D} \quad (36)$$

4.2.2.3.6 Quantificação do consumo específico do ciclo

O consumo específico do ciclo (CE), assim como o DEV é dado em MJ.km⁻¹, porém o CE representa a energia gasta por km pelo motor para percorrer a distância total do ciclo (D), em quilômetros. Desse modo, o CE se estabelece como uma média, por quilometro, da energia total gasta pelo motor, considerando os instantes em que o veículo está parado, o que não ocorre com o DEV.

$$CE = \frac{PC_{comb}}{A} \quad (37)$$

Onde:

$$PC_{comb} = \text{Poder calorífico do combustível (MJ.L}^{-1}\text{)}$$

$$A = \text{Autonomia do veículo no ciclo (km.L}^{-1}\text{)}$$

4.2.2.4 Método de obtenção dos dados técnicos da frota brasileira

Realizou-se um levantamento, com os dados públicos disponibilizados pelo INMETRO, para quantificar a variação de consumo existente na frota brasileira (carros homologados), analisada sobre os ciclos padrão, FTP-75 e HWFET, e sobre o tráfego expresso pelo ciclo Recife para carros. Para a comparação dos resultados, considerou-se o modelo calibrado, para cada veículo médio, por segmento e litragem de motor. Pelo fato de serem veículos médios (teóricos) e não se conhecer as características dos veículos que compõem a frota brasileira no tráfego do Recife, mas sim no ciclo padrão, a calibração dos veículos médios foi feita com base nos valores indicados, para o ciclo padrão, no banco de dados fornecido pelo INMETRO. Adotou-se, dessa forma, os parâmetros de motor, massa e relação de transmissão do veículo que apresenta maior nível de vendas, pertencente à categoria em análise. Já para os valores de CD, considerou-se o valor médio entre os veículos da categoria.

4.3 APLICAÇÃO DO MÉTODO DE CRIAÇÃO E ANÁLISE A RECIFE

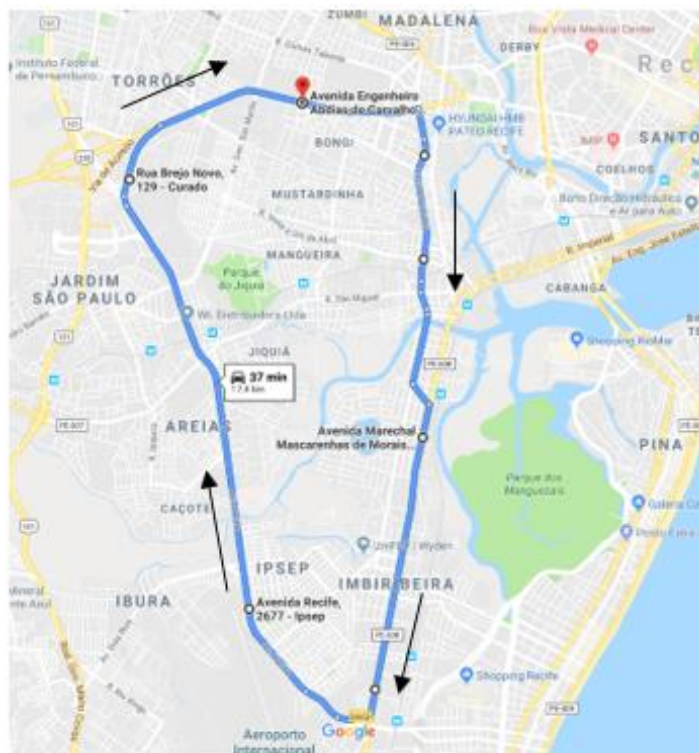
Foi escolhida uma trajetória (Figura 23) para criação do ciclo de condução Recife, para carros (CCRC) e motos (CCRM). A rota criada foi pensada por ser capaz de englobar três das seis regiões político-administrativas (RPA 1, 5 e 6) da cidade do Recife. Essas 6 regiões dividem o município, visando facilitar a atuação das atividades do Governo por setor

da cidade. Além de ser uma rota de alto volume de tráfego, que conecta grandes centros populacionais da cidade, contém várias conexões (cruzamentos) e sistemas de transporte público, o que faz dela uma rota representativa do tráfego local da cidade do Recife.

A rota escolhida tem como ponto de saída o Posto BR da Av. Abdias de Carvalho, marcado com um indicador na Figura 23, seguindo até o cruzamento com a rua João Ivo da Silva, entrando em direção ao bairro de Afogados. Depois, segue o percurso até chegar na Av. Marechal Mascarenhas de Moraes, sentido Jaboatão dos Guararapes, até o início da Av. Recife, seguindo por ela até retornar à Av. Abdias de Carvalho, de volta ao posto BR, que foi o ponto de partida. Essa rota apresenta uma inclinação média de 0,8%, de acordo com o Google Earth Pro, e 17,4 km de extensão, que é próximo dos 17,7 km do ciclo padrão FTP-75 (Quadro 4), adotado como modelo para as cidades brasileiras.

A rota foi desenvolvida com base na análise do tráfego local, com o objetivo de representar bem o tráfego médio da cidade do Recife, que, segundo o IBGE (2017c), conta com uma área média de 218.843 km².

Figura 23 – Percurso escolhido para o levantamento do Floating Recife



Fonte: O Autor (2020).

4.3.1 Escolha dos veículos e motoristas

A realização dos testes no percurso escolhido (Figura 21) foi realizada sempre com a adoção de um carro e uma moto, simultaneamente. Quando possível, foi feita a troca dos veículos entre diferentes dias de testes, para poder determinar a influência do veículo (categoria, litragem do motor) no tráfego. Da mesma forma, foram trocados os condutores ao longo de cada dia de teste ou entre os testes, possibilitando a verificação do impacto do condutor e do veículo. Devido às limitações financeiras e logísticas, os testes de carro foram sempre realizados com 2 condutores, alternando entre as voltas no percurso. Já para as motos, foi sempre adotado o mesmo condutor em um dia de teste, alternando o condutor entre os dias de teste, quando possível.

4.3.2 Cronograma de testes do ciclo local recife

Para comparar o consumo de um veículo no Recife com o gerado pelo ciclo padrão, foram feitos 5 dias de teste entre outubro de 2018 e novembro de 2019. Os testes foram conduzidos com uma moto Honda CB300, ano 2014, nos três primeiros dias, e com uma Honda CG125 nos dois dias seguintes de testes. Sendo a CB300 a moto de média cilindrada mais vendida do Brasil e a CG a moto mais vendida do país a décadas, em que ambas são motos do segmento Street que representa 50% das vendas de motos em 2019 (ABRACICLO, 2020). Já para os carros, três veículos foram adotados: um VW Gol 1.0, no primeiro dia; um Fiat Argo 1.3, no segundo dia; e um Hyundai HB20 1.0, no terceiro, quarto e quinto dias de teste (carros do segmento hatch que representam aproximadamente 33% da frota nacional em 2019, de acordo com FENABRAVE (2019)). Isso permitiu a realização dos estudos comparativos entre ciclos, totalizando 13 *floatings* por tipo de veículo (carro e moto), como descrito no Quadro 5, que demonstra, por dia de teste, quais foram os veículos e condutores empregados em cada teste realizado.

Quadro 5 – Cronograma de testes – floating Recife: carro e moto

(continua)

Testes para o ciclo carro - Recife												
	dia 1		dia 2		dia 3		dia 4			dia 5		
Teste	1	2	1	2	1	2	1	2	3	1	2	3 4
Veículo	GOL		Argo		HB20							
Piloto	Piloto 1	Piloto 1	Piloto 2	Piloto 1	Piloto 2	Piloto 1	Piloto 2	Piloto 1	Piloto 2	Piloto 1	Piloto 1	Piloto 1 3

Quadro 5 – Cronograma de testes – floating Recife: carro e moto

(conclusão)

Testes para o ciclo moto - Recife										
	dia 1		dia 2		dia 3	dia 4				
Teste	1	2	1	2	1	1	2	3	4	5
Veículo	CB 300					CG 125				
Piloto	Piloto 4					Piloto 3				

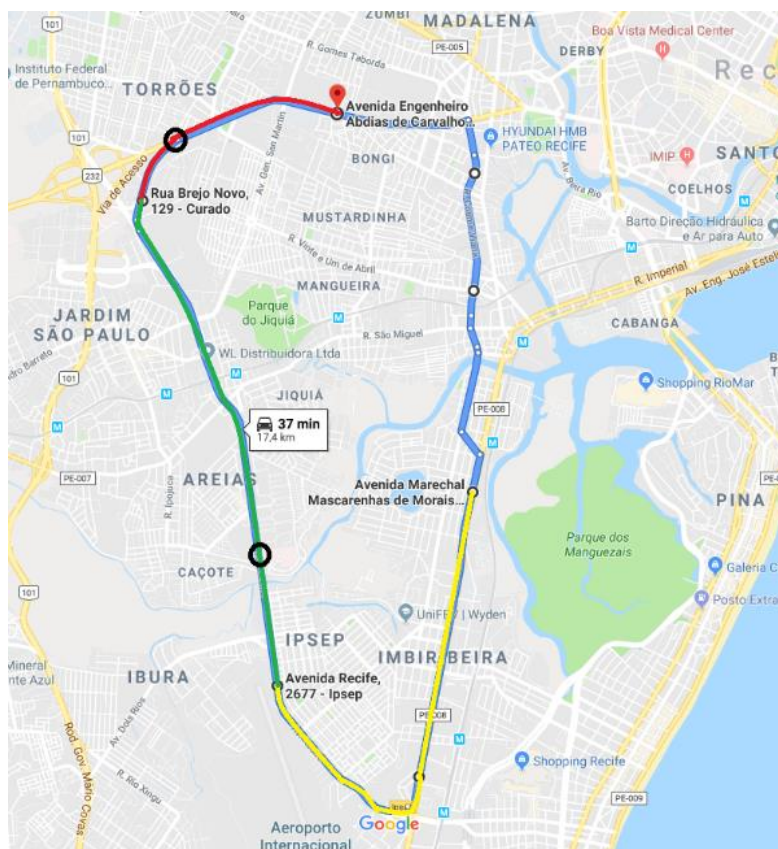
Fonte: O Autor (2020).

4.3.3 Análise da representatividade do floating gerado

Para a validação dos dados registrados e confirmar a representatividade do trânsito local no instante de análise, realizou-se uma análise, simultânea aos testes, pelo site do Google Maps. Nessa análise, a rota de estudo foi dividida em 4 regiões (Figura 22), de aproximadamente 5 km cada (sendo a última um pouco menor), e o tempo de percurso de cada uma das regiões no Google Maps foi analisado em intervalos de 5 min. Os registros foram realizados durante todo o tempo de duração dos testes, permitindo o cálculo da velocidade média do trecho no instante que foi percorrido pelo veículo de teste e, assim, a posterior comparação da velocidade obtida pelos veículos de teste com a velocidade obtida pelo Google Maps.

Outra forma de análise similar foi feita por meio da ajuda da Autarquia de Trânsito e Transporte Urbano do Recife (CTTU), que forneceu a velocidade média dos veículos no instante de realização dos testes, em dois sinais de trânsito, representados por círculos pretos na Figura 24, presentes no percurso adotado para os testes, por meio de solicitação, via ofício, dos dados necessários.

Figura 24 – Divisão da rota de análise em 4 zonas e sinais de trânsito com registro de velocidade



Fonte: O Autor (2020).

4.4 APLICAÇÃO DO MÉTODO DE ANÁLISE EM CICLOS AO REDOR DO MUNDO

Para realizar a caracterização de diferentes tráfegos (locais) pelo mundo, assim como um estudo de tendências e comportamentos, os membros do grupo LOST (ANDRADE et al., 2020), elaboraram uma vasta pesquisa em artigos, para o levantamento de CCL; desenvolveram um método de estimativa dos vetores numéricos de cada CCL; aplicaram o método de análise, para de determinação dos parâmetros cinemáticos e energéticos; e realizaram um estudo de tendência entre os CCL e CPC conhecidos.

4.4.1 Método de seleção dos Ciclos de Condução

Para o estudo da caracterização dos ciclos de condução locais levantados na literatura, foram selecionados dois ciclos de condução padrão (FTP-75, WLTC) e 77 ciclos de condução local (CCL), em 32 artigos (Tabela 3 e Tabela 4). Essa diferença é decorrente do desenvolvimento de mais de CCL em um único estudo, como Wang et al. (2008), que

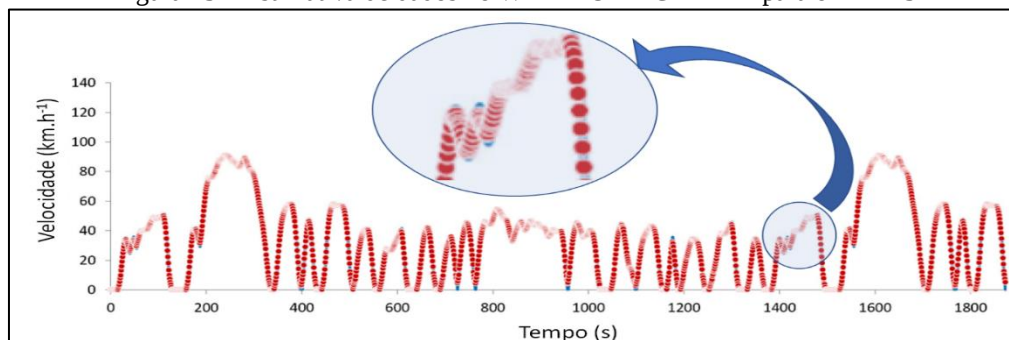
desenvolveram CCL para onze cidades chinesas, e Amirjamshidi e Roorda (2015), que desenvolveram seis CCL para caminhões, em Toronto, Canadá.

4.4.2 Método de extração e filtro dos dados a partir de imagens

Para obter os parâmetros característicos (PC) dos ciclos de condução, foi necessário que, inicialmente, fosse feito um trabalho de estimativa dos dados de velocidade e tempo de cada ciclo de condução, a partir das figuras publicadas nos artigos dos periódicos. Para isso, foi desenvolvido um método de captação das informações dos gráficos (imagens), utilizando a plataforma do software *WEBPLOTDIGITIZER* (ANDRADE et al., 2020), que é gratuita e disponível ao público na Web (versão 4.2, disponível em: <https://apps.automeris.io/wpd/>). Esse programa é capaz de extrair os dados de velocidade e tempo, automaticamente, das imagens, utilizando um processo de interpolação de dados considerado preciso e eficiente por Burda et al. (2017) e Kadic et al. (2016). Para a extração das imagens, buscou-se uma forma de automatizar o processo, para não haver interferência humana na escolha dos pontos. A Figura 25 mostra como os dados foram coletados, a partir da figura analisada, pelo programa *WEBPLOTDIGITIZER*, para o ciclo FTP-75. A linha azul do gráfico é a curva original da imagem e os pontos vermelhos são a estimativa feita pelo programa, com base na imagem.

Fatores como resolução (qualidade) da imagem, cor, espessura da linha e presença de outros dados na figura influenciam o resultado obtido, portanto é recomendável usar a melhor qualidade de imagem possível.

Figura 25 – Estimativa de dados no WEBPLOTDIGITIZER para o FTP-75



Fonte: O Autor (2020).

A Figura 25 mostra os pontos estimados automaticamente pelo software e nela é possível verificar que existem regiões em que os dados não são perfeitamente representados. Depois disso, os dados foram passados em um filtro, usando um conjunto de condições

(Tabela 6) para impor velocidade nula para evitar a flutuação da velocidade e limitar propriedades físicas. O estágio de filtragem foi aplicado a todos os ciclos de condução analisados, de maneira padronizada.

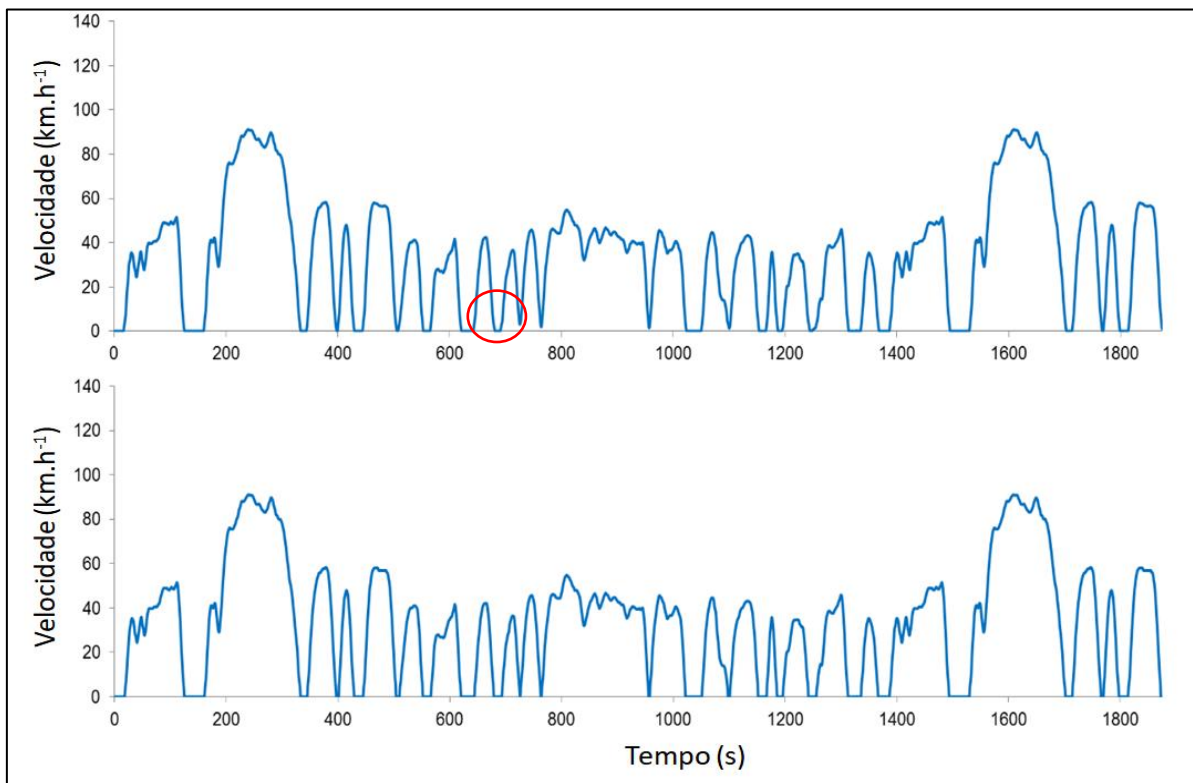
Tabela 6 – Condições implementadas no filtro de ajuste dos ciclos de condução analisados

Condição	Resultado	Ação
$v < 3,6 \text{ km.h}^{-1}$	$v = 0 \text{ km.h}^{-1}$	Fornecer velocidade nula (modo parado)
$a < 0,05 \text{ m.s}^{-2}$	$a = 0,0 \text{ m.s}^{-2}$	Evita flutuação de aceleração (modo de cruzeiro)
$d < -0,05 \text{ m.s}^{-2}$	$d = 0,0 \text{ m.s}^{-2}$	Evita flutuação de aceleração (modo de cruzeiro)
$a > 3 \text{ m.s}^{-2}$	$a = 3 \text{ m.s}^{-2}$	Aceleração máxima limite
$d < -7 \text{ m.s}^{-2}$	$d = -7 \text{ m.s}^{-2}$	Desaceleração máxima limite

Fonte: Andrade *et al.* (2020).

A Figura 26 mostra um exemplo do antes e o depois de se usar as condições de filtragem (Tabela 6). Pequenas diferenças podem ser observadas em $t = 727 \text{ s}$ e em $t = 766 \text{ s}$, em que os valores brutos extraídos para velocidade foram de $3,0 \text{ km.h}^{-1}$ e $1,9 \text{ km.h}^{-1}$, respectivamente, enquanto os valores oficiais são $0,5 \text{ km.h}^{-1}$ e $0,0 \text{ km.h}^{-1}$.

Figura 26 – Ciclo de condução FTP-75 a) antes da aplicação do filtro, b) após a aplicação do filtro



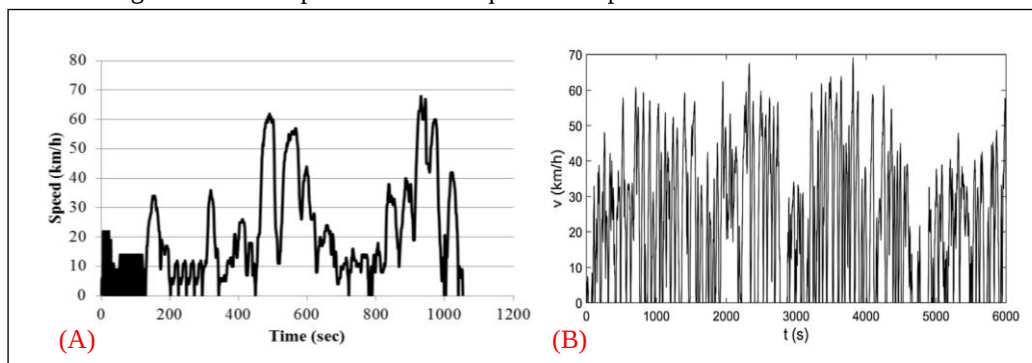
Fonte: Andrade *et al.* (2020)

Uma comparação visual, da figura resultante com a original, é relevante para verificar se os dados foram obtidos corretamente. Após o processo de extração e, posteriormente, de filtragem, 37 CCL (de 77 existentes) foram julgados incapazes de

reproduzir as figuras originais e foram rejeitados, como por exemplo: Baqubah (Iraque) (AL-SAMARI, 2017); Celje (Eslovênia) (KNEZ et al., 2014); Chennai moto (India) (ARUN et al., 2017); Edinburgh, urbano e rural (Escócia) (SALEH et al., 2009); Hefei (China) (LIU et al., 2018); Santa Maria-RS (Brasil) (ROSO; MARTINS, 2015); Shanghai (China) (SHEN et al., 2018); Shenyang (China) (YANG et al., 2018); e Taipei (Taiwan) (TSAI et al., 2005).

A Figura 27 mostra dois ciclos de condução locais, cujos dados não puderam ser estimados. Em Baqubah, a região de 0 a 150 s não pode ser distinguida, e em Shanghai, o programa não conseguiu estimar os dados com precisão, devido a grande quantidade de informações (linhas próximas).

Figura 27 – Exemplos de CCL em que não foi possível se realizar a análise



Fonte: Al-Samari (2017) e SHEN et al. (2018).

Legenda: (A) Baqubah; (B) Shanghai.

