

CENTRO UNIVERSITÁRIO DA FEI

MARCIO AUGUSTO PEREIRA PELLEGRINO

**METODOLOGIA PARA SIMULAÇÃO DO CONSUMO DE COMBUSTÍVEL
EM VEÍCULOS AUTOMOTORES**

São Bernardo do Campo

2015

MARCIO AUGUSTO PEREIRA PELLEGRINO

**METODOLOGIA PARA SIMULAÇÃO DO CONSUMO DE COMBUSTÍVEL EM
VEÍCULOS AUTOMOTORES**

Dissertação de Mestrado apresentada ao
Centro Universitário da FEI para obtenção do
título de Mestre em Engenharia Mecânica,
orientada pelo Prof. Dr. Paulo Eduardo Batista
de Mello

São Bernardo do Campo
2015

Pellegrino, Marcio Augusto Pereira.

Metodologia para simulação do consumo de combustível em veículos automotores / Marcio Augusto Pereira Pellegrino. São Bernardo do Campo, 2015.

110 f. : il.

Dissertação de Mestrado - Centro Universitário da FEI.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Eduardo Batista de Mello.

1. Veículo. 2. Consumo de Combustível. 3. Simulação. I. Mello, Paulo Eduardo Batista de, orient. II. Título.

CDU 629.113



Centro Universitário da **FEI**

APRESENTAÇÃO DE DISSERTAÇÃO ATA DA BANCA JULGADORA

PGM-10

Programa de Mestrado de Engenharia Mecânica

Aluno: Marcio Augusto Pereira Pellegrino

Matrícula: 211307-4

Título do Trabalho: Metodologia para simulação do consumo de combustível em veículos automotores.

Área de Concentração: Sistemas da Mobilidade

ORIGINAL ASSINADA

Orientador: Prof. Dr. Paulo Eduardo Batista de Mello

Data da realização da defesa: 07/04/2015

A Banca Julgadora abaixo-assinada atribuiu ao aluno o seguinte:

APROVADO ☒

REPROVADO ☐

São Bernardo do Campo, 07 de Abril de 2015.

MEMBROS DA BANCA JULGADORA

Prof. Dr. Paulo Eduardo Batista de Mello

Ass.: _____

Prof. Dr. Carlos Rodrigues dos Santos Neto

Ass.: _____

Prof. Dr. Antonio Luis de Campos Mariani

Ass.: _____

VERSÃO FINAL DA DISSERTAÇÃO

ENDOSSO DO ORIENTADOR APÓS A INCLUSÃO DAS
RECOMENDAÇÕES DA BANCA EXAMINADORA

Aprovação do Coordenador do Programa de Pós-graduação

Prof. Dr. Agenor de Toledo Fleury

À minha família, especialmente ao meu filho
Luis Felipe.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à minha esposa e companheira Elisa Pellegrino por todo o suporte à realização deste trabalho. Seja motivando, revisando ou apenas cedendo momentos que estaríamos juntos. Ela foi minha grande força para chegar a conclusão.

Não posso deixar de agradecer aos meus pais por todo o empenho e dedicação na minha formação. Dando todo o apoio e uma base familiar sólida, provendo não apenas a educação escolar, mas a formação da pessoa que sou hoje.

Agradeço também ao meu orientador, prof. Dr. Paulo Eduardo Batista de Mello, por sua participação crucial neste trabalho. Seja na parte técnica, nas infindáveis revisões ou na cobrança e incentivo para que o trabalho tivesse a melhor qualidade possível, extraindo o melhor de mim.

Também gostaria de agradecer os professores da banca de qualificação, Dr. Carlos Rodrigues dos Santos Neto e Dr. Cyro Albuquerque Neto pela detalhada correção e sugestões que trouxeram novos enfoques e ideias, engrandecendo o trabalho.

RESUMO

Durante estágios iniciais do projeto de um veículo, a seleção adequada de um determinado trem de força dentre as opções disponíveis reduz o tempo e o custo de desenvolvimento. A correta seleção evita a repetição de testes dispendiosos e longos. A simulação é uma ferramenta importante que conduz o projetista a uma seleção de trem de força mais apropriada a dado veículo e, ao mesmo tempo, satisfazendo as especificações de consumo de combustível. Neste trabalho, um modelo numérico baseado na dinâmica longitudinal do veículo é apresentado. O programa de simulação que implementa o modelo é capaz de prever o consumo de combustível quando o veículo é submetido a ciclos em que o perfil de velocidades em função do tempo é conhecido. Os resultados obtidos na simulação são validados através de comparação com testes conduzidos com veículos reais. O erro do consumo de combustível médio dos casos analisados é de aproximadamente 5% ou menor. O consumo para o veículo 1 medido foi de 20,354 km/l e o simulado 20,517 km/l. O veículo 2 apresentou consumo medido de 18,44 km/l e simulado de 19,40 km/l.

Palavras-chave: Veículo . Consumo de Combustível . Simulação

ABSTRACT

During initial phases of vehicle design, the adequate selection of a particular powertrain between available options reduces development time and cost. The correct selection avoids the repetition of costly and time consuming tests. Simulation is one important tool that conducts the designer to a powertrain choice more appropriate to a given vehicle and, at the same time, satisfying consumption specifications. In this work, one numerical model based on longitudinal vehicle dynamics is presented. The simulation program that implements the model is able to predict fuel consumption when the vehicle is submitted to cycles where speed profile in terms of time is known. The results obtained with simulation are validated through comparison with tests conducted with a real vehicle. The average fuel consumption error of the analyzed cases is approximately 5% or less. The measured consumption for the vehicle 1 was 20,354 km/l and the simulated 20,517 km/l. Vehicle 2 showed measured consumption of 18,44 km/l and simulated of 19,40 km/l.

Key words: Vehicle . Fuel Consumption . Simulation

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – Fases de implementação do PROCONVE: evolução temporal.....	33
TABELA 2 – Resumo dos dados mais relevantes dos percursos.....	39
TABELA 3 – Eficiências de conversão estimadas para HC, CO, NOX e PM e comparação dos valores simulados à saída do escape com os valores homologados para o NEDC	41
TABELA 4 – Categorias modeladas de veículo/tecnologia.....	43
TABELA 5 – Resumo dos valores de coeficiente angular, interseção em Y e R^2 para cada poluente em cada ciclo	47
TABELA 6 – Características das medições para comparação	50
TABELA 7 – Pontos de troca de marcha (exemplo).....	59
TABELA 8 – Perfil de velocidades do ciclo rodoviário da norma NBR7024 (exemplo com os primeiros 14 segundos do ciclo de 765 segundos)	59
TABELA 9 – Classe de inércia	60
TABELA 10 – Cargas parciais do motor (exemplo): medição realizada em dinamômetro de motor.....	61
TABELA 11 – Perdas da transmissão (exemplo): medição realizada em dinamômetro de motor.....	61
TABELA 12 – Especificações dos veículos simulados.....	66

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – Principais forças atuantes no veículo.....	17
FIGURA 2 – Esquema do sistema recíproativo pistão-biela.....	19
FIGURA 3 – Geometrias de disposição de cilindros	20
FIGURA 4 – Ciclo Otto de 4 tempos	21
FIGURA 5 – Admissão, compressão e combustão do ciclo Diesel	22
FIGURA 6 – Ciclo de 2 tempos	23
FIGURA 7 – Mapa de consumo de um motor a gasolina	25
FIGURA 8 – Balanço energético em um motor automotivo.....	28
FIGURA 9 – Diagrama de um dinamômetro medindo torque com uma célula de carga	29
FIGURA 10 – Diagrama de um dinamômetro de chassi ou rolos.....	30
FIGURA 11 – Emissões de dióxido de carbono provenientes de combustíveis fósseis	31
FIGURA 12 – Níveis máximos de emissão de monóxido de carbono e hidrocarbonetos - PROCONVE.....	32
FIGURA 13 – Níveis máximos de emissão de óxidos de nitrogênio e aldeídos totais – PROCONVE.....	32
FIGURA 14 – Velocidade em função do tempo – ciclo urbano	34
FIGURA 15 – Velocidade em função do tempo – ciclo rodoviário.....	35
FIGURA 16 – Esquema EcoGest	36
FIGURA 17 – Comparação de consumo acumulado entre EcoGest e medição	38
FIGURA 18 – Percurso entre Lisboa e Cascais	39
FIGURA 19 – Perfil de velocidades entre Lisboa e Cascais.....	40
FIGURA 20 – Perfil de velocidades entre Cascais e Lisboa.....	40
FIGURA 21 – Agregação temporal e veicular	43
FIGURA 22 – Esquema Comprehensive Modal Emission Model.....	45
FIGURA 23 – Gráficos de validação de cada poluente para o ciclo US06.....	48
FIGURA 24 – Simulações e medições de CO ₂ para o ciclo 4.....	51
FIGURA 25 – Simulações e medições de HC para o ciclo 4.....	52
FIGURA 26 – Simulações e medições da média de cada ciclo para consumo de combustível, CO ₂ , HC, NO _x e CO	53
FIGURA 27 – Esquema da força trativa necessária para velocidade conhecida.....	55

FIGURA 28 – Esquema da geração e transmissão da força propulsora.....	57
FIGURA 29 – Fluxograma proposto para a metodologia	62
FIGURA 30 – Comparação da rotação do motor medida e simulada para o veículo 1,4L	68
FIGURA 31 – Comparação da rotação do motor medida e simulada para o veículo 1,0L	69
FIGURA 32 – Comparação da massa de combustível consumida medida e simulada para o veículo 1,4L	70
FIGURA 33 – Comparação da massa de combustível consumida medida e simulada para o veículo 1,0L	70
FIGURA 34 – Tempo e consumo de combustível por faixa de rotação do motor para o veículo 1,4L.....	71
FIGURA 35 – Tempo e consumo de combustível por faixa de rotação do motor para o veículo 1,0L.....	72

LISTA DE SÍMBOLOS E UNIDADES

A	Fator de desaceleração sem auxílio de frenagem (N)
A_f	Área frontal do veículo (m^2)
a_x	Aceleração do veículo (m/s^2)
B	Fator de desaceleração sem auxílio de frenagem (N/m/s)
C	Fator de desaceleração sem auxílio de frenagem ($N/m^2/s^2$)
C_d	Coeficiente de arrasto (-)
C_{ir}	Coeficiente de inércia rotacional (-)
C_r	Coeficiente de resistência a rolagem (-)
$cecs$	Consumo específico de combustível na saída do motor (g/kWh)
D_A	Força de resistência aerodinâmica (N)
F_x	Força trativa (N)
F_{xf}	Força trativa atuando na roda dianteira (N)
F_{xr}	Força trativa atuando na roda traseira (N)
F_{PC}	Fração de passagem pelo catalisador (-)
g	Aceleração da gravidade (m/s^2)
H_p	Entalpia dos produtos (J)
H_R	Entalpia dos reagentes (J)
h_a	Altura de atuação da força de resistência aerodinâmica (m)
i	Relação de marcha (-)
i_{dif}	Relação do diferencial (-)
i_{marcha}	Relação de marcha da transmissão (-)
i_{ml}	Relação da marcha mais longa da transmissão (-)
K	Fator de atrito do motor (kJ/rev.L)
K_{ml}	Fator de atrito do motor em marcha lenta (kJ/rev.L)
m_{carr}	Massa do veículo carregado (kg)
$\dot{m}_{comb}$	Vazão mássica de combustível (g/s)
$m_{combustível}$	Massa total do combustível consumido (kg)
$m_{emissões}$	Massa total das emissões de poluentes (kg)
m_{marcha}	Massa do veículo em ordem de marcha (kg)
$m_{veículo}$	Massa de teste do veículo (kg)
n_{ml}	Rotação do motor em marcha lenta (rpm)

n_{motor}	Rotação do motor (rpm)
P	Potência na saída do motor (kW)
P_{ac}	Potência média consumida pelos acessórios (kW)
P_{trativa}	Potência trativa (kW)
p_{me}	Pressão média efetiva (kPa)
p_{mes}	Pressão média efetiva na saída do motor (kPa)
Q_c	Poder calorífico do combustível (J)
Q_{entrada}	Quantidade de calor recebida da mistura ar-combustível (J)
r_{din}	Raio dinâmico do conjunto roda-pneu (m)
R_{hx}	Componente paralela ao solo da força por acoplamento de trailer (N)
R_{hz}	Componente normal da força por acoplamento de trailer (N)
R_x	Força de resistência a rolagem (N)
R_{xf}	Força de resistência a rolagem atuando na roda dianteira (N)
R_{xr}	Força de resistência a rolagem atuando na roda traseira (N)
S	Razão entre rotação do motor e velocidade do veículo para a marcha mais longa (rpm/m/s)
T_A	Temperatura ambiente (K)
T_{ac}	Torque consumido pelos acessórios (Nm)
TC	Taxa de combustível consumido (g/s)
T_{motor}	Torque disponível na saída do motor (Nm)
T_{perda}	Perda de torque na transmissão (Nm)
T_{roda}	Torque aplicado nas rodas (Nm)
t	Tempo (s)
V_d	Volume deslocado (N)
v	Velocidade do veículo (m/s)
W	Peso do veículo (N)
W_{atrito}	Trabalho consumido pelo atrito interno do motor (J)
$W_{\text{bombeamento}}$	Trabalho consumido pelo bombeamento de gases para dentro e para fora dos cilindros (J)
$W_{\text{disponível}}$	Trabalho disponível liberado pela queima do combustível (J)
W_f	Peso dinâmico atuando na roda dianteira (N)
W_r	Peso dinâmico atuando na roda traseira (N)
$W_{\text{saída}}$	Trabalho disponível na saída do motor (J)
Δt	Diferença de tempo do passo de cálculo (s)

η_c	Eficiência de combustão (-)
η_{cc}	Eficiência de conversão de combustível (-)
η_{ct}	Eficiência de conversão térmica (-)
η_m	Eficiência mecânica (-)
η_t	Eficiência térmica (-)
$\eta_{trans+dif}$	Eficiência do conjunto transmissão-diferencial (-)
θ	Inclinação da pista (°)
ρ_a	Densidade do ar (kg/m ³)
ϕ	Razão de equivalência de ar/combustível (-)

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	15
1.1	Objetivos.....	16
1.2	Organização do trabalho.....	16
2	REVISÃO DA LITERATURA.....	17
2.1	Definições básicas.....	17
2.1.1	Dinâmica longitudinal de veículos automotores.....	17
2.1.2	Motores de combustão interna.....	19
2.1.3	Células de teste de motor e chassi	28
2.2	Consumo energético em veículos automotores.....	31
2.3	Simulação do consumo de combustível.....	35
2.3.1	Modelo de simulação EcoGest	36
2.3.2	Modelo de simulação Comprehensive Modal Emission Model	42
2.3.3	Modelo de simulação Advanced Vehicle Simulator (ADVISOR)	49
2.3.4	Análise comparativa entre EcoGest, CMEM e ADVISOR	49
3	METODOLOGIA.....	55
3.1	Cálculo do torque e rotação do motor	55
3.2	Dados de entrada	59
3.3	Cálculo do ciclo (Algoritmos para simulação)	62
4	RESULTADOS	65
4.1	Modelo de simulação	65
4.2	Dados de entrada	66
4.3	Calibração do modelo	67
4.4	Comparação dos resultados	68

5	CONCLUSÃO.....	74
	REFERÊNCIAS	76
	APÊNDICE A – CÓDIGO DO MODELO DE SIMULAÇÃO EM MATLAB.....	79
	APÊNDICE B – MAPA DE CONSUMO DO MOTOR 1,0L	84
	APÊNDICE C – MAPA DE CONSUMO DO MOTOR 1,4L.....	88
	APÊNDICE D – MAPA DE PERDAS NA TRANSMISSÃO.....	92
	ANEXO A – PERFIL DE VELOCIDADES EM FUNÇÃO DO TEMPO DO CICLO	
	RODOVIÁRIO – NORMA NBR7024	93

1 INTRODUÇÃO

Devido ao crescimento da frota veicular ocorrido nas últimas décadas, problemas ambientais, climáticos e de saúde pública se intensificam globalmente. Uma revisão da literatura mostra que, como resultado, legislações foram introduzidas mundialmente a fim de controlar o nível de emissão de vários poluentes comumente produzidos por veículos automotores (incluindo CO, HC e NOx). Além deste tipo de legislação, em algumas regiões também foram ou serão introduzidos limites de consumo médio para os carros disponibilizados por cada montadora.

Considerando este novo cenário, muitos estudos são realizados a fim de aumentar a eficiência energética dos trens de força utilizados em veículos automotores. Parte destes trens de força apresentam alternativas aos motores de combustão interna. Paralelamente, ainda se buscam melhorias para os motores de combustão interna, tecnologia atualmente predominante e que dificilmente será abandonada nos próximos 50 anos, como discutido por Stechel e Miller (2013). O aumento da eficiência energética do trem de força reduz a emissão de poluentes provenientes da queima incompleta na câmara de combustão assim como o consumo de combustível que está diretamente ligado ao volume total de emissões de poluentes.

A fim de reduzir custos de desenvolvimento e pesquisa, principalmente no estágio inicial de um projeto, existe grande necessidade de ferramentas de cálculo flexíveis e de custo baixo para prever se a proposta do projeto gerará o desempenho esperado em relação a consumo de combustível, desempenho em retomada de velocidade sem troca de marcha, etc. A proposta pode ser desde uma alteração simples como uma criação de um novo trem de força.

A medição oficial de consumo de combustível é realizada respeitando um ciclo pré-determinado por normas especificadas pelos órgãos regulamentadores de cada país. Como esses ciclos são todos reproduzidos em dinamômetro de chassi é possível utilizar apenas a teoria de dinâmica veicular longitudinal para conduzir a simulação. Além da possibilidade de desconsiderar ainda os fenômenos de guinada e mergulho que ocorrem durante as acelerações e desacelerações respectivamente.

Para o desenvolvimento da metodologia de simulação proposta foram utilizados os ciclos de consumo urbano e rodoviário regulamentados pela norma Veículos Rodoviários Automotores Leves – Medição de Consumo de Combustível – Método de Ensaio da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) de número NBR 7024:2010. A norma

brasileira utiliza o mesmo perfil de velocidade em função do tempo que a norma norte americana, regulamentada pela Environmental Protection Agency (EPA), que são conhecidos por FTP-75 (ciclo urbano) e HWFET (ciclo rodoviário).

Devido à simplicidade da metodologia proposta, é possível fazer a seleção ou alteração do trem de força antes mesmo de qualquer modelo matemático em CAD do veículo, desde que dados sobre o desempenho dos motores e transmissões propostos estejam disponíveis, calculados ou estimados.

1.1 Objetivos

Este trabalho tem por objetivo criar uma metodologia simplificada para simulação veicular de consumo de combustível conforme um perfil de velocidades em função do tempo conhecido. Mesmo com uma lista reduzida de dados de entrada, a metodologia permite estimar o consumo de um veículo, antes mesmo da produção de um protótipo, com resultados confiáveis desde que alguns dados relevantes que caracterizarão o veículo e o trem de força estejam disponíveis. A metodologia também pode ser utilizada para análise e seleção de trem de força, para estudo de diferentes acessórios (bomba de direção hidráulica, compressor do ar condicionado, etc.), entre outras análises.

A metodologia foi validada criando-se um programa de simulação e comparando seus resultados aos de medições em dinamômetro de chassi com 2 veículos.

1.2 Organização do trabalho

O presente trabalho está organizado da seguinte forma: o capítulo 2 apresenta a revisão da literatura onde os trabalhos mais relevantes sobre o tema são apresentados e discutidos; o capítulo 3 apresenta a metodologia proposta; o capítulo 4 apresenta a descrição das condições simuladas, condições de contorno e resultados obtidos, juntamente com sua análise; o capítulo 5 apresenta as conclusões do trabalho.

2 REVISÃO DA LITERATURA

Este capítulo é dividido em três partes. A primeira apresenta definições básicas, encontradas na literatura, relacionadas à dinâmica longitudinal, motores de combustão interna e células de teste de motor e chassi de veículos. A segunda sobre o consumo energético em veículos automotores. A terceira apresenta uma discussão resumida sobre estudos anteriores disponíveis na literatura que usaram modelos de simulação de consumo de combustível.

2.1 Definições básicas

2.1.1 Dinâmica longitudinal de veículos automotores

Gillespie (1992) apresenta uma discussão introdutória sobre dinâmica longitudinal, enumerando as forças que atuam sobre um veículo padrão, como mostrado na figura 1. Partindo desta figura, a origem de cada uma das forças atuantes sobre o veículo é descrita. A dinâmica longitudinal permite analisar desempenho, consumo ou ainda questões mais complexas envolvendo movimentos de arfagem.

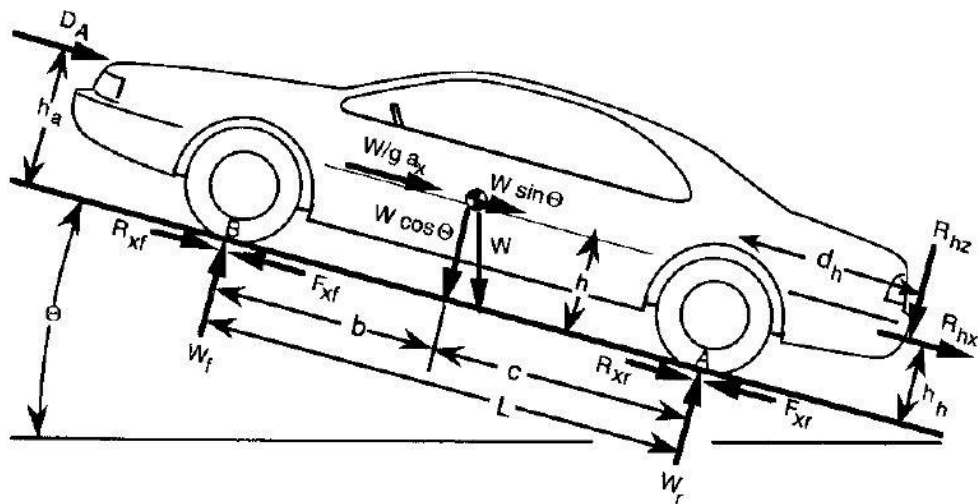


Figura 1 – Principais forças atuantes no veículo
Fonte: Gillespie, 1992, p. 11

Na figura 1, W é o peso do veículo atuando no seu centro de gravidade. Em um plano inclinado, a força peso pode ser decomposta em duas componentes, sendo uma paralela ao solo e a outra normal ao solo.

Três forças atuam sobre cada pneu, representadas no ponto de contato com o solo. As forças de reação W_f e W_r , denominadas por Gillespie (1992) de peso dinâmico, atuam nas

rodas dianteira e traseira respectivamente. A força trativa F_{xf} e a força de resistência a rolagem R_{xf} atuam nas rodas dianteiras e a força trativa F_{xr} e a força de resistência a rolagem R_{xr} atuam nas rodas traseiras.

D_A é a força de resistência aerodinâmica atuando no veículo. Pode ser representada atuando em um ponto, a uma altura h_a do solo.

Por fim, deve ser prevista a utilização de um trailer juntamente com o veículo, o que dá origem às forças R_{hz} e R_{hx} resultantes deste conjunto.

A expressão que permite prever a aceleração de um veículo, decorrente da aplicação da segunda lei de Newton ao veículo ilustrado na figura 1, considerando todas as forças atuando sobre o mesmo em um plano horizontal, é apresentada na equação 1.

$$F_x - R_x - D_A - R_{hx} = W/g \cdot a_x \quad (1)$$

Esta equação fundamental é o ponto de partida para a implementação de diversos modelos para previsão de consumo de combustível e emissão de poluentes em veículos automotores. Estes modelos serão discutidos na seção 2.3.

A força trativa atuando nos pneus é a responsável por imprimir movimento ao veículo e manter este movimento, vencendo os atritos de resistência à rolagem e aerodinâmico. Para tanto, depende de um torque que é aplicado às rodas do veículo, que estão relacionados conforme a equação 2, apresentada por Wallentowitz (2004).

$$F_x = \frac{T_{roda}}{r_{din}} \quad (2)$$

Onde T_{roda} é o torque sendo aplicado nas rodas e r_{din} , o raio dinâmico do conjunto roda-pneu.

O torque aplicado nas rodas é o torque do motor amplificado pela relação de marcha da transmissão e do diferencial menos a perda pela inércia de seus componentes, segundo Gillespie (1992). A perda inercial geralmente é aglomerada à massa do veículo, a fim de simplificação, e desprezada devido à diferença de grandezas. Utilizando-se dessas duas considerações, atinge-se a equação 3.

$$F_x = \frac{T_{motor} \cdot i_{marcha} \cdot i_{dif} \cdot \eta_{trans+dif}}{r_{din}} \quad (3)$$

Onde T_{motor} é o torque na saída do motor, i_{marcha} , a relação de marcha da transmissão, i_{dif} , a relação do diferencial e $\eta_{\text{trans+dif}}$, a eficiência do conjunto transmissão-diferencial.

2.1.2 Motores de combustão interna

Os motores de combustão interna são máquinas térmicas que transformam a energia química presente no combustível em trabalho mecânico, disponibilizado no seu eixo de saída. A maioria dos motores atuais trabalha com um sistema recíprocativo pistão-biela conforme a figura 2 onde o movimento vertical do pistão gera um movimento rotacional no eixo do virabrequim.

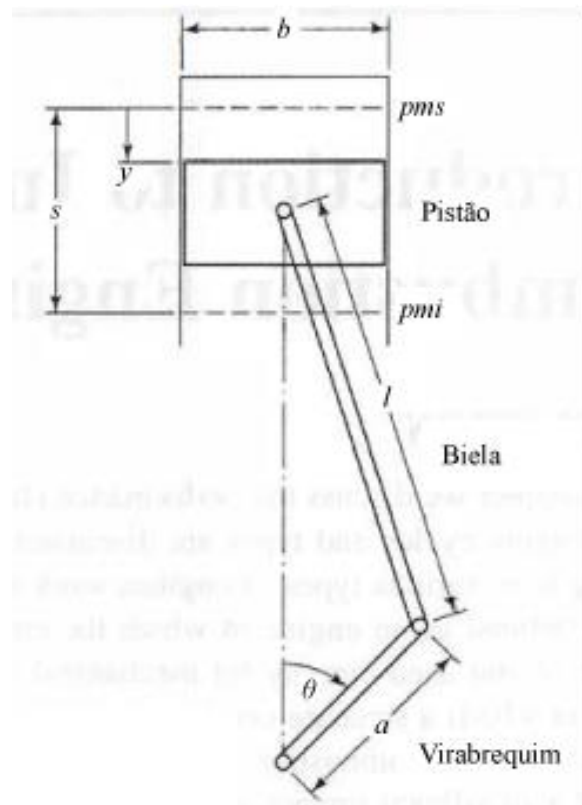


Figura 2 – Esquema do sistema recíprocativo pistão-biela
Fonte: Ferguson, 2001, p. 2

O conjunto de pistões, para motores com mais de um cilindro, podem ser dispostos de diversas formas como apresentado na figura 3. As configurações mais comuns são em linha (1) e em “V” (2).

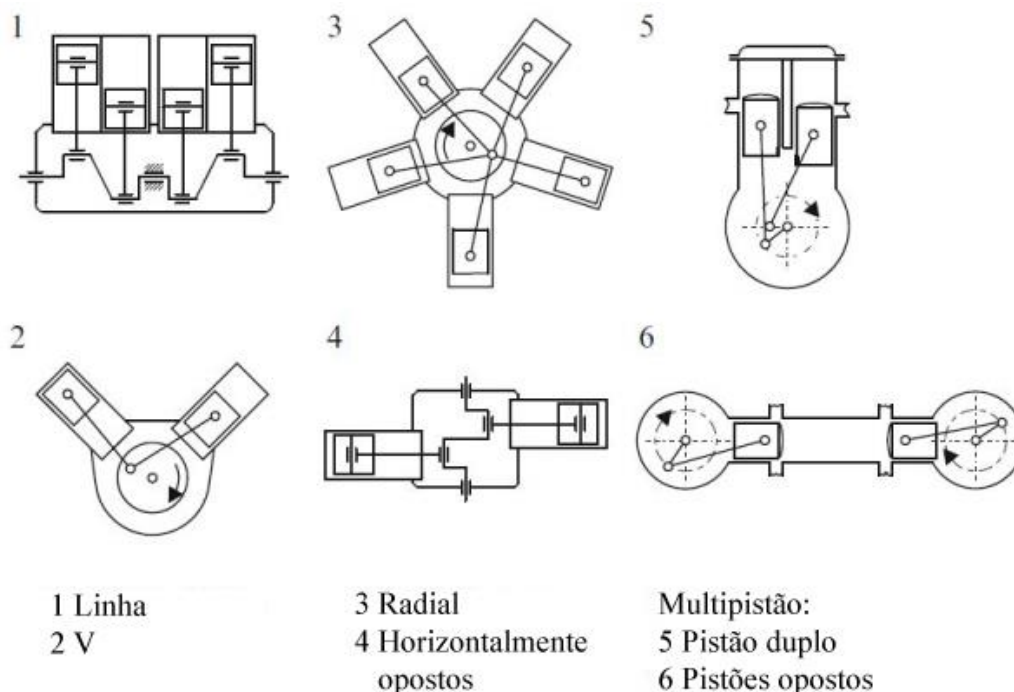


Figura 3 – Geometrias de disposição de cilindros
Fonte: Merker; Schwarz; Teichmann, 2011, p. 11

As fases de operação da maioria dos motores de combustão interna, também conhecidas como quatro tempos, são admissão, compressão, combustão/expansão e exaustão, conforme Heywood (1988). Na admissão, com o pistão viajando no sentido do virabrequim, é admitida mistura no cilindro pela abertura da válvula de admissão. A compressão consiste em reduzir o volume da mistura no cilindro a uma pequena fração do seu volume inicial. A combustão começa no fim da compressão, iniciada por uma fagulha ou espontaneamente, liberando uma enorme quantidade de energia num curto espaço de tempo. Os gases em alta temperatura e alta pressão empurram o pistão na direção do virabrequim na fase de expansão. O pistão viaja até o ponto morto inferior, onde a válvula de exaustão abre e dá início a fase de exaustão. Na exaustão, os gases queimados saem do cilindro, primeiro pela pressão do cilindro ser mais alta que do escapamento, depois pelo movimento do pistão em direção ao ponto morto superior. Fases assim descritas por Heywood (1988).