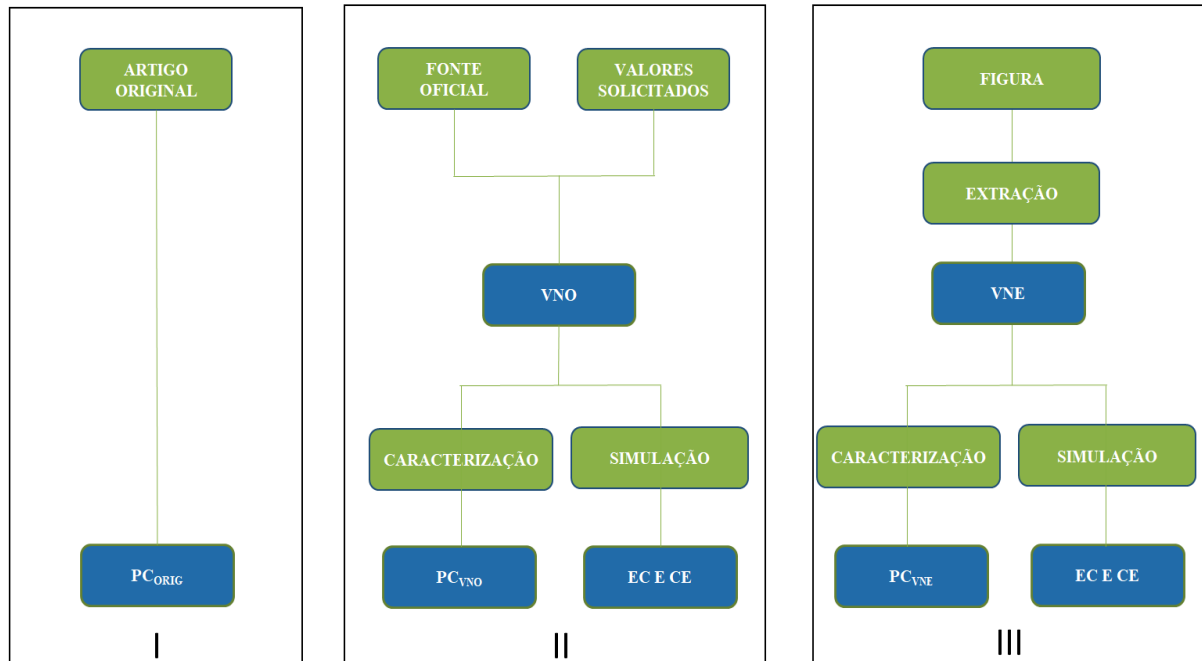
4.4.3 Método de obtenção dos PC dos Ciclos de Condução

Ciclos de condução padrão (CPC) conhecidos para testes de homologação, como FTP-75 e WLTC, têm seu perfil de velocidade disponível nos sites de suas agências regulamentadoras. No entanto, os ciclos de condução locais (CCL), geralmente, apresentam apenas a figura (no artigo) que indica a velocidade em função do tempo. Além disso, nem todos os valores médios dos parâmetros característicos (PC) são publicados, pois esse não é um requisito obrigatório.

A Figura 28 mostra um fluxograma, explicando a obtenção dos PC mostrados nos resultados. No grupo I, o PC_{Orig} refere-se aos parâmetros característicos expostos nos artigos de origem ou referência literária, conforme informado por seus autores. No grupo II, há o vetor numérico obtido (VNO), recuperado das agências (no caso de CPC) ou dos trabalhos de pesquisadores (no caso de CCL), através de solicitações enviadas por e-mail aos autores de todos os CCL analisados. Porém, apenas alguns responderam, como Arun et al. (2017). O PC_{VNO} refere-se aos parâmetros característicos do VNO e ao consumo de combustível do

veículo ao percorrer o VNO, a partir da simulação, no modelo computacional empregado neste trabalho.

Figura 28 – Fluxograma da obtenção dos parâmetros de caracterização



Fonte: Andrade et al. (2020).

No Grupo III, há o vetor numérico extraído (VNE), com a análise semelhante ao Grupo II, porém com o vetor numérico extraído e filtrado a partir da imagem do ciclo de condução, sendo os PC e os valores energéticos (economia de combustível e consumo específico) calculados a partir da simulação, no modelo computacional empregado neste trabalho, do vetor numérico extraído.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesta seção será avaliado inicialmente a validade dos procedimentos realizados, seguida da discussão dos resultados obtidos neste trabalho, para os estudos desenvolvidos: criação de um ciclo de condução Recife para carro e moto; análise cinemática e energética dos ciclos de condução local Recife; e a análise de 40 ciclos locais ao redor do mundo e de suas tendências.

5.1 VALIDAÇÃO DOS PROCESSOS REALIZADOS

Para verificar os testes realizados neste trabalho, foram realizados experimentos sobre o GPS do celular e sobre o consumo do veículo.

5.1.1 Validação do GPS de celular

Para a validação do GPS (1Hz) de celular, foram adotados dois GPS *Topcon Hiper Lite Plus* de alta frequência (10Hz), sendo necessária a fixação de um aparelho no veículo em análise e o outro em um ponto de posição conhecida (Figura 29), visando minimizar o erro de leitura, decorrente das condições meteorológicas, através da correção pelo erro encontrado no GPS fixo (posição conhecida). O GPS de alta frequência foi usado em um dos dias de teste de rua (1º dia de teste), juntamente com o GPS de celular, permitindo a quantificação do erro médio do GPS de celular.

Figura 29 – Estrutura captação dados GPS 10hz a) Estrutura de fixação do GPS b) Fixação do GPS na estrutura c) GPS fixo para correção de posição e GPS móvel



Fonte: O Autor (2020).

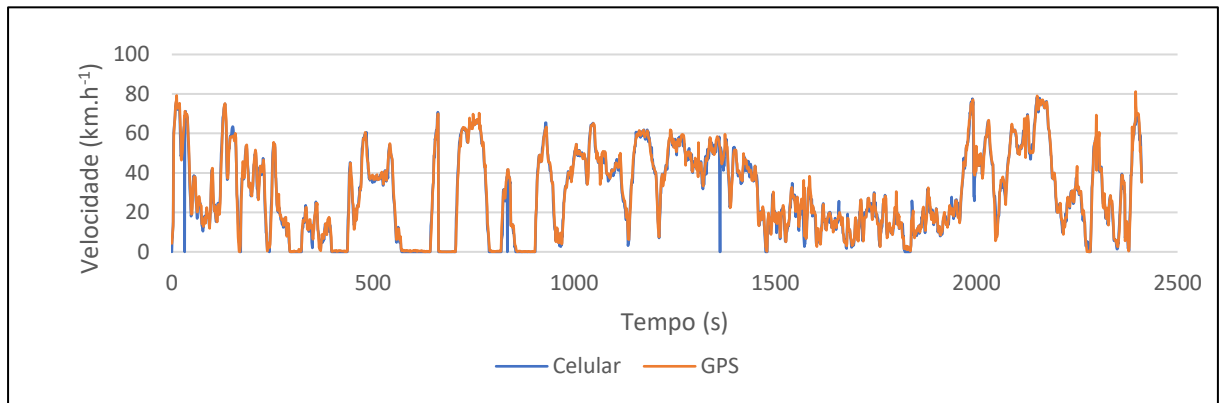
Legenda: (A) Estrutura de fixação do GPS; (B) Fixação do GPS na estrutura; (C) GPS fixo para correção de posição e GPS móvel

Uma outra forma de validação da leitura do GPS foi empregada para os carros, por meio da leitura, com um scanner automotivo, das informações da OBDII do veículo

(velocidade e tempo), permitindo a correção de eventuais erros de leitura ou perda de sinal do GPS.

Para a validação da qualidade dos registros do GPS de celular (1Hz), inicialmente, realizou-se um comparativo com o GPS 10Hz (GPS - *Topcon Hiper Lite Plus*), no 1º dia de teste realizado com a moto, fazendo a leitura, ao longo do teste, com ambos os aparelhos, simultaneamente. Após o tratamento dos dados obtidos, observou-se uma boa coerência de resultados entre o celular usado e o GPS de 10Hz (erro médio absoluto de 2 km.h^{-1}). Depois da validação do GPS de celular por esse experimento (Figura 30), passou-se a adotar o celular apenas como GPS de captura de informações de *floating* de moto e carro, nos testes consecutivos.

Figura 30 – Comparativo GPS 10hz vs. GPS celular - teste 11/04 (sem filtro)

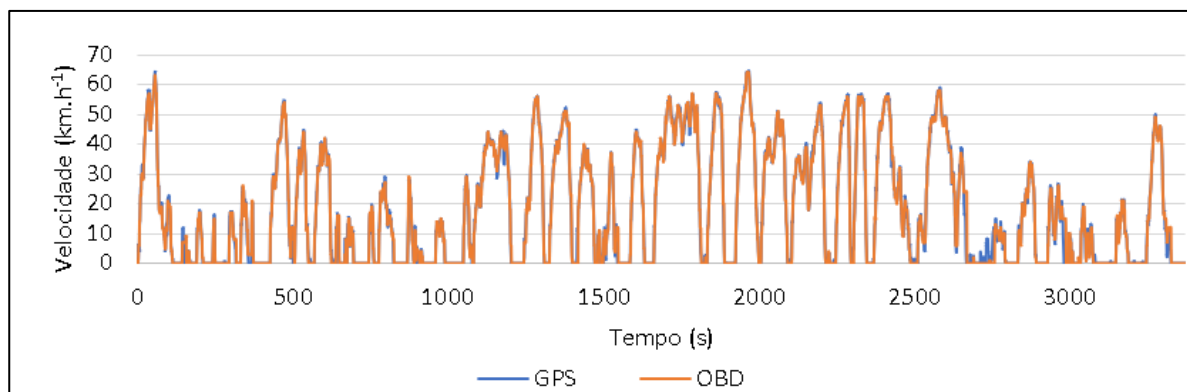


Fonte: O Autor (2020).

Para os carros, foi possível também comparar os valores obtidos com o GPS de celular com os alimentados pela OBD (Figura 31), permitindo a correção de eventuais erros ou perdas de sinal pelo GPS.

Para a validação dos *floatings* gerados a cada teste (se ele foi representativo das condições de tráfego do local no momento indicado), foram comparadas as velocidades médias obtidas pelo GPS, em todos os *floatings*, com a respectiva velocidade média obtida pelo Google Maps no momento do teste (Figura 32).

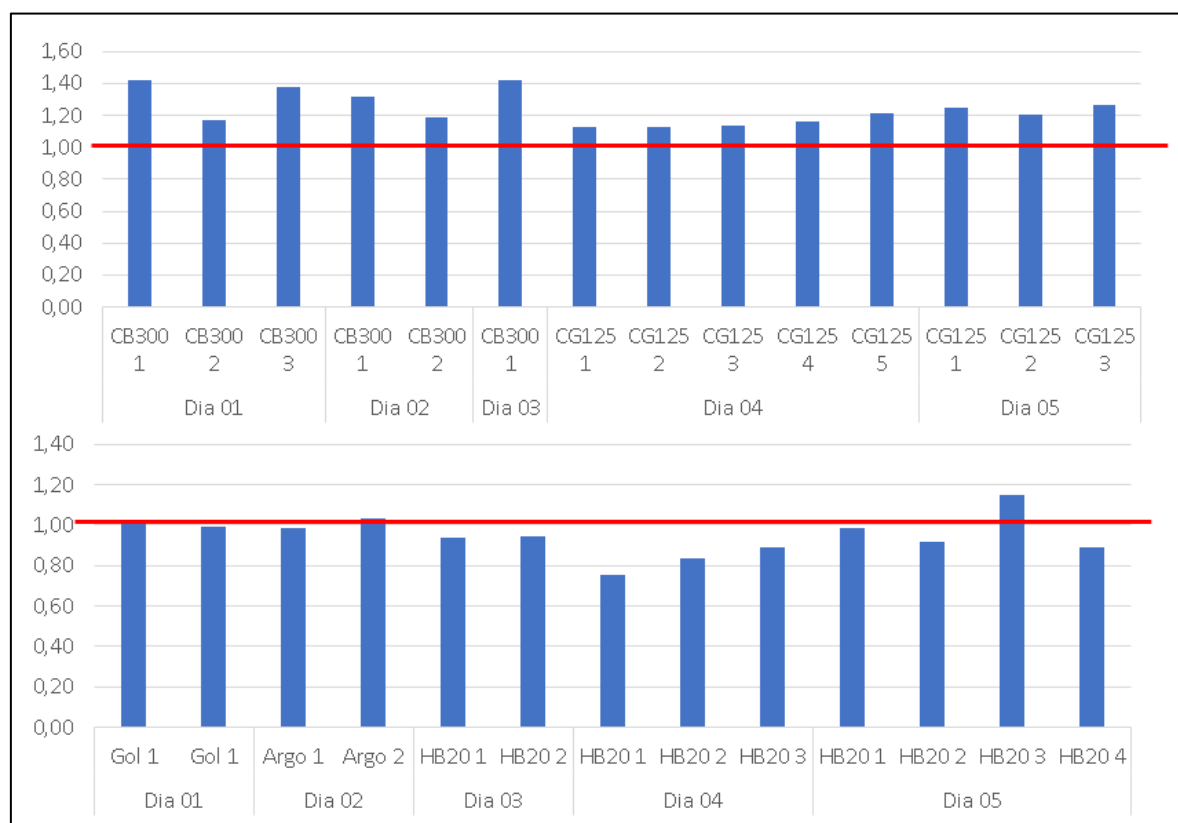
Figura 31 – Comparativo GPS celular vs OBD carro - teste 11/04



Fonte: O Autor (2020).

Demonstrou-se que, para os carros, o Google Maps serve como um bom indicador das velocidades médias dos veículos, representando bem o tráfego local. O que se pode verificar na Figura 32, que mostra um valor, para a correlação da média de velocidade entre o Google Maps e o GPS, de aproximadamente 1 (valor médio de 95%) para os testes feitos com carro. Ou seja, com velocidades médias semelhantes.

Figura 32 – Comparativo entre as velocidades médias registradas pelos veículos e a obtida pelo Google Maps a) testes com motos; e b) testes com carros

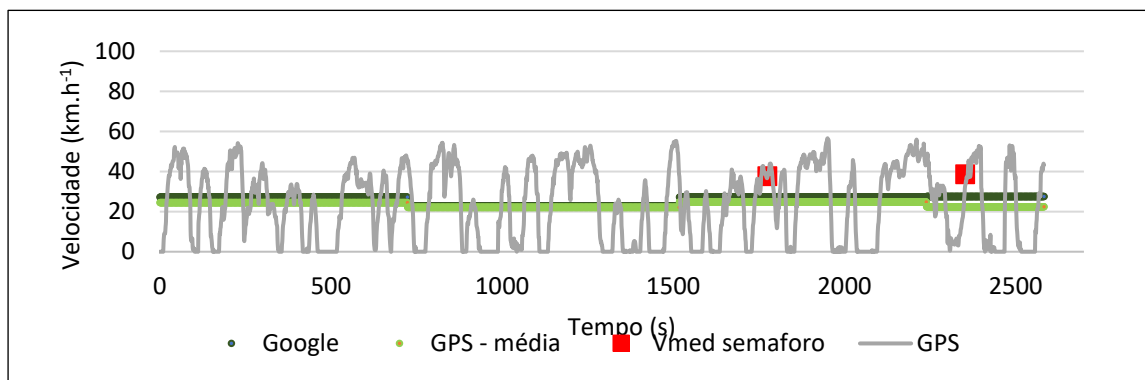


Fonte: O Autor (2020).

Porém, os valores fornecidos pelo Google Maps não representaram bem as motos, que apresentaram velocidades médias de 13% a 42% acima das registradas pelo Google Maps (velocidade em média 24% acima). Isso se justifica pelo menor impacto do trânsito local na velocidade das motos (Figura 32). Desse modo, pode-se afirmar que o Google Maps é um bom indicador de velocidade média das vias para os carros, mas não para as motos. Após a realização dos testes, foi disponibilizado pelo Google Maps uma ferramenta de avaliação da velocidade das motos, porém não pode ser avaliada porque não estava disponível na data dos testes.

Uma outra ferramenta para validação dos valores obtidos em testes, foi a análise dos registros de velocidade, utilizando as câmeras do sistema de fiscalização da CTTU (Figura 33 e Figura 34), que concedeu acesso às informações disponíveis dos dias e horários desejados.

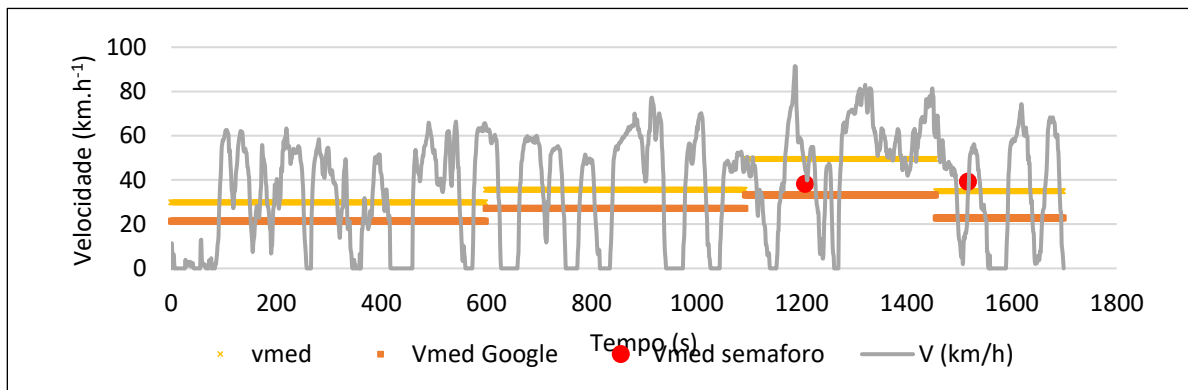
Figura 33 – Comparativos de velocidades carros - teste 02/04



Fonte: O Autor (2020).

As informações disponibilizadas pela CTTU, assim como as obtidas pelo Google Maps, mostraram que a velocidade do veículo teste, no instante em que passou pelo sinais de trânsito, representados pelos pontos vermelhos nas Figuras 33 e 34, estava de acordo com a velocidade registrada pelo veículo ao passar no local, bem como com a média registrada pelo Google Maps (com os carro e não com as motos, como discutido anteriormente), validando a representatividade da forma de condução do veículo, em relação a média dos demais veículos presentes no momento, na via em estudo.

Figura 34 – Comparativo de velocidades motos - teste 02/04



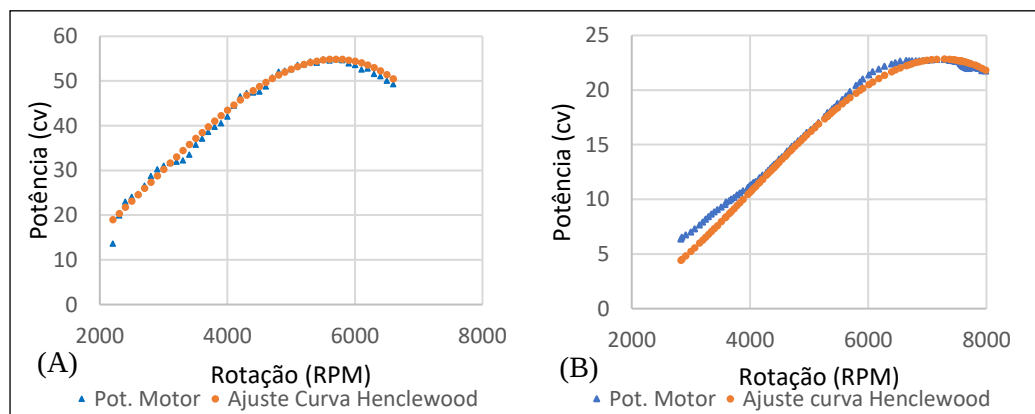
Fonte: O Autor (2020).

5.1.2 Método de validação das curvas de potência

Como indicado anteriormente, foi empregado o polinômio (equação 13) proposto por Ni e Henclewood (2008), para obter as curvas de potência dos veículos simulados (carros e motos). Como forma de validação do método de teste, adotou-se a comparação direta das curvas obtidas pelo polinômio de ajuste e a curva real obtida para o veículo em um dinamômetro.

Para a verificação do ajuste adotado para o levantamento das curvas de potência, foi feita a comparação dos resultados obtidos com a equação 13 aos resultados obtidos em testes de dinamômetro para os veículos de teste: GOL 1,0 e CB300 (Figura 35). Com esta validação, obteve-se na faixa de trabalho dos motores, um baixo erro (erro médio de 2%) entre os valores entregues pelo dinamômetro e pelo polinômio, demonstrando um erro aceitável que valida o emprego do ajuste proposto para os veículos que serão testados (carros e motos).

Figura 35 – Potência dinamômetro do veículo VW Gol 1.0 e da moto Honda CB300



Fonte: O Autor (2020).

Legendas: (A) VW Gol 1.0; (B) Honda CB300.

Para a alimentação dos valores de CD, a disponibilidade do valor médio por categoria para os carros mostrou valores de erro pequeno, com um desvio padrão médio de 14 N, para o valor de f_0 , e de $0,002599 \text{ N (km.h}^{-1}\text{)}^{-2}$, para o valor de f_2 , ao se realizar um levantamento com os veículos homologados (Tabela 7). O que torna válida a adoção, para os carros, dos valores médios de f_0 e f_2 em substituição dos reais valores que são segredo dos fabricantes. A indisponibilidade de dados similares para as motos torna necessária a medição dos dados por meio do teste de CD, com base na norma da ABNT (2014).

Tabela 7 – Análise do erro na simulação do consumo ao se adotar CD médio

Categoria		Desvio padrão	f_0 (N)	Desvio padrão	f_2 (N.(km.h ⁻¹) ⁻²)
1,00	Compacto	9,65	113,79	0,00181	0,03752
	Sedan	18,41	121,07	0,00532	0,04010
1,20	Compacto	0,57	82,39	0,00070	0,04060
1,50	Compacto	4,07	123,05	0,00138	0,04084
	Sedan	5,23	119,78	0,00231	0,04051
1,60	Compacto	27,43	136,67	0,00135	0,03759
	Sedan	25,83	139,37	0,00217	0,03903
	SUV	24,58	143,65	0,00188	0,03648
1,8	Sedan	19,70	136,10	0,00210	0,03583
	SUV	0,00	138,00	0,00000	0,03880
2,0	Sedan	19,24	116,67	0,00414	0,04436
	SUV	10,05	137,04	0,00263	0,04204
Desvio padrão máximo		27,43	-	0,00975	-
Desvio padrão médio		14,02	-	0,00260	-

Fonte: O Autor (2020).

*Elaborado pelo autor, a partir dos dados fornecidos pelo INMETRO.

5.1.3 Método de validação da extração dos ciclos locais: mundo

Para validar a etapa de caracterização dos parâmetros, comparou-se o PC_{ORIG} (KÜHLWEIN; GERMAN; BANDIVADEKAR, 2014) e o PC_{VNO} , para os CPC FTP-75 e WLTC. O PC_{ORIG} e o vetor do PC_{VNO} (VNO) são valores oficiais, o que possibilitou saber se o método de caracterização adotado no projeto está correto. Para validar a etapa de extração, o PC_{VNO} , calculado a partir do VNO, foi comparado ao PC_{ENV} , calculado a partir do VNE, e então avaliado o erro encontrado.

Seis ciclos de condução foram utilizados para validar o método. Dois ciclos de condução padrão (FTP-75 e WLTC) e quatro ciclos de condução local (Atenas, Toronto e dois de Chennai), cujos dados foram obtidos dos autores. A Tabela 8 contém PC_{Orig} , PC_{VNO} , PC_{VNE} e informações energéticas estimadas dos 6 ciclos adotados na validação.

Para validar o método, comparou-se, primeiro, os dois CPC para verificar se a extração e caracterização forneciam bons resultados. Estudou-se se a caracterização funciona, comparando o PC_{Orig} ao PC_{VNO} . Na Tabela 8, para FTP-75 e WLTC, havia resultados do PC_{Orig} do trabalho de Kühlwein, German e Bandivadekar (2014) e foi estimado, com base no VNO, os valores dos PC_{VNO} , verificando-se que a caracterização é eficaz, uma vez que não há diferença considerável entre os PC.