Além disso, os motores podem trabalhar no ciclo Otto, ignição por centelha, ou no ciclo Diesel, ignição por compressão, ambos nomeados em homenagem às pessoas que desenvolveram cada um (Nikolaus Otto em 1876 e Rudolph Diesel em 1897). O ciclo Otto é apresentado na figura 4. As três primeiras fases (admissão, compressão e combustão) do ciclo Diesel são apresentadas na figura 5.

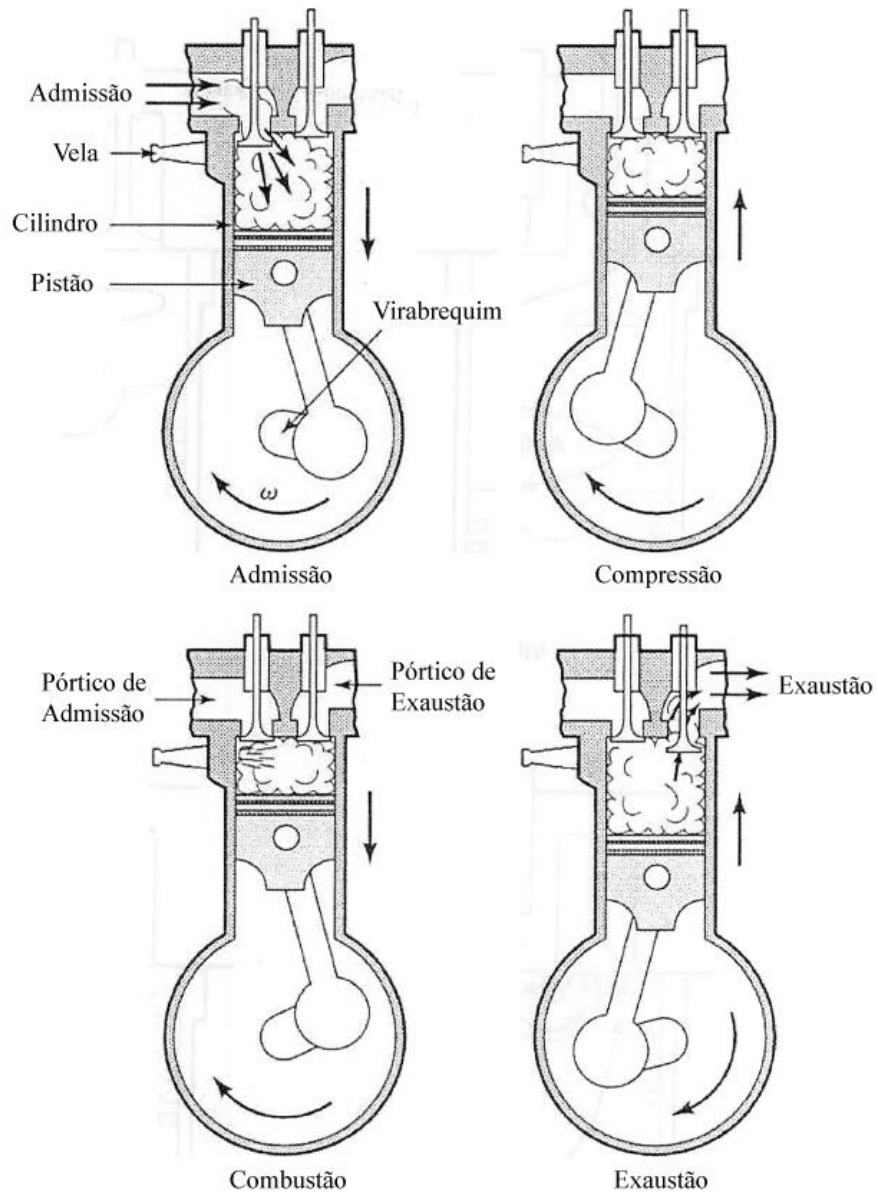


Figura 4 – Ciclo Otto de 4 tempos
 Fonte: Ferguson; Kirkpatrick, 2001, p. 3

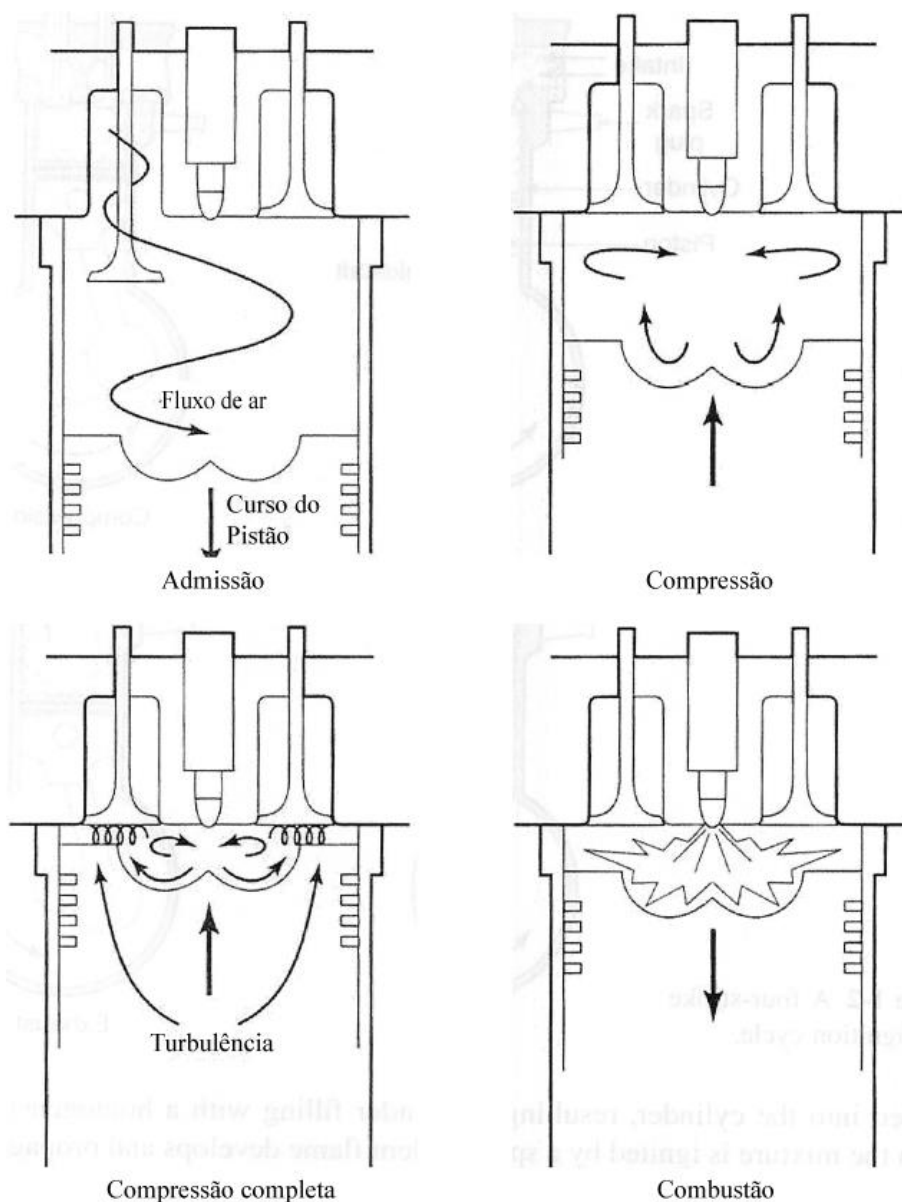


Figura 5 – Admissão, compressão e combustão do ciclo Diesel
 Fonte: Merrion, 1994 apud Ferguson; Kirkpatrick, 2001, p. 4

A fim de obter uma potência de saída maior para o mesmo tamanho de motor e um projeto simplificado de válvulas, o motor de dois tempos foi desenvolvido, conforme Heywood (1988).

Ferguson e Kirkpatrick (2001) comentam que o motor de dois tempos foi desenvolvido por Dugald Clerk em 1878. Este tipo de motor apresenta similaridades mecânicas e de projeto se comparado ao motor quatro tempos, além da utilização de vela de ignição no ciclo Otto e do injetor de combustível diretamente no cilindro no ciclo Diesel. São mais simples e mais leves que os motores de quatro tempos. O princípio de operação de um motor dois tempos com admissão pelo cárter é apresentado na figura 6.

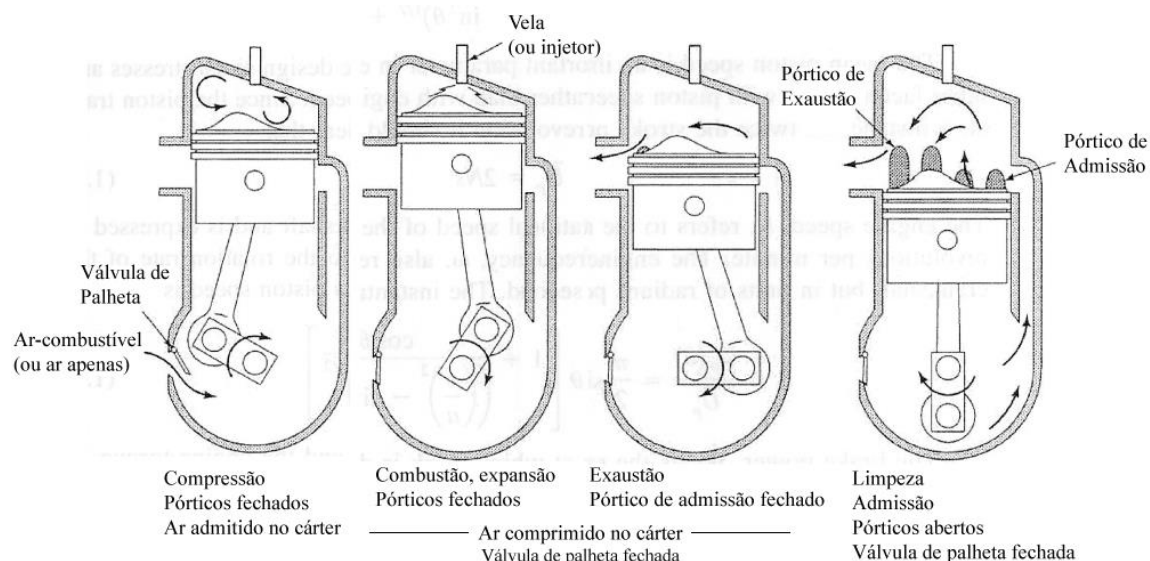


Figura 6 – Ciclo de 2 tempos
Fonte: Ferguson; Kirkpatrick, 2001, p. 5

Heywood (1988) define as fases do ciclo de dois tempos em compressão e expansão. Na compressão, que começa com o fechamento dos pórticos de admissão e exaustão, o conteúdo do cilindro é comprimido ao mesmo tempo em que uma carga nova é admitida no cárter. Assim que o pistão se aproxima do ponto morto superior, a combustão é iniciada. Similar ao motor de quatro tempos, o pistão começa a se deslocar em direção ao ponto morto inferior na fase de expansão. Em um dado ponto do curso, o pórtico de exaustão é aberto e os gases queimados começam a sair devido a uma pressão maior no cilindro que no escape. Logo após, o pórtico de admissão é aberto, por onde a carga nova entra no cilindro, proveniente do cárter. Ferguson e Kirkpatrick (2001) relatam que a carga nova ajuda a limpar o cilindro, expulsando os gases queimados.

Segundo Ferguson e Kirkpatrick (2001), há um problema neste ciclo, pois a limpeza do cilindro nunca é completa. O ar pode atravessar diretamente o cilindro, ou pode se misturar com parte dos gases de exaustão, e sair pelo pórtico de exaustão. Paralelamente, os gases de exaustão podem se misturar ao ar e permanecer no cilindro, reduzindo a quantidade de ar ou mistura. A magnitude dos problemas é diretamente relacionada ao desenho dos pórticos e o formato do topo da cabeça do pistão.

“A performance do motor de combustão interna é caracterizada por diversos parâmetros geométricos e termodinâmicos” (FERGUSON; KIRKPATRICK, 2001)

A rotação do motor, n_{motor} , é a velocidade do eixo de saída, ou virabrequim. A potência na saída, ou de freio, P , é a taxa que o trabalho é realizado e o torque na saída, ou de freio,

T_{motor} , é a medida do trabalho realizado por unidade de rotação (radianos) do virabrequim, segundo Ferguson e Kirkpatrick (2001). A potência e o torque tem relação direta através da rotação do motor, conforme apresentado por Bosch (2005), Ferguson e Kirkpatrick (2001), Merker, Schwarz e Rüdiger (2011) e Heywood (1988) na equação 4.

$$P = 2 \cdot \pi \cdot T_{motor} \cdot n_{motor} \quad (4)$$

Segundo Heywood (1988), a cilindrada, ou volume deslocado, do motor é a diferença entre o volume do cilindro quando o pistão está no ponto morto inferior, volume máximo, e o volume no ponto morto superior, volume mínimo. No caso de motores multicilíndricos, este valor é multiplicado pelo número de cilindros. A razão entre estes volumes máximo e mínimo é a taxa de compressão.

A pressão média efetiva, pme , é o trabalho realizado por unidade de volume deslocado. É a pressão média que, se constante, resultaria na mesma quantidade de trabalho produzido. Desta forma, retira os efeitos do tamanho do motor. Analogamente à potência e torque de saída, a pressão média efetiva na saída, ou de freio, é o trabalho na saída do virabrequim por unidade de volume deslocado do motor, já descontadas todas as perdas internas, relata Ferguson e Kirkpatrick (2001).

Heywood (1988), Ferguson e Kirkpatrick (2001) e Bosch (2005) apontam que a pressão média efetiva em função do torque é dada pela equação 5 para um motor de quatro tempos.

$$pmes = \frac{4 \cdot \pi \cdot T_{motor}}{V_d} \quad (5)$$

E em função de potência, na equação 6.

$$pmes = \frac{2 \cdot P}{V_d \cdot n_{motor}} \quad (6)$$

Sendo $pmes$ a pressão média efetiva na saída e V_d o volume deslocado.

Conforme Merker, Schwarz e Rüdiger (2011) o consumo específico de combustível é o consumo relacionado à performance do motor, ou seja, ao trabalho gerado. O consumo específico de combustível na saída é o fluxo mássico de combustível dividido pela potência na saída. É uma medida de eficiência do motor e pode ser utilizado para comparação entre motores independente do tamanho do motor, assim como a pme , contanto que estejam

utilizando o mesmo combustível, relatam Ferguson e Kirkpatrick (2001). A equação 7 apresenta o consumo específico de combustível na saída tanto em função da potência na saída quanto substituindo a potência na saída pela equação 2.4, e, desta forma, em função do torque na saída, segundo Bosch (2005), Ferguson e Kirkpatrick (2001), Merker, Schwarz e Rüdiger (2011) e Heywood (1988).

$$cecs = \frac{\dot{m}_{comb}}{P} = \frac{\dot{m}_{comb}}{2 \cdot \pi \cdot T_{motor} \cdot n_{motor}} \quad (7)$$

Uma forma de avaliar o comportamento e as características de um motor de combustão interna é utilizando um mapa de consumo de combustível, conforme Merker, Schwarz e Rüdiger (2011). O mapa é restrito dentro da faixa de funcionamento do motor, ou seja, da sua rotação de marcha lenta até a rotação máxima e da pmes máxima até zero. É uma forma de avaliar as zonas de melhor consumo. Devido a relação entre potência, torque e rotação mostrada na equação 4, as linhas de potência constante são hipérbolas no mapa de motor. A figura 7 mostra um exemplo de mapa de motor.

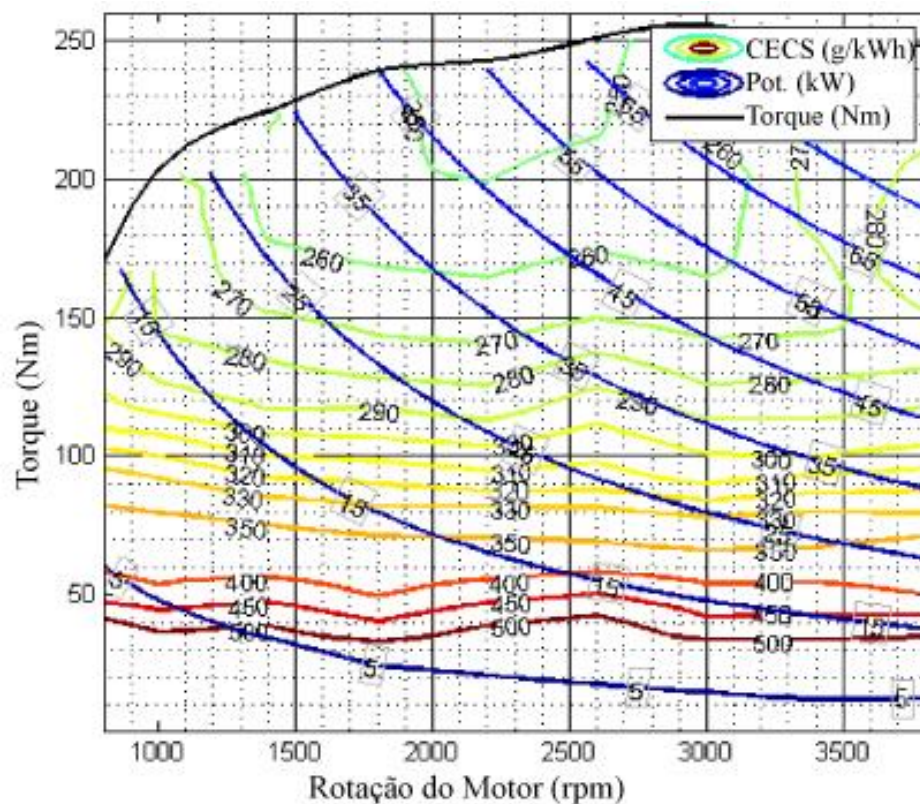


Figura 7 – Mapa de consumo de um motor a gasolina
Fonte: Jiao; Shen, 2004, p. 4653

Na figura 7, as linhas verdes, amarelas e vermelhas são os pontos de consumo específico constante. As linhas azuis representam potência constante.

Além do parâmetro consumo específico de combustível, há outros parâmetros para avaliação de eficiência do motor focados em partes específicas do processo de conversão de energia química em trabalho pelo motor. Estes parâmetros de avaliação da eficiência também podem ser utilizados para análise e para desenvolver novas partes ou processos ou evoluir os já existentes diretamente focando em características específicas.

Conforme Heywood (1988), a eficiência de conversão de combustível, ou seja, o quanto da energia do combustível é transformada em trabalho, pode ser definida, baseando-se nas leis da termodinâmica, pela equação 8.

$$\eta_{cc} = \frac{W_{disponível}}{Q_{entrada}} = \frac{W_{disponível}}{\dot{m}_{comb} \cdot Q_c} \quad (8)$$

Onde η_{cc} é a eficiência de conversão de combustível, $W_{disponível}$ o trabalho disponível, $Q_{entrada}$ a quantidade de calor recebida da mistura ar-combustível, $\dot{m}_c$ a vazão de combustível e Q_c o poder calorífico do combustível.

Nem toda a energia disponível no combustível é liberada no processo de combustão. A relação entre a energia disponível e a que, de fato, é liberada ao sistema durante o processo de combustão é denominada eficiência de combustão e apresentada na equação 9, conforme Heywood (1988).

$$\eta_c = \frac{H_R(T_A) - H_P(T_A)}{\dot{m}_{comb} \cdot Q_c} \quad (9)$$

Onde η_c é a eficiência de combustão, H_R a entalpia dos reagentes, H_P a entalpia dos produtos e T_A a temperatura ambiente.

Conforme Heywood (1988), é possível também isolar os efeitos da combustão incompleta e analisar o trabalho por ciclo relacionado à quantidade de energia liberada no processo de combustão. Esta relação é denominada eficiência de conversão térmica e apresentada na equação 10.

$$\eta_{ct} = \frac{W_{disponível}}{H_R(T_A) - H_P(T_A)} = \frac{W_{disponível}}{\eta_c \cdot \dot{m}_{comb} \cdot Q_c} \quad (10)$$

Onde η_{ct} é a eficiência de conversão térmica.

As eficiências de conversão de combustível, de combustão e de conversão térmica se relacionam entre si pela equação 11.

$$\eta_{cc} = \eta_c \cdot \eta_{ct} \quad (11)$$

Para se conhecer a eficiência térmica, é necessária ainda uma relação entre o que é produzido de trabalho e o que realmente está disponível no eixo de saída, descontando toda a perda por atrito pela movimentação das partes do motor e a energia perdida pelo bombeamento de gases, seja na admissão ou na exaustão. O atrito é gerado no contato dos anéis do pistão com a camisa do cilindro além dos rolamentos e mancais das partes girantes, inclusive dos acessórios como bomba de direção hidráulica, alternador, etc. Segundo Heywood (1988), esta relação entre o trabalho gerado e o disponível é conhecida por eficiência mecânica e apresentada na equação 12.

$$\eta_m = \frac{W_{saída}}{W_{disponível}} = \frac{W_{disponível} - W_{atrito} - W_{bombeamento}}{W_{disponível}} \quad (12)$$

Onde η_m é a eficiência mecânica, $W_{saída}$ o trabalho disponível no eixo de saída do motor, W_{atrito} o trabalho consumido pelo atrito na movimentação das partes do motor e $W_{bombeamento}$ é o trabalho consumido para bombeamento de gases para dentro e para fora dos cilindros.

A eficiência térmica do motor pode então ser calculada pela equação 13 relacionando a eficiência de conversão de combustível e a eficiência mecânica.

$$\eta_t = \eta_{cc} \cdot \eta_m = \frac{W_{disponível}}{\dot{m}_{comb} \cdot Q_c} \cdot \frac{W_{saída}}{W_{disponível}} = \frac{W_{saída}}{\dot{m}_{comb} \cdot Q_c} \quad (13)$$

Onde η_t é a eficiência térmica do motor.

Pulkrabek (1997) diz que a eficiência térmica dos motores a combustão interna atuais é de aproximadamente 30%. Os 70% restantes da energia liberada pelo combustível são rejeitados para o meio, seja através da alta temperatura dos gases de escape, seja através do calor rejeitado pelo sistema de arrefecimento (radiador) ou ainda pela rejeição de calor diretamente para o meio através de superfícies aquecidas do motor.

A figura 2.8 mostra o balanço energético para um motor funcionando a 3000 rpm em função da pressão no coletor de admissão. A energia liberada pelo combustível é decomposta em parcelas mostrando onde é dissipada.

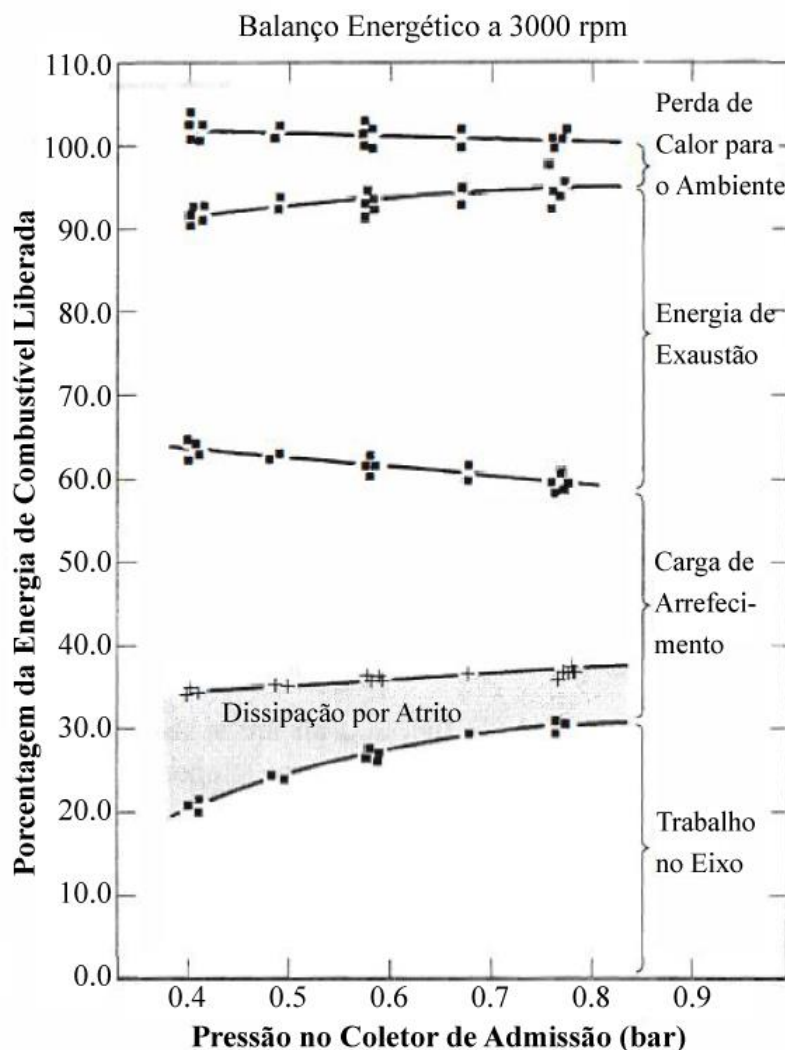


Figura 8 – Balanço energético em um motor automotivo
 Fonte: Ferguson; Kirkpatrick, 2001, p. 226

2.1.3. Células de teste de motor e chassi

As células de teste de motor e chassi, mesmo com configuração e propósitos diferentes, geralmente contam com os mesmos instrumentos de medição. Segundo Ferguson (2001), há uma necessidade de providenciar informação em tempo real para que o sistema de controle analise o estado de funcionamento do motor. Vários sensores estão disponíveis no próprio motor ou veículo e podem ser usados para medição como, por exemplo, sensor de rotação do motor, de pressão do coletor de admissão, de vazão de entrada de ar e de temperatura do líquido de arrefecimento. Consequentemente, o restante dos dados é obtido

com instrumentos de medição externos específicos como, por exemplo, o sensor de vazão de combustível e o sensor de pressão de combustão.

Os dados mais comumente medidos por instrumentos de medição nas células de teste, seja de motor ou de chassi, são o torque do motor e a vazão de combustível e de ar que entram no motor. Outros dados que também são extraídos das células de teste, porém, contam com sensores já instalados no motor ou veículo. São a rotação do motor, avanço da ignição, fator lambda (que significa a relação ar-combustível real dividida pela relação ar-combustível estequiométrica), entre outros menos triviais.

O dinamômetro, seja ele de motor ou chassi, é um medidor de força. O diagrama básico de um dinamômetro é apresentado na figura 9. Conforme Martyr e Plint (2007), o elemento de absorção de potência é montado sobre rolamentos coaxialmente ao eixo da máquina e o torque é restringido e medido por algum tipo de transdutor atuando tangencialmente a um raio conhecido do eixo da máquina.

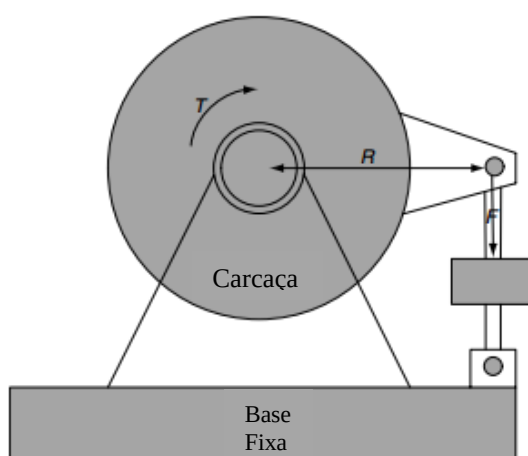


Figura 9 – Diagrama de um dinamômetro medindo torque com uma célula de carga
Fonte: Martyr e Plint, 2007, p. 146

O elemento de absorção de potência, ou freio, do dinamômetro pode ser de diversos tipos: hidráulico, hidrostático, motor elétrico, atrito e ar. Cada tipo e subtipo do freio do dinamômetro pode ser capaz de atuar em até quatro condições de funcionamento. Pode absorver torque nos sentidos horário e anti-horário assim como gerar torque para a máquina nos sentidos horário e anti-horário. Apesar de alguns tipos serem capazes de gerar torque para rodar a máquina, o nome de freio, proveniente dos primeiros formatos de dinamômetro, foi mantido.