A validação do estágio de extração foi realizada comparando o PC_{VNO} com o PC_{VNE} . Para o FTP-75, os resultados médios de velocidade, distância e tempo foram semelhantes aos do PC_{Orig} . Os resultados apresentaram maior discrepância no tempo, pois esse PC é sensível à análise da taxa de aceleração e velocidade do veículo, diretamente afetadas pelo processo de extração. O WLTC apresentou resultados semelhantes para v e D (velocidade e distância), enquanto a aceleração apresentou uma diferença de $0,03 \text{ m.s}^{-2}$. Quanto à proporção do tempo, o FTP-75 e o WLTC apresentaram maior diferença no tempo de cruzeiro, 3,7% e 6,2%, respectivamente, embora essa diferença nas quotas de tempo não tenha afetado a economia de combustível dos dois CPC.

Tabela 8 – Resultados da validação

Ciclo de condução		Parâmetros cinemáticos									Parâmetros energéticos	
		v (km.h ⁻¹)	D (km)	a (m.s ⁻²)	d (m.s ⁻²)	t (s)	T _c (%)	T _p (%)	T _a (%)	T _d (%)	A (km.L ⁻¹)	CE (MJ.km ⁻¹)
CPC FTP-75	PC _{Orig}	34,1	17,8	0,51	-0,58	1.874	7,7%	17,9%	39,4%	35,0%	-	-
	PC _{VNO}	34,1	17,8	0,51	-0,58	1.874	7,7%	17,9%	39,4%	35,0%	11,4	2,5
	PC _{VNE}	34,0	17,7	0,51	-0,59	1.874	11,4%	18,6%	37,5%	33,3%	11,4	2,5
CPC WLCT	PC _{Orig}	46,5	23,3	0,41	-0,45	1.800	3,7%	12,6%	43,8%	39,8%	-	-
	PC _{VNO}	46,6	23,3	0,41	-0,45	1.800	3,6%	12,6%	43,9%	40,0%	10,5	2,8
	PC _{VNE}	46,5	23,3	0,44	-0,46	1.800	9,8%	13,9%	39,2%	37,0%	10,5	2,8
CCL Atenas	PC _{VNO}	20,2	6,5	0,71	-0,72	1.160	4,1%	27,3%	34,5%	34,1%	10,6	2,7
	PC _{VNE}	20,1	6,5	0,57	-0,59	1.160	5,2%	25,4%	35,4%	34,0%	11,2	2,6
CCL Chennai carro-pico	PC _{VNO}	17,7	5,2	0,42	-0,50	1.064	7,2%	31,8%	33,4%	27,9%	13,2	2,2
	PC _{VNE}	17,6	5,2	0,32	-0,50	1.065	12,7%	30,0%	34,7%	22,7%	13,2	2,2
CCL Chennai carro-fora de pico	PC _{VNO}	22,1	7,9	0,57	-0,67	1.292	14,1%	17,0%	37,2%	31,8%	-	-
	PC _{VNO}	22,2	8,0	0,43	-0,47	1.289	16,2%	16,1%	35,4%	32,3%	16,2	1,8
CCL Toronto Caminhão rodovia	PC _{VNO}	41,0	16,3	0,15	-0,28	1.428	2,4%	1,9%	62,8%	32,8%	15,6	1,8
	PC _{VNE}	40,9	16,2	0,17	-0,25	1.428	31,4%	2,8%	38,3%	27,0%	16,7	1,7

Fonte: Andrade *et al.* (2020)

Comparando o PC_{VNE} (extraído da figura) com o PC_{VNO} (de vetores compartilhados pelos autores) de quatro CCL, para todos os casos, obteve-se uma diferença de: velocidade entre os dados originais e as simulações feitas, inferior a $0,1 \text{ km.h}^{-1}$; distância menor que $0,2 \text{ km}$; enquanto, para aceleração e desaceleração, foi inferior a $0,2 \text{ m.s}^{-2}$. Para Toronto, por exemplo, foi feita a validação para um dos seis ciclos compartilhados e apresentou uma discrepância no tempo na velocidade de cruzeiro. No entanto, essa diferença não afetou o resultado do consumo de combustível na mesma escala, pois a diferença entre a autonomia do VNE para o VNO foi de $0,9 \text{ km.L}^{-1}$ ($0,43 \text{ L.(100 km)}^{-1}$).

O erro relativo da aceleração e os tempos de proporção podem ser considerados altos em Atenas ($0,14 \text{ m.s}^{-2}$, 19%), no entanto, em uma condição do mundo real, considerando que o motorista não é capaz de controlar o valor da taxa de aceleração com precisão, torna-se um valor aceitável. Por exemplo, na Norma Brasileira de Condução de Testes de Ciclo é possível um desvio de $3,2 \text{ km.h}^{-1}$ em relação à velocidade instantânea, durante o teste de homologação em dinamômetro (ABNT, 2012) ou de 2 km.h^{-1} para o NEDC (GIAKOUMIS, 2016).

5.2 CICLO DE CONDUÇÃO LOCAL RECIFE

Recife é uma das principais cidades brasileiras, localizada na Região Nordeste. A cidade é uma das mais antigas das Américas (fundada em 1537), importante centro econômico, turístico e médico. Possui 1,6 milhão de habitantes, sendo na região metropolitana completa 4,1 milhões de habitantes (IBGE, 2017c). Outra característica relevante em Recife é que sua topografia é quase horizontal.

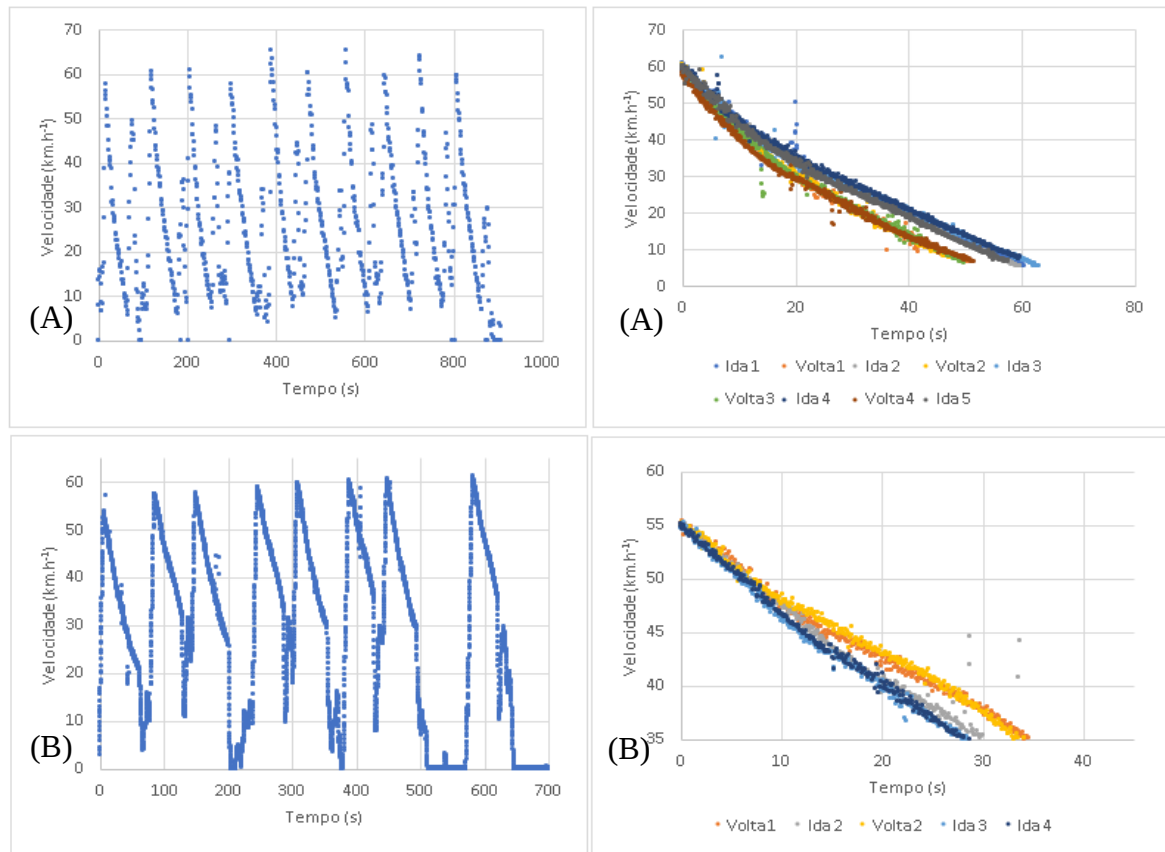
A aplicação do método desenvolvido neste trabalho permitiu a elaboração de um CCL Recife para carros e um outro para motos, ambos referentes ao horário fora de pico da cidade. A criação dos CCL Recife foi feita demonstrando: as limitações deste projeto; o cronograma dos testes realizados; a forma de obtenção dos parâmetros de resistência ao deslocamento dos veículos; caracterização cinemática e energética dos testes; criação dos ciclos; e estudos comparativos entre os ciclos criados e outros ciclos de condução, locais e padrão, em cada passada.

5.2.1 Obtenção dos dados de CD e consumo: carro e moto

Com a realização dos testes de CD, foi possível obter os valores médios de f_0 e f_2 , que representam a moto Honda CB300, utilizada em três dos cinco dias de testes nas ruas, e

do VW GOL, utilizado no primeiro dia de teste, não tendo sido realizado o mesmo teste para a Honda CG125 e os carros Fiat Argo e Hyundai HB20, devido a sua indisponibilidade na realização dos testes de resistência ao deslocamento. Por esse motivo, as simulações de consumo foram realizadas apenas para a Honda CB300 e o VW GOL (Figura 36).

Figura 36 – Registro do teste de CD Honda CB300 e VW GOL



Fonte: O Autor (2020).

Legenda: (A) moto Honda CB300; (B) carro VW Gol.

Na realização do teste de Resistência ao deslocamento, adotou-se uma faixa de análise de 0-60 km.h^{-1} , devido às limitações dimensionais da pista, que não permitem atingir 110 km.h^{-1} para, então, se iniciar a desaceleração do veículo (valores sugeridos pela norma). Desse modo, os valores obtidos de f_0 e f_2 (Tabela 9) são coerentes para velocidades até 60 km.h^{-1} , valor condizente com as vias urbanas do Recife).

Tabela 9 – Valores de CD médio obtidos em teste para a Honda CB300 e o VW GOL

Fatores CD – Honda CB300		Fatores CD – VW GOL	
f_0 (N)	41,255	f_0 (N)	101,23
f_2 ($\text{N} \cdot (\text{km.h}^{-1})^{-2}$)	0,0288	f_2 ($\text{N} \cdot (\text{km.h}^{-1})^{-2}$)	0,0405

Fonte: O Autor (2020).

Para a calibração do modelo de consumo, foi feita a calibração do η_0 do modelo da moto e do carro, com base nas informações de consumo obtidas nos abastecimentos realizados no terceiro experimento (moto) e no primeiro experimento (carro), no ciclo Recife, por terem sido os dias de teste de rua em que se realizou o controle do consumo de combustível para os respectivos veículos. Com os dados de consumo obtidos no *Floating* gerado no percurso (Tabela 10) e no experimento de CD (Figura 37), realizou-se a calibração dos modelos computacionais da Honda CB300 e do VW GOL, para a obtenção do η_0 referente.

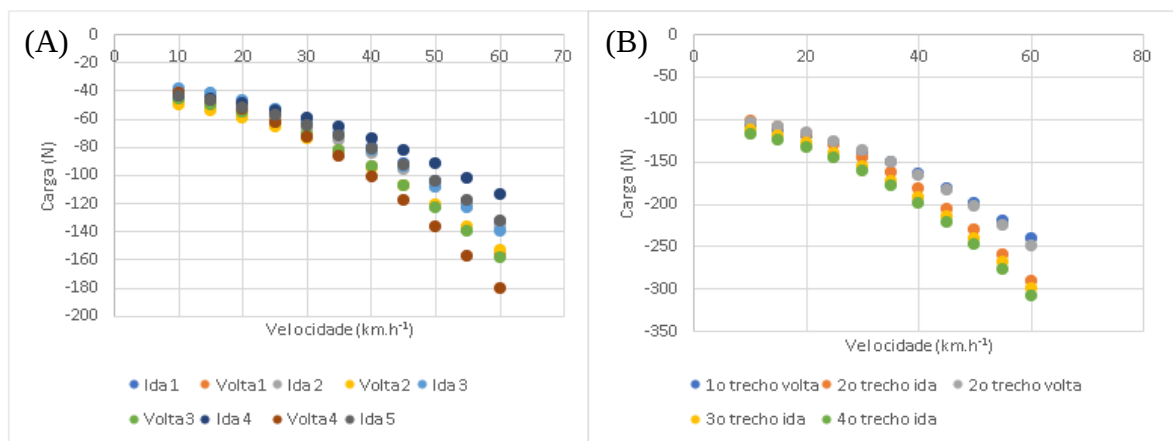
Tabela 10 – Dados de consumo para a Honda CB300 e VW GOL

Dados de consumo – Ciclo Recife	CB300 ¹	VW GOL ²
Autonomia (km.L ⁻¹)	31,9	11,4
Distância (km)	52,3	17,1
Densidade combustível (kg.L ⁻¹)	0,71	0,71
Concentração de Etanol	E28	E28

Fonte: O Autor (2020).

Legenda: ¹ Dados obtidos no 3º experimento; ² Dados obtidos no 1º experimento.

Figura 37 – Carga resistiva em função da velocidade



Fonte: O Autor (2020).

Legenda: (A) moto Honda CB300; (B) carro VW Gol.

5.2.2 Caracterização cinemática dos testes de rua e do ciclo padrão

Seguindo o cronograma estabelecido anteriormente para os testes (Quadro 5), elaborou-se 26 *floatings*. A análise dos *floatings*, foi feita separadamente entre carros (Tabela 11) e motos (Tabela 12), analisando individualmente cada um em relação à média geral, em função de seus PC. Desse modo, as análises mostram as diferenças que existem no

comportamento cinemático de um veículo, andando na cidade do Recife e percorrendo o ciclo padrão.

Tabela 11 – Dados cinemáticos - Floatings Recife: carro

	Teste	T _c (%)	T _p (%)	T _a (%)	T _d (%)	σ _v (m.s ⁻²)	v (km.h ⁻¹)	v _c (km.h ⁻¹)	a (m.s ⁻²)	d (m.s ⁻²)
Dia 01	Floating 1	23,3	32,5	24,0	20,2	18,9	19	28	0,67	-0,80
	Floating 2	23,7	31,4	24,7	20,2	19,0	19	28	0,61	-0,75
Dia 02	Floating 1	0,9	22,0	41,1	36,1	17,5	25	32	0,40	-0,45
	Floating 2	9,3	17,1	36,8	36,8	17,2	27	32	0,43	-0,40
Dia 03	Floating 1	0,9	19,6	40,8	38,7	18,6	25	31	0,47	-0,50
	Floating 2	0,4	21,4	42,2	36,0	18,7	23	30	0,48	-0,54
Dia 04	Floating 1	1,7	31,1	34,6	32,7	18,1	20	29	0,49	-0,52
	Floating 2	2,3	19,5	41,4	36,9	17,3	26	32	0,46	-0,51
	Floating 3	2,2	20,0	40,6	37,3	17,6	26	33	0,42	-0,46
Dia 05	Floating 1	1,1	24,3	40,5	34,2	20,3	26	34	0,44	-0,52
	Floating 2	2,2	19,5	43,6	34,7	19,3	27	34	0,39	-0,49
	Floating 3	0,9	14,7	45,4	38,9	18,2	29	34	0,41	-0,47
	Floating 4	1,3	21,2	39,8	37,7	18,3	27	34	0,42	-0,45
Média - todos		10,4	23,4	35,2	31,1	18,7	24	31	0,46	-0,52
FTP-75		8,0	18,0	39,0	35,0	26,0	34	42	0,51	-0,58

Fonte: O Autor (2020).

Após a análise dos *floatings* obtidos para carros e motos, foi possível o levantamento dos parâmetros de caracterização de cada *floating*, assim como da junção de todos os *floatings* obtidos em um só, com o objetivo de levantar os valores médios esperados para os PC do ciclo desenvolvido.

O 1º dia de teste mostrou-se um dia de trânsito mais intenso, apresentando valores de velocidade média de 19 km.h⁻¹ para carros e 28 km.h⁻¹ para motos, e uma acelerações média entre 0,61 e 0,67 m.s⁻² para carros e entre 0,91 e 0,96 m.s⁻² para motos (Tabela 11 e Tabela 12). Esses valores mostraram-se inferiores aos demais dias para carros (Tabela 11), porém sem diferenças significativas para motos (Tabela 12), porque as motos são menos sensíveis às reduções e paradas do trânsito, pelo uso dos “corredores”, que são os espaços entre carros em faixas vizinhas (Figura 38).

Tabela 12 – Dados cinemáticos - Floatings Recife: moto

	Teste	T _c (%)	T _p (%)	T _a (%)	T _d (%)	σ_v (m.s ⁻²)	v (km.h ⁻¹)	v _c (km.h ⁻¹)	a (m.s ⁻²)	d (m.s ⁻²)
Dia 01	Floating 1	1,7	13,7	43,3	41,2	21,2	28	33	0,91	-0,96
	Floating 2	1,9	18,8	41,7	37,6	22,0	28	35	0,96	-1,07
Dia 02	Floating 1	1,3	14,9	42,3	41,7	21,8	32	37	0,97	-0,99
	Floating 2	2,0	13,6	43,6	40,8	22,8	39	45	0,80	-0,86
Dia 03	Floating 1	1,9	20,0	40,4	37,7	23,8	34	43	0,77	-0,82
	Floating 2	5,8	17,1	39,8	37,3	24,7	36	44	0,77	-0,80
Dia 04	Floating 1	1,6	14,1	44,2	40,1	19,0	30	35	0,54	-0,59
	Floating 2	1,3	13,3	44,0	41,4	21,3	34	39	0,64	-0,68
	Floating 3	1,4	13,9	45,9	38,9	21,1	35	41	0,56	-0,67
Dia 05	Floating 1	2,2	13,7	45,9	38,2	19,9	35	40	0,48	-0,58
	Floating 2	1,3	14,0	44,8	39,9	20,9	34	40	0,73	-0,82
	Floating 3	2,3	10,9	45,3	41,4	21,6	36	40	0,80	-0,87
	Floating 4	2,2	10,8	45,9	41,2	19,8	36	41	0,58	-0,64
Média - todos		3,7	14,3	45,1	36,9	20,1	36	42	0,51	-0,62

Fonte: O Autor (2020).

Já o 2º dia foi o que apresentou valores médios de velocidade mais próximos entre os dois veículos (carros e motos). Com trânsito menos intenso que o 1º dia, as velocidades médias se aproximaram mais da média dos dados (carros), apresentando um *floating* de tráfego calmo, com um baixo número de paradas (baixo percentual de tempo parado de 17,1% e o maior percentual de tempo em velocidade de cruzeiro, 9%) em relação aos cinco dias de testes no Recife. Para as motos, foi o dia em que houve o maior valor de aceleração (0,97 m.s⁻²) e velocidade (39 km.h⁻¹).

Figura 38 – Motocicleta (M) filtrando os carros (A e B) em um dia de teste na Avenida Abdias de Carvalho



Fonte: CTTU (2020).

O 3º e 4º dia apresentaram um tráfego um pouco menos congestionado que o 1º dia, porém ainda com relativa diferença do ciclo padrão para os carros e os *floatings* de menor diferença para as motos, apresentando valores de velocidade média entre 20 e 26 km.h⁻¹ para

carros e entre 30 e 36 km.h⁻¹ para motos, com acelerações média de 0,5 m.s⁻² para carros e entre 0,54 e 0,77 m.s⁻² para motos.

O 5º dia de teste foi o dia de menor tráfego nas vias, quando foi possível obter velocidades médias maiores para os carros (entre 26 e 29 km.h⁻¹). Porém não para as motos, em decorrência da substituição do piloto e da motocicleta (menor cilindrada), apresentando uma velocidade média entre 34 e 36 km.h⁻¹. Já em termos de aceleração, por ter sido um trânsito tranquilo e com o menor tempo parado, observou-se baixas acelerações médias (retomadas de velocidade), entre 0,39 e 0,44 m.s⁻² para os carros. Já para as motos, ocorreu, da mesma forma, a menor percentagem de tempo parado, havendo uma aceleração média entre 0,48 e 0,8 m.s⁻².

Do 2º ao 5º dia, os testes para carro foram realizados sempre com dois pilotos, sendo cada um responsável pela realização de um ou mais *floatings*, como expresso no Quadro 5. Porém, os resultados mostraram que as condições de tráfego não permitiram a obtenção de grandes variações cinemáticas entre os *floatings* (diferentes condutores), nos dias de testes. Já para as motos, foi empregado do 1º ao 3º dia de testes a mesma moto e condutor e no 4º e 5º dia, uma outra moto e condutor (Quadro 5). Nessa análise entre diferentes condutores e motos, foi possível observar que a moto de maior cilindrada, com um condutor mais agressivo, conseguiu impor velocidades e acelerações superiores, mesmo em dias de tráfego mais congestionado, como por exemplo o 3º e 5º dias de teste, em que o 3º dia (moto de maior cilindrada), apesar de apresentar a maior percentagem de tempo parado entre os testes de moto, teve velocidade média similar ao 5º dia (entre 34 e 36 km.h⁻¹), que teve a menor percentagem de tempo parado entre os testes.

Para o impacto da escolha do carro, verificou-se que não ocorreu grandes diferenças entre os *floatings* pela escolha do veículo que realizou o teste, apesar de uma maior aceleração ser obtida no teste com o veículo Argo, que apresenta a maior potência, do que com o veículo HB20. A diferença obtida pelos 2 testes se justifica pelo tráfego e não pela diferença de potência dos veículos. Uma vez que o tráfego encontrado no teste com o Argo foi o de menor intensidade entre os 3 dias de testes. O teste do Argo apresentou o menor percentual de tempo parado e a maior distância entre paradas, o que justifica o menor trânsito.

Desse modo, ficou claro que, para os carros, o maior fator de impacto, nos PC de um *floating* de Recife, são as condições do trânsito local e não o piloto e/ou o carro adotado, que também afetam o *floating*, mas em uma menor intensidade que as condições do trânsito local no dia de análise. Já para as motos, os PC de um *floating* sofrem o impacto do trânsito, mas

em menor grau, devido ao uso dos corredores (Figura 38), tendo, ainda, uma maior influência, nas motos, a agressividade do condutor.

5.2.3 Estudo energético dos *floatings* e do ciclo padrão

Em termos energéticos, foi feita a análise com o modelo computacional calibrado para a obtenção do η_0 , com os valores de CD (f_0 e f_2) e consumo medidos do VW Gol 1.0 e da moto Honda CB300. Os dois veículos foram simulados em todos os *floatings* gerados nos 5 dias de teste, com o intuito de se eliminar o erro da diferença de eficiência energética de cada veículo, de modo a pesar apenas o impacto das condições de tráfego e de motorista (para os carros), no comparativo energético entre os testes realizados.