O dinamômetro de chassi tem o mesmo princípio de funcionamento, porém uma montagem distinta. A transmissão de força não é mais direta, por um eixo, mas indireta, através dos pneus do veículo. Conforme Martyr e Plint (2007), os primeiros dinamômetros de chassi “tinham rolos de diâmetro bastante reduzido, que simulavam inadequadamente as condições de contato do pneu e resistência à rolagem experimentados pelo veículo na pista” e “um volante simples era geralmente acoplado ao rolo para dar uma simulação da inércia do veículo.”

O esquema básico de um dinamômetro de quatro rolos, dois por pneu, eixo único de tração, é apresentado na figura 10.

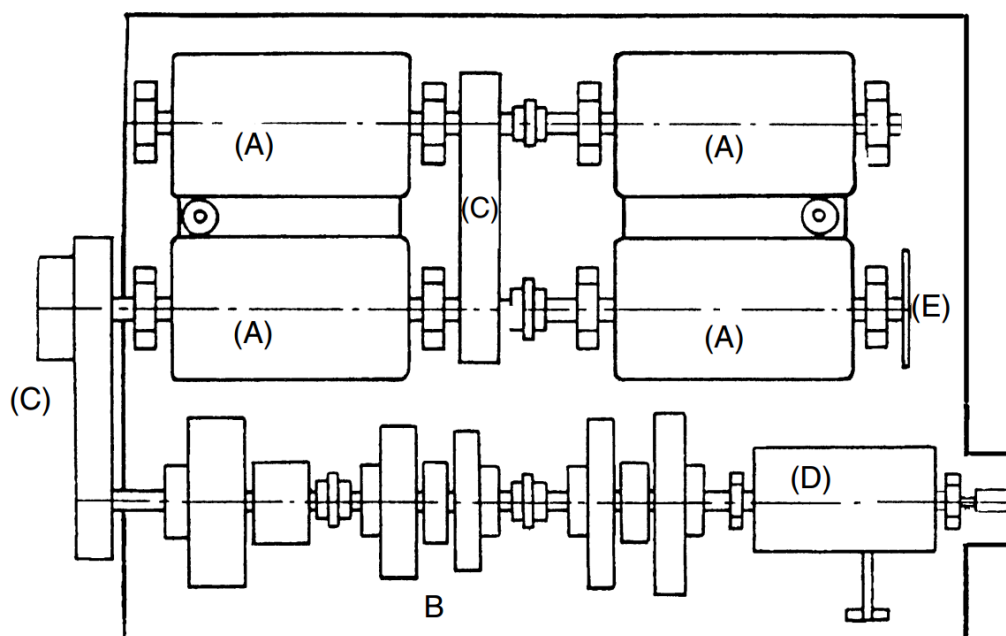


Figura 10 – Diagrama de um dinamômetro de chassi ou rolos

Fonte: Martyr; Plint, 2007, p. 345

Onde (A) são os rolos, (B) é o jogo de volantes que simulam a inércia do veículo, (C) são correias, (D) é um motor de corrente contínua que é o freio do dinamômetro e (E) um freio a disco para simular os carregamentos do ciclo que o veículo está percorrendo.

Conforme Ferguson (2001), os dinamômetros de chassis são usados para colocar um veículo num ciclo de condução sem que o veículo esteja, de fato, se movendo. A vantagem é não ter que instrumentar um veículo que sairá da posição. Para certas categorias de veículos, o dinamômetro de chassis é obrigatório na homologação de um veículo junto aos órgãos reguladores da emissão de poluentes.

Martyr e Plint (2007) comentam que, hoje em dia, vários projetos utilizando apenas pares de rolos, um para cada pneu, e inércia simulada eletronicamente estão disponíveis e aprovados pela EPA, referência mundial no assunto.

2.2. Consumo de combustível em veículos automotores

A crescente frota veicular em todo o mundo, principalmente nas economias emergentes, gera uma preocupação ambiental, climática e de saúde pública devido a emissão de poluentes como o gás carbônico, principal poluente do efeito estufa. Silva *et al.* (2006b) afirmam que “hidrocarbonetos (HC), óxidos nítricos (NO_x), monóxido de carbono (CO) e partículas (PM) tem impactos diretos na saúde humana. Dióxido de carbono (CO_2) não tem efeito direto na saúde nas concentrações presentes na atmosfera mas contribui com o aquecimento global.”

O crescimento das emissões de dióxido de carbono partindo de combustíveis fósseis através dos anos pode ser visto na figura 11, disponível no trabalho de Boden, Marland e Andres (2013).

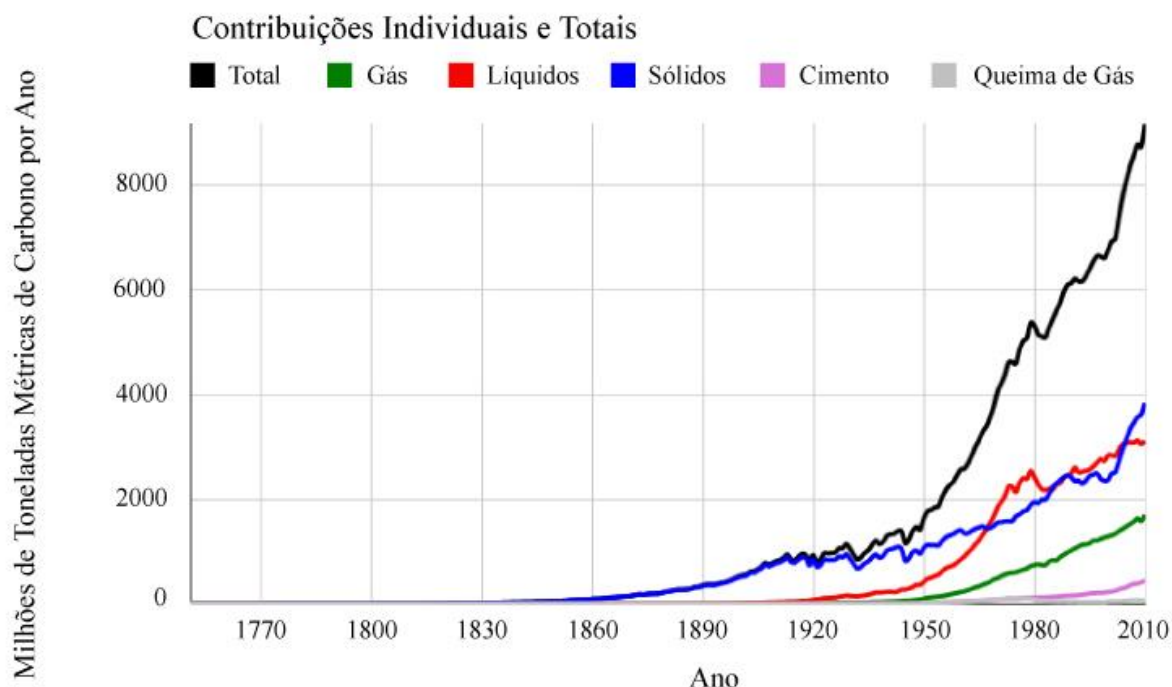


Figura 11 – Emissões de dióxido de carbono provenientes de combustíveis fósseis
Fonte: Boden, Marland e Andres, 2013

Conforme Nasser, Weibermel e Wiek (1998), como resultado deste fenômeno, legislações que controlam o nível de emissões dos poluentes estão surgindo globalmente e, onde já há legislação, os limites permitidos para estas emissões estão cada vez menores à medida que novas revisões das legislações são publicadas.

No Brasil, há uma regulamentação para o nível de emissões de poluentes de veículos automotores, sejam motocicletas, passeio, comerciais leves e pesados. O órgão que regulamenta e fiscaliza é o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA). Para veículos leves, o Programa de Controle de Poluição do Ar por Veículos Automotores (PROCONVE) teve sua primeira fase, L-1, implementada em 1988. Atualmente, esta regulamentação está na sexta fase (L-6), que entrou em vigor em 1 de Janeiro de 2014 para novos lançamentos e 1 de janeiro de 2015 para todos os veículos. A evolução temporal dos níveis de emissões permitidos para alguns poluentes nas seis fases podem ser vistos na figura 12 e 13.

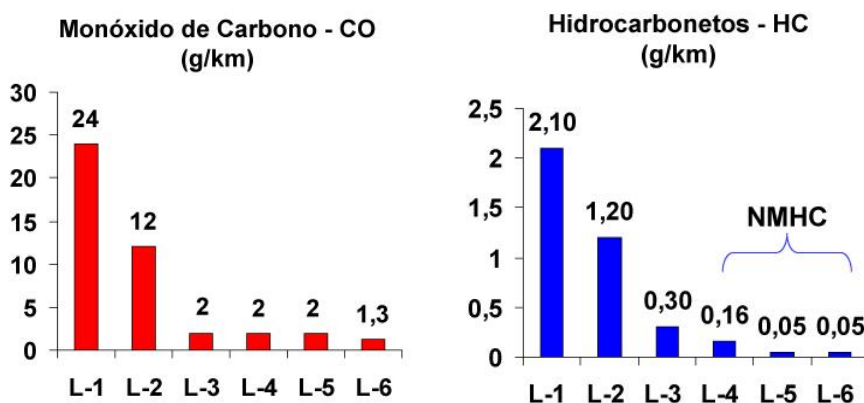


Figura 12 – Níveis máximos de emissão de monóxido de carbono e hidrocarbonetos - PROCONVE
Fonte: Joseph Jr., 2009, p.9

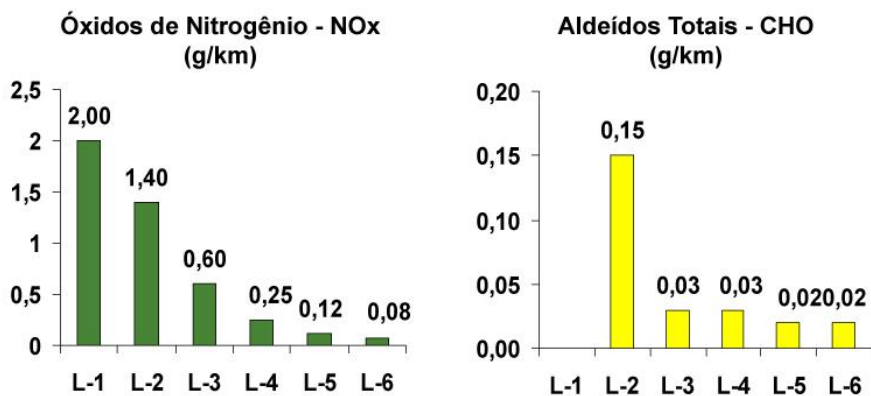


Figura 13 – Níveis máximos de emissão de óxidos de nitrogênio e aldeídos totais - PROCONVE
Fonte: Joseph Jr., 2009, p.9

Os anos de implementação de cada fase do PROCONVE são apresentados na tabela 1, inclusive os passos de fases que foram implementadas em mais de uma etapa.

Tabela 1 – Fases de implementação do PROCONVE: evolução temporal

Fase	Data de Exigência
L-1	1988
L-2	1992
L-3	1997
L-4	2005 (40%)
	2006 (70%)
	2007 (100%)
L-5	2009
L-6	2013 (Diesel Leve)
	2014 (Otto Novos Mod.)
	2015 (Otto 100%)

Fonte: Joseph Jr., 2009, p.9

Há duas características que influenciam na maior parcela de redução da emissão de poluentes: as eficiências de catalisação dos gases de escape e a eficiência do motor quanto à geração de torque. Tratando-se da eficiência do motor, Rakha *et al.* (2011) afirma que, melhorando o consumo de combustível, obtendo mais quilômetros por litro de combustível consumido, a emissão de poluentes é consequentemente reduzida. Ou seja, pode-se dizer que quanto mais torque for gerado pelo motor por unidade de massa de combustível admitida no cilindro, melhor o consumo e menor a emissão de poluentes.

Além da redução dos níveis de emissão de poluentes nas próximas fases do PROCONVE, e consequente redução de consumo de combustível, as montadoras de veículos leves também tem uma meta de eficiência energética a ser atingida até o ano de 2017. O Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior (MDIC) criou o programa INOVAR-AUTO, que tem como objetivo fortalecer e modernizar a indústria automobilística brasileira fornecendo incentivos fiscais em troca de investimentos em pesquisa, localização da produção e redução do consumo médio de combustível da frota. Segundo o MDIC (2012), a meta de consumo de combustível médio é de 17,26 km/l para veículos utilizando gasolina e de 11,96 km/l utilizando etanol e o consumo médio nacional à época da publicação era de 14 km/l para gasolina e 9,71 km/l para etanol. Caso a montadora não alcance a meta em 2017, terá que devolver ao governo toda a redução de imposto desde o início do INOVAR-AUTO, em 2013.

Tanto a medição das emissões de poluentes como a medição de consumo de combustível seguem um ciclo de condução pré-determinado pelas legislações de cada país ou região. No Brasil, a norma Veículos Rodoviários Automotores Leves – Determinação de Hidrocarbonetos, Monóxido de Carbono, Óxidos de Nitrogênio, Dióxido de Carbono e Material Particulado no Gás de Escapamento, de número NBR 6601, publicada pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), regulamenta o teste para medição de emissão de poluentes. A norma Veículos Rodoviários Automotores Leves – Medição do Consumo de Combustível – Método de Ensaio, de número NBR 7024, publicada pela ABNT, regulamenta o teste para medição de consumo de combustível. O ciclo de condução urbano está descrito na norma NBR 6601, e o rodoviário, na norma NBR 7024. Foram baseados nos ciclos de condução americanos Federal Test Procedure (FTP-75) e Highway Fuel Economy Driving Schedule (HWFET), urbano e rodoviário respectivamente. A figura 14 mostra a velocidade em função do tempo no ciclo urbano e a figura 15, no ciclo rodoviário.

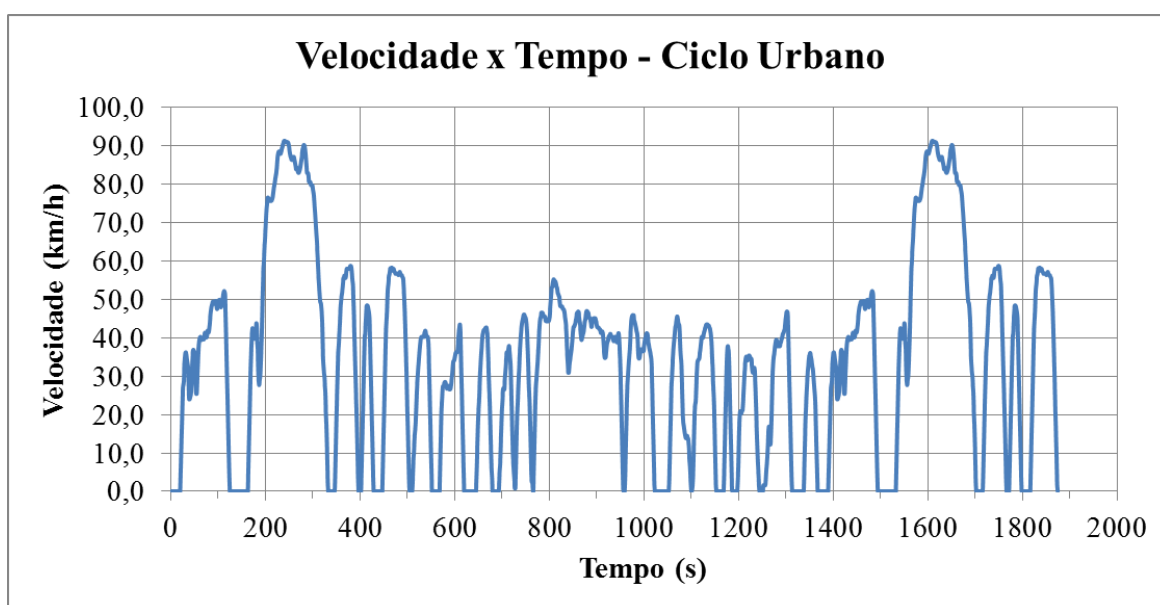


Figura 14 – Velocidade em função do tempo – ciclo urbano

Fonte: Autor “adaptado de” ABNT (2005 – Disponível somente como tabela na Norma NBR 6601)

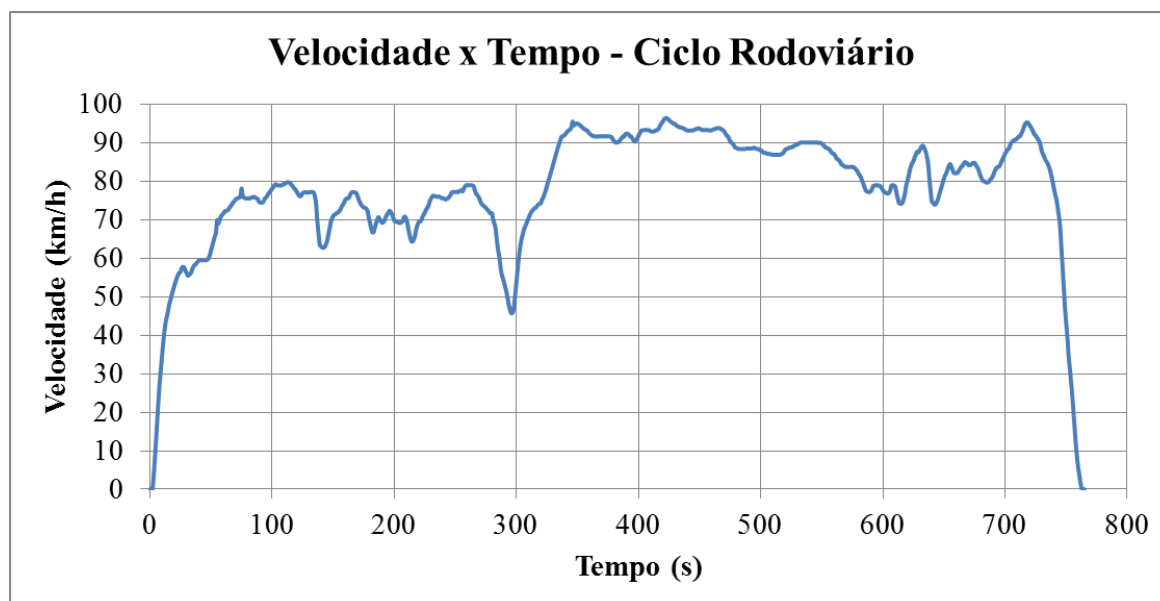


Figura 15 – Velocidade em função do tempo – ciclo rodoviário
 Fonte: Autor “adaptado de” ABNT (2010 – Disponível somente como tabela na Norma NBR 7024)

2.3. Simulação do consumo de combustível

Diversos modelos para simulação de emissões de poluentes e consumo de combustível vem sendo desenvolvidos nos últimos anos, inclusive por órgãos responsáveis pela regulamentação das emissões de poluentes como a EPA. Silva *et al.* (2006a) diz que alguns deles direcionam-se somente a emissão de poluentes e trabalham com um conceito macro do contingente de transportes, utilizando taxas médias agregadas por percurso como o Mobile6 (EPA), posteriormente substituído pelo MOVES (EPA), o EMFAC (California Air Resources Board) e o COPERT III (NTZIACHRISTOS; SAMARAS, 2000), posteriormente substituído pelo COPERT (GKATZOFLIAS *et al.*, 2007).

Outros modelos que trabalham com dinâmicas veiculares mais detalhadas e podem trabalhar com percursos mais detalhados também foram desenvolvidos. Esses modelos podem prever as emissões de poluentes, o consumo de combustível ou ambos. Devido ao maior detalhamento, também há a necessidade do número maior de dados de entrada e, em alguns casos, correlações com medições realizadas em dinamômetro de chassi ou de motor.

Como exemplo, podem ser citados três trabalhos relevantes de modelos de simulação de consumo de combustível. O EcoGest (SILVA *et al.*, 2006b), desenvolvido no Instituto Superior Técnico, em Lisboa; o Comprehensive Modal Emission Model (CMEM) desenvolvido pela University of California, Riverside (UCR), University of Michigan e

Lawrence Berkeley National Laboratory (BARTH *et al.*, 2000) e o ADVISOR desenvolvido na National Renewable Energy Laboratory (NREL) (MARKEL *et al.*, 2002).

2.3.1. Modelo de Simulação EcoGest

O EcoGest foi desenvolvido “com o número mínimo de parâmetros requeridos para uma simulação adequada da realidade” (SILVA *et al.*, 2006b). Silva *et al.* (2006a) informa que são necessários 20 parâmetros chave como, por exemplo, características do veículo, tipo de transmissão, características do motor, características do catalisador, temperatura ambiente, características do ciclo e ocupação do veículo. A figura 16 apresenta o esquema de cálculo do EcoGest.

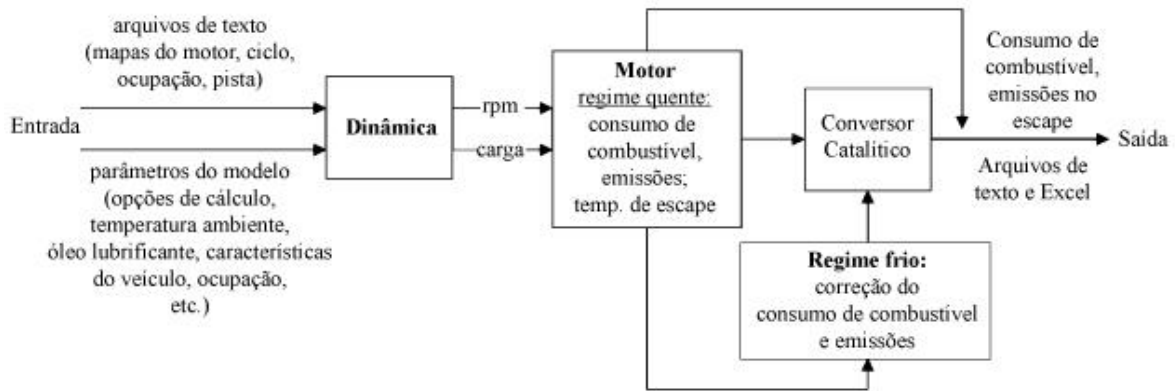


Figura 16 – Esquema EcoGest
Fonte: Silva et al., 2006b

Baseado num ciclo de rodagem conhecido, o modelo calcula a rotação e potência do motor e interpola valores medidos de consumo instantâneo de combustível e emissão de poluentes antes do catalisador. Silva *et al.* (2006b) calculam a carga do motor sendo a fração entre a potência de freio calculada e a potência máxima na mesma rotação. A potência calculada para cada passo de cálculo é obtida pela equação 14.

$$P = \frac{1}{\eta_{trans+dif}} \cdot \left(\frac{1}{2} \cdot \rho_a \cdot C_d \cdot A_f \cdot v^2 + C_r \cdot m_{carr} \cdot g \cdot \cos(\theta) + \right. \\ \left. + m_{carr} \cdot g \cdot \sin(\theta) + ((C_{ir} - 1) \cdot m_{marcha} + m_{carr}) \cdot a_x \right) \cdot v + P_{ac} \quad (14)$$

Onde A_f é a área frontal do veículo, C_d é o coeficiente de arrasto, C_r é o coeficiente de resistência a rolagem, C_{ir} é o coeficiente de inércia rotacional igual ou maior que um, m_{carr} é a massa do veículo carregado, m_{marcha} é a massa do veículo em ordem de marcha, P_{ac} é a potência média consumida pelos acessórios do veículo, θ é a inclinação da pista e ρ_a é a densidade do ar.

A rotação do motor é calculada a partir da velocidade do veículo, a relação de marcha e o raio dinâmico do pneu conforme Bosch (2011). Essa relação é apresentada na equação 15.

$$n_{motor} = \frac{60 \cdot v \cdot i}{2 \cdot \pi \cdot r_{din}} \quad (15)$$

De posse da carga e da rotação do motor, Silva *et al.* (2006b) utilizam uma interpolação bilinear do mapa de motor em regime quente para estimar os valores de consumo de combustível e emissão de poluentes na saída do motor. No caso de partida a frio ou temperaturas intermediárias, fatores de correção relacionados à atrito, devido a temperatura do óleo, e a preparação da mistura, devido a temperatura do líquido refrigerante, são aplicados para estimar o consumo de combustível e a emissão de poluentes na saída do motor conforme Silva *et al.* (2004 apud Silva *et al.*, 2006b). Para calcular as emissões de poluentes no escapamento do veículo, Silva *et al.* (2002) afirmam que é necessário considerar a eficiência de conversão do conversor catalítico de três vias. Resumidamente, a interpolação bilinear do mapa do motor resulta em vazão de combustível ou dos gases de emissão em gramas por segundo. Numericamente integrando estes valores com relação ao tempo do ciclo resulta nos mesmos dados em gramas por ciclo. Dividindo a massa somada de combustível ou poluentes pela distância do ciclo resulta nos dados em gramas por quilômetro. Utilizando a densidade do combustível, é possível calcular o consumo em quilômetros por litro ou litros por 100 quilômetros.

As trocas de marcha durante o ciclo podem ser definidas por velocidades fixas de troca, como geralmente é requisitado nas normas de medição de consumo de combustível e emissão de poluentes, ou o EcoGest pode calcular os melhores pontos para a troca para a marcha subsequente, conforme Rei (2007).

A fim de validar o modelo de simulação, Silva *et al.* (2006b) utilizaram medições de um medidor de vazão, para consumo de combustível, um altímetro, para topografia da rota, e o tacômetro do próprio ônibus para a velocidade. O número de passageiros, para estimar o peso do ônibus durante a rota, foi medido manualmente. O ônibus selecionado usa motor Mercedes de 205 kW e atende a norma de emissão de poluentes EuroIII. Pertence a Sociedade

de Transportes Colectivos do Porto (STCP), de Porto, Portugal e a rota seleccionada foi a linha 20. A linha 20 tem aproximadamente 7.8km de extensão e inclinações entre -15% e 10%.

Os ciclos de condução, as características e a ocupação do ônibus, além da topografia da linha 20, foram utilizados como dados de entrada, conforme Silva *et al.* (2006b). A potência média consumida pelos acessórios P_{ac} , o coeficiente de inércia rotacional C_{ir} e o coeficiente de resistência a rolagem C_r foram calibrados com base em apenas uma das medições e utilizados no restante dos casos. Os valores encontrados, 8 kW, 1,05 e 0,006, respectivamente, são compatíveis com este tipo de veículo.

Conforme Silva *et al.* (2006b), a comparação entre dados medidos e predições do modelo mostra erros geralmente menores que 10% para consumo de combustível e emissão de CO_2 .

A figura 17 mostra a comparação do EcoGest e da medição em 3 diferentes horários do dia na rota da linha 20. Os gráficos mostram o consumo acumulado, em litros, em função do tempo.

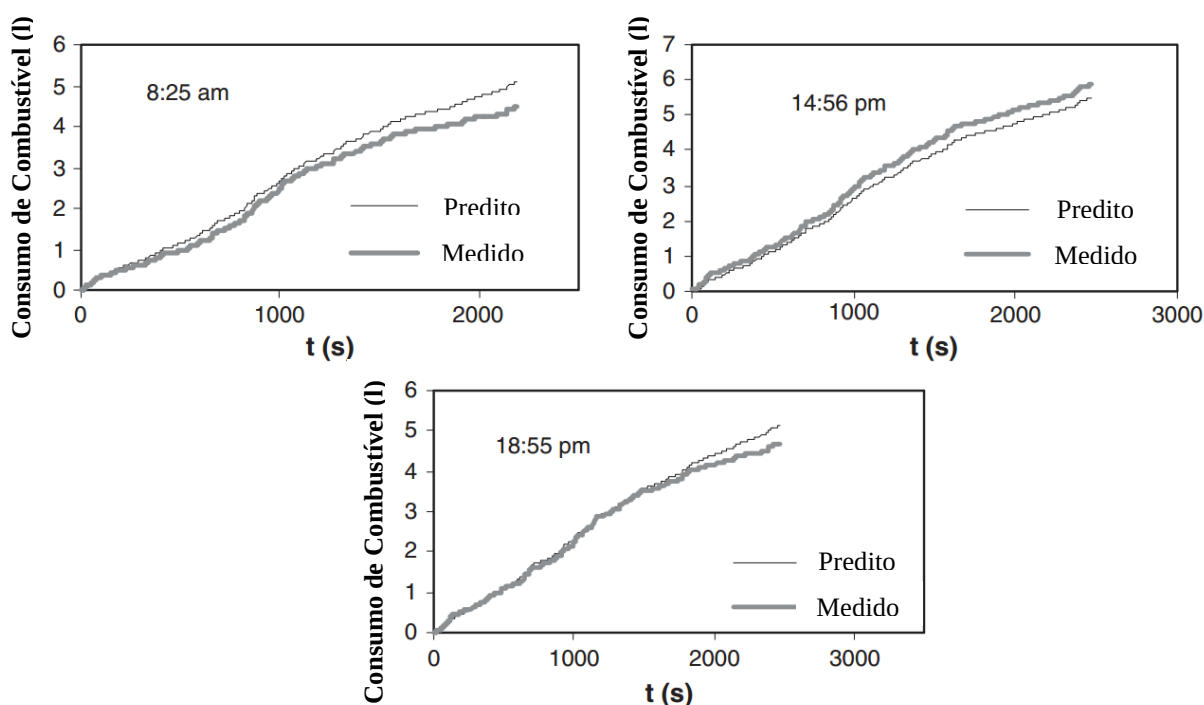


Figura 17 – Comparação de consumo acumulado entre EcoGest e medição
Fonte: Silva et al., 2006b

Rei (2007) também fez uma correlação do EcoGest com medições em dois percursos em campo além da calibração do modelo no New European Drive Cycle (NEDC), ciclo da norma de medição de consumo de combustível e emissões da comunidade europeia. O veículo utilizado neste caso foi um veículo de passeio com motor Diesel. Para calibração do modelo,

foram utilizados os dados de consumo e emissão de poluentes homologados pela norma. Os dados referentes aos percursos em campo medidos por Rei (2007) foram os mesmos que foram medidos por Silva *et al.* (2006b), exceto a ocupação do veículo que foi constante no caso de Rei (2007). Os percursos seleccionados foram a viagem de Lisboa a Cascais e o caminho inverso, de Cascais a Lisboa, ambas cidades em Portugal. A figura 18 mostra o percurso em linha azul.