As análises mostraram que existe, para os carros, uma considerável semelhança de consumo (Tabela 13), com relação ao valor corrigido, adotado pelo PBEV (VW Gol 1.0, autonomia oficial cidade de 11,6 km.L⁻¹), sendo obtido valores inferiores no primeiro e terceiro dia de teste, por terem apresentado condições de tráfego mais intensas (Tabela 11): elevada aceleração (primeiro dia) e alta percentagem de tempo acelerando (terceiro dia). Já os demais dias apresentaram valores médios próximos ao ciclo padrão, além de não ter ocorrido grandes mudanças entre os testes no mesmo dia, o que mostra que o condutor não impactou tanto no consumo, sendo mais limitado pelas condições do tráfego no local.

Tabela 13 – Dados energéticos - Floatings Recife: carro

	Teste	A (km.L ⁻¹)	VSE (MJ.km ⁻¹)
Dia 01	Floating 1	9,9	2,93
	Floating 2	10,5	2,77
Dia 02	Floating 1	11,9	2,43
	Floating 2	12,8	2,27
Dia 03	Floating 1	10,9	2,65
	Floating 2	10,2	2,84
Dia 04	Floating 1	10,3	2,80
	Floating 2	11,4	2,54
	Floating 3	12,3	2,36
Dia 05	Floating 1	11,0	2,63
	Floating 2	11,8	2,46
	Floating 3	11,9	2,43
	Floating 4	12,1	2,40
Média - todos		11,3	2,58
PBEV - corrigido		11,4	2,54

Fonte: O Autor (2020).

A análise do consumo simulado para a Honda CB300 (Tabela 14), nos testes realizados, mostrou que nos três primeiros dias de teste que foram realizados com essa moto, houve um maior consumo médio energético. Já os dois últimos dias de teste, que foram feitos com uma moto de menor de litragem e um outro condutor, apresentaram, nas simulações com a Honda CB300, um consumo menor. Isso mostra a importância do veículo adotado e do condutor, uma vez que a moto de maior cilindrada, aliada a um condutor mais ágil, permitiu a criação de um *floating* mais agressivo.

Tabela 14 – Dados energéticos - Floatings Recife: moto

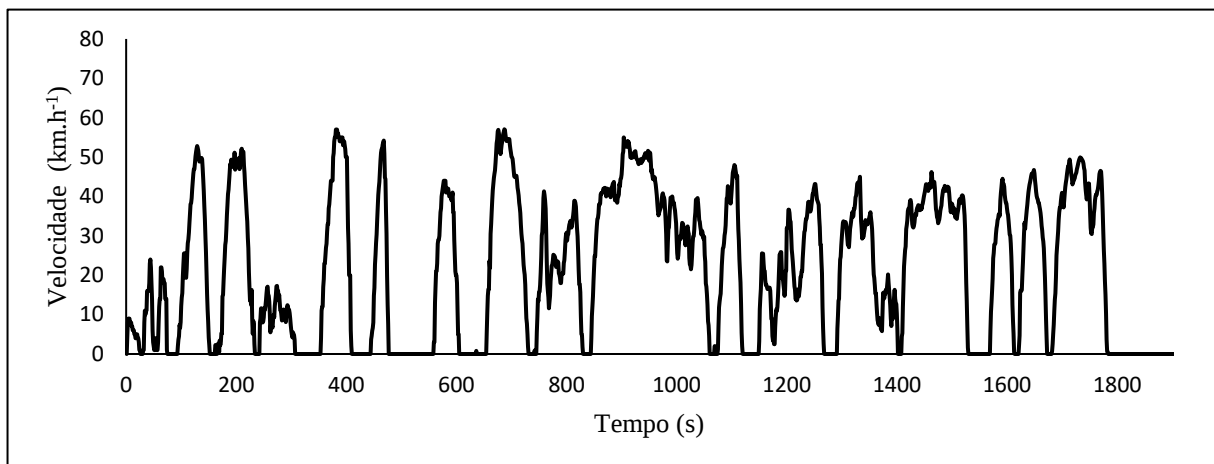
	Teste	A (km.L ⁻¹)	VSE (MJ.km ⁻¹)
Dia 01	Floating 1	37,0	0,783
	Floating 2	37,4	0,776
	Floating 3	32,9	0,266
Dia 02	Floating 1	31,0	0,936
	Floating 2	34,6	0,837
Dia 03	Floating 1	31,6	0,917
Dia 04	Floating 1	39,7	0,730
	Floating 2	35,7	0,811
	Floating 3	37,0	0,784
	Floating 4	38,3	0,756
	Floating 5	36,1	0,803
Dia 05	Floating 1	33,7	0,861
	Floating 2	36,0	0,806
	Floating 3	37,3	0,777
Médio - todos		35,4	0,819

Fonte: O Autor (2020).

5.2.4 Criação dos ciclos locais de condução: carro e moto

Com as micro-viagens obtidas ao longo dos testes de rua, foi possível montar (seguindo o método das Micro-Viagens) os ciclos locais Recife para carros (Figura 39) e motos (Figura 40). O ciclo de condução local, desenvolvido para automóveis, tem uma duração de 1.820 s (30 minutos e 20 segundos), percorrendo 11,4 km, enquanto o ciclo de condução de motocicleta tem uma duração de 2.106 s (35 minutos e 06 segundos), por 19,0 km. Ambos os ciclos apresentaram duração de tempo entre 10 e 40 minutos, que é descrito na literatura como os limites recomendados de tempo inferior e superior para um ciclo de condução (ARUN et al., 2017).

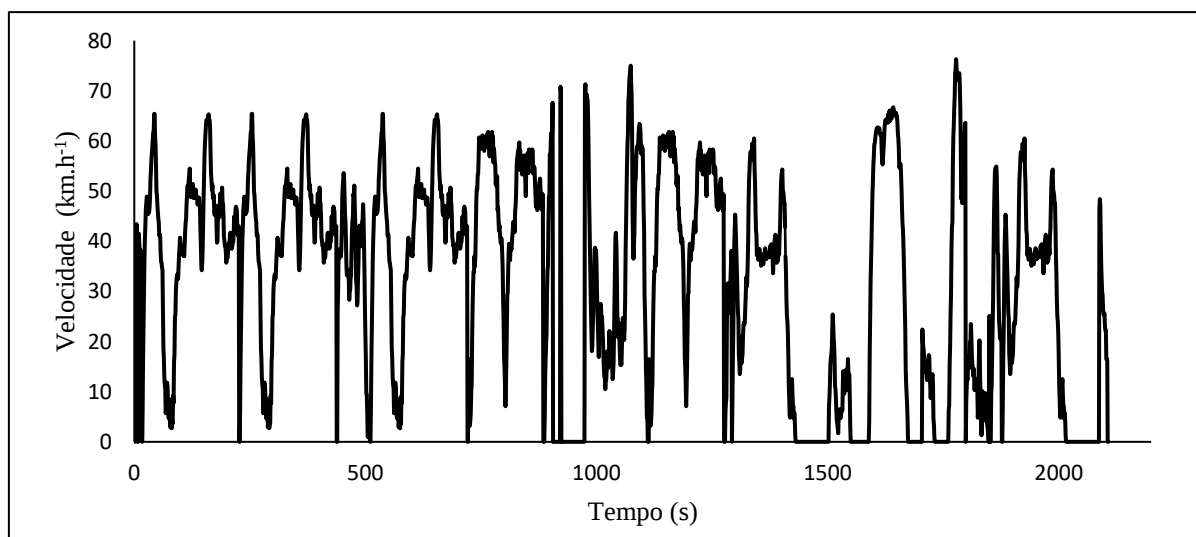
Figura 39 – Ciclo de condução Recife: carro



Fonte: O Autor (2020).

Os ciclos de condução propostos foram construídos com mais de 7 horas de teste e 240 km percorridos por cada tipo de veículo. O ciclo de condução resultante para carros tem uma duração e distância total percorrida mais curta, porque, em Recife, o carro passa mais tempo em menor velocidade ou marcha lenta, quando comparado às motocicletas. A diferença média dos parâmetros característicos dos ciclos de condução (Tabela 15), em relação a todos os dados, é de 3,8% para o automóvel e de 3,0% para a motocicleta. Esses valores médios estão abaixo do limite estabelecido pelo método adotado neste trabalho (erro médio < 4%).

Figura 40 – Ciclo de condução Recife: Moto



Fonte: O Autor (2020).

O ciclo de condução Recife para carros (Figura 39) apresentou maior tempo de marcha lenta sem carga e picos de velocidade mais baixos, em comparação com o ciclo de condução de

motocicletas (Figura 40). Por outro lado, as motocicletas apresentaram maior frequência de aceleração e desaceleração.

Tabela 15 – Medidas de avaliação do ciclo de condução de Recife para automóveis e motocicletas

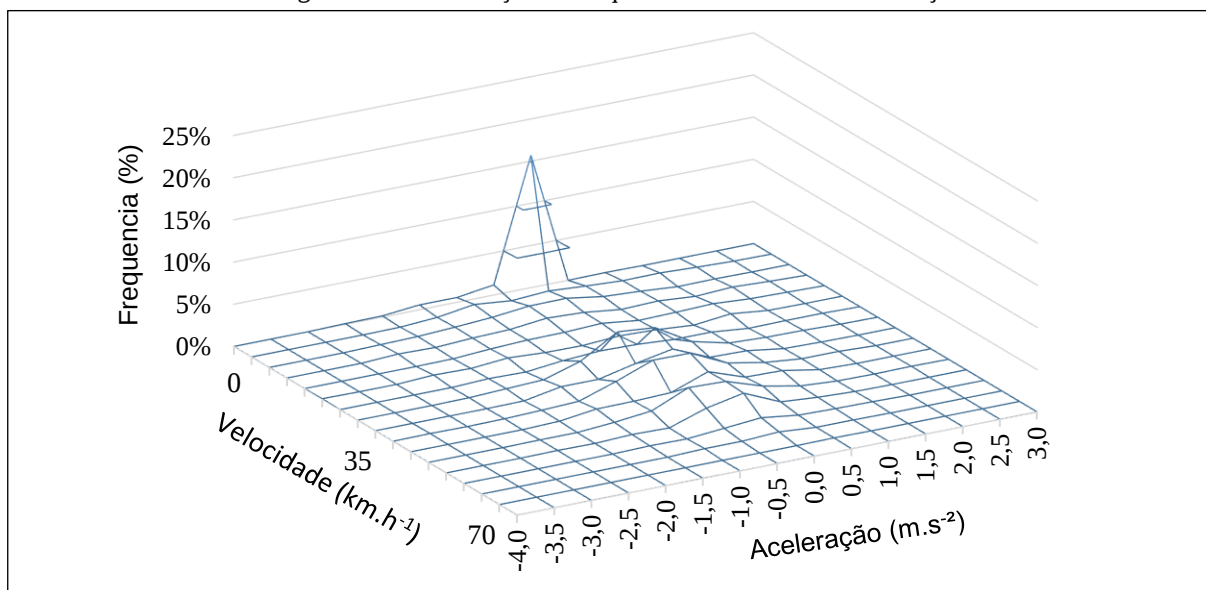
Parâmetros de caracterização	Tempo (s)	D (km)	v (km.h ⁻¹)	v _c (km.h ⁻¹)	a (m.s ⁻²)	d (m.s ⁻²)	T _c (%)	T _p (%)	T _a (%)	T _d (%)	σ _v (km.h ⁻¹)
Ciclo de condução Recife - Moto	2.016	19,0	33	38	0,84	-0,92	12	15	38	35	21
Todas micro viagem - Moto	25.805	240,0	33	39	0,80	-0,89	11	15	39	35	22
Ciclo de condução Recife - Carro	1.820	11,4	23	30	0,55	-0,63	15	24	33	29	18
Todas micro viagem - Carro	33.352	222,7	24	31	0,53	-0,60	16	23	32	28	19

Fonte: O Autor (2020).

Em geral, a motocicleta apresentou valores mais altos de aceleração média, velocidade média e velocidade média corrida e desaceleração média (em valor absoluto), quando comparada aos carros (Tabela 16). A diferença horária entre os ciclos de motocicleta e carro foi de aproximadamente 10%, mas a distância relativa percorrida pelo carro foi 40% menor. Esses valores mostram que os carros precisam de mais tempo para se deslocar em Recife e refletem a notável capacidade das motocicletas em filtrar o tráfego em baixa velocidade, para se mover o mais rápido possível, pois as motos conseguem se deslocar entre os carros, utilizando os corredores (Figura 38), o que faz com que a sua velocidade seja menos restringida pelo fluxo, podendo alcançar médias superiores.

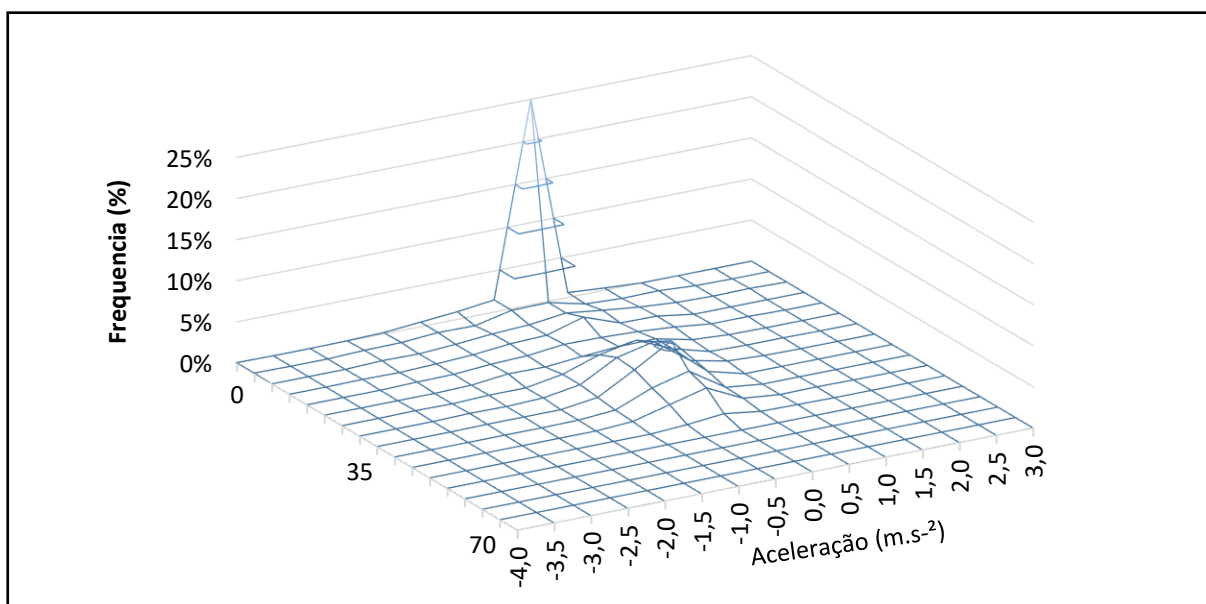
A distribuição da frequência de velocidade-aceleração do ciclo de condução desenvolvido para a cidade do Recife, para motocicletas e carros, é mostrada nas Figuras 39 e 40, respectivamente. Observa-se nas análises, que as motocicletas apresentaram maior ocorrência de velocidade, entre 30 e 60 km.h⁻¹ (57%), e os carros tiveram 55% de suas velocidades entre 25 e 55 km.h⁻¹. Além disso, a maioria das acelerações de motocicletas ficou entre 0,5 m.s⁻² e 1,0 m.s⁻² (Figura 41), apresentando uma frequência de 9,5% e 5,5%, respectivamente. Para os carros (Figura 42), 10% das acelerações ocorreram com 0,5 m.s⁻² e a maioria das acelerações ficou próxima desse valor. A maior parte das desacelerações estavam entre -1,0 m.s⁻² e 0,0 m.s⁻², mas há uma ocorrência maior perto de -0,5 m.s⁻² (aproximadamente 20%) e uma ocorrência menor para -1,0 m.s⁻² (aproximadamente 9%).

Figura 41 – Distribuição da frequência de velocidade-aceleração: moto



Fonte: O Autor (2020).

Figura 42 – Distribuição da frequência de velocidade-aceleração: carro



Fonte: O Autor (2020).

5.2.5 Estudo comparativo entre os CCL e os CPC: carro e moto

Nesta seção, os ciclos de condução de Recife, para motos e carros, são comparados com os respectivos padrões brasileiros, com ciclos locais de outras cidades brasileiras, como Fortaleza-CE (AZEVEDO et al., 2017) e Santa Maria-RS (ROSO; MARTINS, 2015)), e com as cidades de Chennai (ARUN et al., 2017) e Atenas (KARAVALAKIS et al., 2007), que

fornececeram, mediante solicitação, os seus vetores velocidade-tempo. No Brasil, o ciclo de condução FTP-75 é usado para estimar o consumo de combustível e as emissões de gases dos carros nas cidades. Para motocicletas, o cálculo das emissões e do consumo de combustível é feito pelo ciclo de condução WMTC e FTP-75, respectivamente. Os parâmetros característicos e energéticos de todos os ciclos são exibidos nas Tabelas 16 e 17.

Tabela 16 – Parâmetros característicos e energéticos para o ciclo de condução de motos no Recife

(Honda CB 300)													
Parâmetros de caracterização		D (km)	Tempo (s)	v (km.h ⁻¹)	v _c (km.h ⁻¹)	a (m.s ⁻²)	d (m.s ⁻²)	T _c (%)	T _p (%)	T _a (%)	T _d (%)	σ _v (km.h ⁻¹)	DEV (MJ/km)
Padrão	FTP-75	17,7	1.874	34	42	0,51	-0,58	8	18	39	35	26	0,16
	WMTC	28,9	1.800	58	63	0,39	-0,49	16	9	41	34	38	0,28
Local	Recife	19,0	2.106	33	39	0,80	-0,89	11	15	39	35	22	0,17
	Chennai	9,1	1.448	23	24	0,65	-0,73	19	24	30	27	-	0,12

Fonte: O Autor (2020).

O ciclo de condução de motocicletas em Recife apresentou velocidade média semelhante ao FTP-75 (Tabela 16), mas as acelerações e desacelerações médias são maiores, mostrando um comportamento mais agressivo no trânsito. No entanto, quando o ciclo proposto para motocicleta é comparado ao WMTC, há uma diferença considerável (42%). Além disso, existe uma grande discrepância entre a aceleração e a desaceleração médias, ao comparar o ciclo de condução de motocicletas de Recife e o WMTC, sugerindo que o WMTC, em sua plenitude, não pode ser usado para representar a realidade local do Recife.

Tabela 17 – Parâmetros característicos e energéticos para o ciclo de condução de carros em Recife

(carro compacto com motor de 1,0 litro)													
Parâmetros de caracterização		D (km)	Tempo (s)	v (km.h ⁻¹)	v _r (km.h ⁻¹)	a (m.s ⁻²)	d (m.s ⁻²)	T _c (%)	T _p (%)	T _a (%)	T _d (%)	σ _v (km.h ⁻¹)	DEV (MJ/km)
Padrão	FTP-75	17,7	1.874	34	42	0,51	-0,58	8	18	39	35	26	0,38
	NEDC	11	1.180	33,6	-	0,59	-0,82	40,3	23,7	20,9	15,1	-	0,38
	WLTC												
	V3	23,3	1.800	46,5	-	0,41	-0,45	12,6	3,7	43,8	39,8	-	0,47
Local	Recife	11,4	1.820	23	30	0,55	-0,63	15	24	33	29	18	0,36
	Fortaleza	8,4	1.216	24	33,7	0,51	-0,57	7,9	29,8	33,2	29,1	20,36	-
	Santa Maria	11,7	2.017	31	-	-	-	1,7	-	50,8	47,5	-	-
	Chennai	8	1.294	22,4	26,7	0,37	-0,42	17,8	16,2	35,4	30,7	14,43	-
	Atenas	6,5	1.160	21,2	26,9	0,57	-0,59	5,2	25,4	35,4	34	18,25	0,46
	Toronto	9	1.788	18,1	27	0,57	-0,57	6,5	32,9	30,3	30,2	18,83	-

Fonte: O Autor (2020).

Para os carros (Tabela 17), há uma diferença relevante na velocidade média (34%) entre o ciclo de condução de Recife e o FTP-75, mas em termos de aceleração e desaceleração média podem ser consideradas similares. Em comparação aos ciclos padrão analisados, o ciclo de condução do Recife apresentou uma menor velocidade média, já com relação aos locais, situou-se na média.

Analisando duas capitais da região nordeste, Recife e Fortaleza apresentam velocidades médias semelhantes em seus ciclos de condução (Tabela 17). Para fins de comparação, existem 2,5 milhões de habitantes, 592.468 carros e 298.211 motocicletas em Fortaleza (IBGE, 2017a), enquanto na Região Metropolitana de Recife existem 4,0 milhões de habitantes, 690.777 automóveis e 327.270 motocicletas (IBGE, 2017c). Já Santa Maria, possui 0,26 milhão de habitantes, 99.704 carros e 25.974 motocicletas (IBGE, 2017b), é uma cidade menor da região sul do Brasil e apresenta diferentes condições de tráfego, quando comparada a Recife e Fortaleza, característica que pode explicar a diferença da velocidade média de Recife e Fortaleza em relação a Santa Maria (aproximadamente 7 km.h⁻¹).

Em comparação com os ciclos locais do Brasil, foram analisados os vetores (velocidade-tempo) de alguns CCL pelo mundo, que forneceram seus dados por meio das solicitações feitas aos autores: Chennai, na Ásia (ARUN et al., 2017); Atenas, na Europa (KARAVALLAKIS et al., 2007); e Toronto, na América do Norte (AMIRJAMSHIDI; ROORDA, 2015). Ciclos locais em diferentes continentes, que apesar de apresentarem velocidades médias similares (Tabela 17), entre 18 e 22 km.h⁻¹, e próxima a de Recife para carros (23 km.h⁻¹), apresentam acelerações distintas, variando entre 0,37 e 0,57 m.s⁻², assim como as percentagens de tempo, em que Chennai apresenta um maior tempo em velocidade constante (17,8%), enquanto Toronto apresenta a maior percentagem de tempo parado (32,9%). Já em termos de aceleração e desaceleração, os maiores valores são obtidos pelo ciclo Atenas (35,4% acelerando e 34% desacelerando), tendo sempre Recife valores inferiores a esses valores de pico.

5.3 COMPARATIVO ENERGÉTICO, FROTA BRASILEIRA, CICLO PADRÃO E FLOATING RECIFE

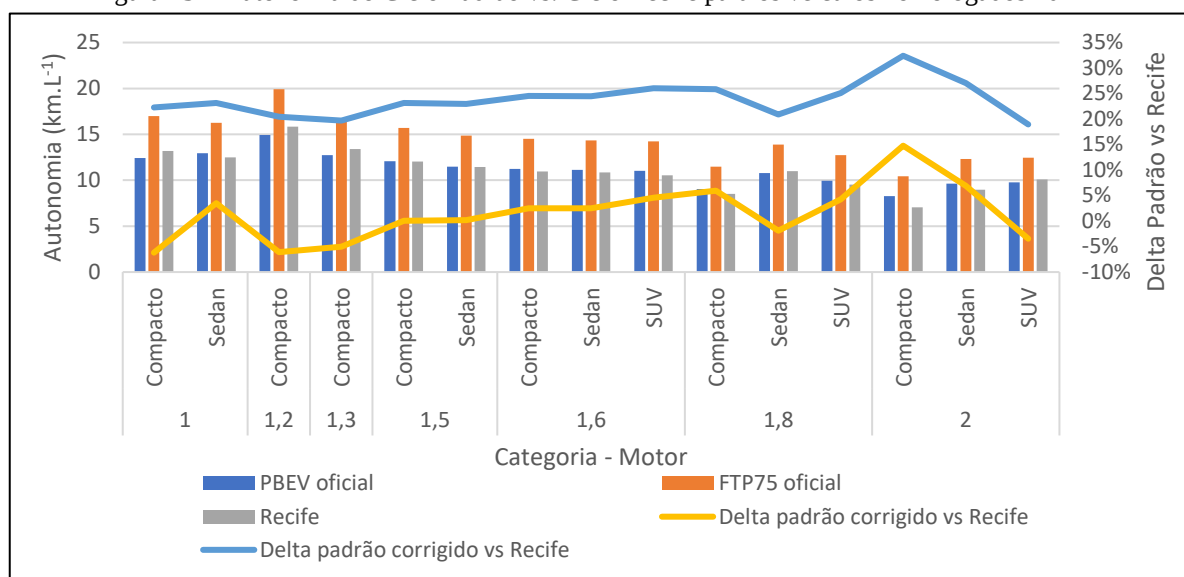
Com base nos dados da frota brasileira, fornecidos pelo INMETRO, realizou-se um levantamento das características energéticas da frota (autonomia, demanda energética e consumo específico), no ciclo padrão FTP-75, nos ciclos Recife (Figura 39 e Figura 40) e em

alguns ciclos locais, no mundo, bem como um estudo de tendências dos dados levantados, para analisar o comportamento da frota em cada ciclo e entre os ciclos.

5.3.1 Consumo de combustível

Neste estudo, duas análises foram realizadas por meio da aplicação do método de análise da frota brasileira: a primeira comparando a variação do consumo entre o Ciclo Padrão (com correção – PBEV oficial) e o Ciclo Recife (Figura 43), que mostrou que existe uma variação relativamente constante ($\pm 5\%$) de consumo entre o trânsito do Recife e o Ciclo Padrão FTP-75, para a frota brasileira; e uma segunda análise que comparou a variação do consumo entre o Ciclo Padrão (sem correção – FTP-75 oficial) e o Ciclo Recife, que apresentou uma diferença média de 24%. Essas análises mostraram que a adoção de uma correção, pelo INMETRO, reduz bastante o erro em se adotar um Ciclo Padrão como representante do tráfego local do Recife, no horário fora de pico para carros.

Figura 43 – Autonomia do Ciclo Padrão vs. Ciclo Recife para os veículos homologados 2017



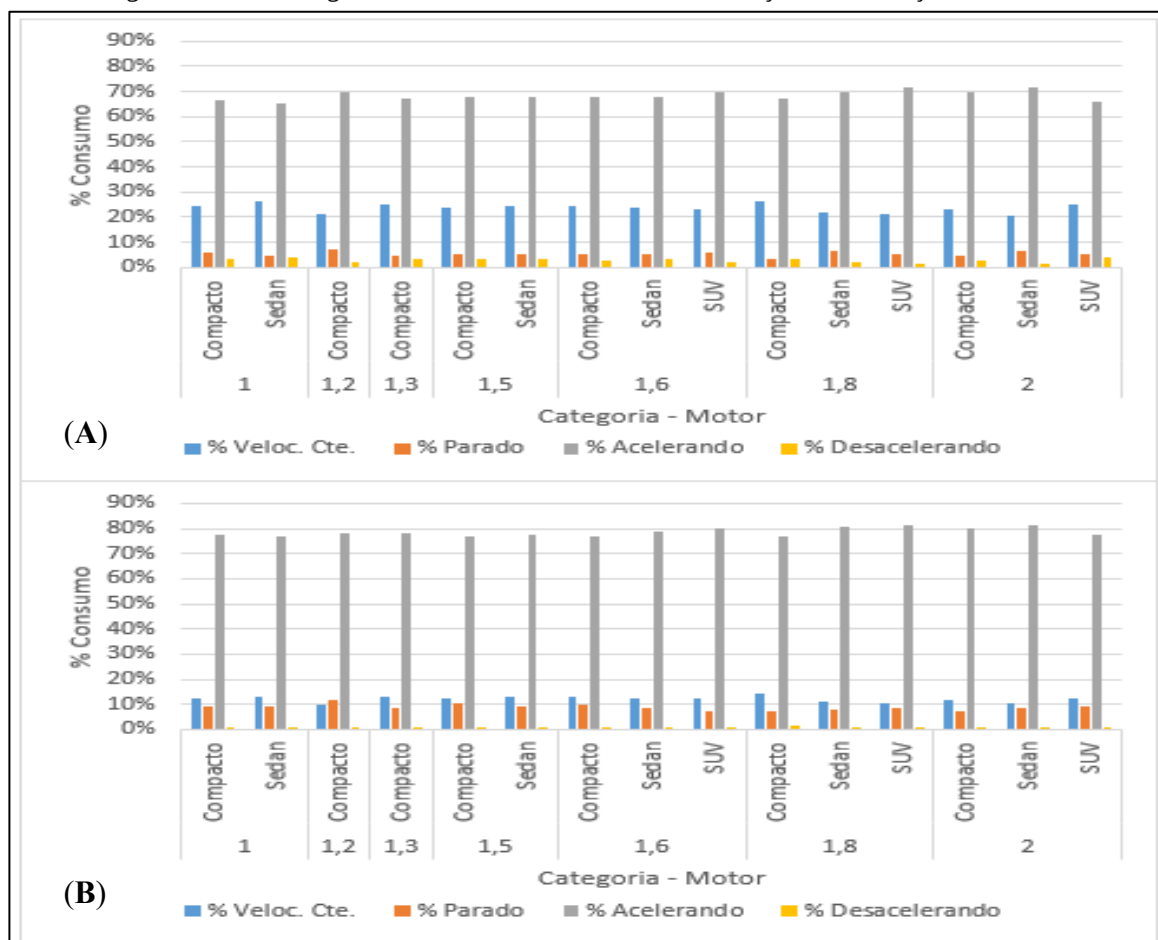
Fonte: O Autor (2020).

A oscilação dos valores obtidos em cada categoria decorre da diferença de comportamento de cada segmento, em ambos os cenários (Recife e o ciclo Padrão), além do número de veículos tomados como base no levantamento de cada categoria. Por exemplo: na categoria compacto 1.0L, existem trinta e um veículos, como base, para se obter o valor médio do CD; para a categoria 1.2L compacto, existem apenas dois veículos como base para se obter o valor médio do CD.

Nas análises feitas, o modelo permitiu também quantificar o comportamento do consumo de cada veículo, nos 2 ciclos, Recife e FTP-75, em termos da aceleração do veículo, permitindo saber como é o comportamento do consumo em cada uma das situações: aceleração, desaceleração, velocidade constante e veículo parado (Figura 44).

A análise dos gráficos mostra que, para o ciclo padrão FTP-75, o maior peso no consumo é referente a: o percentual de tempo em aceleração (68% em média); seguido pelo percentual de tempo em velocidade constante (24%); sendo os demais, praticamente, desprezíveis – 5% em média, devido ao percentual de tempo parado, e 3% em média, devido ao percentual de tempo em desaceleração. Já para o ciclo local Recife, o maior impacto no consumo decorre: do percentual de tempo em aceleração (79% em média); seguido dos percentuais de tempo em velocidade constante e parado (12% e 9% respectivamente); e, por fim, do percentual de tempo em desaceleração, que é praticamente desprezível, pois, como mostrado na Tabela 17, ambos os ciclos apresentam grandes períodos de aceleração (33% no ciclo Recife, carro, e 39% no ciclo padrão FTP-75).

Figura 44 – Porcentagem da autonomia de acordo com a situação de aceleração do veículo

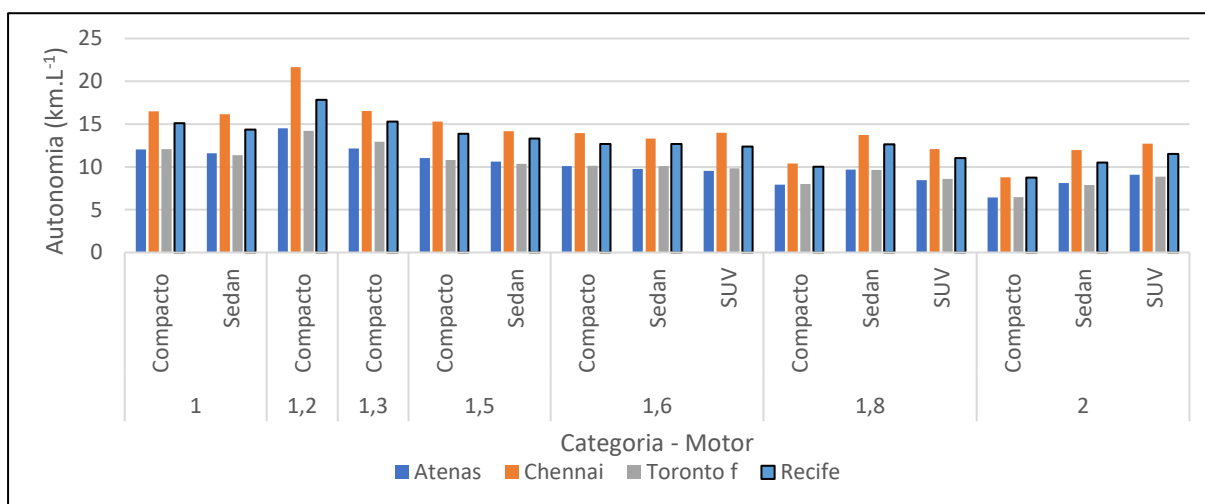


Fonte: O Autor (2020).

Legenda: (A) Ciclo FTP-75; (B) Ciclo Recife.

Aplicando o método de análise para verificação do consumo da frota nos CCL (Figura 45), adotados como ciclos mundo neste estudo (Recife, Chennai, Toronto e Atenas), é possível se verificar que Chennai e Recife apresentaram os melhores consumos, pois trata-se de ciclos locais desenvolvidos para o horário fora de pico (baixo trânsito), ou seja, sem frequentes acelerações e longos períodos parados.

Figura 45 – Autonomia da frota: Ciclos locais Mundo



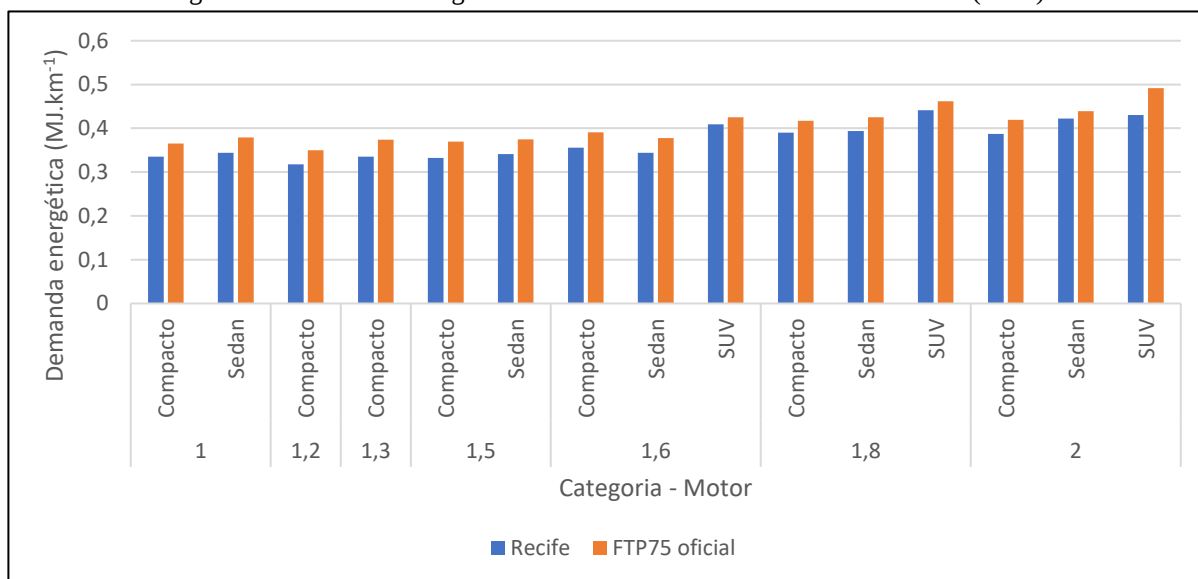
Fonte: O Autor (2020).

Enquanto os ciclos Atenas e Toronto apresentaram valores similares de consumo, pois possuem níveis similares de aceleração e velocidade média, além de sempre apresentarem níveis de consumo inferiores a Chennai e Recife, que apresentam menores valores de aceleração. Analisando o comportamento da frota, verifica-se um comportamento de consumo similar entre os diferentes ciclos, assim como uma tendência de queda no consumo ao se aumentar a litragem e peso do veículo.

5.3.2 Demanda energética e consumo específico da frota

A análise da demanda energética dos veículos (energia na roda), para percorrer os ciclos padrão e local Recife para carros (Figura 46), mostrou que o ciclo Recife apresenta uma menor demanda que o ciclo Padrão FTP-75, como exemplificado anteriormente na Tabela 17, uma vez que o ciclo local Recife, para carros, apresenta velocidades médias bastante inferiores, apesar de uma aceleração média um pouco superior.

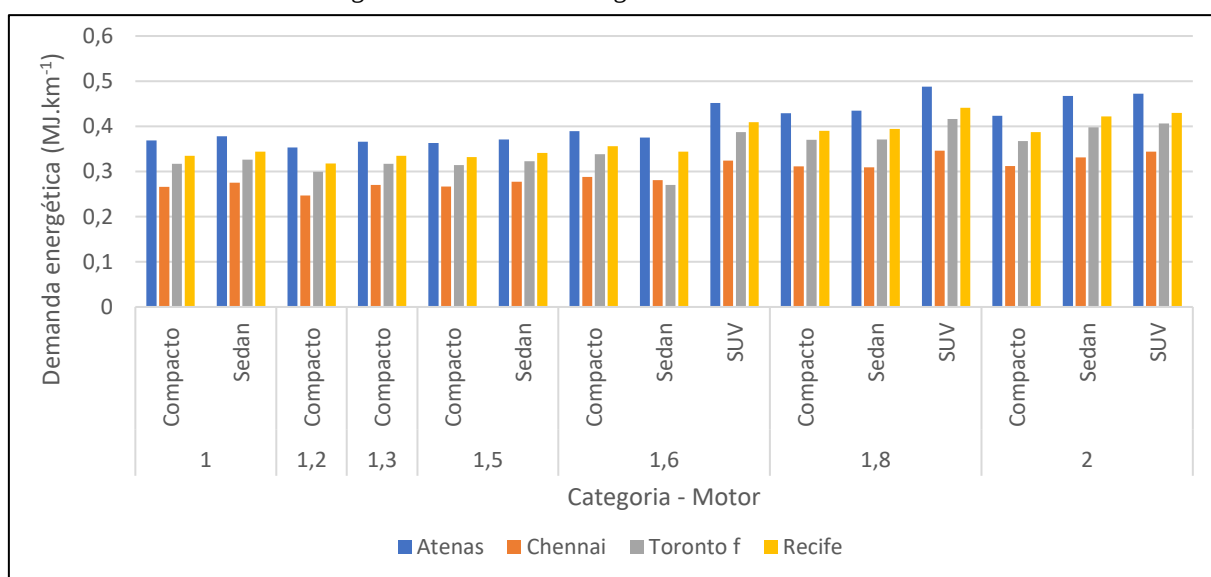
Figura 46 – Demanda energética frota Brasil: Ciclo Padrão vs Ciclo Recife (carro)



Fonte: O Autor (2020).

Analisando a demanda para a frota brasileira nos CCL mundo (Figura 47), adotados neste estudo, verifica-se que o ciclo Atenas apresentou a maior demanda energética por parte do veículo para percorrer o ciclo, seguido pelos ciclos Recife e Toronto, que apresentaram demandas similares, e com os menores valores, o ciclo local de Chennai.

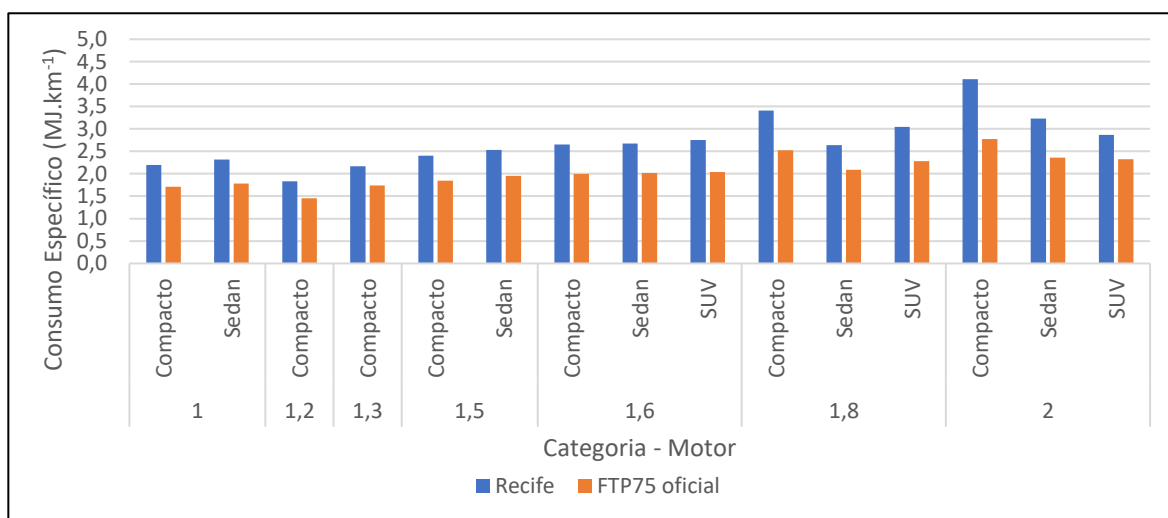
Figura 47 – Demanda energética: Ciclos locais mundo



Fonte: O Autor (2020).

Quanto ao consumo específico da frota nos dois ciclos, local Recife e padrão FTP-75 (Figura 48), e nos CCL mundo (Figura 49), verificou-se a mesma tendência apresentada nas Figuras 43 e 44, respectivamente, uma vez que o consumo específico representa a relação entre o poder calorífico do combustível (MJ.L^{-1}) e a autonomia (km.L^{-1}).

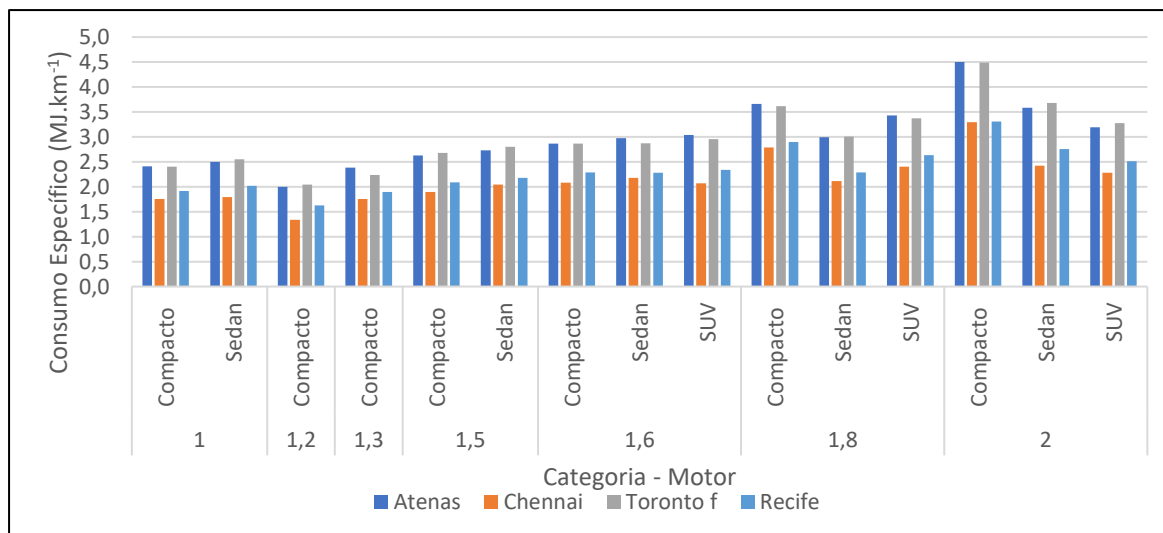
Figura 48 – Energia específica frota Brasil: Ciclo Padrão vs Ciclo Recife (carro)



Fonte: O Autor (2020).

Porém, apesar de demonstrar a mesma tendência, é uma ferramenta que permite avaliar o comportamento energético do motor, ao percorrer o ciclo indicado, assim como a demanda energética serve para se avaliar o comportamento energético do veículo (referente as forças resistivas: aerodinâmica e rolagem), ao percorrer o ciclo.

Figura 49 – Energia específica frota Brasil - Ciclos locais mundo



Fonte: O Autor (2020).

5.4 ANÁLISE CICLOS LOCAIS MUNDO

Com base nos 77 CCL levantados ao redor do mundo (Tabela 3 e Tabela 4), por meio do trabalho realizado pelos membros do Grupo LOST, foi aplicado o método desenvolvido para o levantamento dos vetores numéricos e determinados os CCL possíveis de terem seus vetores (VNE) determinados neste estudo. Conhecendo os vetores, foi possível calcular, com base em um mesmo método, os PC_{VNE} de cada um dos CCL. Além disso, realizar um estudo de tendência entre os PC_{VNE} levantados, permitiu entender as diferenças e semelhanças de cada região, assim como quais parâmetros exercem influência sobre o consumo.

5.4.1 Resultado dos PC_{VNE} para Ciclos de Condução Local

A Tabela 18 mostra os resultados do PC_{VNE} para 28 CCL de “carros” pelo mundo e o PC_{VNO} para o CCL desenvolvido para Recife. Já a Tabela 19 mostra os resultados para 12 CCL de outras classes de veículos. Na análise das Tabelas 18 e 19, A significa autonomia, enquanto CE significa o consumo específico, e todos os parâmetros de energia foram calculados usando os parâmetros do carro descrito na Tabela 7.