Figura 18 – Percurso entre Lisboa e Cascais
Fonte: Rei, 2007

A tabela 2 mostra alguns dados dos percursos e das medições. As figuras 2.19 e 2.20 mostram os perfis de velocidade em função do tempo medidos nos percursos Lisboa-Cascais e Cascais-Lisboa, respectivamente.

Tabela 1 – Resumo dos dados mais relevantes dos percursos (continua)

	Lisboa - Cascais	Cascais - Lisboa
Distância percorrida	33,38 km	28,44 km
Tempo	3009 s (50 min 9 s)	2414 s (40 min 14 s)
Total de combustível consumido	1742 g / 2,03 l	1445 g / 1,68 l
Consumo médio	52,20 g/km 6,07 l/100km	50,80 g/km 5,92 l/100km
Declive máximo	13%	12%
Declive mínimo	-12%	-18%
Velocidade média	40 km/h	42 km/h
Velocidade máxima atingida	122 km/h	128 km/h
Distância percorrida em circuito urbano	aprox. 8,0 km (24% do percurso)	aprox. 5,2 km (18% do percurso)
Distância percorrida em autoestrada	aprox. 10,7 km (32% do percurso)	aprox. 8,3 km (29% do percurso)

Tabela 2 – Resumo dos dados mais relevantes dos percursos (conclusão)

Distância percorrida em estrada secundária	aprox. 14,7 km (44% do percurso)	aprox. 15,0 km (53% do percurso)
Tempo despendido a $0 \leq \text{RPM} \leq 1500$	1623 s (53,9 % do tempo)	1625 s (67,3 % do tempo)
Tempo despendido a $1501 \leq \text{RPM} \leq 3000$	1321 s (43,9% do tempo)	776 s (32,1% do tempo)
Tempo despendido a $3001 \leq \text{RPM}$	65 s (2,2 % do tempo)	13 s (0,5 % do tempo)
Tempo despendido a $0 \leq \text{Carga} \leq 25\%$	907 s (30,1 % do tempo)	968 s (40,1 % do tempo)
Tempo despendido a $26\% \leq \text{Carga} \leq 50\%$	1020 s (33,9% do tempo)	537 s (22,2% do tempo)
Tempo despendido a $51\% \leq \text{Carga} \leq 75\%$	546 s (18,1 % do tempo)	372 s (15,4 % do tempo)
Tempo despendido a $76\% \leq \text{Carga} \leq 100\%$	537 s (17,8% do tempo)	537 s (22,2% do tempo)
% do tempo total despendido em marcha lenta	16,60%	13,70%

Fonte: REI, 2007

Nota: Consolidados em uma única tabela pelo autor

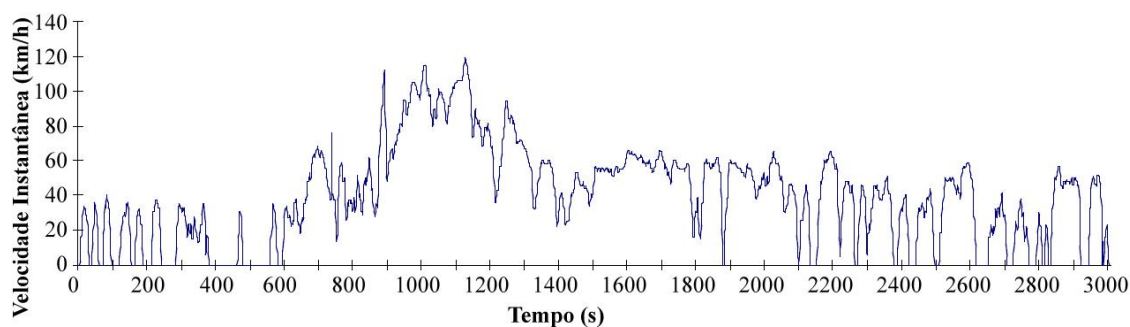


Figura 19 – Perfil de velocidades entre Lisboa e Cascais

Fonte: Rei, 2007

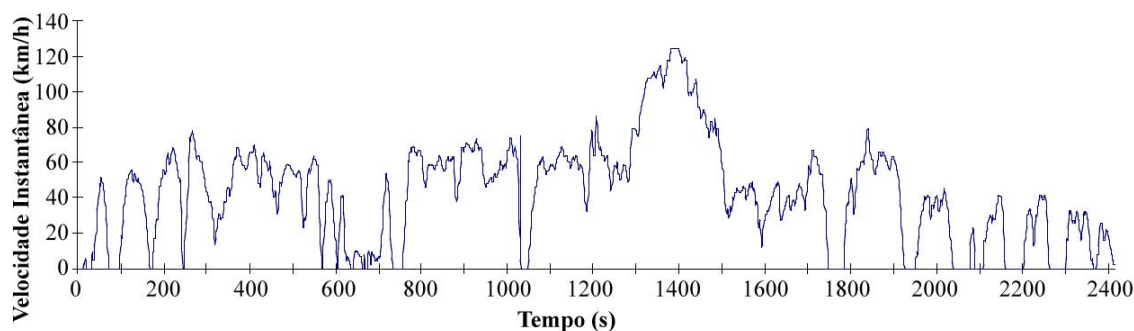


Figura 20 – Perfil de velocidades entre Cascais e Lisboa

Fonte: Rei, 2007

Primeiramente, Rei (2007) preparou a simulação para o ciclo NEDC a fim de comparar os dados de consumo de combustível e, tendo a resposta dos dados de emissão de poluentes antes do sistema de tratamento e os dados homologados na saída do escape, estimar a eficiência de conversão dos gases. Os dados de consumo de combustível ainda precisaram

ser pós-processados, pois o veículo conta com um sistema que desliga o motor quando o veículo está parado, ou seja, quando o motor estaria em marcha lenta, na realidade, ele estará desligado e o consumo de combustível é igual a zero. A tabela 3 mostra os resultados da simulação, homologados e a eficiência de conversão dos gases poluentes calculada. O erro de consumo de combustível é de 5,9% em relação aos dados da homologação.

Tabela 2 – Eficiências de conversão estimadas para HC, CO, NOX e PM e comparação dos valores simulados à saída do escape com os valores homologados para o NEDC

	Simulado (antes dos sistemas de tratamento)	Homologado	Eficiência de Conversão	Simulado (à saída do escape)	Simulado vs. Homologado
Consumo de Combustível [l/100km]	4,98	4,7	-	4,98	5,9%
Emissão de HC + NOX [g/km]	0,982	0,22	77,60%	0,22	0,0%
Emissão de CO [g/km]	0,646	0,385	40,39%	0,385	0,0%
Emissão de NOX [g/km]	0,528	0,181	65,73%	0,181	0,0%
Emissão de PM [g/km]	0,037	0,0015	97,27%	0,001	0,0%
Emissão de HC [g/km]	0,454	0,0396	91,41%	0,039	0,0%
Emissão de CO ₂ [g/km]	130	123	-	130	5,7%

Fonte: REI, 2007

Para os dois percursos, não foram medidas as quantidades de emissão de poluentes. Portanto, a correlação foi baseada apenas no consumo de combustível. Rei (2007) optou, neste caso, pela seleção de marcha a ser calculada pelo EcoGest a partir da relação das velocidades do veículo e do motor. Apesar de variações encontradas no consumo instantâneo entre a medição e a simulação, o consumo médio apresenta valores próximos. Essas diferenças se devem a diversos fatores como, por exemplo, à diferença no tratamento do consumo instantâneo quando o veículo está desacelerando. O veículo real tem uma estratégia de corte de combustível quando está nesta condição e sem acionamento do pedal do acelerador. A simulação considera o consumo em marcha lenta para essas situações.

No percurso Lisboa-Cascais, Rei (2007) constata uma diferença de -2,5% sendo o consumo simulado de 5,92 l/100km e o real de 6,07 l/100km. Não houve diferença no percurso inverso sendo o consumo simulado e real de 5,92 l/100km.

2.3.2. Modelo de simulação Comprehensive Modal Emission Model

Analogamente ao EcoGest, o Comprehensive Modal Emission Model (CMEM) trabalha por demanda de potência, calculando a produção de emissões baseado numa representação parametrizada analítica, conforme Barth *et al.* (2000). O processo de emissão de poluentes é quebrado em diferentes módulos. Cada um destes módulos corresponde a um fenômeno físico da produção de poluentes ou do funcionamento do veículo, e é caracterizado por diversos parâmetros. Parte dos parâmetros é de fácil obtenção, pois são especificações dos veículos disponibilizados pelas montadoras (e. g. massa do veículo, volume deslocado do motor, etc). Entretanto outros parâmetros relacionados ao funcionamento do veículo e produção de emissões devem ser medidos. Segundo Silva *et al.* (2006a), a inclusão de uma nova categoria de veículos no modelo é muito difícil de ser implementada devido ao número de medições necessárias. Silva *et al.* (2006b) e Barth *et al.* (2000) dizem que o cálculo de consumo de combustível e emissão de poluentes são baseados em correlações experimentais cujos parâmetros são calibrados por testes de dinamômetro. O detalhe de cada fenômeno será abordado adiante.

Barth *et al.* (2000) afirmam que o modelo se propõe a prever as emissões de poluente no escape, e todos os resultados intermediários como consumo de combustível, por exemplo, em diferentes modos de operação do veículo como aceleração, desaceleração, cruzeiro e marcha lenta. Além dos modos, ainda se propõe a considerar condições específicas que modificam os modos. Essas condições são de condução moderada (tipo de condução abrangido pelo ciclo FTP), condução fora do ciclo (condução que sai do perfil do ciclo FTP e, geralmente, inclui enriquecimento ou empobrecimento da mistura ar-combustível) e partidas em condições variáveis (e.g. partida a frio, partida a quente).

Analisando pelo ponto de vista de agregação de tempo e veicular, partindo do mais específico para o mais genérico, assim como apresentado na tabela 4, Barth *et al.* (2000) dizem que o desenvolvimento do modelo não focou no funcionamento de cada veículo específico numa fina escala de tempo. O modelo considera grupos de veículos diferenciados por sua categoria e tecnologia, apresentados na figura 21, e trabalha em modos de funcionamento de diversos segundos, pela média deste período de tempo. Segundo Barth *et al.* (2000), as vantagens de trabalhar desta forma são ter menor flutuação das respostas do que trabalhando segundo a segundo e a dificuldade de adquirir dados de veículo, funcionamento e características de pós-tratamento de poluentes, além da calibração do modelo, para cada veículo específico.

Agregação Temporal:	segundo por segundo → diversos segundos (modo) → Ciclo de condução ou cenário
Agregação Veicular:	veículo específico → categoria veicular/tecnologia → combinação geral de veículo (frota)

Figura 21 – Agregação temporal e veicular
Fonte: Barth et al., 2000, p.116

Tabela 3 – Categorias modeladas de veículo/tecnologia

Categoria #	Categoria de Tecnologia Veicular
Carros de Emissões Normais	
1	Sem Catalisador
2	Catalisador 2-vias
3	Catalisador 3-vias, Carburado
4	Catalisador 3-vias, FI, >50K milhas, baixa potência/peso
5	Catalisador 3-vias, FI, >50K milhas, alta potência/peso
6	Catalisador 3-vias, FI, <50K milhas, baixa potência/peso
7	Catalisador 3-vias, FI, <50K milhas, alta potência/peso
8	Tier 1, >50K milhas, baixa potência/peso
9	Tier 1, >50K milhas, alta potência/peso
10	Tier 1, <50K milhas, baixa potência/peso
11	Tier 1, <50K milhas, alta potência/peso
24	Tier 1, >100K milhas
Veículos Pesados de Emissões Normais	
12	Pré-1979 (<=8500 libras PBV)
13	1979 a 1983 (<=8500 libras PBV)
14	1984 a 1987 (<=8500 libras PBV)
15	1988 a 1993, <=3750 libras PVC
16	1988 a 1993, >3750 libras PVC
17	Tier 1 VLC2/3 (3751-5750 libras PVC ou PVC ajustado)
18	Tier 1 VLC4 (6001-8500 libras PBV, >5750 libras PVC ajustado)
25	Gasolina, VLC (> 8500 libras PBV)
40	Diesel, VLC (> 8500 libras PBV)
Veículos de Altas Emissões	
19	Funciona com mistura pobre
20	Funciona com mistura rica
21	Falha na ignição
22	Catalisador ruim
23	Funciona com mistura muito rica

Fonte: BARTH et al., 2000

PBV significa peso bruto do veículo, PVC, peso do veículo carregado e VLC, veículo leve de carga.

Barth *et al.* (2000) desenvolveram o modelo de forma que as emissões de poluente no escape sejam produto de três componentes: taxa de combustível consumido, fração de passagem pelo catalisador e índice de emissão na saída do motor. O índice de emissão é a divisão massa de poluentes emitida na saída do motor ($m_{\text{emissões}}$) pela massa de combustível consumido ($m_{\text{combustível}}$). A fração de passagem pelo catalisador é a razão de emissões entre o escape e a saída do motor. A equação geral do modelo, para cálculo das emissões no escape, é apresentada na equação 16.

$$\text{Emissão no escape} = TC \cdot \frac{m_{\text{emissões}}}{m_{\text{combustível}}} \cdot FPC \quad (16)$$

Sendo TC a taxa de combustível consumido, $m_{\text{emissões}}/m_{\text{combustível}}$ é o índice de emissão e FPC é a fração de passagem pelo catalisador.

Para atingir os dados de entrada desta equação, Barth *et al.* (2000) construíram o modelo dividido em 6 módulos de cálculo separados:

1. Demanda de potência do motor;
2. Rotação do motor;
3. Razão de equivalência de ar/combustível;
4. Taxa de combustível consumido;
5. Emissões na saída do motor;
6. Fração de passagem pelo catalisador.

Barth *et al.* (2000) afirmam que os dados de entrada estão divididos em dois grandes grupos:

- A. Entrada de variáveis de funcionamento;
- B. Parâmetros do modelo.

O modelo também considera quatro modos de funcionamento que alteram o cálculo dos módulos, conforme Barth *et al.* (2000):

- a. Tempo de estabilização térmica variável;
- b. Operação estequiométrica;
- c. Enriquecimento;
- d. Empobrecimento.

As condições b, c e d dizem respeito à razão ar/combustível.

A figura 22 mostra o esquema de funcionamento do CMEM, delineando os módulos, entradas, modos de funcionamento e suas relações.

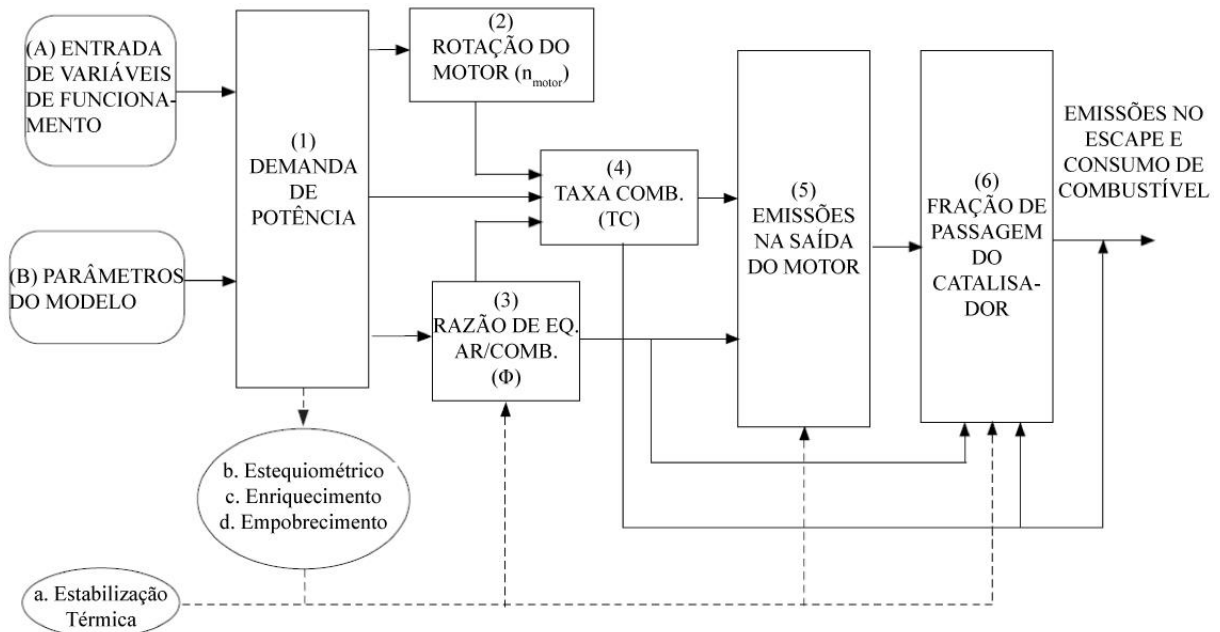


Figura 22 – Esquema Comprehensive Modal Emission Model

Fonte: Barth et al., 2000, p.120

Conforme Barth *et al.* (2000), o módulo de demanda de potência calcula primeiramente a potência trativa requerida para dada condição do veículo, conforme a equação 17, e depois converte em potência demandada do motor, conforme a equação 18.

$$P_{trativa} = A \cdot v + B \cdot v^2 + C \cdot v^3 + m_{veículo} \cdot (a_x \cdot 0,447 + g \cdot \sin(\theta)) \cdot v \cdot \frac{0,447}{1000} \quad (17)$$

Onde A, B e C os fatores de desaceleração na ausência de frenagem, que serão discutidos no item 3.1, pg. 55, v é a velocidade do veículo, neste caso em milhas por hora, $m_{veículo}$ é a massa de teste do veículo com compensação inercial das partes rotativas e reciprocativas, a é aceleração, neste caso em milhas por segundo ao quadrado.

$$P = \frac{P_{trativa}}{\eta_{trans+dif}} + P_{ac} \quad (18)$$

O módulo de rotação do motor primeiramente expressa a rotação do motor em função da velocidade do veículo conforme equação 19, segundo Barth *et al.* (2000). A equação utilizada difere do que foi apresentado por Bosch (2011) e utilizado por Silva *et al.* (2006b).

$$n_{motor}(t) = S \cdot \frac{i_x}{i_{ml}} \cdot v(t) \quad (19)$$

Onde S é a razão rotação do motor/velocidade do veículo para a marcha mais longa, i_x é a relação de marcha sendo $x = 1, \dots, ml$ e ml o número da marcha mais longa. Barth *et al.* (2000) afirma que a relação de marcha é selecionada conforme uma tabela de troca de marchas e que, caso a potência demandada seja maior que a potência máxima do motor para dada rotação, o modelo efetua reduções de marcha até que atinja uma condição possível. Ou seja, a potência demandada menor que a potência máxima.

O módulo de razão de equivalência de ar/combustível calcula correções de potência, taxa de consumo de combustível e emissões de poluentes baseado no tempo de estabilização térmica (a) e nos modos de funcionamento estequiométrico (b), com mistura enriquecida (c) e com mistura empobrecida (d).

Barth *et al.* (2000) calculam a taxa de consumo de combustível em duas condições: quando a potência do motor é maior que zero e igual a zero, em marcha lenta. As equações 20 e 21 representam estas condições respectivamente.

$$TC(t) = \phi(t) \cdot \left(K(t) \cdot n_{motor}(t) \cdot V_d + \frac{P(t)}{\eta_{cc}} \right) \cdot \frac{1}{44} \quad (20)$$

$$TC(t) = K_{ml} \cdot n_{ml} \cdot V_d \quad (21)$$

Onde $TC(t)$ é a taxa de consumo de combustível em gramas/segundo, $\phi(t)$ é a razão de equivalência de ar/combustível, $K(t)$ é o fator de atrito do motor, descrito abaixo, K_{ml} é o fator de atrito do motor em marcha lenta, n_{ml} é a rotação de marcha lenta. 44 kJ/g é o poder calorífico inferior da gasolina padrão, sem adição de álcool.

“K representa a energia de combustível utilizada para superar o atrito do motor por revolução do motor e unidade de descolamento do motor.” (BARTH *et al.*, 2000, p. 131)

Estes valores são obtidos experimentalmente e agregados por tecnologia no modelo.

O módulo de emissões na saída do motor calcula a emissão de cada poluente (CO, HC e NO_x) em condição estabilizada a quente, conforme Barth *et al.* (2000). Para a condição de partida a frio, o modelo estima multiplicadores que modificam o valor obtido a quente. Baseado em valores experimentais, o modelo calcula as emissões no escape corrigindo os valores de emissão na saída do motor com um fator chama fração de passagem do catalisador. Esta fração varia conforma o modo de funcionamento do motor.

Barth *et al.* (2000) validaram o modelo de simulação comparando medições de emissão de poluentes com predições realizadas pelo modelo. Foram comparados os números para CO₂, CO, HC e NO_x nos ciclos FTP, MEC e US06. O valor de emissão de CO₂, assim como seu erro, tem relação direta com o consumo de combustível, ou seja, o erro pode ser considerado o mesmo. A validação utilizou a rampa e interseção da regressão dos valores medidos (eixo X) contra os valores calculados (eixo Y) para medir a exatidão. A precisão é medida usando o coeficiente de determinação ou R².

Foram utilizados 26 veículos que representam as categorias propostas na tabela 2.4 para medição, segundo Barth *et al.* (2000). O cálculo foi feito pelas categorias, que contaram com a calibração baseada na medição de dados de entrada de diversos veículos de cada categoria. A figura 23 mostra os gráficos com a comparação citada acima para o ciclo US06 e a tabela 5 apresenta os valores, referentes à regressão, de coeficiente angular, interseção no eixo Y e R². O coeficiente angular mais próximo de um e a interseção em Y mais próxima de zero, maior a exatidão do modelo. O R² mais próximo de um indica maior precisão.

Tabela 4 – Resumo dos valores de coeficiente angular, interseção em Y e R² para cada poluente em cada ciclo

Ciclo	Emissões	Coef. Ang.	Interseção em Y	R ²
FTP Bag 1	ES CO	1,0170	0,0198	0,993
	ES HC	0,9710	-0,0609	0,995
	ES NO _x	1,1260	-0,1191	0,986
	ES CO ₂	0,9400	-17,0036	0,970
FTP Bag 2	ES CO	0,9000	-0,0586	0,966
	ES HC	1,0190	-0,0770	0,977
	ES NO _x	1,1510	-0,0487	0,995
	ES CO ₂	0,9890	1,9075	0,992
FTP Bag 3	ES CO	0,8450	0,3449	0,955
	ES HC	0,9730	-0,0091	0,963
	ES NO _x	0,8960	0,0327	0,956
	ES CO ₂	0,9350	10,3265	0,986
MEC	ES CO	1,0140	2,1970	0,995
	ES HC	1,0090	0,0254	0,999
	ES NO _x	0,9770	0,0641	0,992
	ES CO ₂	0,9420	8,0200	0,971
US06	ES CO	1,1620	0,1107	0,721
	ES HC	1,0410	-1,1233	0,976
	ES NO _x	0,8260	0,3071	0,897
	ES CO ₂	0,8620	45,7556	0,866

Fonte: BARTH et al., 2000

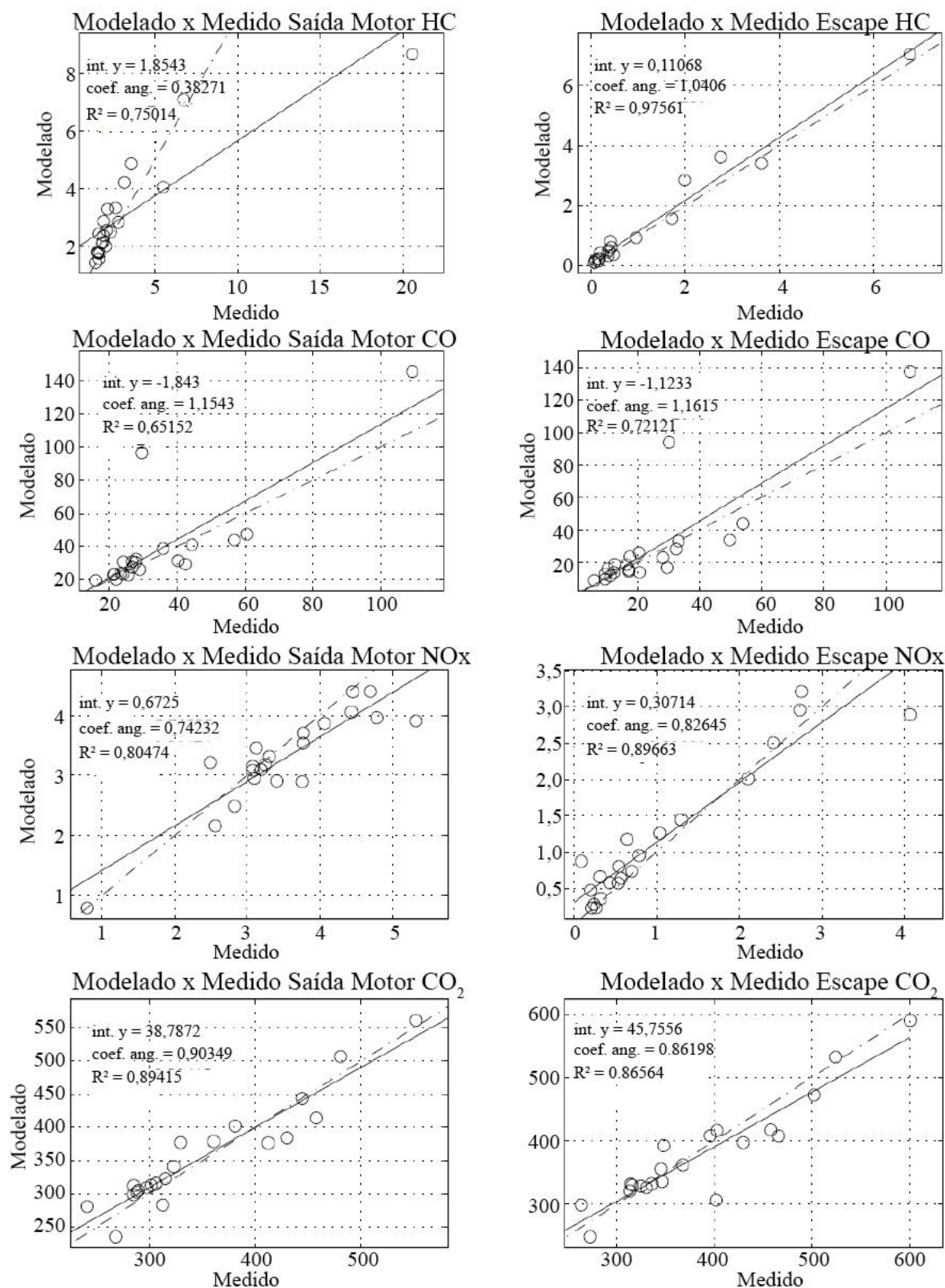


Figura 23 – Gráficos de validação de cada poluente para o ciclo US06

Fonte: Barth et al., 2000, p.215

2.3.3. Modelo de simulação Advanced Vehicle Simulator (ADVISOR)

O modelo Advanced Vehicle Simulator foi concebido para dar suporte ao desenvolvimento de tecnologias para veículos híbridos elétricos, conforme Markel *et al.* (2002). Esta capacidade é a diferença mais relevante dos outros dois modelos apresentados. Ele é capaz de simular todas configurações de veículos híbridos elétricos além de veículos movidos apenas a motores de combustão interna ou à célula de combustível. Markel *et al.* (2002) dizem que, além dos ciclos de condução, também é possível simular testes de performance, que não incluem um perfil de velocidades em função do tempo pré-definido.

Para os motores de combustão interna, o ADVISOR interpola linearmente os dados de consumo de combustível e emissão de poluentes na saída do motor em função da rotação do motor e torque requerido, afirmam Markel *et al.* (2002). A correção de consumo de combustível e emissão de poluentes devido à temperatura do motor pode ser feita via mapa (correção em função de rotação, carga e temperatura) ou via equação (correção em função apenas da temperatura). O cálculo do torque é feito por demanda de potência baseado na velocidade e aceleração do veículo, quando simulando ciclos de condução. Para estimar a emissão de poluentes no escape, Markel *et al.* (2002) aplicam a eficiência de conversão de cada poluente pelo catalisador nos valores de emissões na saída do motor.