Tabela 18 – Ciclo de Condução Local simulado para carros (Resultado dos PC_{VNE} e de Energia) (continua)

CCL	Referências	Parâmetros cinemáticos									Parâmetros energéticos	
		v (km.h ⁻¹)	D (km)	a (m.s ⁻²)	d (m.s ⁻²)	Tempo (s)	T _c (%)	T _p (%)	T _a (%)	T _d (%)	A (km.L ⁻¹)	CE (MJ.km ⁻¹)
Atenas ⁷	Karavalakis et al. (2007)	20,1	6,5	0,57	-0,59	1.160	5,2%	25,4%	35,4%	34,0%	11,2	2,6
Bangalore ⁸	Mayakuntla; Verma (2018)	16,1	9,3	0,37	-0,49	2.088	8,1%	32,1%	34,1%	25,7%	11,6	2,5
Beijing ⁴	Wang et al. (2008)	27,0	8,1	0,52	-0,54	1.080	16,9%	3,3%	41,5%	16,9%	12,6	2,3
Beijing ⁴	Gong et al. (2018)	20,4	14,4	0,38	-0,42	2.533	13,6%	26,6%	31,4%	28,3%	13,0	2,2
Beijing ⁴	Wang et al. (2019)	34,1	11,3	0,57	-0,71	1.192	15,0%	14,2%	39,3%	31,5%	11,1	2,6
Changchu ⁴	Wang et al. (2008)	27,4	8,7	0,51	-0,62	1.137	12,0%	22,0%	36,3%	29,7%	12,1	2,40
Chengdu ⁴	Wang et al. (2008)	31,1	10,3	0,48	-0,53	1.189	12,5%	12,8%	39,0%	35,7%	13,0	2,2
Chennai – Pico ⁸	Arun et al. (2017)	17,6	5,2	0,32	-0,50	1.065	12,7%	30,0%	34,7%	22,7%	13,2	2,2
Chennai – Fora de pico ⁸	Arun et al. (2017)	22,4	8,0	0,37	-0,42	1.294	17,4%	16,2%	35,5%	31,0%	16,2	1,8
Chongqin ⁴	Wang et al. (2008)	31,4	10,1	0,54	-0,60	1.152	12,7%	4,1%	44,2%	39,0%	12,0	2,4
Edinburgh ²⁵	Esteves-Booth et al. (2001)	19,7	4,6	0,58	-0,63	835	8,3%	31,5%	31,5%	28,7%	11,3	2,6
Fortaleza ²	Azevedo et al. (2017)	23,7	8,0	0,51	-0,57	1.217	7,9%	29,8%	33,2%	29,2%	11,3	2,6
Hong Kong ⁴	Tong, Hung; Cheung (1999)	14,7	6,0	0,46	-0,50	1.471	2,9%	34,1%	32,8%	30,3%	11,1	2,6

Tabela 18 – Ciclo de Condução Local simulado para carros (Resultado dos PCVNE e de Energia)

(conclusão)												
CCL	Referências	Parâmetros cinemáticos									Parâmetros energéticos	
		v (km.h ⁻¹)	D (km)	a (m.s ⁻²)	d (m.s ⁻²)	Tempo (s)	T _c (%)	T _p (%)	Ta (%)	Td (%)	A (km.L ⁻¹)	CE (MJ.km ⁻¹)
Hong Kong - Urbano ⁴	Hung et al. (2007)	24,0	10,3	0,50	-0,52	1.548	13,7%	21,5%	32,9%	32,0%	11,9	2,4
Hong Kong – Suburbano ⁴	Hung et al. (2007)	44,7	18,3	0,40	-0,40	1.475	11,5%	6,0%	41,5%	41,1%	13,6	2,1
Hong Kong - Estrada ⁴	Hung et al. (2007)	36,7	14,9	0,28	-0,29	1.460	15,8%	13,7%	35,6%	34,9%	14,0	2,1
Jilin ⁴	Wang et al. (2008)	36,3	10,7	0,34	-0,46	1.062	17,0%	7,3%	43,7%	32,1%	14,6	2,0
Jiutai ⁴	Wang et al. (2008)	25,4	7,5	0,42	-0,46	1.070	15,2%	4,5%	38,3%	15,2%	15,4	1,9
Mashad	Pouresmaeili et al. (2018)	19,8	5,6	0,52	-0,50	1.019	6,1%	24,5%	34,0%	35,4%	12,1	2,4
Mianyang ⁴	Wang et al. (2008)	35,1	9,9	0,42	-0,59	1.017	14,4%	11,9%	43,3%	30,5%	13,4	2,2
Nanjing cidade ⁴	Yang et al. (2019)	36,3	11,8	0,29	-0,35	1.174	23,3%	12,0%	35,3%	29,5%	16,1	1,8
Ningbo ⁴	Wang et al. (2008)	23,4	7,4	0,46	-0,51	1.135	10,7%	19,9%	36,3%	33,0%	13,2	2,2
Santa maria - 12 am ²	Roso; Martins (2015)	37,6	13,5	0,20	-0,17	1.294	34,3%	0,1%	34,2%	34,3%	20,5	1,4
Shanghai ⁴	Wang et al. (2008)	28,4	8,9	0,51	-0,62	1.133	13,4%	13,0%	33,2%	13,4%	11,9	2,5
Sidney ¹	Kent, Allen; Rule (1978)	33,6	6,0	0,73	-0,72	637	8,8%	20,9%	35,0%	35,3%	10,8	2,8
Tianjin ⁴	Wang et al. (2008)	22,2	6,6	0,34	-0,42	1.075	17,4%	13,9%	37,9%	30,9%	15,1	1,9
Vietnam ¹³	Tong et al. (2011)	22,1	9,8	0,33	-0,31	1.862	18,4%	14,3%	33,0%	34,3%	17,0	1,7
Zitong ⁴	Wang et al. (2008)	32,6	8,2	0,30	-0,38	902	18,9%	1,8%	45,1%	18,9%	16,6	1,8
Recife		23,0	11,4	0,55	-0,63	1.820	15%	24%	33%	29%	11,3	2,5
Média		27,3	9,3	0,44	-0,49	1.260	13,7%	16,7%	36,9%	29,8%	13,4	2,2
Desvio padrão		7,6	3,2	0,12	0,13	383	6,1%	10,0%	4,0%	6,8%	2,3	0,3

Fonte: Andrade et al. (2020)

Legendas: 1- Austrália; 2- Brasil; 3- Canadá; 4- China; 5- Escócia; 6- Eslovênia; 7- Grécia; 8- Índia; 9- Irã; 10- Iraque; 11- Tailândia; 12- Taiwan; 13-Vietnam

Para os carros, a velocidade média ($v = 27,3 \pm 7,6 \text{ km.h}^{-1}$) foi menor que a dos dois CPC analisados na validação (Tabela 19). Para a aceleração, tem-se uma aceleração ($a = 0,43 \pm 0,12 \text{ m.s}^{-2}$) semelhante apenas ao WLTC ($a = 0,41 \text{ m.s}^{-2}$), porém se comparados os ciclos globais com o do Recife, obtém-se uma diferença pequena na velocidade média, mas considerável nas acelerações e desacelerações médias. Já em termos de economia de combustível, foi obtido uma autonomia média de $A = 13,5 \pm 2,3 \text{ km.L}^{-1}$, para carros. A economia de combustível média obtida para o modelo, foi superior à do FTP-75 (corrigido), a do WLTC e, conseqüentemente, a do ciclo Recife, que apresentou valores similares a do FTP-75 (corrigido).

Tabela 19 – Ciclo de Condução Local simulados para outros veículos

CCL	Referências	Parâmetros cinemáticos									Parâmetros energéticos	
		v (km.h ⁻¹)	D (km)	a (m.s ⁻²)	d (m.s ⁻²)	Tempo (s)	T _c (%)	T _p (%)	T _a (%)	T _d (%)	A (km.L ⁻¹)	CE (MJ.km ⁻¹)
Khon Kaen ¹²	Seedam et al. (2015)	25,0	8,1	0,51	-0,62	1.164	8,2%	22,3%	38,4%	31,1%	12,2	2,4
Khon Kaen – Elétrico ¹²	Koossalapeero m et al. (2019)	22,9	5,0	0,47	-0,61	781	7,3%	25,6%	37,8%	29,3%	12,1	2,4
Khon Kaen – Gasolina ¹²	Koossalapeero m et al. (2019)	22,6	4,9	0,49	-0,55	775	7,9%	28,3%	33,5%	30,3%	13,1	2,2
Shangai – Elétrico ⁴	Rechkemmer et al. (2019)	19,7	9,3	0,33	-0,32	1.704	14,3%	14,3%	35,4%	36,0%	17,8	1,6
Taipei ¹³	Tzeng; Chen (1998)	17,5	4,6	0,49	-0,53	950	8,0%	20,5%	36,8%	34,7%	13,7	2,1
Toronto - HDT ^a	Amirjamshidi; Roorda (2015)	12,2	6,0	0,40	-0,47	1.774	5,4%	32,7%	33,4%	28,5%	11,3	2,6
Arterials ³												
Toronto - HDT ^a	Amirjamshidi; Roorda (2015)	40,9	16,2	0,17	-0,25	1.428	31,4%	2,8%	38,3%	27,5%	16,7	1,7
Estrada ³												
Toronto - LDT ^c	Amirjamshidi; Roorda (2015)	18,1	9,0	0,57	-0,57	1.788	-6,3%	32,9%	30,4%	30,4%	11,0	2,6
Arterial ³												
Toronto - LDT ^c	Amirjamshidi; Roorda (2015)	53,1	26,5	0,29	-0,44	1.784	23,4%	3,2%	44,2%	29,2%	12,5	2,3
Estrada ³												
Toronto – MDT ^b	Amirjamshidi; Roorda (2015)	15,0	7,5	0,34	-0,53	1.795	5,0%	31,5%	38,5%	25,0%	11,3	2,6
Arterial ³												
Toronto - MDT ^b	Amirjamshidi; Roorda (2015)	39,4	18,9	0,19	-0,24	1.723	39,4%	2,8%	32,5%	25,3%	17,6	1,7
Estrada ³												
Vietnam ¹⁴	Tong et al. (2011)	19,9	11,4	0,33	-0,36	2.061	25,9%	9,6%	33,4%	31,1%	18,1	1,6
Média		25,5	10,6	0,4	-0,5	1.477	14,2%	18,9	36,1%	29,8%	14,0	2,2
Desvio padrão		12,4	6,7	0,1	0,1	446	13,1%	11,9%	3,7%	3,3%	2,8	0,4

Fonte: Andrade *et al.* (2020).

Legendas: 1- Austrália; 2- Brasil; 3- Canadá; 4- China; 5- Escócia; 6- Eslovênia; 7- Grécia; 8- Índia; 9- Irã; 10- Iraque; 11- Malásia; 12- Tailândia; 13- Taiwan; 14- Vietnam; a – Caminhões pesados; b – Caminhões médios; c – Caminhões leves

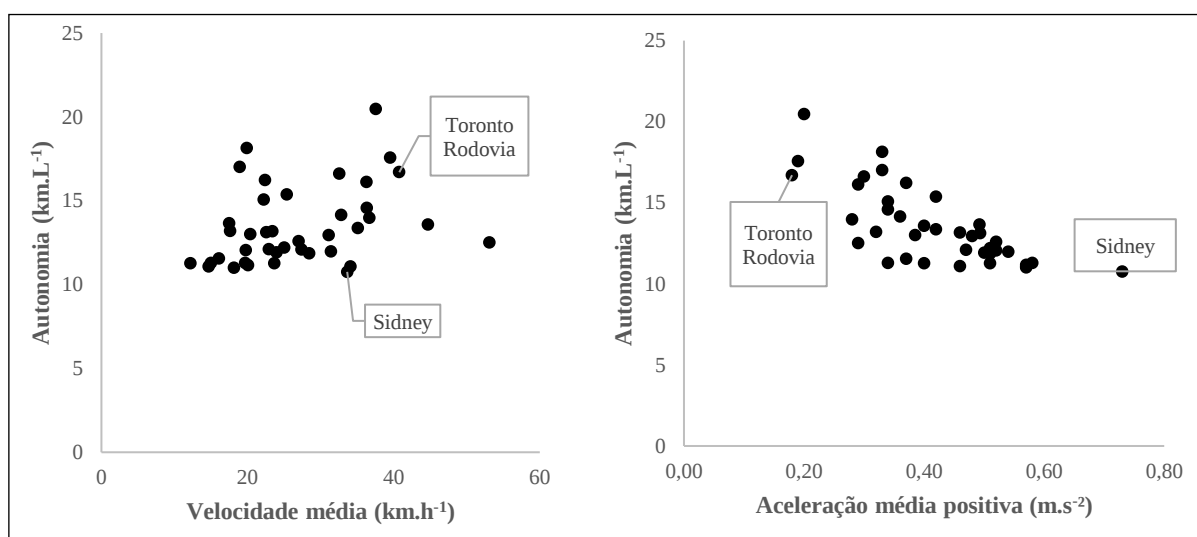
A Tabela 19 resume o desdobramento de energia, considerando os ciclos desenvolvidos para outros veículos (caminhões e motocicletas), porém, embora os ciclos sejam desenvolvidos para veículos distintos, para efeito de comparação, todos os cálculos de energia foram realizados para o mesmo veículo de referência (VW Gol 1.0). Sendo assim, nesses cálculos, as diferenças nas massas das motocicletas e dos caminhões não foram consideradas, pois o objetivo, aqui, foi comparar ciclos, não veículos. Os ciclos desenvolvidos para motocicletas, simulados com o carro de referência, apresentaram menor consumo de energia (2,1 MJ.km⁻¹), devido a sua menor velocidade (21,3 km.h⁻¹), e para caminhões, também simulados com o carro de referência, os valores foram de 2,3 MJ.km⁻¹ e 29,8 km.h⁻¹.

5.4.2 Análise de tendências

A Figura 50 mostra a economia de combustível em função da velocidade média e aceleração média positiva dos CCL extraídos. Não foi encontrada correlação para economia de combustível quando relacionada à velocidade média, portanto é possível inferir que a partir da velocidade média não há uma boa tendência para estimar o consumo de combustível. Essa conclusão é semelhante à de Ho, Wong e Chang (2014), em seus trabalhos.

Já a aceleração média apresentou uma tendência em afetar a economia de combustível (Equação 9). A Figura 51 mostra o comportamento na economia de combustível a partir da aceleração, agrupando os CCL extraídos em suas faixas médias de aceleração. É possível inferir que existe uma tendência em que a economia de combustível diminui para uma maior aceleração média, assim como pode ser visto na equação 9.

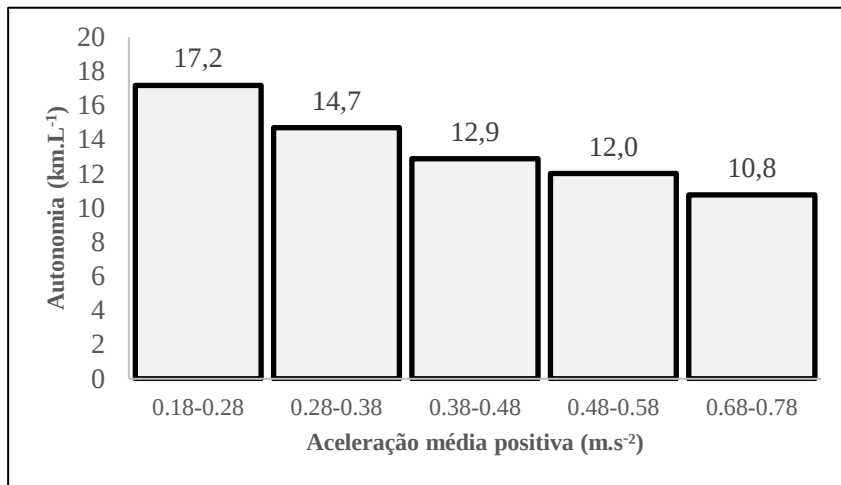
Figura 50 – Tendências para a autonomia em função da velocidade média e da aceleração média positiva



Fonte: Andrade *et al.* (2020).

Na Figura 50, escolheu-se dois ciclos com padrão distinto. O primeiro, o ciclo de condução local de Sidney, que é o CCL mais antigo do estudo realizado na Tabela 18, proposto para carros por Kent, Allen e Rule (1978). A análise com o modelo padrão, mostrou uma economia de combustível de 10,76 km.L⁻¹ a menor entre todos os ciclos de condução.

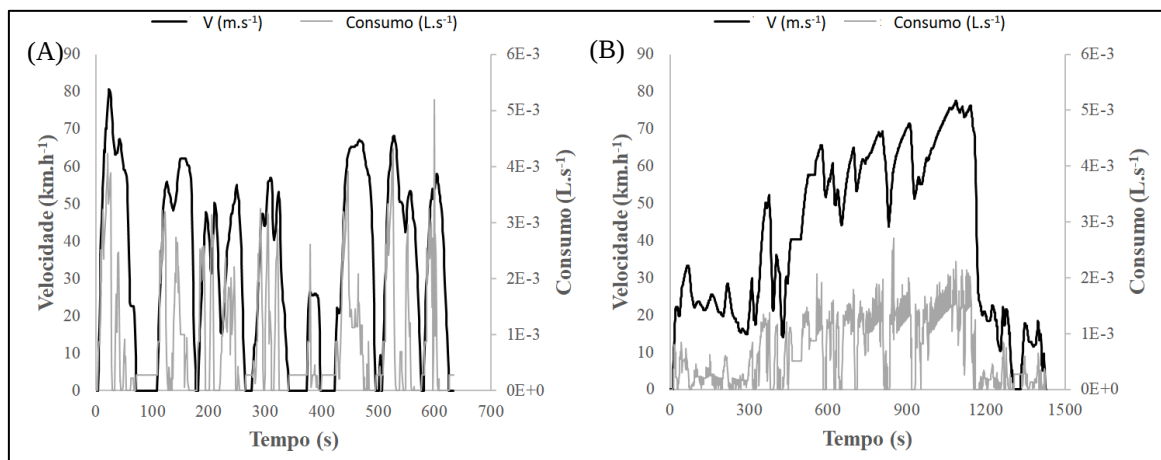
Figura 51 – Autonomia de combustível em função das faixas de aceleração média dos ciclos



Fonte: Adaptado de Andrade *et al.* (2020).

O segundo ciclo de condução local selecionado é o de Toronto, proposto para caminhões em rodovias por Amirjamshidi e Roorda (2015), porém o consumo de combustível foi simulado considerando-se, também, o mesmo carro padrão, conforme descrito na Tabela 3. A autonomia de combustível foi estimada em 16,71 km.L⁻¹, o que possibilitou verificar a baixa correlação da autonomia com a velocidade, visto que apresentaram consumos distintos e velocidades médias próximas, porém uma boa correlação com a aceleração, em que os 2 ciclos apresentam acelerações distintas e consumo distintos (Figura 50). Como esperado, de acordo com a equação 9.

Figura 52 – Velocidade e consumo de combustível para o CCL de Sidney e CCL para caminhões em rodovias de Toronto

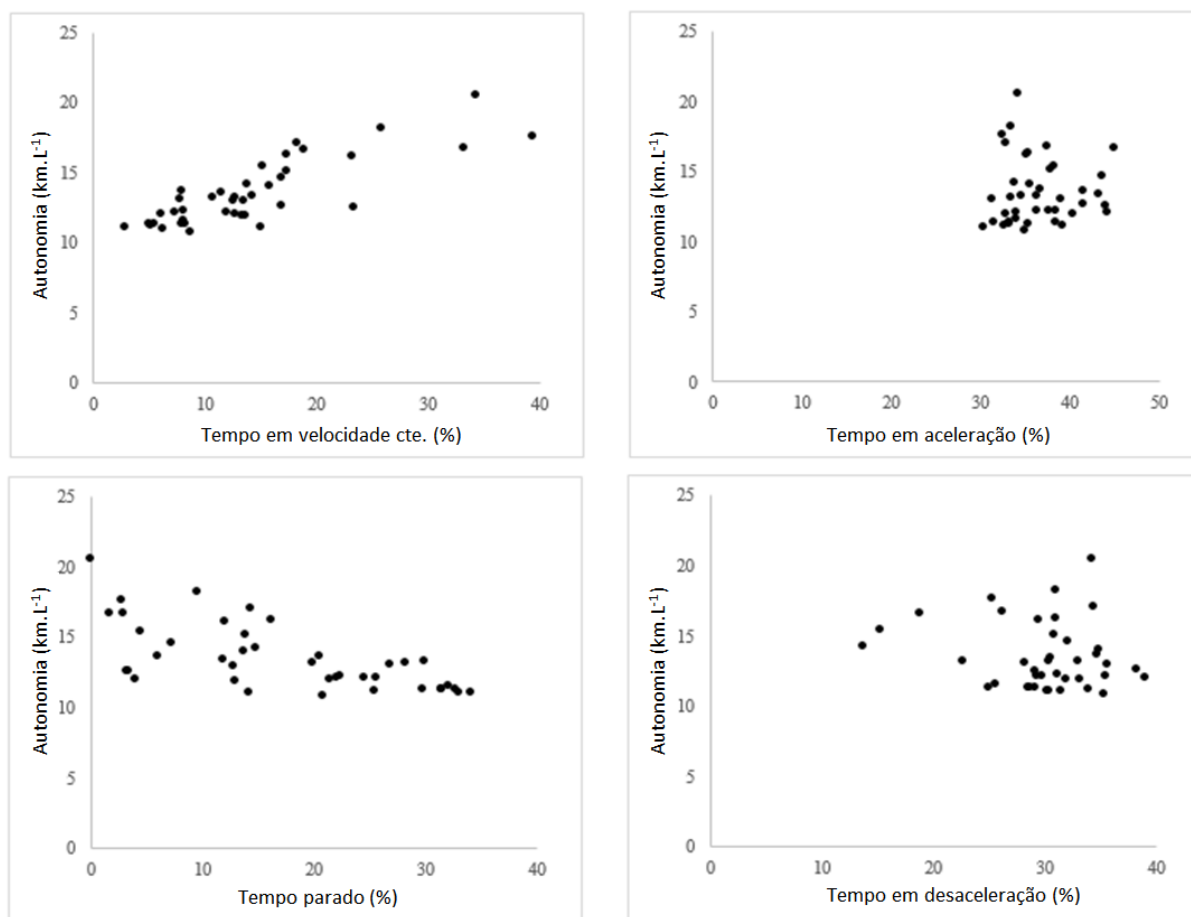


Fonte: Andrade *et al.* (2020).

Legendas: (A) CCL para Sidney; (B) CCL para caminhões em Tortonto.

Ainda estudando os dois ciclos, a Figura 52 apresenta dois dados: velocidade do veículo (km.h^{-1}) e consumo instantâneo de combustível (L.s^{-1}). Em Sidney, o perfil velocidade-tempo apresentou uma intensa condição de parada e partida, na qual as acelerações e interrupções de curto prazo são responsáveis pelo aumento do consumo de combustível. O CCL de Toronto apresentou um perfil com uma maior duração e apenas uma parada durante o ciclo. O que leva a um menor consumo de combustível em Toronto. A Figura 53 mostra os tempos de velocidade de cruzeiro relacionados à economia de combustível dos CCL globais. É possível inferir que, ao aumentar o percentual de tempo em velocidade de cruzeiro, há uma tendência de aumento da autonomia, e que ao aumentar o percentual de tempo parado, há uma tendência de diminuição da autonomia. Já para a influência do peso do percentual de tempo em aceleração e desaceleração, não se obteve uma correlação (tendência) com a economia de combustível.

Figura 53 – Autonomia pela percentagem do tempo em velocidade constante, aceleração, parado e em desaceleração



Fonte: Adaptado de Andrade *et al.* (2020).

6 CONCLUSÃO

Este trabalho teve como objetivo analisar a qualidade de um método apresentado de criação de um ciclo de condução, adotá-lo para a criação de dois CCL, um para motocicletas e outro para carros, na cidade do Recife, uma grande cidade do Brasil, cuja condição de tráfego misto analisado ocorre em dias úteis e fora de pico. Também foi quantificada as diferenças entre ciclos locais e ciclos padrão, por meio de uma revisão literária em 77 CCL ao redor do mundo.

Foi feito o desenvolvimento de um método simplificado de criação e de análise cinemática e energética de um veículo, em uma condição de tráfego reproduzível. Também foi realizada uma extensa revisão bibliográfica que permitiu entender as diversas formas existentes de criação de um ciclo de condução (captação e processamento dos dados) e, então, desenvolver o método simplificado, alinhando a qualidade dos resultados com as limitações de recurso existentes e a proposta do trabalho. A validação do método foi realizada com base em testes (validação do GPS de celular e ajuste de curva de potência) e na literatura (métodos de criação de ciclos de condução).