2.3.4. Análise comparativa entre EcoGest, CMEM e ADVISOR

Uma análise comparativa dos três modelos apresentados foi feita por Silva *et al.* (2006a). De um universo de 824 medições conduzidas pela North Carolina State University, com quatro motoristas e dez veículos diferentes, Silva *et al.* (2006a) selecionaram 14 medições. Foram selecionadas medições realizadas pelo modelo Ford Taurus 1999 pela disponibilidade de especificações técnicas. Os dados de rotação do motor, temperatura do líquido refrigerante, velocidade do veículo, fluxo de ar, consumo de combustível, razão de ar/combustível, concentração de emissões em ppm e %, fluxo mássico de emissões em g/s de HC, CO, NO_x, CO₂ e O₂ e inclinação de pista foram aquistados segundo a segundo. A tabela 6 mostra um resumo das características de cada uma das 14 medições selecionadas.

Tabela 5 – Características das medições para comparação

	Trajeto	A/C	Distância (km)	v ^a (km/h)	a ^b (m/s ²)	n ^o paradas	Cons. Comb. (L/100 km)	HC (g/km)	CO (g/km)	NOx (g/km)	CO2 (g/km)
1	Chapel hill	Ligado	3,9	17,8	2,2	9	15,2	0,074	0,72	0,023	361
2	Chapel hill	Ligado	3,9	63,3	3,6	1	9,4	0,017	0,23	0,037	225
3	Chapel hill	Ligado	3,9	51,6	3,6	2	11,8	0,035	0,77	0,079	280
4	Chapel hill	Ligado	3,9	35,1	3,6	5	12,6	0,038	0,63	0,073	300
5	Walnut street	Ligado	3,5	33,7	4,5	4	13,5	0,049	0,66	0,071	322
6	Walnut street	Ligado	3,4	31	4	5	13,3	0,0267	0,29	0,041	317
7	Walnut street	Ligado	3,5	29,5	2,7	4	13,7	0,042	0,34	0,044	326
8	Walnut street	Desl.	3,4	30,2	3,6	6	13,5	0,046	0,89	0,071	321
9	Walnut street	Desl.	3,5	45,1	2,7	3	9,7	0,024	0,33	0,031	230
10	Walnut street	Desl.	3,5	37	3,1	4	10,9	0,047	0,68	0,038	259
11	Walnut street	Desl.	3,4	42,5	3,6	3	10,5	0,038	0,39	0,056	250
12	Walnut street	Desl.	3,5	38	3,6	5	10,7	0,039	0,35	0,032	255
13	Walnut street	Desl.	3,5	31,9	3,6	4	12,7	0,044	0,38	0,047	301
14	Chapel hill	Desl.	4	17,1	2,2	9	14,9	0,057	0,58	0,036	356

Notas: a Velocidade Média, b Aceleração Máxima

Fonte: SILVA et al., 2006a

A calibração dos parâmetros chave do modelo foram realizadas utilizando um ciclo com ar condicionado ligado e outro sem, conforme Silva *et al.* (2006^a). Os parâmetros calibrados foram: coeficiente de resistência a rolagem, coeficiente de inércia rotacional, consumo de potência pelos acessórios do motor (incluindo o ar condicionado), eficiência de transmissão e eficiência de conversão de cada poluente pelo catalisador.

Silva *et al.* (2006a) afirma que todos os modelos seguem razoavelmente os dados instantâneos, principalmente para consumo de combustível e emissão de CO₂. O CMEM estima alguns picos não observados nos dados medidos. Os resultados do EcoGest e ADVISOR são bem parecidos. A figura 24 mostra os dados instantâneos medidos comparados aos estimados no ciclo 4 para CO₂ e a figura 25 para HC.

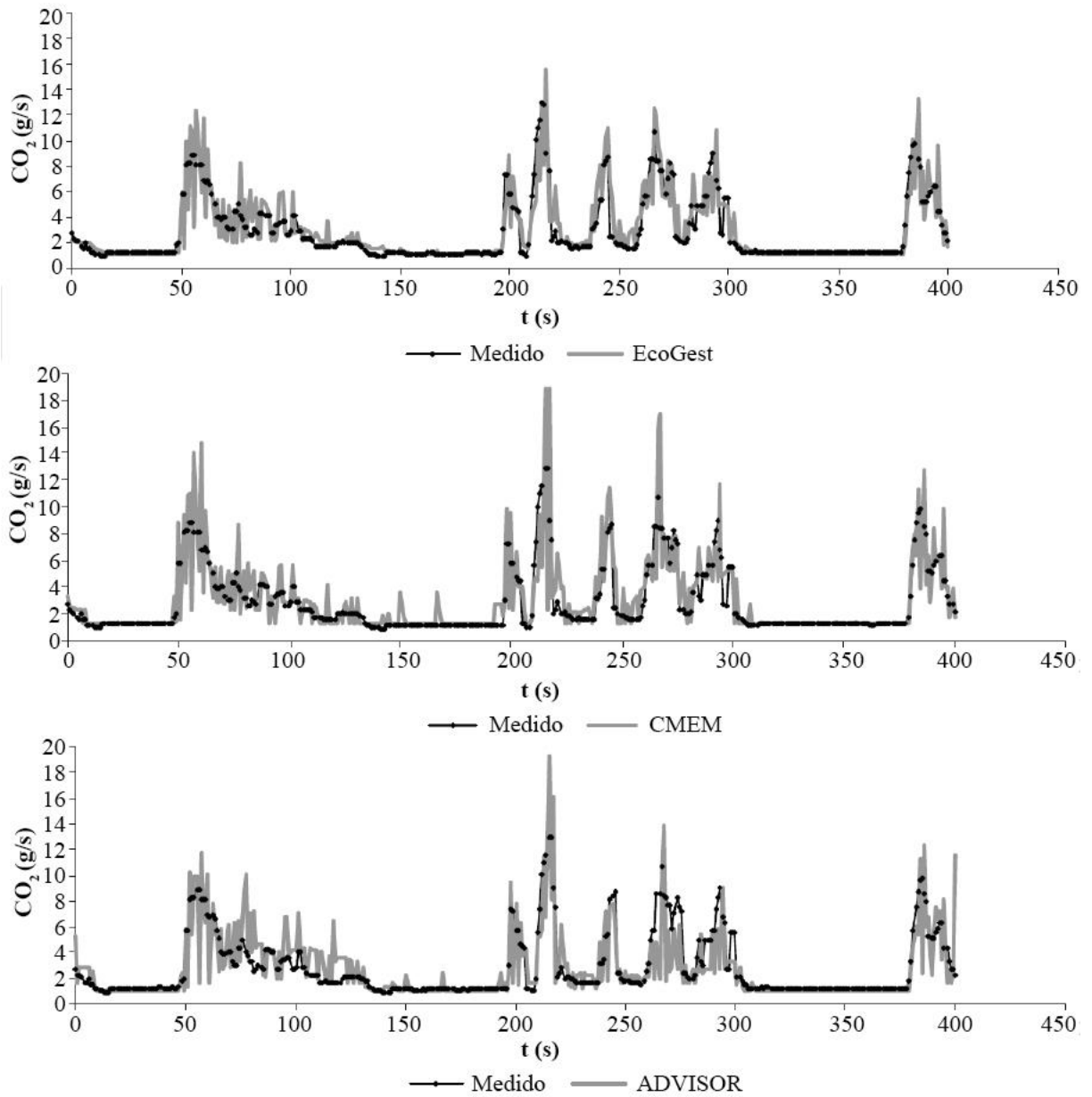


Figura 24 – Simulações e medições de CO₂ para o ciclo 4
 Fonte: Silva et al., 2006a, p.382

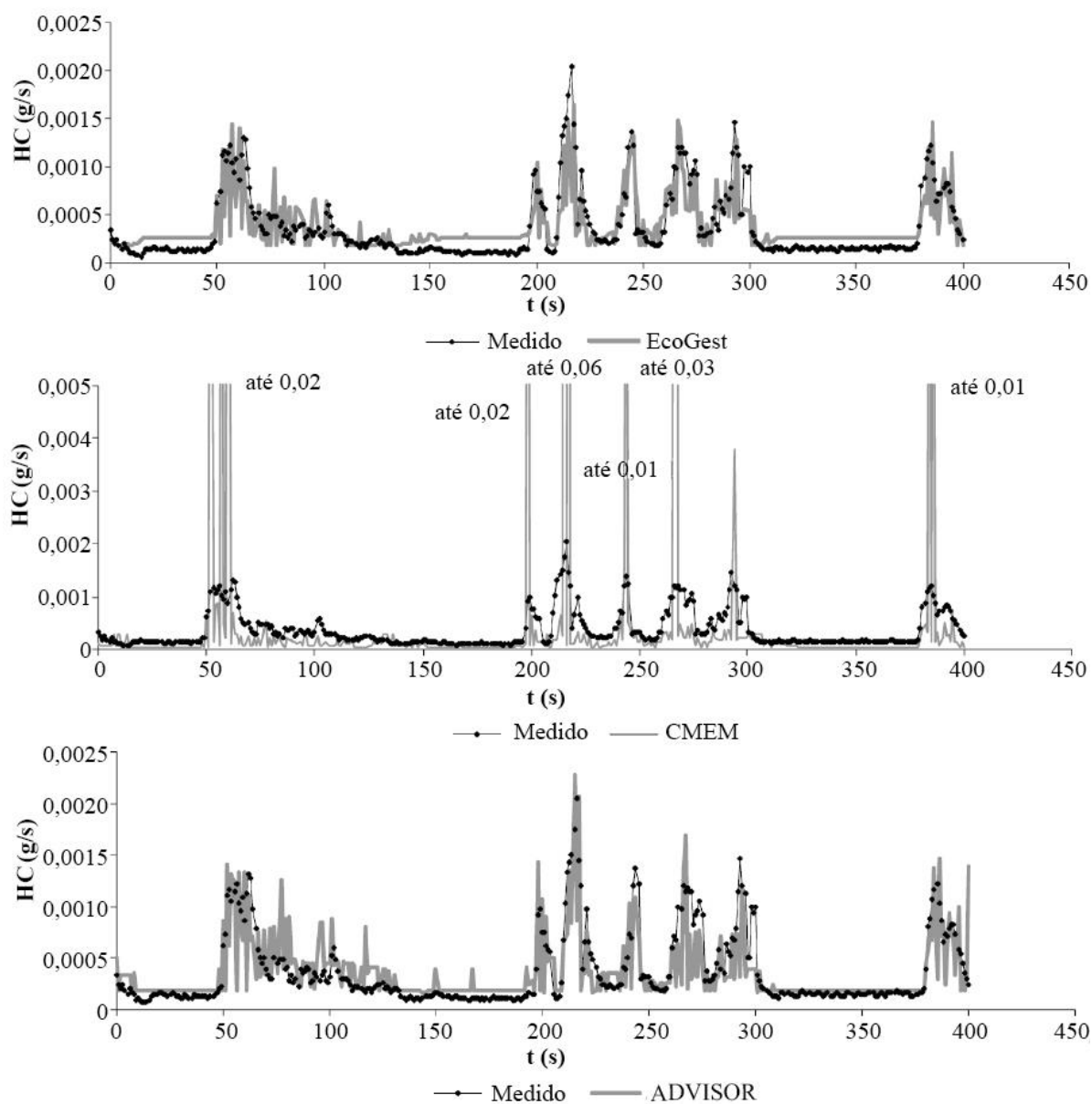


Figura 25 – Simulações e medições de HC para o ciclo 4
 Fonte: Silva et al., 2006a, p.383

A comparação das simulações com as medições é apresentada na forma de regressão linear dos 14 ciclos considerados no estudo. Também foram criados gráficos dos valores simulados em função dos medidos para mostrar cada ciclo individualmente. Silva *et al.* (2006a) dizem que a análise de regressão não pode ser realizada para o CMEM pois o modelo só pode simular a tecnologia de uma geração anterior ao veículo utilizado. Desta forma, só a análise dos dados instantâneos e a comparação de valores médios entre os ciclos são analisados para este modelo.

Tanto o EcoGest quanto o ADVISOR apresentam valores de R^2 pouco abaixo de 0,75 para as regressões lineares de consumo de combustível e CO_2 , relatam Silva *et al.* (2006a). O coeficiente angular fica em torno de 0,85. Para os outros poluentes, R^2 é geralmente menor que 0,4 e o coeficiente angular varia de 0,2 a 1,2. A figura 2 mostra os gráficos dos valores de cada ciclo simulados em função dos valores medidos para cada emissão média de poluente e para o consumo médio de combustível.

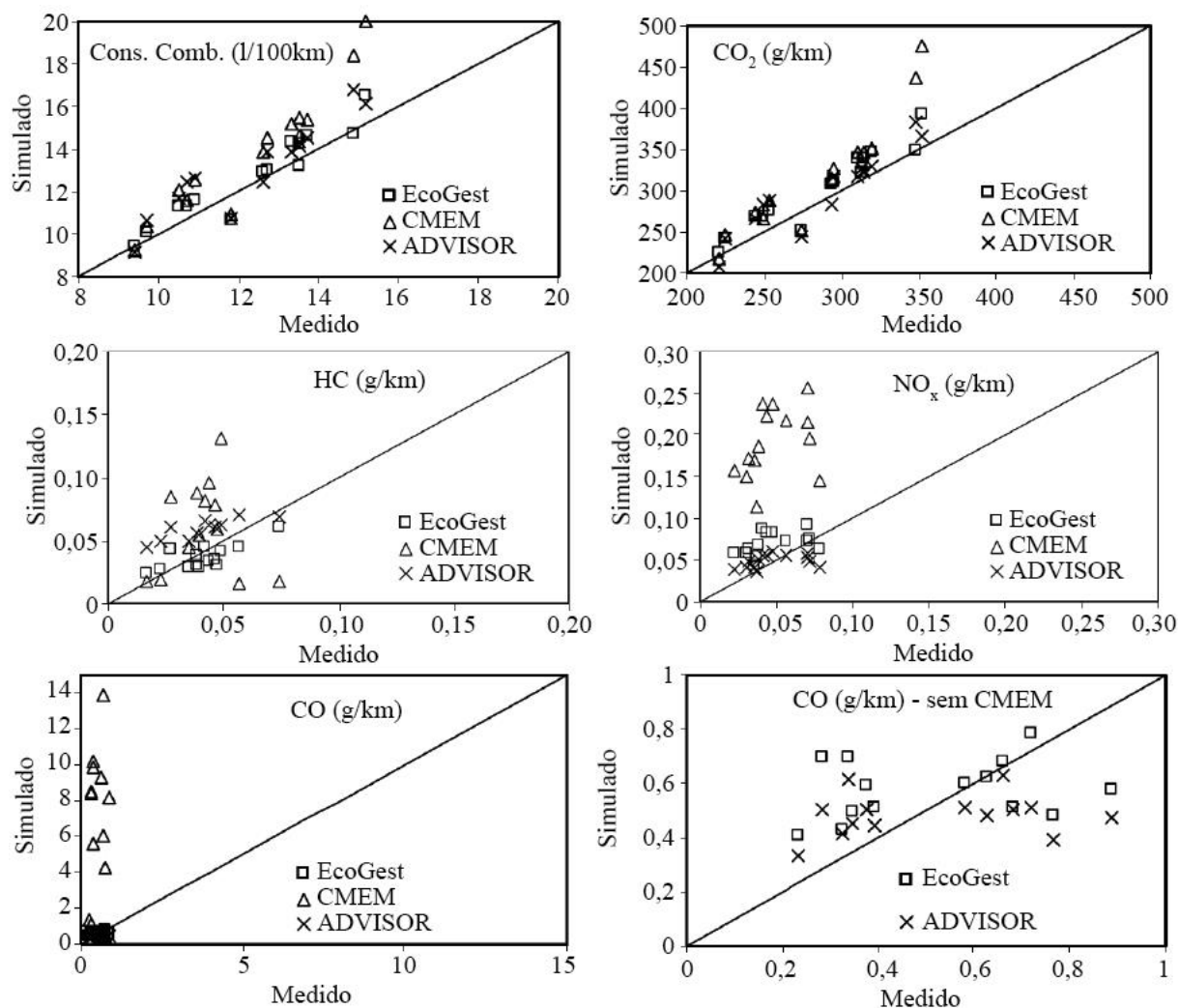


Figura 26 – Simulações e medições da média de cada ciclo para consumo de combustível, CO_2 , HC, NO_x e CO
Fonte: Silva et al., 2006a, p.384

Considerando estes valores médios para cada ciclo, Silva *et al.* (2006a) observaram que as predições para consumo de combustível e emissão de CO_2 diferem em até 10% dos dados experimentais. Já no caso do restante dos poluentes, as predições não são tão boas e podem diferir até 50%.

Silva *et al.* (2006a) concluíram que todos os modelos conseguem calcular o consumo de combustível e a emissão de CO₂ com um alto grau de confiança mas são limitados para o restante dos poluentes.

3 METODOLOGIA

Neste capítulo serão discutidas as relações entre as equações de dinâmica longitudinal veicular e transmissão de força e como são aplicadas na metodologia. Será discutido também o método de extração dos valores do mapa do motor e o cálculo do resultado de consumo de combustível.

3.1 Cálculo do torque e rotação do motor

Para que o torque do motor seja conhecido, primeiramente é necessário calcular a força trativa necessária para dada aceleração ou para manutenção da velocidade. A metodologia considera que o cálculo é feito a partir de um ciclo de direção conhecido, ou seja, para todo instante do ciclo, a velocidade é fornecida. A aceleração média para cada intervalo de tempo, conseqüentemente, também é conhecida. A figura 27 mostra o esquema da força trativa necessária para dada aceleração vista pelo veículo. As perdas aerodinâmicas e por atrito são dependentes da velocidade. Mesmo que a aceleração seja zero, se a velocidade for diferente de zero, é necessária uma força trativa para mantê-la.

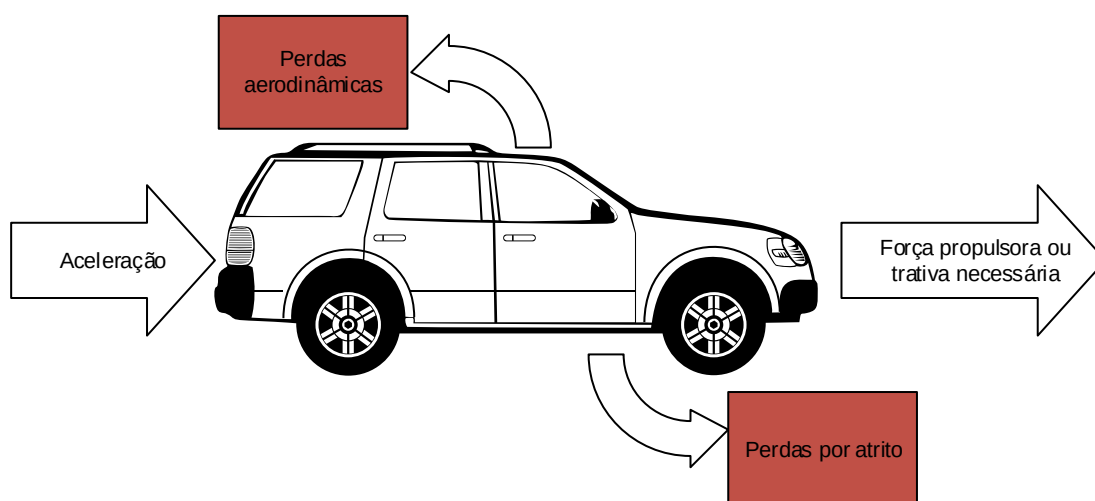


Figura 27 – Esquema da força trativa necessária para velocidade conhecida
Fonte: Autor, 2013

As forças de resistência a rolagem R_x e resistência aerodinâmica D_A da equação 2.1 podem ser agrupadas em uma força resistiva total. A força resistiva de um veículo pode ser descrita por fatores de desaceleração na ausência de frenagem conforme Pasquier, Rousseau and Duoba (2001). Os fatores de desaceleração na ausência de frenagem podem ser obtidos

pelo teste descrito pela norma Road Load Measurement Using Onboard Anemometry and Coastdown Techniques de número J2263 da Sociedade dos Engenheiros Automotivos (SAE, em inglês). Esses fatores são os coeficientes da equação 22, em função da velocidade do veículo, que calcula toda a força resistiva para dada velocidade.

$$F_{res} = A + B \cdot v + C \cdot v^2 \quad (22)$$

O teste é realizado de 115 km/h a 15km/h. O veículo é acelerado a, pelo menos, 10 km/h acima do limite superior. Assim que a velocidade é estabilizada, o pedal do acelerador deve estar totalmente desativado, a transmissão colocada em neutro e a embreagem deve estar acoplada. A medição se inicia e termina assim que o veículo chega a 15 km/h. Este ciclo deve ser realizado 10 vezes, no mínimo, e sempre alternando o sentido de condução para diminuir os efeitos de pista e vento. São medidos a massa efetiva do veículo, e a velocidade em função do tempo, este numa resolução de 0.01 s.

Como o passo de tempo é pequeno, pode-se considerar que a aceleração média do passo é aproximadamente igual à aceleração instantânea. Desta forma, para cada velocidade, sabe-se a aceleração e, através da segunda lei de Newton, também a força resistiva. Com uma regressão dos dados de força em função da velocidade é possível chegar nos fatores de movimento por inércia. Os dados são aproximados a uma função de 2º grau, gerando, desta forma, os coeficientes A, B e C.

Substituindo a equação 22 na equação 1, no lugar da resistência a rolagem R_x e da força aerodinâmica D_A , e igualando a força proveniente do acoplamento de um trailer R_{hx} a zero, resulta na equação 23 que calcula a força trativa necessária com os dados sugeridos por esta metodologia. Conforme a norma Veículos Rodoviários Automotores Leves – Medição do Consumo de Combustível – Método de Ensaio, de número NBR 7024, publicada pela ABNT, o veículo deve estar sem trailer acoplado.

$$F_x = W/g \cdot a_x + A + B \cdot v + C \cdot v^2 \quad (23)$$

W/g é a massa de teste do veículo e pode ser representado apenas por $m_{veículo}$. A evolução temporal da velocidade é conhecida. Desta forma, é possível utilizar a aceleração média para cada passo. Substituindo estes termos na equação 24, alcança-se o formato proposto para cálculo da força trativa necessária.

$$F_x = m_{veículo} \cdot \frac{v_{t+1} - v_t}{\Delta t} + A + B \cdot v + C \cdot v^2 \quad (24)$$

Uma vez com a força trativa necessária calculada, é necessário saber o torque do motor para gerar esta força no pneu e se é menor que o torque máximo disponível. A figura 28 mostra o esquema da geração e transmissão da força propulsora até o pneu.

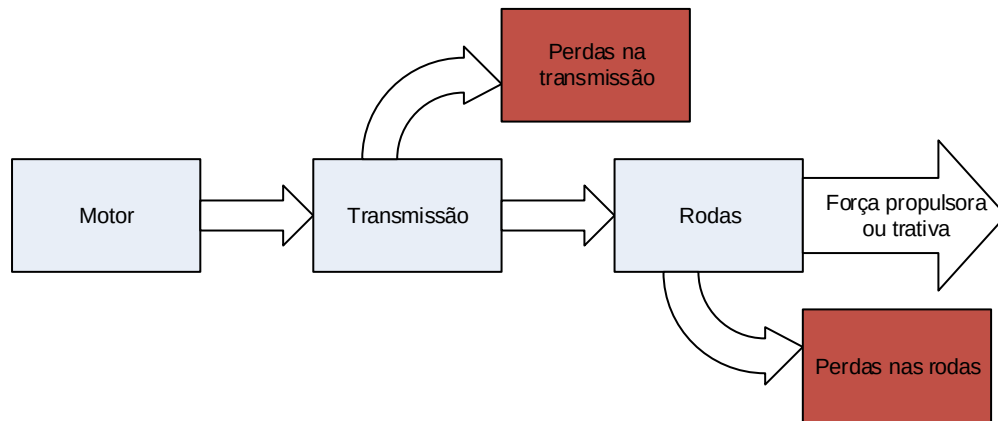


Figura 28 – Esquema da geração e transmissão da força propulsora
Fonte: Autor, 2013

A força trativa disponível, em função do torque do motor, conforme Wallentowitz (2004) e Gillespie (1992), foi demonstrada na equação 3.

De forma geral, conforme recomendado pela SAE, o motor é medido no dinamômetro de motor sem os acessórios (bomba de direção hidráulica, compressor do ar condicionado, etc). Desta forma, se torna necessário descontar esta parcela do torque de saída do motor quando dados medidos em dinamômetro de motor são utilizados, que é o caso deste trabalho. A equação 25 mostra a parcela de torque consumido pelos acessórios na equação 3.

$$F_x = \frac{(T_{motor} - T_{ac}) \cdot i_{marcha} \cdot i_{dif} \cdot \eta_{trans+dif}}{r_{din}} \quad (25)$$

Onde T_{ac} é o torque consumido pelos acessórios.

A eficiência da transmissão pode também ser representada por uma perda de torque na transmissão conforme Wallentowitz (2004), pois é a relação entre os torques na saída e na entrada da transmissão. Esta perda de torque é dependente da rotação, torque do motor, relação de marcha e temperatura de óleo. Wallentowitz (2004) apresenta a equação 25 considerando a perda de torque em substituição à eficiência de transmissão, transcrita neste trabalho na equação 26.

$$F_x = \frac{(T_{motor} - T_{ac} - T_{perda}) \cdot i_{marcha} \cdot i_{dif}}{r_{din}} \quad (26)$$

Substituindo a equação 26 na equação 24 e isolando o torque do motor, atinge-se a equação 27. Todos as outras parcelas da equação são dados de entrada.

$$T_{motor} = \frac{\left(m_{veículo} \cdot \frac{v_{t+1} - v_t}{\Delta t} + A + B \cdot v + C \cdot v^2\right) \cdot r_{din}}{i_{marcha} \cdot i_{dif}} + T_{ac} + T_{perda} \quad (27)$$

Uma vez que a perda na transmissão depende do torque do motor, é necessário um cálculo iterativo, atualizando a perda e o torque do motor a cada passo até que o erro seja menor que o estipulado na implementação da metodologia. Uma forma de realizar este cálculo é comparar a força trativa necessária com a força trativa disponível, atualizada a cada passo. Calcula-se o erro relativo percentual entre a força trativa necessária e disponível. Conforme a precisão dos dados medidos e a calibração do modelo, define-se qual o erro relativo percentual limite. Desta forma, o torque do motor para o passo é definido.

Para a interpolação dos dados no mapa de consumo de combustível, também é necessário calcular a rotação do motor. Considerando o perímetro e o raio dinâmico do conjunto roda-pneu, além das relações de marcha e diferencial, a rotação do motor pode ser obtida diretamente da velocidade do veículo a partir da equação 28, como apresentado por Wallentowitz(2004).

$$n_{motor} = \frac{v \cdot i_{marcha} \cdot i_{dif}}{2 \cdot \pi \cdot r_{din}} \quad (28)$$

Uma vez que a velocidade é conhecida para cada instante, a rotação, consequentemente, também. A relação de marcha i_{marcha} varia durante o ciclo, mas obedece uma tabela de trocas de marcha previamente definida. A tabela 7 mostra um exemplo dos pontos de troca de marcha em função da velocidade. A norma brasileira não especifica velocidades para a troca das marchas, sendo determinadas por cada montadora para seus modelos de veículo. A metodologia proposta também pode ser utilizada para encontrar os valores ótimos para estas trocas.

Tabela 7 – Pontos de troca de marcha (exemplo)

	Velocidade
Trocas	km/h
1 ^a - 2 ^a	18
2 ^a - 3 ^a	24
3 ^a - 4 ^a	45
4 ^a - 5 ^a	70

Fonte: Autor, 2013

3.2 Dados de entrada

A metodologia foi desenvolvida para ciclos de condução conhecidos, possíveis de serem testados em dinamômetro de chassi. Desta forma, apenas a dinâmica longitudinal do veículo é levada em conta e a velocidade do veículo a todo instante é conhecida. São necessárias algumas características do veículo e do trem de força, o ciclo de condução e alguns dados de funcionamento do motor e transmissão. O ciclo de condução deve ser um perfil de velocidades em função do tempo, como apresentado no exemplo da tabela 8.

Tabela 8 – Perfil de velocidades do ciclo rodoviário da norma NBR7024 (exemplo com os primeiros 14 segundos do ciclo de 765 segundos)

Tempo	Velocidade
(s)	(km/h)
0	0
1	0
2	0
3	3,2
4	7,9
5	13
6	18,2
7	23,3
8	27,8
9	31,5
10	35,1
11	38,6
12	41,5
13	43,6
14	45,1

Fonte: Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), Norma NBR7024, 2010.

Nota: Dados adaptados pelo autor.

Os dados que caracterizam o veículo e o trem de força são constantes que podem ser obtidas por medição ou cálculo. Este dados são:

- a) Massa (kg) – A massa de teste do veículo. No caso da norma brasileira, os veículos são separados dentro de classes de inércia, ou seja, todos veículo dentro da classe de inércia são testados com a mesma massa. Para obter a classe de inércia, utiliza-se o peso em ordem de marcha, adiciona-se 136kg e, baseado na tabela disponível na norma, encontra-se a classe de inércia. A tabela 9 apresenta um excerto da tabela como exemplo;
- b) Raio Dinâmico (m) – O raio dinâmico do pneu. É o raio médio estimado do pneu quando o veículo está em movimento;
- c) Fatores de desaceleração na ausência de frenagem – os coeficientes A, B e C da equação de força resistiva;
- d) Carga de Acessórios (N) – O torque médio parasitado pelos acessórios do motor;
- e) Relação de Diferencial – A multiplicação gerada pelo par de engrenagens do diferencial;
- f) Relações das Marchas da Transmissão – A multiplicação gerada por cada marcha da transmissão;
- g) Rotação de Marcha Lenta (rpm) – A rotação do motor mínima estável. A condição de marcha lenta é quando o motor gera torque apenas para permitir seu funcionamento contínuo e manutenção dos acessórios, conforme Bosch(2011);
- h) Pontos de Troca de Marcha (km/h) – São as velocidades de troca de cada marcha para sua subsequente conforme apresentado na tabela 7.

Tabela 9 – Classe de inércia

Massa do veículo para ensaio		Inércia equivalente	
kg	lb	kg	lb
1050 a 1105	2313 a 2 437	1077	2375
1106 a 1162	2438 a 2 562	1134	2500
1163 a 1219	2563 a 2 687	1191	2625
1220 a 1276	2688 a 2 812	1247	2750

Fonte: Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), Norma NBR6601, 2010

Além das constantes, também são necessárias algumas tabelas de dados. As tabelas são utilizadas pela necessidade de busca de dados em função do torque e rotação do motor. Como entrada, tem-se duas tabelas:

- a) Tabela de cargas parciais do motor – onde constam as informações de consumo instantâneo em função da rotação e do torque do motor. Estes dados são obtidos em dinamômetro de motor. Cada ponto é medido, primeiramente, ajustando a rotação e o torque desejados. Assim que a condição se estabiliza, a medição dos outros parâmetros inicia e é aquisitada por um tempo determinado. Ao término do tempo, a média dos valores dos parâmetros medidos constituem a tabela;
- b) Tabela de perdas da transmissão – onde constam as informações das perdas de torque na transmissão em função da rotação e do torque do motor. Medida de forma análoga à tabela de cargas parciais do motor;

As tabelas 3.4 e 3.5 mostram exemplos das tabelas de cargas parciais do motor e de perdas da transmissão, respectivamente. A forma de obtenção dos dados e suas incertezas serão discutidas no capítulo 4.

Tabela 10 – Cargas parciais do motor (exemplo): medição realizada em dinamômetro de motor

Rotação	Torque	Consumo
rpm	Nm	g/s
1600	10,5	0,255
1600	13,74	0,284
1600	20,71	0,354
1600	27,58	0,424
1600	34,49	0,494
1600	41,49	0,567
1600	48,45	0,643
1600	55,21	0,714

Fonte: Autor, 2013

Tabela 11 – Perdas da transmissão (exemplo): medição realizada em dinamômetro de motor

Rotação	Torque do motor	1ª marcha	2ª marcha	3ª marcha	4ª marcha	5ª marcha
rpm	Nm	Nm	Nm	Nm	Nm	Nm
500	0	0,41	0,68	0,99	1,28	1,68
500	5	0,63	0,84	1,18	1,47	1,84
500	10	0,86	1,00	1,37	1,65	2,00
500	15	1,08	1,17	1,55	1,83	2,16
500	20	1,29	1,38	1,72	2,02	2,30

Fonte: Autor, 2013

Na tabela das cargas parciais do motor também deve constar a carga máxima, onde o maior torque disponível para dada rotação acontece.

3.3 Cálculo do ciclo (Algoritmos para simulação)

Esta metodologia propõe uma sequência de cálculo de forma que as condições de aceleração, desaceleração, manutenção da velocidade e marcha lenta sejam consideradas. A sequência foi estruturada de forma a tratar as condições que mais vezes aparecem no ciclo primeiro, a fim de reduzir tempo de processamento computacional. A figura 29 mostra o fluxograma que representa esta sequência de cálculo.

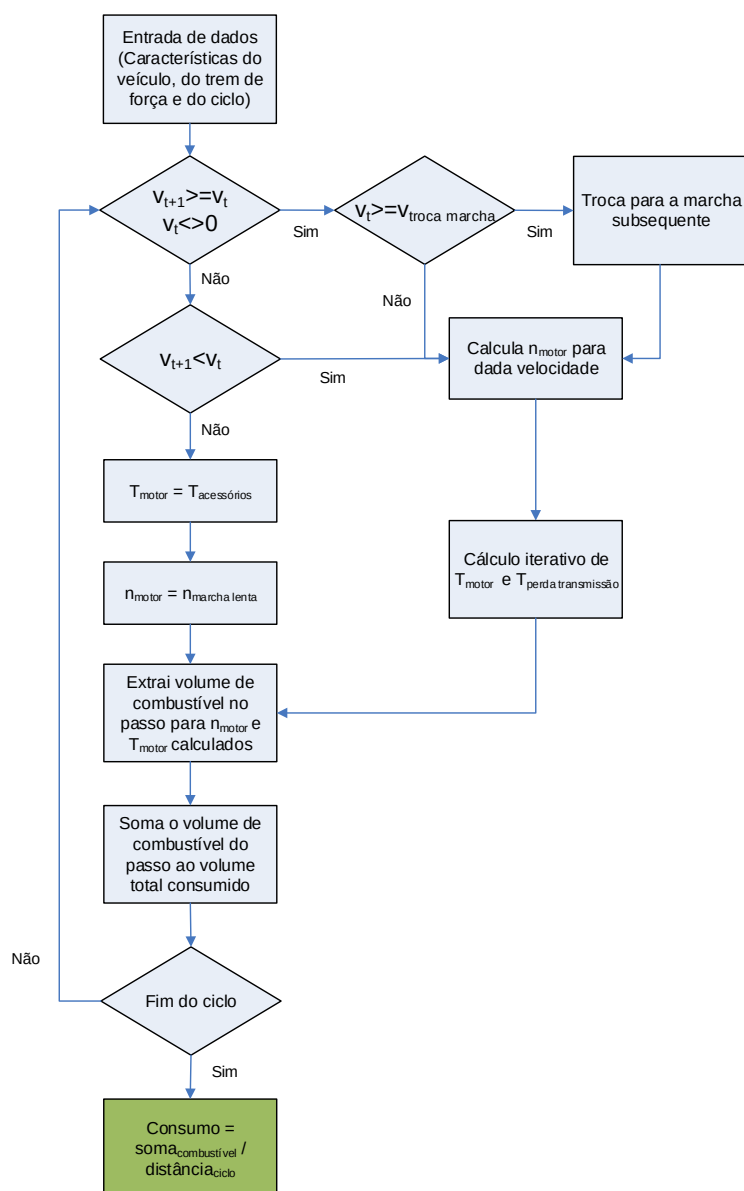


Figura 29 – Fluxograma proposto para a metodologia
Fonte: Autor, 2015

Para cada iteração do ciclo, é verificada qual a condição que o veículo se encontra e calculados a rotação e o torque do motor para obtenção do consumo de combustível para aquele passo de tempo. A primeira condição verificada é se o veículo está em aceleração ou com velocidade constante diferente de zero.

Neste caso, é verificada a necessidade de troca de marcha. Se a velocidade do ciclo for maior que a velocidade de troca da marcha engatada, então a marcha seguinte é selecionada. Este passo deve ser executado antes do restante do cálculo, pois no caso de troca, a rotação e o torque devem ser calculados com a nova relação de marcha.

Já com a marcha correta, a rotação do motor é calculada pela equação 3.7. Então se inicia o cálculo iterativo para obtenção do torque do motor e de perdas da transmissão corretos. Esse passo se faz necessário, pois as perdas da transmissão são em função da rotação e do torque do motor.

A segunda condição verificada é se o veículo está desacelerando e não está em marcha lenta. Com exceção da troca de marchas, o cálculo da rotação e torque do motor é o mesmo. O torque do motor, quando o veículo está sendo desacelerado, gera um resultado negativo. Isto significa que o motor está ajudando a frear o veículo. O veículo precisa dissipar energia cinética para ser desacelerado. Segundo as normas de medição de emissão de poluentes e consumo de combustível, o motor não pode ser desacoplado, acionando o pedal da embreagem, durante a desaceleração a menos que esteja perto de desligar-se. Desta forma, ele se torna parte dos componentes que causam a dissipação desta energia que irá frear o veículo, como os freios, por exemplo. No caso do motor, a energia é dissipada por atrito de seus componentes e o bombeamento de ar, com ou sem combustível. A perda por bombeamento de ar se deve ao movimento de admissão no cilindro, compressão e exaustão.

A rotação do motor nunca deve ser menor que a rotação de marcha lenta, se essa condição for alcançada, a rotação de marcha lenta é utilizada, o motor é considerado em ponto morto, ou seja, desacoplado do sistema de transmissão de força, e é engatada a primeira marcha, aguardando a próxima aceleração.

Se o veículo não estiver em nenhuma das condições acima, estará completamente parado. A rotação do motor é a rotação de marcha lenta e o torque gerado é apenas o torque dos acessórios. Novamente, pode-se calcular a massa de combustível consumida no passo da mesma forma que nas outras condições.

Com torque e a rotação do motor definidos para o passo, é calculado o consumo instantâneo que, multiplicado pelo delta de tempo do passo, resulta na massa de combustível consumida no passo. Uma regressão polinomial em função da rotação e do torque do motor é

sugerida para a interpolação de dados de consumo instantâneo. A massa total consumida no ciclo é computada pela integração no tempo das massas de todos os passos calculados.

Uma vez que a massa total de combustível no ciclo está disponível, é necessário dividi-la pela densidade do combustível utilizado para obter o volume total consumido. Como exemplo, a densidade da gasolina com adição de álcool anidro, utilizada no Brasil para testes e denominada Gasolina Padrão de Ensaio, está entre 0,735 e 0,765 kg/L, conforme a Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (2005).

A distância percorrida no percurso é fornecida nas normas de medição de consumo de combustível e emissões. Caso a informação não esteja disponível, é possível calcular também a distância para cada passo, a partir da velocidade, e, conseqüentemente, obtendo a distância total percorrida. O consumo médio do ciclo, que é a resposta final da metodologia proposta, é calculada dividindo-se a distância percorrida pelo volume de combustível total. O consumo geralmente é apresentado na unidade km/L.

4 RESULTADOS

Neste capítulo são apresentados e discutidos os resultados obtidos com a metodologia proposta, implementada em um modelo de simulação em Matlab. Estes resultados são comparados com medições de testes realizados em dinamômetro de chassi. Os dados de entrada para cada caso são apresentados assim como sua forma de obtenção.

4.1 Modelo de simulação

O modelo de simulação foi criado em Matlab e seu código está disponível no apêndice A. O código em Matlab segue a mesma sequência lógica apresentada através de fluxograma no capítulo anterior, onde a metodologia proposta é discutida. O cálculo iterativo para obtenção do torque do motor e do torque de perdas da transmissão é realizado comparando a força trativa necessária para o passo de cálculo com a força trativa disponível pelo motor. A iteração termina quando o erro relativo percentual é menor que 1%. Desta forma, o resultado apresenta uma precisão satisfatória sem elevar bruscamente o tempo computacional.

A interpolação dos dados contidos em mapas (consumo instantâneo e perdas na transmissão) foi realizada por meio de regressões polinomiais. Ou seja, uma expressão polinomial, em função da rotação e do torque do motor, foi criada para cada mapa. Para tal, a função *fit* do Matlab foi utilizada. Para todas regressões, foram utilizados polinômios de grau 5 na aproximação da rotação e do torque do motor. Estes polinômios foram obtidos com a opção *poly55* do Matlab, utilizando robustez biquadrática. O manual do Matlab traz as seguintes informações sobre este procedimento:

Pesos Biquadráticos — Este método minimiza uma soma balanceada de quadrados, onde o peso dado para cada dado depende de quão longe o ponto está da linha ajustada. Pontos próximos da linha tem peso cheio. Pontos distantes da linha tem peso reduzido. Pontos mais distantes da linha do que o esperado aleatoriamente tem peso zero.
(Mathworks, 2011)

Desta forma, além de aproximar a superfície gerada o máximo possível do comportamento real, ainda é possível diminuir a influência de pontos com possíveis erros de medição e manter a tendência esperada.

4.2 Dados de entrada

Foram analisados dois veículos sendo um movido por um motor 1.0 L e outro por um motor 1.4 L. A tabela 12 mostra as especificações de cada um dos veículos.

Tabela 12 – Especificações dos veículos simulados

	Veículo 1	Veículo 2
Motor	1,0 L	1,4 L
Classe de Inércia (massa de teste)	1191 kg	1191 kg
Raio Dinâmico	0,298 m	0,298 m
A	125,47 N	107,91 N
B	-0,4416 N/(km/h)	0,4576 N/km/h
C	0,0396 N/(km/h) ²	0,0359 N/(km/h) ²
Relação de Diferencial	4,867	4,625
Relações da Transmissão		
1ª Marcha	4,273	3,727
2ª Marcha	2,350	1,960
3ª Marcha	1,480	1,212
4ª Marcha	1,054	0,956
5ª Marcha	0,800	0,756
Rotação de Marcha Lenta	750 rpm	750 rpm
Velocidades de troca		
1ª -> 2ª	18 km/h	14 km/h
2ª -> 3ª	28 km/h	24 km/h
3ª -> 4ª	40 km/h	37 km/h
4ª -> 5ª	50 km/h	55 km/h

Fonte: Autor, 2013

No caso do veículo 1, o fator B é negativo. Por ser obtido a partir de uma regressão aproximando dados medidos para uma função de 2º grau, esta condição é possível. Os erros de medição e da regressão podem gerar uma parábola com estes coeficientes que, para qualquer ponto da curva, continua gerando uma resultante de força trativa que caracteriza representativamente a condição do veículo.

Além destas especificações, são necessários dois mapas de dados. Um com os dados de consumo de combustível instantâneo do motor e o outro com os dados de perdas de torque da transmissão, ambos em função da rotação e torque do motor.

O mapa de consumo do motor é obtido em uma célula de teste de motor. O consumo instantâneo é medido por um medidor de vazão volumétrica e, baseado na densidade do

combustível informada pelo fornecedor, convertido em vazão mássica. Para cada medição do teste, o dinamômetro, geralmente automatizado, estabiliza a rotação e o torque do motor através do controle da borboleta e do freio do dinamômetro. Assim que a condição desejada é alcançada, a vazão de combustível, entre outros dados que não são importantes para a análise desta metodologia, é medida por um período de tempo e, se a variação estiver dentro de um limite pré-estabelecido, a média deste período é reportada. Os dados dos motores 1,0L e 1,4L podem ser encontrados nos apêndices B e C, respectivamente.

Os dados de perda na transmissão são obtidos em uma célula de teste de transmissão que funciona exatamente como uma de motor. A exceção é que, ao invés de um motor de combustão interna gerando o torque, ele é gerado por um motor elétrico controlado diretamente pelo software da célula de teste. O dinamômetro, que mede o torque, funciona da mesma forma. O torque é gerado na entrada da transmissão e medido na saída do diferencial. A perda é a subtração simples entre o torque da entrada e o torque da saída, para dada rotação. As transmissões dos dois veículos são do mesmo modelo, apenas alterando as relações de transmissão. Por este motivo, as diferenças entre uma e outra foram consideradas desprezíveis e apenas um mapa foi utilizado. Este mapa pode ser encontrado no apêndice D.

O dinamômetro que mede o mapa de consumo e o de perdas na transmissão é do mesmo modelo. O dinamômetro é do tipo motor elétrico e a medição de torque é feita por um transdutor de força que tem incerteza de medição aproximada de 2% até 50 Nm e 1% acima de 50 Nm. A medição de combustível, feita pelo medidor de vazão volumétrica, tem incerteza de medição aproximada de 0,1 L/h para fluxos até 5 L/h e 0,7 L/h acima de 5 L/h.

Para esta comparação, o perfil de velocidades utilizado como entrada do modelo de simulação é o disponível na norma NBR 7024 para o ciclo rodoviário. Segundo a norma, durante o teste, a tolerância da velocidade do veículo é de 3,2km/h para mais ou para menos, o que pode causar diferenças entre os resultados experimentais e numéricos. Este perfil de velocidades pode ser encontrado no anexo A.

4.3 Ajuste do torque de acessórios e densidade de combustível

O torque consumido pelos acessórios do motor foi estimado devido a sua indisponibilidade especificamente para os veículos utilizados. O valor teve que ser determinado separadamente para os veículos, pois tinham acessórios diferentes. O torque médio estimado consumido pelos acessórios para o motor 1,0L foi de 5,5 Nm e para o motor 1,4L, 19Nm. O principal diferencial e grande consumidor de torque é a bomba da direção

hidráulica. Os valores utilizados foram baseados em histórico de outros motores de mesmo volume deslocado e nível de acessórios do mesmo fabricante. Conforme este histórico, os motores 1,0L tem valores entre 4 e 8 Nm e os motores 1,4L, entre 15 e 20 Nm.

O valor de densidade utilizado para transformação da massa de combustível em volume, a fim de calcular o consumo em km/L, foi 0,72 kg/L. Este valor foi utilizado na célula de teste de motor para medição do mapa de consumo.

4.4 Comparação dos resultados

O consumo total do ciclo medido para o veículo com motor 1,4L foi de 18,44 km/L enquanto o simulado foi de 19,40 km/L. O erro para o veículo com motor 1,4L foi de 5,20%. Já para o veículo com motor 1,0L, o consumo medido foi de 20,354 km/l e o simulado foi de 20,517 km/l. O erro para o veículo com motor 1,0L foi de 0,83%.

Nas figuras 30 e 31 são apresentadas as comparações da rotação do motor, em função do tempo, para os motores 1,4L e 1,0L, respectivamente.

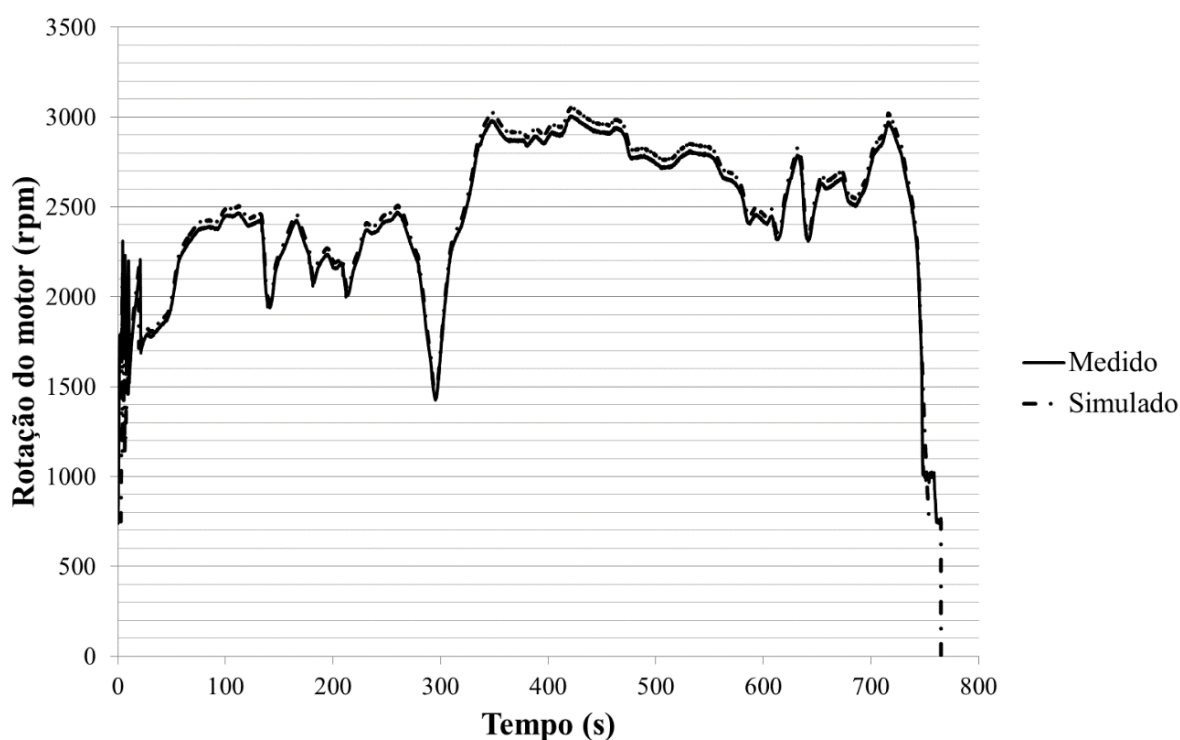


Figura 30 – Comparação da rotação do motor medida e simulada para o veículo 1,4L
Fonte: Autor, 2015

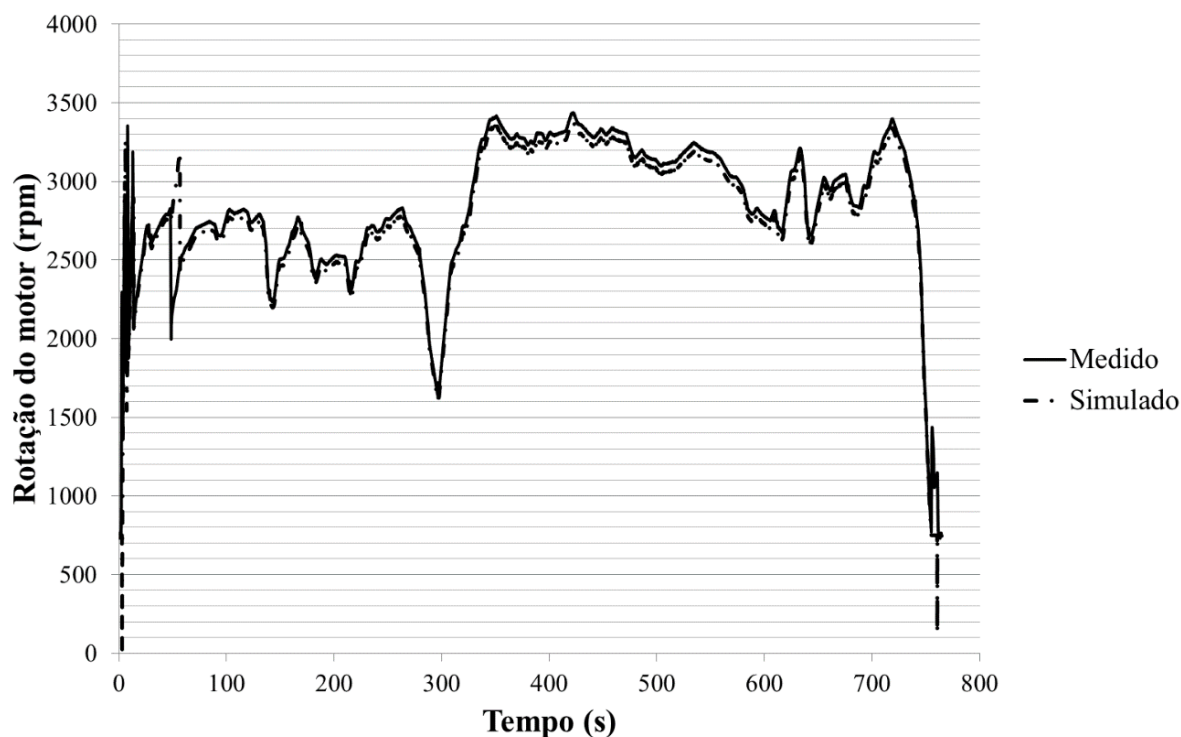


Figura 31 – Comparação da rotação do motor medida e simulada para o veículo 1,0L
Fonte: Autor, 2015

Os resultados mostram que a metodologia apresenta alta confiabilidade, mesmo com dados de entrada reduzidos. Os resultados para a rotação do motor em função do tempo (figuras 30 e 31) mostram que não há dificuldade em prever a evolução temporal deste parâmetro e reflete que a dinâmica do veículo é possível de ser prevista até num estágio preliminar de desenvolvimento. O erro médio entre os valores simulados e medidos é menor que 5% (1,0% para 1,4L e 4,2% para 1,0L). Deve-se ressaltar que pequenos desvios entre o modelo e o resultado experimental eram esperados pois, no teste experimental em dinamômetro, o operador é responsável pelas trocas de marcha e aceleração do veículo. Consequentemente, não são obtidos exatamente os mesmos resultados quando se repete o mesmo teste, evidenciando a influência do operador.

Nas figuras 32 e 33 são apresentadas as comparações da massa de combustível consumida, em função do tempo, para os motores 1,4L e 1,0L, respectivamente.

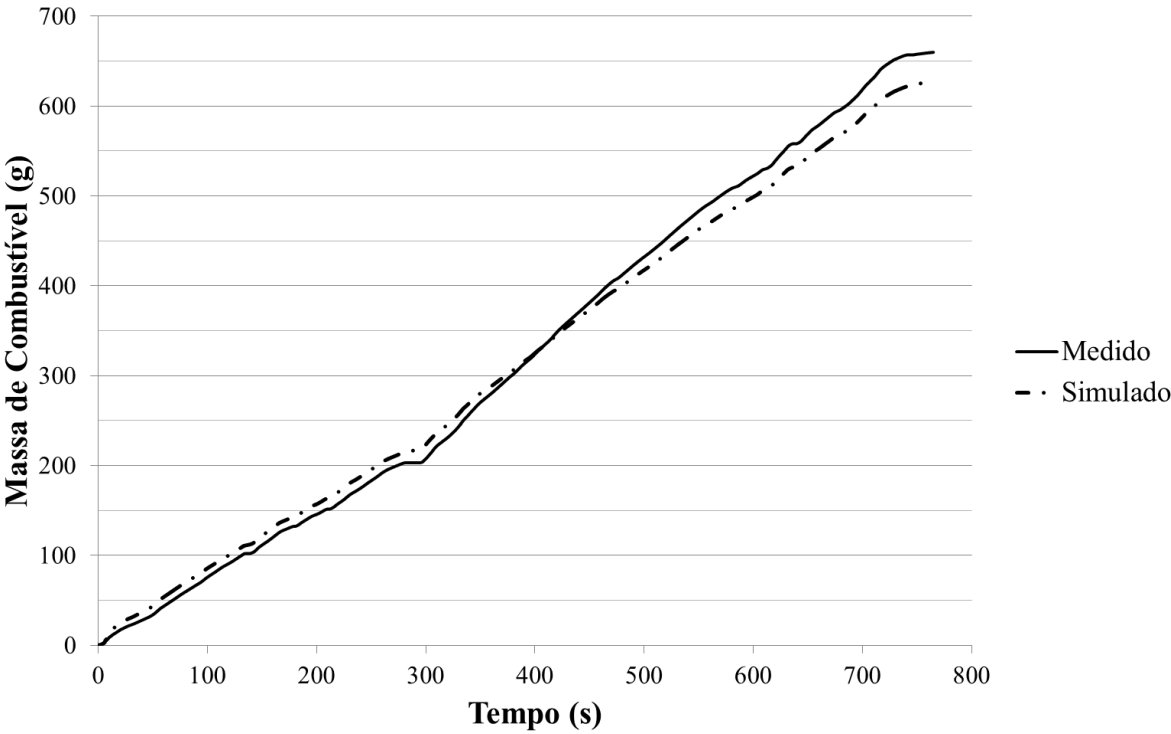


Figura 32 – Comparação da massa de combustível consumida medida e simulada para o veículo 1,4L
Fonte: Autor, 2015

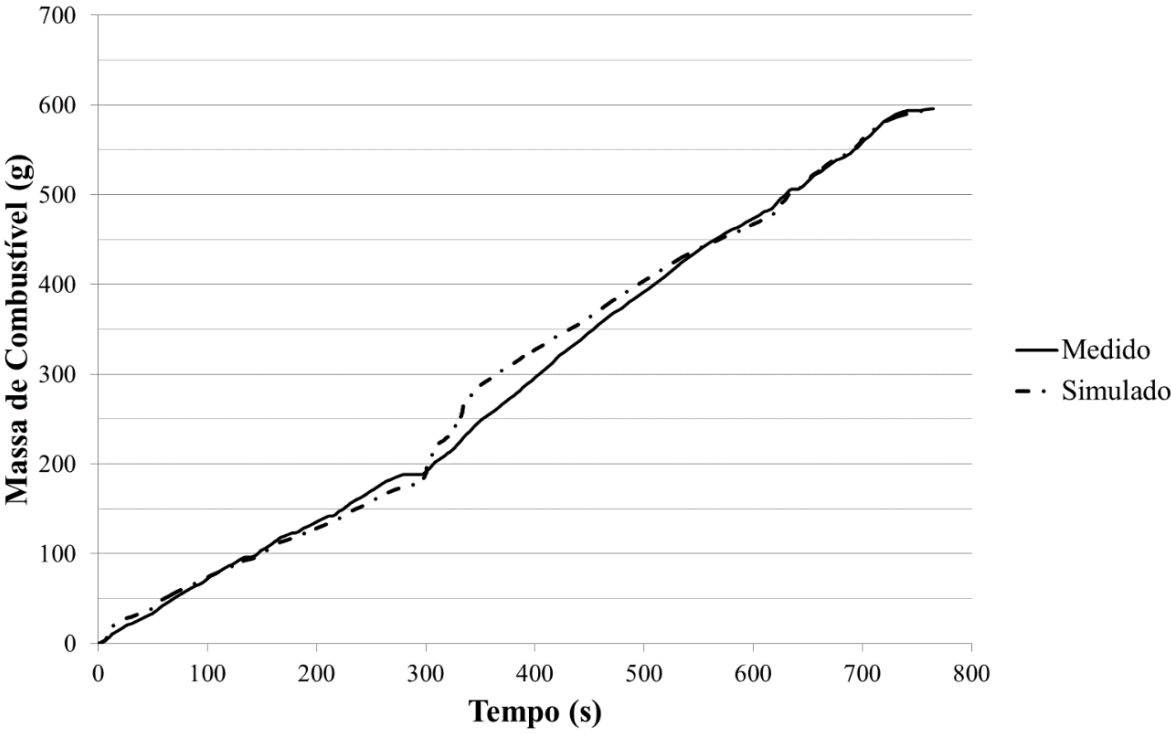


Figura 33 – Comparação da massa de combustível consumida medida e simulada para o veículo 1,0L
Fonte: Autor, 2015

Os resultados de massa de combustível consumida em função do tempo (figuras 32 e 33) podem apresentar diferença significativa quando comparados para um instante em particular. Esta diferença pode ocorrer por influência do operador do teste, diferenças entre o motor utilizado para medição no dinamômetro de motor e o motor instalado no veículo de teste, diferenças entre o veículo utilizado para a medição dos fatores de desaceleração sem frenagem e o veículo que realizou o teste de consumo no dinamômetro de chassi, erros de medição no dinamômetro de motor e erros na criação do polinômio por regressão do mapa de consumo.