Para o presente estudo, foi analisado o tráfego da cidade do Recife para carros e motos. Foi estabelecida uma rota de 17,4 km, que compreendeu três das principais avenidas da região, em horário fora de pico, em que foram coletados os dados de velocidade, por cinco dias e avaliada a representatividade dos dados coletados. Para a realização dos testes, foram utilizados três carros e duas motocicletas, além de diferentes pilotos. Para a coleta de dados, foi utilizado um GPS de celular, que salvou os dados na frequência de 1Hz. Os dados do GPS do celular foram comparados e validados anteriormente com um GPS de 10Hz, de maior precisão, mostrando um baixo erro médio de 2 km.h⁻¹.

Ao comparar os ciclos de moto e carro em Recife, as motocicletas apresentaram: velocidade 43% maior; aceleração 52,7% maior; e desaceleração 46% menor, quando comparadas aos carros. Porém, as motos apresentam uma menor percentagem de tempo parado (15%). Como esperado, devido a possibilidade de adoção do corredor. Esses valores mostram a percepção média do tráfego em condições mistas, nas quais as motocicletas podem filtrar os carros, principalmente em velocidades mais baixas devido a existência da possibilidade de utilização dos corredores. Já os carros, tem sua movimentação fortemente condicionada pelo tráfego, e pouco influenciada pelo modelo do veículo e pelo condutor.

Ao comparar os ciclos de condução de Recife com os de homologação para o ciclo de condução de motocicleta em Recife, os parâmetros característicos foram diferentes para

todas as medidas de avaliação quando comparados ao WMTC (*e.g.*, a velocidade média no WMTC é 75% maior quando comparada ao ciclo de condução de motocicleta em Recife). Porém, quando comparado ao FTP-75, as velocidades médias apresentaram valores semelhantes (diferença de 3% na velocidade média). Do ponto de vista de aceleração média, o ciclo Recife para motos apresenta valores superiores a ambos os ciclos padrões.

O ciclo de condução de carro em Recife, quando comparado aos ciclos de homologação, apresentou menor diferença de aceleração e desaceleração em relação ao FTP-75, embora a velocidade média em Recife seja 32% menor. Os resultados do ciclo de condução de carros em Recife foram comparados com outras duas cidades brasileiras: Fortaleza e Santa Maria. Quando comparado com Fortaleza, outra metrópole brasileira, o ciclo de condução de Recife apresentou comportamento semelhante para a velocidade média. A velocidade média de ambas as cidades apresentou menor velocidade média quando comparadas com Santa Maria. Essa diferença pode ser resultado da população da cidade e do tamanho da frota.

Analizando a frota brasileira de carros, o comportamento energético do CCL de Recife apresentou uma variação no consumo de $\pm 5\%$, quando comparado aos valores corrigidos do FTP-75. No entanto, ao se comparar diretamente com o FTP-75, a variação passou a ser de, em média, 24%. Dessa forma, o FTP-75, corrigido, reflete bem a autonomia dos veículos do Recife em condições fora de pico.

Apesar de ser pequena a diferença entre o ciclo padrão corrigido e o ciclo local Recife elaborado, mostrando uma boa relação de consumo entre os ciclos após a correção, os estudos comparativos dos ciclos locais no mundo mostrou uma grande disparidade entre eles, com uma autonomia média de $13,5 \text{ km.L}^{-1}$ e um desvio de $2,3 \text{ km.L}^{-1}$ (17%).

Uma revisão literária foi realizada em 77 CCL, considerando diversos países do mundo, seguida da aplicação de um método proposto de obtenção de seus vetores velocidade-tempo, permitindo uma análise cinemática e energética sobre os mesmos padrões de 40 dos 77 CCL estudados. Analisando os 40 CCL, em relação aos principais CPC, verificou-se que a velocidade média dos CPC (34 km.h^{-1} – FTP-75, $33,6 \text{ km.h}^{-1}$ NEDC e $46,5 \text{ km.h}^{-1}$ WLTC) foram maiores quando comparada com os CCL de várias cidades do mundo ($27,3 \text{ km.h}^{-1}$). Os CCL também apresentaram um alto desvio em seus PC, sugerindo que os CPC não podem ser usados para representar todas as regiões do mundo de maneira uniforme. Além disso, se verificou que existe uma tendência de que, quando a aceleração média aumenta, a economia de combustível diminui. Outra tendência verificada foi que o tempo gasto em velocidade de cruzeiro é relevante também para o consumo de combustível.

Demonstrou-se, assim, a necessidade do desenvolvimento dos CCL para se ter um melhor entendimento das condições cinemáticas e energéticas de cada região. Dessa forma, verificou-se a importância no desenvolvimento de um método reproduzível de criação e de análise de um CCL. Os ciclos padrão não representam com exatidão todos os locais sobre os quais eles regem através das normas, sendo as medições no ciclo padrão apenas uma ferramenta (parâmetro) de diferenciação do consumo entre os veículos, além de um valor médio geral das cidades, que também apresenta um certo erro médio. O método desenvolvido também teve como foco não apenas obter resultados com qualidade, mas também os gerenciar os recursos necessários, utilizando-se materiais de fácil obtenção, como GPS de celular. Isso permite a replicação do método de forma fácil em outras localidades.

6.1 TRABALHOS FUTUROS

Como trabalhos a serem desenvolvidos a partir deste, podem-se sugerir os seguintes:

- a) Adquirir dados para a criação de um ciclo de condução carro e moto para o horário de pico na cidade do Recife, com o objetivo de demonstrar uma situação do tráfego médio da cidade de forma mais completa frente aos valores propostos pelo ciclo adotado pela norma brasileira (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2017).
- b) Criar um estudo de comprovação da representatividade do trajeto escolhido para os testes, além de estender o estudo para regiões específicas do Recife (bairros) ou outros municípios ou regiões por meio da aplicação dos métodos de criação e análise de ciclos de condução.
- c) Estender os estudos para outros tipos de veículos (caminhões e ônibus) e outros tipos de combustíveis (etanol, gás natural e diesel)
- d) Criar uma análise de sensibilidade dos parâmetros experimentais levantados nos testes em relação ao consumo obtido nos veículos
- e) Analisar a sensibilidade do erro médio adotado na escolha dos ciclos candidatos pelo método das Micro-viagem.

REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA DE DESENVOLVIMENTO DO NORDESTE . **Aspectos fundamentais de planejamento energético**. Rio de Janeiro: EPE, 2005. Disponível em: <http://epe.gov.br/pt/abcdenergia/planejamento-energetico-e-a-epe>. Acesso em: 17 out. 2020.
- AL-SAMARI, Ahmed. Real-world driving cycle: case study of Baqubah, Iraq. **DJES**, v. 10, n. 2, p. 39-47, 2017. DOI: <http://doi.org/10.24237/Djes.2017.10204>.
- AMIRJAMSHIDI, Glareh; ROORDA, Matthew J. Development of simulated driving cycles for light, medium, and heavy duty trucks: case of the Toronto Waterfront Area. **Transp Res D**, New Brunswick, v. 34, p. 255-266, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.trd.2014.11.010>.
- ANDRADE, Guilherme Medeiros Soares de *et al.* Standardized Comparison of 40 Local Driving Cycles: Energy and Kinematics. **Energies**, v. 13, n. 20, p. 5434, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/en13205434>.
- ARUN, N. H. *et al.* Development of driving cycles for passenger cars and motorcycles in Chennai, India. **Sustain Cities Soc**, Montreal, v. 32, p. 508-512, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2017.05.001>.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 10312**: Veículos veículos rodoviários automotores leves - Determinação da resistência ao deslocamento por desaceleração livre em pista de rolamento e simulação em dinamômetro. Rio de Janeiro: ABNT, 2014.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 6601**: Veículo veículo rodoviários automotores leves - Determinação de hidrocarbonetos, monóxido de carbono, óxidos de nitrogênio, dióxido de carbono e material particulado no gás de escapamento. Rio de Janeiro: ABNT, 2012.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 7024**: Veículos veículos rodoviários automotores leves - Medição do consumo de combustível - Método de ensaio. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro: ABNT, 2017.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS FABRICANTES DE MOTOCICLETAS, CICLOMOTORES, MOTONETAS, BICICLETAS E SIMILARES. **Dados do setor duas rodas 2020**. São Paulo: Abraciclo, 2020. Disponível em: https://adobeindd.com/view/publications/b4e59755-5457-42a6-9c1b-6f66fe53d58d/cem8/publication-web-resources/pdf/Abraciclo_-_Dados_do_Setor_2020.pdf. Acesso em: 17 dez. 2020.
- AZEVEDO, Julie Anne Holanda *et al.* Influências dos modos de operação nas emissões de poluentes provenientes de veículos flex em região urbana. **Transportes**, São Paulo, v. 25, n. 2, p. 91-102, 2017. DOI: <https://doi.org/10.14295/transportes.v25i2.1304>.
- BARLOW, Tim J. *et al.* **A reference book of driving cycles for use in the measurement of road vehicle emissions**. 3 ed. Workingham, UK: TRL Limited, 2009. *E-book*.
- BEN DROR, Maya; QIN, Lanzhi; AN, Feng. The gap between certified and real-world

passenger vehicle fuel consumption in China measured using a mobile phone application data. **Energy Policy**, Londres, v. 128, p. 8-16, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2018.12.039>.

BEN-CHAIM, Michael; SHMERLING, Efraim; KUPERMAN, Alon. Analytic modeling of vehicle fuel consumption. **Energies**, v. 6, n. 1, p. 117-127, 2013. DOI: <https://doi.org/10.3390/en6010117>.

BERTRAND, Emmanuel. *et al.* First Generation Bioethanol. In: SOCCOL, Carlos Ricardo *et al.* (org.). **Green Fuels Technology: biofuels**. Cham: Springer International Publishing, 2016. p. 175-212. *E-book*. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-30205-8_8.

BERZI, Lorenzo; DELOGU, Massimo; PIERINI, Marco. Development of driving cycles for electric vehicles in the context of the city of Florence. **Transp Res D**, New Brunswick, v. 47, p. 299-322, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.trd.2016.05.010>.

BRASIL. Portaria n.º 522, de 31 de outubro de 2013. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, ano 150, n. 213, p. 88-89, 1 nov. 2013.

BRASIL. Portaria n.º 10, de 11 de janeiro de 2012. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, ano 149, n. 10, p. 54, 13 jan. 2012.

BRASIL. Resolução n.º 415, de 24 de setembro de 2009. Dispõe sobre nova fase (PROCONVE L6) de exigências do Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores-PROCONVE para veículos automotores leves novos de uso rodoviário e dá outras providências. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, ano 146, n. 189, p. 53-54, 25 set. 2009.

BRUNETTI, Franco. **Motores de combustão interna**. 3. ed. São Paulo: Edgard Blucher, 2012. v. 1. *E-book*.

BURDA, Brittany U. *et al.* Estimating data from figures with a Web-based program: Considerations for a systematic review. **Res. Synth. Methods**, Montreal, v. 8, n. 3, p. 258-262, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1002/jrsm.1232>.

CHEN, K. S. *et al.* Motorcycle emissions and fuel consumption in urban and rural driving conditions. **Sci Total Environ**, v. 312, n. 1-3, p. 113-122, 2003.

COSSALTER, Vittore. **Motorcycle Dynamics**. 2. ed. Morrisville: Lulu.com, 2006. *E-book*.

COSTA, Janaina O. P. Normalização para a inovação: o Programa Brasileiro De Etiquetagem Veicular (PBE-V). In: RAUEN, André T. (org.). **Políticas de inovação pelo lado da demanda no Brasil**. Brasília: IPEA, 2017. p. 121-177. *E-book*.

CRUZ, Carlos H. Brito; SOUZA, Glaucia M.; CORTEZ, Luiz A. Barbosa. Biofuels for Transport. In: **Future Energy: improved, sustainable and clean options for our planet**. 2. ed. Boston: Elsevier, 2014. p. 215-244. *E-book*. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-099424-6.00011-9>.

CUNHA, Saulo dos Santos. **Estudo computacional da dinâmica das motocicletas nas acelerações, frenagens e curvas**: o efeito da técnica do piloto e das condições da estrada.

2016. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2016.

DAI, Zhen; NIEMEIER, Deb A.; EISINGER, Douglas. Driving cycles: a new cycle-building method that better represents real-world emissions. The U.C. Davis-Caltrans air quality project, **Davis**, v. 66, n. 66, p. 37, 2008. Disponível em: <http://aqp.engr.ucdavis.edu/>. Acesso em: 8 jul. 2020.

DALLMANN, Tim; FAÇANHA, Cristiano. **International comparison of Brazilian regulatory standards for light-duty vehicle emissions**. Washington: ICCT White Paper, 2017. 40 p. Disponível em: https://www.theicct.org/sites/default/files/publications/Brazil-LDF-Regs_White-Paper_ICCT_13062017_vF_revised.pdf. Acesso em: 15 jun. 2020.

DEGRAEUWE, Bart; WEISS, Martin. Does the New European Driving Cycle (NEDC) really fail to capture the NO_x emissions of diesel cars in Europe? **Environ Pollut**, v. 222, p. 234-241, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2016.12.050>.

DIESELNET. Emission test cycles: FTP-75. **Dieselnet.com**, Aug. 2014. Disponível em: <https://www.dieselnet.com/standards/cycles/ftp75.php>. Acesso em: 3 jul. 2019.

DIESELNET. Emission test cycles: worldwide harmonized light vehicles test cycle (WLTC). **Dieselnet.com**, Jan. 2019. Disponível em: <https://www.dieselnet.com/standards/cycles/wltp.php>. Acesso em: 29 jun. 2019.

DONADIO, Rafael das Neves. **Modelagem do comportamento direcional de motocicletas em curva**. 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Fundação Educacional Inaciana Pe. Sabóia de Medeiros, São Bernardo do Campo, 2009.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Balanco Energético energético 2020: relatório síntese - ano base 2019**. Rio de Janeiro: Ministério das Minas e EnergiaEPE, 2020. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-479/topico-521/Relato%CC%81rio%20Si%CC%81ntese%20BEN%202020-ab%202019_Final.pdf. Acesso em: 5 jan. 2020.

ESTEVEES-BOOTH, A. *et al.* The Measurement of Vehicular Driving Cycle Within the City of Edinburgh. **Transp Res D**, New Brunswick, v. 6, n. 3, p. 209-220, 2001. DOI: [https://doi.org/10.1016/S1361-9209\(00\)00024-9](https://doi.org/10.1016/S1361-9209(00)00024-9).

EUROPEAN ENVIRONMENTAL AGENCY. **EU fuel quality monitoring - 2015**. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2016. DOI: <https://doi.org/10.2800/246789>.

FEDERAÇÃO NACIONAL DA DISTRIBUIÇÃO DE VEÍCULOS AUTOMOTORES. **Anuário 2019: O desempenho da distribuição automotiva no Brasil**. São Paulo: Fenabrave, 2019. Disponível em: <http://www.fenabrave.org.br/anuarios/Anuario2019.pdf>. Acesso em: 10 fev. 2020.

FONTARAS, Georgios *et al.* The difference between reported and real-world CO₂ emissions: How much improvement can be expected by WLTP introduction? **Transp Res Proc**, v. 25, p. 3933-3943, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2017.05.333>

FONTARAS, Georgios; ZACHAROF, Nikiforos-Georgios; CIUFFO, Biagio. Fuel consumption and CO 2 emissions from passenger cars in Europe – Laboratory versus real-world emissions. **Prog Energy Combust Sci**, v. 60, p. 97-131, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.pecs.2016.12.004>

GIAKOUMIS, Evangelos G. **Driving and engine cycles**. Suíça: Springer International Publishing, 2016. *E-book*. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-3-319-49034-2>.

GONG, Huiming *et al.* Generation of a driving cycle for battery electric vehicles: A case study of Beijing. **Energy**, v. 150, p. 901-912, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.02.092>

HEREIJGERS, Kobus *et al.* Effects of using synthesized driving cycles on vehicle fuel consumption. **IFAC-PapersOnLine**, v. 50, n. 1, p. 7505-7510, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2017.08.1183>.

HO, Sze-Hwee; WONG, Yiik-Diew; CHANG, Victor Wei-Chung. Developing Singapore Driving Cycle for passenger cars to estimate fuel consumption and vehicular emissions. **Atmos Environ**, v. 97, p. 353-362, 2014. Disponível em : DOI: <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2014.08.042>.

HUERTAS, José Ignacio *et al.* A new methodology to determine typical driving cycles for the design of vehicles power trains. **Int J Interact Des Manuf**, v. 12, n. 1, p. 319-326, 2018b. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12008-017-0379-y>.

HUERTAS, José Ignacio *et al.* Comparison of Three Methods for Constructing Real Driving Cycles. **Energies**, v. 12, n. 4, p. 1-15, 2019. DOI: <https://doi.org/10.3390/en12040665>.

HUERTAS, José Ignacio *et al.* Driving cycles based on fuel consumption. **Energies**, v. 11, n. 11, p. 1-13, 2018a. DOI: <https://doi.org/10.3390/en11113064>.

HUNG, Wing-Tat *et al.* Development of a practical driving cycle construction methodology: A case study in Hong Kong. **Transp Res D**, New Brunswick, v. 12, n. 2, p. 115-128, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.trd.2007.01.002>.

IBGE. **Panorama Fortaleza**. Rio de Janeiro: IBGE, 2017a. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ce/fortaleza/panorama>. Acesso em: 28 out. 2019.

IBGE. **Panorama Recife**. Rio de Janeiro: IBGE, 2017c. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pe/recife/panorama>. Acesso em: 28 out. 2019.

IBGE. **Panorama Santa Maria**. Rio de Janeiro: IBGE, 2017b. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rs/santa-maria/panorama>. Acesso em: 28 out. 2019.

INICIATIVA PARA O USO DA TERRA. **The Paris agreement and the future of land use in Brazil**. São Paulo: INPUT, 2016. Disponível em: https://www.inputbrasil.org/wp-content/uploads/2016/05/The_Paris_Agreement_and_the_future_of_land_use_in_Brazil_Agroicone_INPUT.pdf. Acesso em: 5 fev. 2020.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **Fuel economy in major car markets: technology and policy drivers 2005-2017**. Paris: IEA, 2019. Disponível em: https://www.theicct.org/sites/default/files/publications/GFEI_WP19_Final_V3_Web.pdf.

Acesso em: 8 jan. 2020.

KADIC, Antonia J. *et al.* Extracting data from figures with software was faster, with higher interrater reliability than manual extraction. **J Clin Epidemiol**, v. 74, p. 119-123, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclinepi.2016.01.002>.

KAMBLE, Sanghpriya H.; MATHEW, Tom V.; SHARMA, G. K. Development of real-world driving cycle: Case study of Pune, India. **Transp Res D**, New Brunswick, v. 14, n. 2, p. 132-140, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.trd.2008.11.008>.

KANCHARLA, Surendra R.; RAMADURAI, Gitakrishnan. Incorporating driving cycle based fuel consumption estimation in green vehicle routing problems. **Sustain Cities Soc**, Montreal, v. 40, p. 214-221, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2018.04.016>.

KARAVALLAKIS, G. *et al.* Diesel/Soy Methyl Ester Blends Emissions Profile from a Passenger Vehicle Operated on the European and the Athens Driving Cycles. In: SAE Commercial Vehicle Engineering Congress Vehicle and Exhibition and Powertrain & Fluid Systems Conference, 2007, Rosemont, IL. **Proceedings** [...]. Rosemond: SAE International, 2007. Technical Paper 2007-01-4043. DOI: <https://doi.org/10.4271/2007-01-4043>.

KENT, J. H.; ALLEN, G. H.; RULE, G. A driving cycle for Sydney. **Transp Res**, v. 12, n. 3, p. 147-152, 1978. DOI: [https://doi.org/10.1016/0041-1647\(78\)90117-X](https://doi.org/10.1016/0041-1647(78)90117-X).

KIRBY, Alex. **Mude o hábito**: um guia da ONU para a neutralidade climática. Brasília: OPAS, 2010. Disponível em: https://www.paho.org/bra/index.php?option=com_docman&view=document&layout=default&alias=1210-mude-o-habito-um-guia-da-onu-para-a-neutralidade-climatica-0&category_slug=mudancas-climaticas-711&Itemid=965. Acesso em: 5 fev. 2020.

KNEZ, Matjaz. *et al.* The estimation of a driving cycle for Celje and a comparison to other European cities. **Sustain Cities Soc**, Montreal, v. 11, p. 56-60, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2013.11.010>.

KOOSALAPEEROM, Triluck. *et al.* Comparative study of real-world driving cycles, energy consumption, and CO2 emissions of electric and gasoline motorcycles driving in a congested urban corridor. **Sustain Cities Soc**, Montreal, v. 45, p. 619-627, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2018.12.031>.

KÜHLWEIN, Jörg; GERMAN, John; BANDIVADEKAR, Anup. **Development of test cycle conversion factors among worldwide light duty vehicle CO2 emission standards**. Washington, DC : Icct, 2014. Disponível em: https://theicct.org/sites/default/files/publications/ICCT_LDV-test-cycle-conversion-factors_sept2014.pdf. Acesso em: 8 jun. 2020.

LAI, Jinxuan *et al.* Development of City-Specific Driving Cycles for Transit Buses Based on VSP Distributions: Case of Beijing. **J Transp Eng**, Nova York, v. 139, n. 7, p. 749-757, 2013. DOI: [https://doi.org/10.1061/\(asce\)te.1943-5436.0000547](https://doi.org/10.1061/(asce)te.1943-5436.0000547).

LARMINIE, James; LOWRY, John. **Electric Vehicle Technology Explained**. Chichester: Wiley, 2003. *E-book*.

LIU, Bingjiao *et al.* A study on the construction of Hefei urban driving cycle for passenger

vehicle. **IFAC-PapersOnLine**, v. 51, n. 31, p. 854-858, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2018.10.100>.

LIU, Xinglong *et al.* From NEDC to WLTP: Effect on the Energy Consumption, NEV Credits, and Subsidies Policies of PHEV in the Chinese Market. **Sustainability**, v. 12, n. 14, p. 5747, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/su12145747>.

LUBETSKY, Jessica F. **History of Fuel Economy**: One Decade of Innovation , Two Decades of Inaction. Philadelphia: Pew Environment Group, 2011. Disponível em: <http://www.pewtrusts.org/~media/Assets/2011/04/History-of-Fuel-Economy-Clean-Energy-Factsheet.pdf>. Acesso em: 15 jan. 2020.

MA, Ruoyun *et al.* Real-world driving cycles and energy consumption informed by large-sized vehicle trajectory data. **J Clean Prod**, v. 223, p. 564-574, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.03.002>.

MAYAKUNTLA, Sai Kiran; VERMA, Ashish. A novel methodology for construction of driving cycles for Indian cities. **Transp Res D**, New Brunswick, v. 65, p. 725-735, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.trd.2018.10.013>.

MELO, Conrado A. de; JANNUZZI, Gilberto de Martino; SANTANA, Paulo Henrique M. Why should Brazil to implement mandatory fuel economy standards for the light vehicle fleet? **Renew Sust Energ Rev**, v. 81, n. 1, p. 1166-1174, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.08.054>.

MORAES, Natália G. ; MACHADO, Bernardo V. Z. Impacto do Inovar-Auto nas emissões veiculares. **Blucher Engineering Proceedings**, v. 2, n. 1, 2015. DOI: <https://doi.org/10.5151/engpro-simea2015-PAP146>.