As figuras 34 e 35 mostram o tempo gasto e a média de consumo instantâneo em cada faixa de rotação para os motores 1,4L e 1,0L, respectivamente.

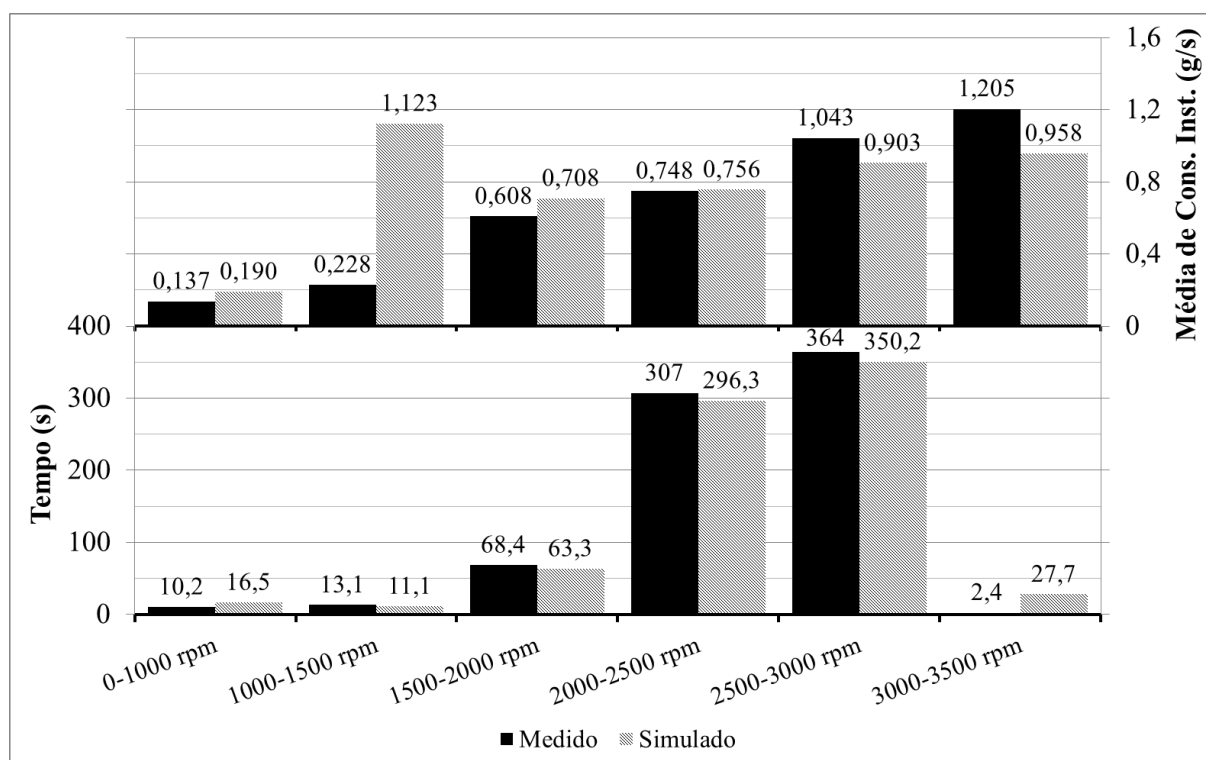


Figura 34 – Tempo e consumo de combustível por faixa de rotação do motor para o veículo 1,4L
Fonte: Autor, 2015

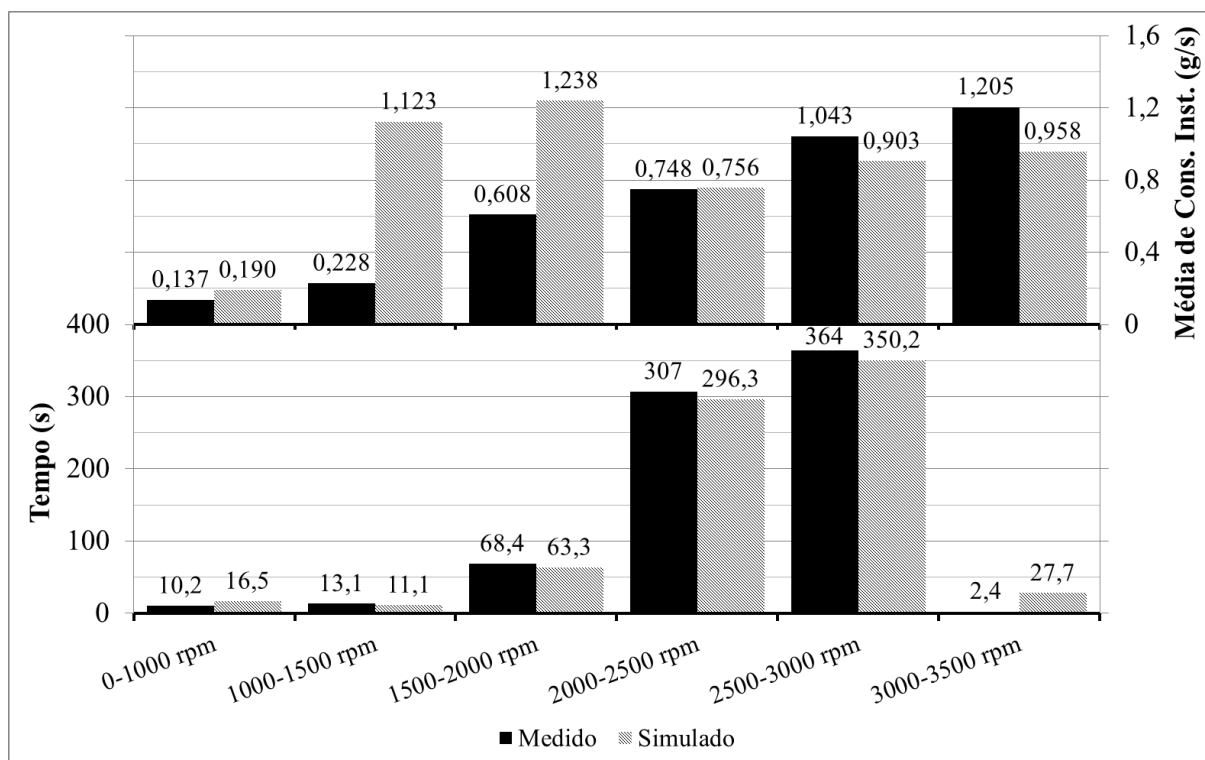


Figura 35 – Tempo e consumo de combustível por faixa de rotação do motor para o veículo 1,0L
Fonte: Autor, 2015

A análise por faixas de rotação (figuras 34 e 35) é útil ao desenvolvimento posterior da calibração do motor, pois mostra as faixas que o motor é mais utilizado para focar os trabalhos mais detalhados quando voltado ao consumo. Uma vez que o modelo consegue prever a evolução temporal da rotação do motor com erro médio menor que 5%, consequentemente o tempo gasto em cada faixa de rotação também tem uma boa concordância. A média de consumo para cada faixa de rotação chega a apresentar uma distorção significativa para rotações onde o regime de funcionamento é, em sua maioria, transiente e o tempo de permanência é pequeno em relação ao tempo do ciclo. Já nas faixas onde é gasto o maior tempo, e o funcionamento é estabilizado ou próximo da estabilidade, os resultados simulados apresentam boa correlação com os medidos. Isso se deve a grande variabilidade quando o motor funciona em fases transientes mais abruptas, como grandes acelerações ou desacelerações e que a medição de cada ponto parcial se dá em condição estabilizada ou próxima da estabilidade.

Assim como os modelos de simulação discutidos no capítulo 2, EcoGest, CMEM e ADVISOR, os resultados analisados instante a instante podem apresentar dispersão significativa mas o resultado para ciclos de diversos segundos é confiável e consistente. Para o uso do modelo durante o estágio inicial de desenvolvimento do produto, condição proposta

para uso da metodologia, os resultados mais significativos são o consumo total e as regiões onde há tendência de maior consumo. O consumo total apresenta um valor muito próximo do teste. As regiões com tendência de maior consumo são dados de entrada para um trabalho mais detalhado em fases posteriores do desenvolvimento.

Algumas ações podem ser tomadas a fim de diminuir a diferença entre medição e simulação. Uma possibilidade seria utilizar o mesmo veículo, incluindo o trem de força, que gerou os dados de entrada na medição em dinamômetro, assim como utilizar o perfil de velocidades em função do tempo e as trocas de marcha realizadas pelo operador do veículo durante a medição. Entretanto também existem medidas que melhorariam o resultado em função da variação na produção de motores, transmissões e veículos. Medir mais de um motor, transmissão ou veículo na geração dos dados de entrada e trabalhar com a média entre as medições traria um valor mais representativo da média de produção, contudo, não necessariamente aproximaria o resultado de um teste aleatório. Adicionalmente, uma medição com mais rotações e cargas parciais do motor geraria um menor erro de interpolação, melhorando também o resultado de fases transientes.

5 CONCLUSÃO

A metodologia desenvolvida neste trabalho tem por objetivo gerar uma estimativa de consumo médio em um estágio preliminar de desenvolvimento de um veículo. Para tal, o modelo numérico utiliza o menor número de dados de entrada possível, já que é esta a situação no momento do início do desenvolvimento de um novo veículo. Através de um modelo de simulação em Matlab, os resultados obtidos com a metodologia proposta foram comparados com medições em um veículo, para o ciclo rodoviário da norma brasileira NBR 7024.

A determinação da rotação do motor em função do tempo realizada pelo modelo gera resultados muito próximos dos medidos e as pequenas diferenças observadas podem ser atribuídas ao operador do teste com o veículo. Mesmo com um modelo de dinâmica veicular simplificado, foi possível prever a rotação instantânea do motor com erros menores do que 5%.

Para os casos simulados comparados com medições, o consumo médio do ciclo também apresentou valores próximos aos das medições, com erros de aproximadamente 5% ou menos (5,20% para o veículo 1,4L e 0,83% para o veículo 1,0L). A comparação dos resultados do modelo com o experimento para a massa de combustível consumida em função do tempo revela diferenças significativas em alguns pontos. Isto pode ser visto na análise por faixa de rotação, prioritariamente nos instantes de funcionamento transiente mais abrupto (grandes acelerações ou desacelerações do motor). Isto se deve à grande variabilidade de funcionamento do motor nestas condições além das medições de cada ponto de carga parcial serem obtidas com o motor estabilizado em dada condição. Nas regiões onde o motor trabalha a maior parte do tempo no ciclo, as diferenças são consideravelmente menores.

Desta forma, a metodologia se mostra capaz de cumprir seu objetivo, apresentando uma análise de consumo de combustível confiável em estágios preliminares de um desenvolvimento, onde poucos dados estão disponíveis. Predizendo estes valores com antecedência e selecionando corretamente o trem de força no início do projeto, há redução do tempo de desenvolvimento e do custo total do projeto, evitando possíveis protótipos e testes. Também se torna possível analisar antecipadamente a influência de certos acessórios do motor sobre o consumo de combustível, assim como ajudar na definição das melhores velocidades de troca de marcha.

Ao menos em parte, as diferenças apresentadas entre os resultados simulados e as medições podem ser atribuídas à influência do operador que realiza o teste com o veículo em

dinamômetro. O teste é realizado de tal forma que são toleradas diferenças de até $\pm 3,2$ km/h entre a velocidade medida e o valor instantâneo determinado pelo perfil da norma. Com isso, dois testes realizados com o mesmo veículo e mesmo operador nem sempre fornecem o mesmo valor de consumo. Outra parcela pode ser atribuída à diferença entre o equipamento testado para fornecer os dados de entrada e o que realizou o teste de consumo. Seja em relação à medição do mapa de consumo do motor, do mapa de perdas na transmissão ou dos fatores de desaceleração sem auxílio de frenagem. Por fim, as incertezas de medição das células de teste de motor e chassi e os erros na geração dos polinômios por regressão dos mapas de consumo e de perdas na transmissão também influenciam as diferenças.

Os resultados obtidos com o modelo atual são satisfatórios, mas oportunidades de melhoria podem ser identificadas. Para conseguir dados mais precisos e diminuir os erros de interpolação nos mapas de motor e perdas na transmissão, mais pontos poderiam ser medidos, sejam mais cargas parciais, mais rotações ou ambos.

De forma a caracterizar melhor a média dos veículos que saíram da linha de produção, também se poderiam usar, como dados de entrada para o modelo, valores médios obtidos com a medição de diversos motores, transmissões e veículos do mesmo modelo. Entretanto, isso não necessariamente aproximaria o resultado do modelo ao de um teste qualquer.

Para tornar a metodologia mais abrangente, seria recomendável implementar a influência térmica no funcionamento do motor. Isto flexibilizaria a metodologia para calcular com precisão ciclos onde há fases que o motor funciona frio. Também seria possível notar diminuição nos erros quando o motor já está na faixa de temperatura de trabalho, pois, mesmo estabilizado, certamente existem diferenças na temperatura em que o motor foi medido na célula de teste de motor e a temperatura do motor no teste de consumo.

Como forma de adicionar dados para a análise prévia de um veículo e seleção mais precisa do trem de força, também poderia ser acrescentado o cálculo da emissão de poluentes. Este cálculo demandaria a medição do fluxo de emissão de cada poluente na saída do motor além da criação de um modelo de catalisador para estimar a emissão no escapamento.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS.

Resolução ANP N° 6. 2005. Disponível em <http://nxt.anp.gov.br/NXT/gateway.dll/leg/resolucoes_anp/2005/fevereiro/ranp%206%20-%202005.xml>. Acesso em: 26 fev. 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6601:** Veículos rodoviários automotores leves – Determinação de hidrocarbonetos, monóxido de carbono, óxidos de nitrogênio e dióxido de carbono no gás de escapamento. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7024:** Veículos rodoviários automotores leves: medição do consumo de combustível. Rio de Janeiro, 2010.

BARTH, Matthew. et al. Development of a Comprehensive Modal Emission Model: final report NCHRP Project 25-11. **Washington DC: Transportation Research Board, National Research Council**, 2000.

BOSCH, Robert. **Manual de tecnologia automotiva.** Tradução por Helga Madjderey, Gunter W. Prokesch, Euryale de Jesus Zerbini, Suely Pfeferman. 25. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2011.

BODEN, Tom A.; MARLAND, Gregg; ANDRES, Robert J. **Global, regional, and national fossil-fuel CO2 emissions.** Oak Ridge: Carbon Dioxide Information Analysis Center, Oak Ridge National Laboratory, US Department of Energy, 2013. Disponível em <http://cdiac.ornl.gov/trends/emis/overview_2010.html>. Acesso em: 26 jan. 2015.

FERGUSON, Colin R.; KIRKPATRICK, Alan T. **Internal combustion engines:** applied thermosciences. 2.ed. Nova Iorque: John Wiley & Sons, 2001.

GILLESPIE, Thomas D. **Fundamentals of vehicle dynamics.** Warrendale: SAE International, 1992.

HEYWOOD, John B. **Internal combustion engine fundamentals.** Nova York: McGraw-Hill, 1988.

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS. **Programas de controle de emissões veiculares.** Disponível em <<http://www.ibama.gov.br/areas-tematicas-qa/programa-proconve>>. Acesso em: 26 jan. 2015.

JIAO, Xiaohong; SHEN, Tielong. SDP Policy Iteration-Based Energy Management Strategy Using Traffic Information for Commuter Hybrid Electric Vehicles. **Energies**, v. 7, n. 7, p. 4648-4675, 2014.

JOSEPH JR, Henry. PROCONVE: As Fases Passadas e Futuras. In: SALÃO INTERNACIONAL DO TRANSPORTE RODOVIÁRIO DE CARGA - FENATRAN, 17., 2009, São Paulo, **Seminário sobre emissões de veículos diesel...** São Paulo: ANFAVEA, 2009. Disponível em: <<http://www.anfavea.com.br/documentos/SeminarioItem1.pdf>>. Acesso em: 30 jan. 2015.

MARKEL, Tony et al. ADVISOR: a systems analysis tool for advanced vehicle modeling. **Journal of power sources**, v. 110, n. 2, p. 255-266, 2002.

MARTYR, Anthony J.; PLINT, Michael A.. **Engine testing**. 3. ed. Warrendale: SAE International, 2007.

MERKER, Günter P.; SCHWARZ, Christian; TEICHMANN, Rüdiger. **Combustion engines development: mixture formation, combustion, emissions and simulation**. Springer Science & Business Media, 2011.

MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO, INDÚSTRIA E COMÉRCIO EXTERIOR. **INOVAR AUTO: 2013 - 2017**. 2012. Disponível em <http://www.mdic.gov.br/arquivos/dwnl_1349358617.ppt>. Acesso em: 28 jan. 2015.

NASSER, S. H.; WEIBERMEL, V.; WIEK, J. **Computer simulation of vehicle's performance and fuel consumption under steady and dynamic driving conditions**. Detroit: SAE Technical Paper 981089, 1998.

NTZIACHRISTOS, Leonidas; SAMARAS, Zissis. **COPERT III Computer programme to calculate emissions from road transport: methodology and emission factors (version 2.1)**. Copenhagen: European Environment Agency, 2000.

PASQUIER, Maxime; DUOBA, Mike; ROUSSEAU, Aymeric. Validating simulation tools for vehicle system studies using advanced control and testing procedure. In: **18th International Electric Vehicle Symposium (EVS18)**. 2001.

PULKRABEK, Willard W. **Engineering fundamentals of the internal combustion engine**. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 1997.

RAKHA, Hesham A. et al. Virginia tech comprehensive power-based fuel consumption model: Model development and testing. **Transportation research part D: transport and environment**. v. 16, n. 7, p. 492-503, 2011.

REI, Daniel F. T.. **Avaliação energética e ambiental de um veículo diesel recente**. 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2007. Disponível em: <<https://sotis.tecnico.ulisboa.pt/sotis-ui/?#record/261993014352>>. Acesso em: 19 fev.

SILVA, C. M. et al. Evaluation of numerical models for simulation of real-world hot-stabilized fuel consumption and emissions of gasoline light-duty vehicles. **Transportation research part D: transport and environment**. v. 11, n. 5, p. 377-385, 2006a.

SILVA, C. M. et al. A tank-to-wheel analysis tool for energy and emissions studies in road vehicles. **Science of the total environment**, v. 367, n. 1, p. 441-447, 2006b.

SILVA, Carla M.; FARIAS, Tiago L.; MENDES-LOPES, José M. EcoGest - Numerical modelling of the dynamic, fuel consumption and tailpipe emissions of vehicles equipped with spark ignition engines. In: International Conference on Urban Transport and The Environment in the 21st Century, 8., 2002, Sevilha, **Urban transport and the environment 2002...** 2002.

STECHEL, Ellen B.; MILLER, James E. Re-energizing CO₂ to fuels with the sun: issues of efficiency, scale, and economics. **Journal of CO₂ utilization**, v. 1, p. 28-36, 2013.

THE MATHWORKS. **Matlab**. R2011a. Natick, MA, 2011. Programa.

WALLENTOWITZ, Henning. **Longitudinal dynamics of vehicles**. 4.ed. Aachen: Institut Für Kraftfahrwesen Aachen, 2004

APÊNDICE A – CÓDIGO DO MODELO DE SIMULAÇÃO EM MATLAB

Módulo principal

Simulação de consumo de combustível

```
if exist('runs')==0
    runs=0;
else
    runs=runs+1;
end

load ciclo10hz
ciclo(:,2)=ciclo(:,2)/3.6;
dt=0.1;

mudar_dados=1;

if mudar_dados==1
    Inputs
end
```

Início do cálculo - Pré-processamento

```
% Regressão do mapa do motor
ft = fitttype( 'poly55' );
opts = fitoptions( ft );
opts.Robust = 'Bisquare';
opts.Normalize = 'on';
funccomb = fit([parciais(:,1), parciais(:,2)], parciais(:,3), ft, opts);

%Regressão das perdas da transmissão
functrans{1,1} = fit([perdatrans(:,1), perdatrans(:,2)], perdatrans(:,3), ft, opts);
functrans{1,2} = fit([perdatrans(:,1), perdatrans(:,2)], perdatrans(:,4), ft, opts);
functrans{1,3} = fit([perdatrans(:,1), perdatrans(:,2)], perdatrans(:,5), ft, opts);
functrans{1,4} = fit([perdatrans(:,1), perdatrans(:,2)], perdatrans(:,6), ft, opts);
functrans{1,5} = fit([perdatrans(:,1), perdatrans(:,2)], perdatrans(:,7), ft, opts);

tfim = size(ciclo,1); %Fim do ciclo
pmorto = 1; %Indicador de ponto morto (começa em ponto morto)
somacomb = 0; %Somatória do volume de combustível
Tperdatrans=0;
reng=rel(1,1); %O ciclo começa sempre pela primeira marcha
marcha=1;
clear volcombt somacomb nmotort Tmotort rengt Tperdatranst pmortot errot
volcombt(:,1)=ciclo(:,1);
somacomb(:,1)=ciclo(:,1);
nmotort(:,1)=ciclo(:,1);
Tmotort(:,1)=ciclo(:,1);
rengt(:,1)=ciclo(:,1);
Tperdatranst(:,1)=ciclo(:,1);
pmortot(:,1)=ciclo(:,1);
errot(:,1)=ciclo(:,1);
```

```
erro=0;
maxT=max(parciais(:,2));
```

Início do Ciclo

```
for t=1:tfim-1
    if and(ciclo(t,2) <= ciclo(t+1,2),ciclo(t+1,2)>0)
        pmorto=0;
        if and(ciclo(t,2) >= troca(1,1), reng == rel(1,1))
            marcha=2;
        elseif and(ciclo(t,2) >= troca(2,1), reng == rel(2,1))
            marcha=3;
        elseif and(ciclo(t,2) >= troca(3,1), reng == rel(3,1))
            marcha=4;
        elseif and(ciclo(t,2) >= troca(4,1), reng == rel(4,1))
            marcha=5;
        end
        reng=rel(marcha,1);
        nmotor=(ciclo(t,2)*reng*rdif/(2*pi*rdin))*60;
        if nmotor<rotm1
            nmotor=rotm1;
        end
        Tperdatrans=0;
        erro=1000;
        while erro > 0.01
            Ftv = massa*((ciclo(t+1,2)-ciclo(t,2))/dt)+F0+F1*ciclo(t,2)+F2*(ciclo(t,2)^2);
            Tmotor = (((Ftv*rdin))/(reng*rdif))+Tac+Tperdatrans;
            if Tmotor > maxT
                Tmotor = maxT;
                break
            end
            fperdatrans = functrans{1,marcha};
            Tperdatrans = fperdatrans(nmotor,Tmotor);
            Ftm = (((Tmotor-Tac-Tperdatrans)*reng*rdif))/rdin;
            erro = (Ftv-Ftm)/Ftv;
            erro = abs(erro);
        end
        volcomb=funccomb(nmotor,Tmotor)*dt;
    elseif and(ciclo(t,2) > ciclo(t+1,2), pmorto==0)
        nmotor=(ciclo(t,2)*reng*rdif/(2*pi*rdin))*60;
        Tperdatrans=0;
        erro=1000;
        while erro > 0.01
            Ftv = massa*((ciclo(t+1,2)-ciclo(t,2))/dt)+F0+F1*ciclo(t,2)+F2*(ciclo(t,2)^2);
            Tmotor = (((Ftv*rdin))/(reng*rdif))+Tac+Tperdatrans;
            if Tmotor < -5
                Tmotor = -5;
                break
            end
            fperdatrans = functrans{1,marcha};
            Tperdatrans = fperdatrans(nmotor,Tmotor);
            Ftm = (((Tmotor-Tac-Tperdatrans)*reng*rdif))/rdin;
            erro = (Ftv-Ftm)/Ftv;
            erro = abs(erro);
        end
    end
    if nmotor<rotm1
```

```

        nmotor=rotml;
        pmorto=1;
        reng=rel(1,1);
    end
    volcomb=funccomb(nmotor,Tmotor)*dt;
    if ciclo(t,2) <= 3
        pmorto=1;
        reng=rel(1,1);
    end
elseif pmorto==1
    Tmotor=Tac;
    nmotor=rotml;
    volcomb=funccomb(nmotor,Tmotor)*dt;
    Tperdatrans=0;
end
somacomb=somacomb+volcomb;
volcombt(t,2)=volcomb;
somacombt(t,2)=somacomb;
nmotort(t,2)=nmotor;
Tmotort(t,2)=Tmotor;
rengt(t,2)=reng;
Tperdatranst(t,2)=Tperdatrans;
pmortot(t,2)=pmorto;
errot(t,2)=erro;
end

```

Pós-Processamento

```

somacomb1=(somacomb/1000)/0.72;
consumo=16.899/somacomb1;

```

Módulo de entrada de dados

```

% Dados de entrada para simulação de consumo de combustível

options.Resize='on';
options.WindowStyle='modal';
options.Interpreter='none';

% Se a variável ainda não existir, iguala a zero
if exist('massa')==0
    massa='0';
end
if exist('rdin')==0
    rdin='0';
end
if exist('F0')==0
    F0='0';
end
if exist('F1')==0
    F1='0';
end
if exist('F2')==0

```

```

    F2='0';
end
if exist('Tac')==0
    Tac='0';
end
if exist('rdif')==0
    rdif='0';
end
if exist('rel')==0
    rel='0';
end
if exist('rotml')==0
    rotml='0';
end

defAns={'0','0','0','0','0','0','0','0','0','0','0','0','0','0'};

if mudar_dados==1
    entradas = inputdlg({'Massa (kg)','Raio Dinâmico (m)','Coast Down F0 (N)...',
        'Coast Down F1(N/km/h)','Coast Down F2(N/km/h²)','Carga de Acessórios (N)','Relação de Diferencial'...
        'Relação de Primeira Marcha','Relação de Segunda Marcha','Relação de Terceira Marcha'...
        'Relação de Quarta Marcha','Relação de Quinta Marcha',...
        'Relação de Sexta Marcha','Rotação de marcha lenta (rpm)'},'Dados de Entrada',1,defAns,options);
    entradas = str2double(entradas);

    % Dados de veículo
    massa=entradas(1,1);    % Massa de teste, extraída da tabela de inércia equivalente da norma
    rdin=entradas(2,1);    % Raio dinâmico do pneu
    F0=entradas(3,1);    % Fator de coast down F0
    F1=entradas(4,1);    % Fator de coast down F1
    F2=entradas(5,1);    % Fator de coast down F2
    Tac=entradas(6,1);    % Carga de acessórios
    rdif=entradas(7,1);    % Relação de diferencial
    rel(1,1)=entradas(8,1);    % Relação de primeira marcha
    rel(2,1)=entradas(9,1);    % Relação de segunda marcha
    rel(3,1)=entradas(10,1);    % Relação de terceira marcha
    rel(4,1)=entradas(11,1);    % Relação de quarta marcha
    rel(5,1)=entradas(12,1);    % Relação de quinta marcha
    rel(6,1)=entradas(13,1);    % Relação de sexta marcha
    rotml=entradas(14,1);    % Rotação de marcha lenta
end

[filename,pathname] = uigetfile('*.txt','Selecione o arquivo de parciais do motor');
parciaisfile = [pathname,filename];
parciais = dlmread(parciaisfile, '\t');

[filename,pathname] = uigetfile('*.txt','Selecione o arquivo de perda de transmissão');
perdatransfile = [pathname,filename];
perdatrans = dlmread(perdatransfile, '\t');
```

```
[filename,pathname] = uigetfile('*.txt','Selecione o arquivo das velocidades de troca de  
marcha');  
trocafile = [pathname,filename];  
troca = dlmread(trocafile,'t');  
troca = troca/3.6;
```