NESAMANI, K. S.; SUBRAMANIAN, K. P. Development of a driving cycle for intra-city buses in Chennai, India. **Atmos Environ**, v. 45, n. 31, p. 5469-5476, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2011.06.067>.

NI, Daiheng; HENCLEWOOD, Dwayne. Simple engine models for VII-enabled in-vehicle applications. **IEEE Trans Veh Technol**, v. 57, n. 5, p. 2695-2702, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1109/TVT.2008.917229>.

ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT. **Cities and Climate Change**. Paris: OECD Publishing, 2010.

PAVLOVIC, Jelica *et al.* How much difference in type-approval CO2 emissions from passenger cars in Europe can be expected from changing to the new test procedure (NEDC vs. WLTP)? **Transport Res A-Pol**, v. 111, n. February, p. 136-147, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tra.2018.02.002>.

PESSOA, João Paulo; REZENDE, Leonardo; ASSUNÇÃO, Juliano. Flex cars and competition in fuel retail markets. **Int J Ind Organ**, v. 63, p. 145-184, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijindorg.2018.07.005>.

POURESMAEILI, Mohammad A.; AGHAYAN, Iman; TAGHIZADEH, Seyed A. Development of Mashhad driving cycle for passenger car to model vehicle exhaust emissions calibrated using on-board measurements. **Sustain Cities Soc**, Montreal, v. 36, p. 12-20, 2018.

DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2017.09.034>.

RECHKEMMER, Sabrina K. *et al.* Utilization of Smartphone Data for Driving Cycle Synthesis Based on Electric Two-Wheelers in Shanghai. **IEEE Trans Intell Transp Syst**, p. 1-11, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1109/TITS.2019.2961179>.

REDAÇÃO AUTOESPORTE. **Programa de Etiquetagem Veicular passa a valer para todas as montadoras e importadoras**. Rio de Janeiro: Revista Autoesporte, 2016. Disponível em: <https://autoesporte.globo.com/carros/noticia/2016/04/programa-de-etiquetagem-veicular-passa-valer-para-todas-montadoras-e-importadoras.ghml>. Acesso em: 18 jul. 2020.

RODRIGUES, Niágara; LOSEKANN, Luciano; SILVEIRA FILHO, Getúlio. Demand of automotive fuels in Brazil: Underlying energy demand trend and asymmetric price response. **Energy Econ**, v. 74, p. 644-655, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2018.07.005>.

ROSO, V. R.; MARTINS, M. E. S. Evaluation of a Real-World Driving Cycle and its Impacts on Fuel Consumption and Emissions. *In: SAE Brasil International Congress and Display*, 24., 2015, São Paulo. **Proceedings** [...]. São Paulo: SAE International, 2015. Technical Paper 2015-36-0195. DOI: <https://doi.org/10.4271/2015-36-0195>.

SALEH, Wafaa *et al.* Real world driving cycle for motorcycles in Edinburgh. **Transp Res D**, New Brunswick, v. 14, n. 5, p. 326-333, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.trd.2009.03.003>.

SALVO, Alberto. Flexible fuel vehicles, less flexible minded consumers: Price information experiments at the pump. **J Environ Econ Manag**, v. 92, p. 194-221, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jeem.2018.08.016>.

SANTOS, Augusto S. *et al.* Flexible-fuel automobiles and CO2 emissions in Brazil: Parametric and semiparametric analysis using panel data. **Habitat Int**, v. 71, p. 147-155, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.habitatint.2017.11.014>.

SCHÜTZ Thomas. WLTP – On the increased importance of aerodynamics and impact on development procedures. *In: INTERNATIONALES STUTTGARTER SYMPOSIUM*, 16., 2016, Weisbaden. **Proceedings** [...]. Wiesbaden, 2016. p. 1-17. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-658-13255-2_1.

SEBBEN, Simone; WALKER, Tim; LANDSTRÖM, Christoffer. Fundamentals, Basic Principles in Road Vehicle Aerodynamics and Design. *In: CROLLA, David. et al. Encyclopedia of Automotive Engineering*. Hoboken, NJ: Wiley, 2014.

SEEDAM, Atthapol. *et al.* Development of an onboard system to measure the on-road driving pattern for developing motorcycle driving cycle in Khon Kaen city, Thailand. **IATSS Res**, v. 39, n. 1, 79-85, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.iatssr.2015.05.003>.

SEERS, P.; NACHIN, Guillaume; GLAUS, Mathias. Development of two driving cycles for utility vehicles. **Transp Res D**, New Brunswick, v. 41, p. 377-385, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.trd.2015.10.013>.

SHEN, Peihong. *et al.* Development of a typical driving cycle for an intra-city hybrid electric bus with a fixed route. **Transp Res D**, New Brunswick, v. 59, p. 346-360, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.trd.2018.01.032>.

SHI, Shuming *et al.* Research on Markov property analysis of driving cycles and its application. **Transp Res D**, New Brunswick, v. 47, p. 171-181, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.trd.2016.05.013>.

TIETGE, Uwe. **CO 2 emissions from new passenger cars in the EU: Car manufacturers' performance in 2017**. Berlim: ICCT, 2018. Disponível em: <https://www.theicct.org/publications/co2-emissions-new-passenger-cars-eu-car-manufacturers-performance-2017>. Acesso em: 5 fev. 2020.

TONG, H. Y. *et al.* Development of driving cycles for motorcycles and light-duty vehicles in Vietnam. **Atmos Environ**, v. 45, n. 29, p. 5191-5199, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2011.06.023>.

TONG, H. Y.; HUNG, W. T.; CHEUNG, C. S. Development of a driving cycle for Hong Kong. **Atmos Environ**, v. 33, n. 15, p. 2323-2335, 1999. DOI: [https://doi.org/10.1016/S1352-2310\(99\)00074-6](https://doi.org/10.1016/S1352-2310(99)00074-6).

TONG, H. Y.; HUNG, W. T.; CHEUNG, C. S. On-road motor vehicle emissions and fuel consumption in urban driving conditions. **J Air Waste Manag Assoc**, v. 50, n. 4, p. 543-554, 2000. DOI: <https://doi.org/10.1080/10473289.2000.10464041>.

TRANSPORTPOLICY.NET. **China: Motorcycles: fuel consumption**. Washington: ICCT, 2018. Disponível em: <https://www.transportpolicy.net/standard/china-motorcycles-fuel-consumption/>. Acesso em: 23 nov. 2020.

TSAI, Jiun-Horng. *et al.* Development of a local real world driving cycle for motorcycles for emission factor measurements. **Atmos Environ**, v. 39, n. 35, p. 6631-6641, 2005. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2005.07.040>.

TZENG, Gwo-Hshiung; CHEN, June-Jye. Developing a Taipei Motorcycle Driving Cycle for. **Transp Res D**, New Brunswick, v. 3, n. 1, p. 19-27, 1998. DOI : [https://doi.org/10.1016/S1361-9209\(97\)00008-4](https://doi.org/10.1016/S1361-9209(97)00008-4).

VIEIRA DO NASCIMENTO, D. M. The Brazilian experience of flex-fuel vehicles technology: Towards low carbon mobility. **WIT Trans Built Env**, v. 138, p. 545-553, 2014. DOI: <https://doi.org/10.2495/UT140451>.

WANG, Hewu; ZHANG, Xiaobin; OUYANG, Minggao. Energy consumption of electric vehicles based on real-world driving patterns: A case study of Beijing. **Appl Energy**, v. 157, p. 710-719, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.05.057>.

WANG, Qidong. *et al.* Characterization of vehicle driving patterns and development of driving cycles in Chinese cities. **Transp Res D**, New Brunswick, v. 13, n. 5, p. 289-297, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.trd.2008.03.003>.

WANG, Zhenpo. *et al.* Driving cycle construction for electric vehicles based on Markov chain and Monte Carlo method: A case study in Beijing. **Energy Procedia**, v. 158, p. 2494-2499, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2019.01.389>.

WEBER, Natália de A. B. *et al.* Energy and emission impacts of liquid fueled engines compared to electric motors for small size motorcycles based on the Brazilian scenario. **Energy**, v. 168, p. 70-79, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.11.051>.

WOLF, Andreas. **Map-Based Driving Cycle Generation**. 2015. Thesis (Doctorate degree) – Karlsruhe Institut für Technologie, Karlsruhe, 2015. DOI: <https://doi.org/10.5445/IR/1000049932>.

YANG, Yang *et al.* Development and emissions performance analysis of local driving cycle for small-sized passenger cars in Nanjing, China. **Atmos Pollut Res**, v. 10, n. 5, p. 1514-1523, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apr.2019.04.009>.

YANG, Yang. *et al.* Markov chain-based approach of the driving cycle development for electric vehicle application. **Energy Procedia**, v. 152, p. 502-507, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2018.09.201>.

ZHANG, Fei; GUO, Fen; HUANG, Hong. A Study of Driving Cycle for Electric Special-purpose Vehicle in Beijing. **Energy Procedia**, v. 105, p. 4884-4889, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.03.967>.

ZHANG, Xiao; ZHAO, Dui-Jia.; SHEN, Jun-Min. A synthesis of methodologies and practices for developing driving cycles. **Energy Procedia**, v. 16, p. 1868-1873, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2012.01.286>.

ANEXO – PROTOCOLO DE ATENDIMENTO À SOLICITAÇÃO DE INFORMAÇÕES AO INMETRO

Para a aquisição dos dados técnicos dos veículos homologados para venda no Brasil, é necessário a solicitação ao INMETRO, por meio da Lei de acesso à informação, Lei nº 12.527, de 18 de novembro de 2011. Em que a comunicação de solicitação das informações, pode ser feita por meio do Serviço de Atendimento do Consumidor (SAC) do INMETRO. Pelo e-mail: sac_dconf@Inmetro.gov.br.

Enviada em: segunda-feira, 14 de janeiro de 2019 11:19
Para: sac_dconf <sac_dconf@Inmetro.gov.br>
Assunto: CGU NUP 52016.000821/2019-99

Prezados,

Recebemos a demanda abaixo e, como não identificamos resposta imediata em nossa base de perguntas, bem como na Carta de Serviços ao Usuário, estamos encaminhando para análise e tratamento. Esclarecemos que a IN 05, de 18 de junho de 2018, da CGU/OGU, estabelece que:

- A resposta deve ser enviada no prazo de até 20 dias, prorrogáveis por igual período, mediante uma única justificativa;
- Caso seja necessário solicitar informação complementar, que o faça de uma única vez, evitando pedidos sucessivos; e
- Que seja mantida a confidencialidade dos dados e informações sobre o atendimento.

Lembramos que a resposta conclusiva deve ser redigida com o vocativo “Prezado (a) Cidadão (ã)”, bem como ser assinada por um servidor do Inmetro.

Descrição dos atos ou fatos

Boa tarde, Sou aluno de doutorado na UFPE e trabalho com simulação de consumo. Gostaria de saber se é possível a disponibilização de dados de Coast Down de veículos nacionais (valores de f0 e f2). Não é necessário que seja de carro modelos atuais. Pode ser de anos anteriores.

De: Guilherme Medeiros Soares de Andrade [<mailto:medeirosgui@hotmail.com>]

Enviada em: quarta-feira, 16 de janeiro de 2019 15:16

Para: sac_dconf <sac_dconf@Inmetro.gov.br>

Assunto: Resposta protocolo - 52016.000821/2019-99 - Solicitação dados de Coast Down veículos - Valores de f0 e f2

Bom dia

Conforme solicitado, segue em anexo o comprovante de vínculo com o programa de doutorado da UFPE e um breve resumo da minha pesquisa (em anexo).

Como informado anteriormente, gostaria de solicitar os dados de resistência ao movimento dos veículos nacionais (dados de Coast Down - f0 e f2). Sei que não é permitido a identificação dos veículos, mas caso seja possível identificar a litragem do motor, ou categoria, ou alguma outra informação que permita a separação dos dados em grupos. Ex: veículos 1.0 / veículos >1.0 e menor 2.0 / veículos >2.0

Obs: Tenho no momento apenas o comprovante de matrícula disponibilizado pelo sistema da UFPE (não oficial e em anexo a este e-mail). O Oficial já solicitei, mas existe um prazo de 7 dias úteis para entrega.

Caso tenha alguma dúvida, favor informar.

grato

Guilherme Medeiros Soares de Andrade

Doutorando Engenharia Mecânica Grupo LOST – UFPE

De: sac_dconf <sac_dconf@inmetro.gov.br>

Enviado: sexta-feira, 18 de janeiro de 2019 14:55

Para: medeirosgui@hotmail.com <medeirosgui@hotmail.com>

Assunto: ENC: Resposta protocolo - 52016.000821/2019-99 - Solicitação dados de Coast Down veículos - Valores de f0 e f2

Prezado,

Seguem os dados para atendimento à sua solicitação.

Atenciosamente,

Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (Inmetro)

Diretoria de Avaliação da Conformidade (Dconf)

sac_dconf@inmetro.gov.br

www.inmetro.gov.br

APÊNDICE – ARTIGOS PUBLICADOS AO LONGO DESTE TRABALHO

- Artigos publicados em revistas acadêmicas



energies



Article

Standardized Comparison of 40 Local Driving Cycles: Energy and Kinematics

Guilherme Medeiros Soares de Andrade¹, Fernando Wesley Cavalcanti de Araújo²,
Mauricio Pereira Magalhães de Novaes Santos³ and Fabio Santana Magnani^{* 4}

Center of Technologies and Geosciences, Department of Mechanical Engineering, Federal University of Pernambuco, Recife 50740-550, Brazil; guilherme.soaresandrade@ufpe.br (G.M.S.d.A.); fernando.wesley@ufpe.br (F.W.C.d.A.); mauricio.novaessantos@ufpe.br (M.P.M.d.N.S.)

* Correspondence: fabio.magnani@ufpe.br

Received: 17 August 2020; Accepted: 14 October 2020; Published: 18 October 2020



Abstract: Local driving cycles (LDCs) capture local traffic characteristics, while standard driving cycles (SDCs) compare vehicles in distinct regions. There is a plethora of LDCs, raising the question as to how distinct they are. To quantify it, we first organized a collection of 77 LDCs. From the speed–time images, it was possible to extract numerical vectors of 40 cycles in a standardized way. Comparing the LDCs developed for cars, we found that their parameters fluctuate significantly: the average speed varies from 14.7 to 44.7 km/h, and the fuel economy varies from 10.8 to 20.5 km/L. Comparing the LDCs with FTP-75 cycle, the difference in speed is 7 km/h, and in fuel economy is 1.5 km/L. For WLTC, the difference is 19.4 km/h and 3 km/L, respectively. Thus, given the deviations found between the analyzed LDCs, and between LDCs and SDCs, the numerical results reinforce the relevance of using LDCs for each region.

Keywords: fuel economy; characteristic parameters; driving cycles; energy consumption; average speed

1. Introduction

A driving cycle (DCs) is a time–speed series that represents a driving pattern to depict a real-world behavior [1]. Government, researchers, and manufacturers use standard driving cycles (SDCs) to estimate emission and consumption [2,3]. The DCs are used for several purposes, for example: vehicle design (e.g., evaluating the impact of modifying vehicle parts, engine calibration, aerodynamics, choice of tires in the emission, fuel consumption, and drivability), optimization and assessment of new technologies (e.g., the energy management system of hybrid vehicles [4–7]), and evaluation of emission levels as required by the legislation (e.g., European emission standards (Euro) and Brazilian emission standards (PROCONVE)). Examples of the most employed SDCs are FTP-75 cycle (USA), JC08 (Japan), NEDC, and WLTC (Europe). Despite all of the efforts to generate a SDC that considers average real-world driving, there is a growing concern regarding the differences in the results obtained from the type approval tests and those under real-world conditions, because the difference can be up to 60% [8].

This difference between the results can be assigned to several factors, such as the vehicle's characteristic (e.g., vehicle age and mileage, fuel employed, vehicle shape), traffic conditions, road, driver behavior, and the procedure applied to evaluate the vehicle energy consumption. In order to better estimate the actual energy usage of the vehicles in the real-world, new type approval tests are developed, which usually include new driving cycles to be used in laboratory tests, and new procedures (e.g., certification test initial temperature, gear changing criteria, tire calibration, usage of auxiliary equipment) [9]. Besides using stricter procedures, the values obtained in the certification test can be adjusted, applying a correction factor [10].

Até a presente data, um segundo artigo com a temática base desta tese foi aceito para a publicação na revista *Transportation Research Record (TRR)*. Com o título *A Simple Methodology for the Development and Analysis of Local Driving Cycles: Study of Cars and Motorcycles in Recife, Brazil*. Porém, o artigo ainda não teve sua publicação realizada.

- **Artigos publicados em congressos**

34º Congresso de Pesquisa e Ensino em Transporte da ANPET
100% Digital, 16 a 21 de novembro de 2020



CONSTRUCTION OF DRIVING CYCLES: CASE STUDY FOR MICROTRIP AND MARKOV CHAIN METHODS' USING REAL DATA

Maurício Pereira Magalhães de Novaes Santos
Fernando Wesley Cavalcanti de Araújo
Guilherme Medeiros Soares de Andrade
Fábio Santana Magnani
Universidade Federal de Pernambuco
Centro de Tecnologia e Geociências

ABSTRACT

Standard Driving Cycles are used by government, researchers, and industry to compare vehicles using a worldwide standard approach, while Local Driving Cycles (LDCs) are developed to realistically reproduce a vehicle behavior from a specific region. This study presents the two main methods regarding the construction of LDCs: Micro-trip and Markov Chain. We present a concise review and the main aspects of each method. In order to present a real example, we selected a 17.1 km route in the city of Recife (Brazil), collected speed-time data using cars and motorcycles, and constructed LDCs for both methods. As result, although the LDCs are visually different, both methods were capable of generating LDCs with error within the established threshold of 4%, when comparing the generated LDCs with the original data. We conclude that is recommended to choose the construction method prior to selecting the route and collecting the data.

RESUMO

Ciclos padrão de condução são usados por governos, pesquisadores e indústrias para comparar veículos utilizando uma abordagem padrão, enquanto os Ciclos de Condução Locais (CCLs) são desenvolvidos para reproduzir o comportamento dos veículos de uma determinada região de forma mais realística. Esse estudo apresenta os dois principais métodos utilizados para a construção de CCLs: Micro-trip e Cadeia de Markov. Nós apresentamos uma revisão concisa e os principais aspectos de cada método. Como exemplo, selecionamos uma rota de 17.1 km em Recife, coletamos dados de velocidade para carros e motos, e desenvolvemos os CCLs para ambos os métodos. Como resultado, embora os CCLs sejam visualmente diferentes, ambos os métodos foram capazes de gerar CCLs com erros abaixo de 4%. Concluímos que é recomendado escolher o método de construção antes da seleção de rota e coleta de dados.

1. INTRODUCTION

Driving cycle (DC) is a speed-time profile that represents the driver behavior in a city, a region, or a country. Engineers and researchers use DCs to project and evaluate the performance, consumption, and emission of internal combustion, hybrid, and electric vehicles (Pouresmaeili *et al.*, 2018; Koossalapeerom *et al.*, 2019). Governments, on the other hand, use DCs with legislative purpose for emission and consumption. In this case, they are called Standard Driving Cycles (SDC). The most relevant SDCs employed in the world are the American FTP-75 and the Europeans WLTC and NEDC.

SDCs are developed to represent the real world. However, Huertas *et al.* (2017) and Ma *et al.* (2019) discuss that there is a considerable variation among the results obtained for emission and fuel consumption when a vehicle is submitted to the SDC test (in a chassis dynamometer) and when the vehicle is used in a real-world condition. This difference can be higher than 50%. The difference can be justified because SDCs do not consider the exact characteristics from the tested region, such as traffic condition, vehicle, driver behavior, road type, and topography (Hung *et al.*, 2007). In order to decrease the difference obtained between SDCs and real-world measurements, researchers develop a time-speed profile that represent the region analyzed after collecting data from field experiments. This developed cycle is called Local Driving Cycle (LDC).

ANÁLISE QUALITATIVA DO FLUXO DE VEÍCULOS E DA PERFORMANCE ENERGÉTICA COMPARANDO MODELO MICROSCÓPICO CONTÍNUO E DISCRETO EM RELAÇÃO À VELOCIDADE

Maurício P. M. de Novaes Santos
Fernando Wesley C. de Araújo
Guilherme Medeiros S. de Andrade
Fábio S. Magnani
Universidade Federal de Pernambuco
Centro de Tecnologia e Geociências

RESUMO

Modelos microscópicos são usados em diversos simuladores de tráfego para representar o fluxo de veículos. O principal objetivo deste trabalho é comparar dois modelos microscópicos, um contínuo e outro discreto em relação à velocidade. Diferentes combinações de densidades de carros e motos foram simuladas em uma pista oval de faixa única com 7,5 km. Os resultados mostraram que os modelos têm comportamento parecidos em relação ao fluxo de veículos quando existem poucas motos na pista. No entanto, o modelo discreto sobrestimou o consumo de combustível na maioria dos casos analisados. A diminuição do valor de aceleração no modelo discreto não resultou em grandes diferenças nos resultados de fluxo. Um valor menor da aceleração no modelo discreto diminuiu a diferença do consumo de combustível em relação ao modelo contínuo, mas o valor ainda é alto em vários dos casos. Por fim, ambos os modelos requereram aproximadamente o mesmo tempo de simulação.

ABSTRACT

Microscopic models are used in several traffic simulators to represent the traffic flow. The main objective of this study is to compare two microscopic models, one continuous and other discrete in speed. Different densities of car and motorcycles were simulated in a single-lane oval track of 7.5 km. The results indicated that the models present similar behaviors in relation to the traffic flow when there are few motorcycles on the track. However, the discrete model overestimated the fuel consumption in the most of the cases analyzed. The decrease of the acceleration value in the discrete model did not result in large differences in the traffic flow. A lower value of acceleration in the discrete model reduced the difference of fuel consumption in comparison to the continuous model, but the value is still high in several cases. Finally, both models required approximately the same time of simulation.

1. INTRODUÇÃO

Modelos de tráfego são ferramentas para análise, previsão e descrição do fluxo de veículos. Esses modelos são desenvolvidos desde o início do século XX (van Wageningen-Kessels *et al.*, 2015), associados com a necessidade de um melhor planejamento de tráfego devido aos problemas sociais, econômicos e ambientais resultantes de um crescente número de veículos nas vias.

Os modelos de tráfego são divididos em três grupos principais: microscópico, mesoscópico e macroscópico. No primeiro o movimento de cada veículo é modelado de maneira que o fluxo de veículos é resultado da interação entre cada veículo na pista; no último o tráfego é considerado como um todo, tal qual um fluido em um duto. Por fim, o modelo mesoscópico é comumente descrito como um modelo intermediário entre as duas abordagens anteriores. Mesmo dentro desses grupos é comum existir inúmeras subdivisões. Neste trabalho serão usados dois modelos pertencentes na classificação de modelos microscópicos: modelos contínuos e discretos em relação à velocidade.

A maior parte dos modelos microscópicos se encaixam na subdivisão de *car following* ("veículo seguidor"), em que simula o comportamento de um veículo quando tem outro em sua frente. Um dos modelos mais antigos foi desenvolvido por Pipes em 1953, o qual funciona seguindo uma regra que determina a distância entre dois veículos consecutivos (van Wageningen-Kessels