APÊNDICE B – MAPA DE CONSUMO DO MOTOR 1,0L

Rotação	Torque	Vazão de Comb.
(rpm)	(Nm)	(g/s)
750	0,17	0,118
750	0,18	0,117
750	3,607	0,115
750	4,397	0,126
750	5,456	0,129
750	8,927	0,143
750	11,414	0,16
750	18,432	0,188
750	24,381	0,218
750	30,638	0,248
750	35,565	0,285
750	42,149	0,324
750	46,844	0,363
750	53,987	0,392
750	58,85	0,42
750	58,884	0,42
1000	-3,701	0,131
1000	-0,299	0,127
1000	2,495	0,131
1000	4,011	0,14
1000	6,627	0,14
1000	8,873	0,163
1000	13,146	0,193
1000	19,343	0,226
1000	24,78	0,259
1000	31,51	0,308
1000	37,73	0,358
1000	43,455	0,402
1000	49,76	0,446
1000	55,832	0,491
1000	62,45	0,551
1000	62,488	0,552
1200	-3,373	0,132
1200	0,87	0,132
1200	2,61	0,14
1200	3,33	0,145
1200	6,58	0,162
1200	9,97	0,185
1200	13,13	0,207

Rotação	Torque	Vazão de Comb.
(rpm)	(Nm)	(g/s)
1200	19,78	0,26
1200	26,49	0,311
1200	33,01	0,362
1200	39,67	0,416
1200	46	0,468
1200	52,8	0,529
1200	59,25	0,583
1200	65,5	0,697
1200	65,77	0,697
1400	-4,151	0,153
1400	0,93	0,153
1400	2,6	0,167
1400	3,57	0,172
1400	6,77	0,192
1400	10,25	0,22
1400	13,66	0,248
1400	20,56	0,307
1400	27,41	0,37
1400	34,26	0,43
1400	40,73	0,49
1400	47,55	0,557
1400	54,72	0,626
1400	61,31	0,69
1400	68,2	0,883
1400	68,25	0,883
1600	-3,915	0,183
1600	1,04	0,183
1600	2,84	0,194
1600	3,5	0,197
1600	6,85	0,222
1600	10,5	0,255
1600	13,74	0,284
1600	20,71	0,354
1600	27,58	0,424
1600	34,49	0,494
1600	41,49	0,567
1600	48,45	0,643
1600	55,21	0,714
1600	62,05	0,792

Rotação	Torque	Vazão de Comb.
(rpm)	(Nm)	(g/s)
1600	69	0,938
1600	69,05	0,938
1800	-3,404	0,212
1800	1,26	0,212
1800	2,83	0,226
1800	3,68	0,234
1800	7,31	0,267
1800	11,05	0,304
1800	14,7	0,339
1800	22,09	0,418
1800	29,33	0,496
1800	36,65	0,582
1800	44,07	0,671
1800	51,28	0,757
1800	58,61	0,844
1800	65,93	0,934
1800	73,2	1,104
1800	73,29	1,104
2000	-3,809	0,249
2000	1,16	0,24
2000	2,91	0,257
2000	3,62	0,264
2000	7,36	0,3
2000	10,95	0,339
2000	14,65	0,379
2000	22,2	0,466
2000	29,43	0,556
2000	36,88	0,65
2000	44,2	0,74
2000	51,51	0,835
2000	58,87	0,931
2000	66,26	1,033
2000	73,6	1,272
2000	73,65	1,272
2200	-3,878	0,267
2200	1,09	0,268
2200	3,07	0,287
2200	3,74	0,294
2200	7,53	0,338

Rotação	Torque	Vazão de Comb.
(rpm)	(Nm)	(g/s)
2200	11,08	0,379
2200	15,13	0,431
2200	22,47	0,517
2200	29,91	0,618
2200	37,47	0,72
2200	44,95	0,824
2200	52,38	0,926
2200	59,89	1,03
2200	67,39	1,15
2200	74,8	1,407
2200	74,86	1,407
2400	-3,849	0,281
2400	1,31	0,291
2400	3,16	0,311
2400	4,08	0,322
2400	7,9	0,367
2400	12,06	0,416
2400	16	0,468
2400	23,87	0,58
2400	32,02	0,7
2400	39,81	0,814
2400	48,03	0,939
2400	55,93	1,059
2400	63,86	1,178
2400	71,82	1,329
2400	79,76	1,566
2600	-3,541	0,299
2600	1,4	0,311
2600	3,37	0,334
2600	4,11	0,342
2600	8,11	0,397
2600	12,25	0,455
2600	16,43	0,516
2600	24,67	0,645
2600	32,94	0,777
2600	41,1	0,905
2600	49,23	1,037
2600	57,37	1,167
2600	65,6	1,308
2600	73,86	1,477
2600	82,17	1,769
2800	-4,738	0,304

Rotação	Torque	Vazão de Comb.
(rpm)	(Nm)	(g/s)
2800	1,46	0,337
2800	3,2	0,356
2800	4,14	0,369
2800	8,26	0,428
2800	12,3	0,492
2800	16,58	0,562
2800	24,66	0,699
2800	32,85	0,837
2800	41,28	0,979
2800	49,51	1,121
2800	57,93	1,266
2800	66,19	1,414
2800	74,26	1,578
2800	82,59	1,932
3000	-3,597	0,329
3000	1,47	0,361
3000	3,24	0,386
3000	4,08	0,399
3000	8,45	0,465
3000	12,43	0,538
3000	16,64	0,604
3000	24,86	0,754
3000	32,94	0,899
3000	41,31	1,049
3000	49,64	1,203
3000	57,85	1,354
3000	66,2	1,522
3000	74,31	1,688
3000	82,64	2,072
3200	-4,701	0,345
3200	1,54	0,39
3200	3,37	0,424
3200	4,24	0,426
3200	8,22	0,504
3200	12,35	0,576
3200	16,52	0,652
3200	24,74	0,81
3200	33,31	0,97
3200	41,33	1,125
3200	49,5	1,285
3200	57,92	1,453
3200	66,13	1,627

Rotação	Torque	Vazão de Comb.
(rpm)	(Nm)	(g/s)
3200	74,11	1,805
3200	82,55	2,197
3400	-4,475	0,357
3400	1,53	0,408
3400	3,41	0,438
3400	3,92	0,451
3400	8,06	0,528
3400	12	0,6
3400	16,06	0,682
3400	24,17	0,844
3400	32,29	1,009
3400	40,38	1,173
3400	48,12	1,336
3400	56,2	1,502
3400	64,45	1,689
3400	72,53	1,871
3400	80,45	2,32
3600	-3,789	0,372
3600	1,78	0,442
3600	3,1	0,463
3600	4,07	0,481
3600	7,96	0,56
3600	11,99	0,642
3600	16,02	0,729
3600	23,91	0,897
3600	32,25	1,074
3600	40,04	1,246
3600	47,91	1,418
3600	55,97	1,597
3600	64,01	1,79
3600	71,72	1,968
3600	79,9	2,507
3800	-4,501	0,38
3800	1,82	0,471
3800	3,35	0,498
3800	3,98	0,514
3800	7,81	0,59
3800	11,92	0,678
3800	15,79	0,764
3800	23,6	0,938
3800	31,5	1,118
3800	39,6	1,312

Rotação	Torque	Vazão de Comb.
(rpm)	(Nm)	(g/s)
3800	47,56	1,493
3800	55,64	1,682
3800	63,54	1,873
3800	71,35	2,082
3800	79,11	2,716
4000	-4,084	0,398
4000	1,77	0,495
4000	3,52	0,531
4000	4,03	0,547
4000	8,31	0,636
4000	12,23	0,72
4000	16,25	0,816
4000	24,65	1,016
4000	32,8	1,218
4000	41,05	1,417
4000	48,99	1,618
4000	57,44	1,822
4000	65,58	2,033
4000	73,34	2,253
4000	81,73	2,944
4200	-5,076	0,412
4200	1,88	0,529
4200	3,41	0,562
4200	4,35	0,582
4200	8,51	0,678
4200	12,46	0,767
4200	16,7	0,871
4200	25,05	1,081
4200	33,44	1,3
4200	41,63	1,511
4200	50,11	1,738
4200	58,3	1,953
4200	66,72	2,189
4200	75,06	2,438
4200	83,32	3,132
4400	-4,89	0,438
4400	1,92	0,571
4400	3,28	0,599
4400	4,42	0,624
4400	8,61	0,726
4400	12,52	0,822
4400	16,74	0,931

Rotação	Torque	Vazão de Comb.
(rpm)	(Nm)	(g/s)
4400	25,48	1,153
4400	33,45	1,372
4400	42,1	1,605
4400	50,42	1,826
4400	58,67	2,046
4400	67,15	2,282
4400	75,47	2,52
4400	83,94	3,181
4600	-3,49	0,465
4600	2,02	0,606
4600	3,55	0,64
4600	4,36	0,661
4600	8,63	0,774
4600	12,56	0,873
4600	16,71	0,984
4600	25,2	1,218
4600	33,71	1,455
4600	42,34	1,709
4600	50,82	1,933
4600	58,93	2,167
4600	67,56	2,425
4600	75,78	2,685
4600	84,3	3,364
4800	-5,139	0,485
4800	2,18	0,65
4800	3,31	0,679
4800	4,22	0,706
4800	8,31	0,812
4800	12,54	0,926
4800	16,73	1,049
4800	25,01	1,285
4800	33,59	1,533
4800	41,87	1,775
4800	50,23	2,034
4800	58,64	2,289
4800	66,51	2,552
4800	75,09	2,851
4800	83,4	3,814
5000	-3,844	0,5
5000	2,41	0,692
5000	3,23	0,717
5000	4,31	0,74

Rotação	Torque	Vazão de Comb.
(rpm)	(Nm)	(g/s)
5000	8,45	0,851
5000	12,78	0,971
5000	17,15	1,1
5000	25,62	1,37
5000	33,96	1,626
5000	42,65	1,901
5000	51,21	2,182
5000	59,36	2,428
5000	68,29	2,702
5000	76,46	3,053
5000	85,17	3,885
5200	-5,061	0,534
5200	2,39	0,722
5200	3,39	0,75
5200	4,21	0,777
5200	8,7	0,911
5200	12,91	1,04
5200	17,12	1,165
5200	25,66	1,447
5200	34,31	1,721
5200	42,91	1,993
5200	51,46	2,273
5200	60,01	2,556
5200	68,6	2,866
5200	77,18	3,225
5200	85,78	4,033
5400	-4,787	0,549
5400	2,46	0,773
5400	3,26	0,787
5400	4,11	0,817
5400	8,36	0,936
5400	12,5	1,067
5400	16,68	1,195
5400	24,98	1,478
5400	33,39	1,766
5400	41,63	2,044
5400	50,16	2,333
5400	58,29	2,611
5400	66,72	2,945
5400	75,16	3,299
5400	83,49	4,307
5600	-4,923	0,59

Rotação	Torque	Vazão de Comb.
(rpm)	(Nm)	(g/s)
5600	2,43	0,803
5600	3,43	0,829
5600	4,18	0,846
5600	8,46	0,986
5600	12,71	1,125
5600	16,73	1,258
5600	25,18	1,561
5600	33,47	1,845
5600	42,14	2,145
5600	50,36	2,411
5600	58,71	2,746
5600	67,14	3,094
5600	75,66	3,497
5600	83,95	4,449
5800	-3,712	0,618
5800	2,52	0,838
5800	4,25	0,896
5800	8,35	1,031
5800	12,55	1,171
5800	16,64	1,316
5800	25,07	1,624
5800	33,24	1,922
5800	41,62	2,257
5800	50,1	2,565
5800	58,29	2,872
5800	66,1	3,183
5800	66,74	3,208
5800	75,01	3,57
5800	83,33	4,548
6000	-3,948	0,661
6000	2,56	0,891
6000	3,42	0,92
6000	4,04	0,945
6000	8,17	1,087
6000	12,44	1,245
6000	16,69	1,389
6000	24,73	1,689
6000	33,02	2,031
6000	41,35	2,325
6000	49,81	2,678
6000	57,99	3,01
6000	66,39	3,392

Rotação	Torque	Vazão de Comb.
(rpm)	(Nm)	(g/s)
6000	74,49	3,766
6000	82,82	4,668
6200	-3,512	0,693
6200	2,45	0,942
6200	3,3	0,983
6200	4,13	1,012
6200	8,07	1,151
6200	12,25	1,308
6200	16,3	1,45
6200	24,34	1,753
6200	32,55	2,102
6200	40,76	2,422
6200	48,75	2,77
6200	56,75	3,103
6200	65,09	3,499
6200	73,13	3,937
6200	81,2	4,677
6400	-3,536	0,759
6400	0,014	0,872
6400	2,21	1,034
6400	3,24	1,008
6400	4,16	1,058
6400	7,8	1,181
6400	11,97	1,343
6400	15,96	1,49
6400	23,61	1,81
6400	31,46	2,105
6400	39,52	2,459
6400	47,57	2,816
6400	56,45	3,377
6400	63,38	3,719
6400	72,45	4,133
6400	79,27	4,775
6600	-4,613	0,694
6600	-0,242	0,836
6600	2,32	1,024
6600	3,26	1,074
6600	4,12	1,1
6600	7,77	1,22
6600	11,31	1,37
6600	15,33	1,534
6600	23,06	1,832

Rotação	Torque	Vazão de Comb.
(rpm)	(Nm)	(g/s)
6600	30,79	2,204
6600	38,87	2,625
6600	46,57	2,974
6600	54,45	3,389
6600	62,12	3,905
6600	69,53	4,262
6600	77,54	4,878

APÊNDICE C – MAPA DE CONSUMO DO MOTOR 1,4L

Rotação	Torque	Vazão de Comb.
(rpm)	(Nm)	(g/s)
700	-0,924	0,01
700	7,188	0,12
700	11,346	0,14
700	18,503	0,169
700	21,733	0,18
700	29,751	0,215
700	34,848	0,239
700	37,114	0,25
700	44,076	0,282
700	48,906	0,309
700	53,869	0,335
700	64,999	0,414
700	72,847	0,43
700	73	0,491
700	78,228	0,531
700	78,309	0,53
750	-2,681	0,114
750	9,332	0,139
750	15,009	0,163
750	21,268	0,189
750	27,627	0,216
750	33,515	0,244
750	39,193	0,274
750	42,421	0,287
750	45,988	0,311
750	55,935	0,375
750	81,562	0,578
750	81,768	0,579
750	81,8	0,535
750	81,85	0,539
1000	0,548	0,153
1000	10,402	0,189
1000	10,603	0,19
1000	14,636	0,214
1000	21,604	0,259
1000	27,571	0,292
1000	33,167	0,329
1000	38,749	0,364
1000	44,754	0,4

Rotação	Torque	Vazão de Comb.
(rpm)	(Nm)	(g/s)
1000	49,602	0,433
1000	55,176	0,47
1000	65,842	0,571
1000	89,009	0,788
1000	89,156	0,79
1000	89,499	0,783
1000	89,675	0,785
1200	-2,318	0,161
1200	1,18	0,178
1200	6,697	0,195
1200	23,072	0,305
1200	28,289	0,336
1200	29,736	0,349
1200	32,488	0,372
1200	38,196	0,415
1200	43,579	0,453
1200	51,398	0,513
1200	54,98	0,546
1200	63,604	0,615
1200	77,43	0,743
1200	89,468	0,86
1200	93,199	0,928
1250	-0,941	0,172
1250	7,842	0,212
1250	13,328	0,244
1250	21,701	0,306
1250	24,555	0,326
1250	27,34	0,353
1250	32,469	0,392
1250	38,722	0,44
1250	45,55	0,492
1250	49,138	0,521
1250	54,684	0,561
1250	67,32	0,672
1250	76,029	0,751
1250	91,18	0,907
1250	95,065	0,982
1300	-1,277	0,178
1300	5,037	0,2

Rotação	Torque	Vazão de Comb.
(rpm)	(Nm)	(g/s)
1300	12,932	0,252
1300	18,51	0,294
1300	21,869	0,318
1300	27,293	0,363
1300	33,321	0,412
1300	39,425	0,46
1300	45,643	0,51
1300	49,196	0,539
1300	55,532	0,588
1300	65,95	0,677
1300	76,565	0,777
1300	92,128	0,934
1300	95,14	1,033
1500	-9,109	0,22
1500	2,025	0,219
1500	3,392	0,218
1500	4,59	0,235
1500	5,053	0,23
1500	11,862	0,28
1500	17,274	0,328
1500	22,427	0,374
1500	27,548	0,419
1500	32,995	0,467
1500	39,706	0,53
1500	43,376	0,566
1500	48,272	0,61
1500	54,787	0,67
1500	65,084	0,768
1500	77,584	0,897
1500	91,109	1,046
1500	98,797	1,254
1750	3,11	0,257
1750	5,582	0,276
1750	10,882	0,321
1750	17,164	0,383
1750	22,181	0,434
1750	27,288	0,487
1750	32,739	0,545
1750	37,509	0,595

Rotação	Torque	Vazão de Comb.
(rpm)	(Nm)	(g/s)
1750	43,738	0,659
1750	47,678	0,702
1750	54,219	0,77
1750	67,211	0,912
1750	77,242	1,038
1750	87,391	1,164
1750	98,061	1,307
1750	98,62	1,302
1750	102,812	1,488
2000	0,362	0,282
2000	0,602	0,296
2000	7,951	0,34
2000	11,091	0,371
2000	16,578	0,429
2000	23,319	0,506
2000	27,732	0,564
2000	33,008	0,625
2000	38,719	0,692
2000	44,572	0,762
2000	50,135	0,827
2000	54,381	0,877
2000	66,843	1,027
2000	75,379	1,138
2000	90,015	1,336
2000	102,092	1,661
2000	106,827	1,496
2400	-0,453	0,333
2400	5,687	0,395
2400	11,369	0,459
2400	16,563	0,53
2400	22,219	0,609
2400	27,931	0,686
2400	33,154	0,758
2400	38,929	0,839
2400	44,718	0,923
2400	50,22	1,001
2400	55,635	1,078
2400	65,763	1,217
2400	76,788	1,391
2400	87,959	1,562
2400	98,901	1,731
2400	110,208	1,939

Rotação	Torque	Vazão de Comb.
(rpm)	(Nm)	(g/s)
2400	113,659	2,134
2500	-16,903	0,002
2500	0,199	0,36
2500	5,539	0,418
2500	10,083	0,442
2500	16,885	0,548
2500	21,358	0,625
2500	27,636	0,716
2500	33,569	0,802
2500	38,237	0,873
2500	44,225	0,961
2500	50,316	1,049
2500	55,391	1,122
2500	66,589	1,286
2500	82,609	1,569
2500	89,109	1,657
2500	98,017	1,812
2500	112,527	2,232
2500	115,367	2,04
2600	-0,048	0,367
2600	5,715	0,433
2600	10,634	0,496
2600	17,085	0,586
2600	22,412	0,662
2600	26,921	0,733
2600	33,262	0,825
2600	38,588	0,906
2600	44,052	0,991
2600	49,652	1,076
2600	55,573	1,167
2600	66,275	1,327
2600	77,645	1,519
2600	95,031	1,834
2600	99,958	1,901
2600	116,102	2,215
2600	117,944	2,337
2750	0,414	0,387
2750	4,81	0,443
2750	12,296	0,544
2750	17,092	0,618
2750	22,043	0,695
2750	27,455	0,78

Rotação	Torque	Vazão de Comb.
(rpm)	(Nm)	(g/s)
2750	33,404	0,874
2750	38,129	0,95
2750	44,637	1,057
2750	50,324	1,151
2750	55,508	1,238
2750	67,513	1,436
2750	75,327	1,578
2750	89,294	1,83
2750	101,624	2,071
2750	104,495	2,157
2750	111,473	2,302
2750	115,574	2,465
3000	-17,049	0,001
3000	0,1	0,409
3000	5,86	0,484
3000	10,987	0,563
3000	16,238	0,649
3000	21,682	0,74
3000	28,065	0,86
3000	33,733	0,961
3000	38,374	1,046
3000	44,359	1,152
3000	49,297	1,241
3000	55,869	1,354
3000	65,202	1,522
3000	76,608	1,739
3000	88,179	1,983
3000	100,696	2,26
3000	112,198	2,504
3000	116,987	2,747
3250	-0,001	0,442
3250	5,435	0,521
3250	11,171	0,614
3250	16,342	0,708
3250	21,769	0,806
3250	27,197	0,91
3250	33,281	1,028
3250	37,986	1,12
3250	44,696	1,25
3250	50,871	1,371
3250	54,067	1,431
3250	65,676	1,656

Rotação	Torque	Vazão de Comb.
(rpm)	(Nm)	(g/s)
3250	76,553	1,889
3250	88,65	2,174
3250	99,76	2,444
3250	104,844	2,571
3250	106,608	2,62
3250	112,994	2,927
3500	-18,006	0,002
3500	-0,42	0,477
3500	6,914	0,592
3500	10,82	0,665
3500	16,666	0,779
3500	21,709	0,881
3500	27,358	1,002
3500	32,698	1,116
3500	39,326	1,253
3500	44,124	1,352
3500	50,202	1,476
3500	56,227	1,599
3500	66,423	1,815
3500	77,003	2,054
3500	88,058	2,333
3500	101,027	2,673
3500	110,872	3,141
3750	-1,617	0,498
3750	5,445	0,624
3750	10,463	0,718
3750	16,913	0,85
3750	22,711	0,985
3750	28,225	1,117
3750	32,99	1,224
3750	38,643	1,356
3750	44,291	1,484
3750	49,173	1,59
3750	55,662	1,734
3750	66,056	1,973
3750	78,183	2,266
3750	88,942	2,549
3750	99,507	2,823
3750	110,813	3,191
3750	113,174	3,474
4000	-19,654	0,002
4000	-0,901	0,57

Rotação	Torque	Vazão de Comb.
(rpm)	(Nm)	(g/s)
4000	5,171	0,684
4000	11,445	0,812
4000	16,365	0,925
4000	22,014	1,059
4000	27,83	1,208
4000	33,447	1,348
4000	39,557	1,489
4000	44,159	1,602
4000	50,162	1,757
4000	56,082	1,895
4000	66,909	2,182
4000	76,344	2,418
4000	88,867	2,774
4000	97,981	3,024
4000	111,525	3,42
4000	114,222	3,677
4500	0,383	0,694
4500	5,214	0,814
4500	11,204	0,951
4500	16,515	1,084
4500	21,835	1,219
4500	27,089	1,353
4500	33,117	1,519
4500	39,028	1,684
4500	46,05	1,881
4500	50,036	2
4500	55,955	2,183
4500	65,917	2,477
4500	77,9	2,866
4500	89,919	3,275
4500	98,355	3,581
4500	111,805	4,128
4500	115,509	4,343
5000	-0,178	0,768
5000	4,417	0,898
5000	11,144	1,069
5000	16,528	1,225
5000	22,363	1,392
5000	28,265	1,574
5000	33,543	1,731
5000	39,507	1,91
5000	44,841	2,073

Rotação	Torque	Vazão de Comb.
(rpm)	(Nm)	(g/s)
5000	49,671	2,23
5000	55,272	2,406
5000	66,658	2,8
5000	76,915	3,163
5000	89,039	3,636
5000	102,046	4,219
5000	112,92	4,676
5000	116,853	5,106
5500	0,287	0,909
5500	10,567	1,22
5500	21,437	1,566
5500	33,755	1,969
5500	44,252	2,394
5500	55,003	2,761
5500	66,186	3,183
5500	76,811	3,614
5500	89,51	4,268
5500	98,515	4,699
5500	107,677	5,146
5500	109,86	5,512
5500	111,368	5,576
6000	0,198	1,018
6000	11,251	1,371
6000	22,542	1,761
6000	33,253	2,287
6000	44,051	2,729
6000	54,771	3,206
6000	66,891	3,782
6000	77,331	4,294
6000	88,219	4,884
6000	98,204	5,43
6000	104,168	5,876
6200	0,034	1,034
6200	5,934	1,232
6200	11,043	1,404
6200	17,007	1,617
6200	22,513	1,825
6200	28,055	2,093
6200	33,474	2,354
6200	38,535	2,621
6200	44,352	2,901
6200	50,055	3,174

Rotação	Torque	Vazão de Comb.
(rpm)	(Nm)	(g/s)
6200	55,362	3,388
6200	66,395	3,876
6200	76,796	4,437
6200	88,713	4,994
6200	99,948	5,605
6200	102,894	5,908

APÊNDICE D – MAPA DE PERDAS NA TRANSMISSÃO

Rot.	Torque Motor	Perda 1 ^a	Perda 2 ^a	Perda 3 ^a	Perda 4 ^a	Perda 5 ^a
(rpm)	(Nm)	(Nm)	(Nm)	(Nm)	(Nm)	(Nm)
500	0	0,409	0,682	0,987	1,284	1,676
500	5	0,635	0,842	1,178	1,466	1,840
500	10	0,860	1,001	1,368	1,648	2,004
500	15	1,081	1,171	1,552	1,832	2,162
500	20	1,291	1,382	1,717	2,016	2,303
500	25	1,526	1,579	1,918	2,171	2,484
500	30	1,769	1,773	2,117	2,333	2,632
500	35	2,041	1,982	2,293	2,520	2,782
500	40	2,286	2,202	2,508	2,720	2,962
500	50	2,802	2,643	2,862	3,065	3,277
500	60	3,311	3,097	3,256	3,436	3,623
500	80	4,398	4,061	4,123	4,150	4,289
500	100	5,528	5,015	5,023	4,945	4,977
500	150	8,323	7,496	7,329	7,001	6,961
500	170	9,435	8,494	8,314	7,862	7,838
500	190	10,546	9,491	9,299	8,722	8,714
800	0	0,409	0,682	0,987	1,284	1,676
800	5	0,635	0,842	1,178	1,466	1,840
800	10	0,860	1,001	1,368	1,648	2,004
800	15	1,081	1,171	1,552	1,832	2,162
800	20	1,291	1,382	1,717	2,016	2,303
800	25	1,526	1,579	1,918	2,171	2,484
800	30	1,769	1,773	2,117	2,333	2,632
800	35	2,041	1,982	2,293	2,520	2,782
800	40	2,286	2,202	2,508	2,720	2,962
800	50	2,802	2,643	2,862	3,065	3,277
800	60	3,311	3,097	3,256	3,436	3,623
800	80	4,398	4,061	4,123	4,150	4,289
800	100	5,528	5,015	5,023	4,945	4,977
800	150	8,323	7,496	7,329	7,001	6,961
800	170	9,435	8,494	8,314	7,862	7,838
800	190	10,546	9,491	9,299	8,722	8,714
2000	0	0,585	0,926	1,263	1,752	2,243
2000	5	0,768	1,066	1,433	1,873	2,362
2000	10	0,951	1,205	1,603	1,994	2,481
2000	15	1,134	1,350	1,765	2,117	2,586
2000	20	1,322	1,515	1,902	2,250	2,650
2000	25	1,522	1,675	2,053	2,387	2,777
2000	30	1,722	1,839	2,217	2,504	2,885
2000	35	1,951	2,013	2,404	2,679	3,005
2000	40	2,165	2,195	2,584	2,832	3,112
2000	50	2,620	2,562	2,857	3,109	3,356
2000	60	3,080	2,953	3,190	3,411	3,581
2000	80	4,027	3,769	3,949	4,022	4,079
2000	100	5,007	4,617	4,711	4,642	4,588
2000	150	7,513	6,836	6,682	6,418	6,080
2000	170	8,549	7,753	7,548	7,114	6,765
2000	190	9,586	8,670	8,414	7,811	7,450

Rot.	Torque Motor	Perda 1 ^a	Perda 2 ^a	Perda 3 ^a	Perda 4 ^a	Perda 5 ^a
(rpm)	(Nm)	(Nm)	(Nm)	(Nm)	(Nm)	(Nm)
3000	0	0,668	1,028	1,527	2,009	2,479
3000	5	0,863	1,178	1,662	2,120	2,606
3000	10	1,057	1,327	1,798	2,232	2,732
3000	15	1,244	1,473	1,931	2,349	2,843
3000	20	1,406	1,610	2,059	2,483	2,901
3000	25	1,587	1,760	2,206	2,597	3,029
3000	30	1,783	1,929	2,344	2,725	3,143
3000	35	1,973	2,068	2,510	2,850	3,210
3000	40	2,181	2,232	2,657	2,968	3,328
3000	50	2,582	2,596	2,923	3,238	3,529
3000	60	2,999	2,965	3,223	3,524	3,791
3000	80	3,903	3,713	3,880	4,078	4,233
3000	100	4,847	4,481	4,576	4,649	4,691
3000	150	7,308	6,529	6,385	6,252	6,023
3000	170	8,440	7,400	7,147	6,901	6,599
3000	190	9,571	8,271	7,909	7,550	7,176
4000	0	0,918	1,366	1,838	2,231	2,829
4000	5	1,082	1,437	1,898	2,352	2,927
4000	10	1,245	1,508	1,958	2,472	3,026
4000	15	1,398	1,594	2,042	2,579	3,112
4000	20	1,519	1,737	2,202	2,648	3,176
4000	25	1,695	1,858	2,314	2,789	3,334
4000	30	1,859	1,987	2,466	2,837	3,391
4000	35	2,023	2,193	2,596	2,983	3,398
4000	40	2,279	2,352	2,724	3,095	3,505
4000	50	2,619	2,682	2,967	3,393	3,763
4000	60	3,079	3,004	3,278	3,664	3,982
4000	80	3,904	3,719	3,901	4,108	4,426
4000	100	4,693	4,439	4,563	4,767	4,906
4000	150	7,154	6,308	6,280	6,218	6,038
4000	170	8,196	7,195	6,958	6,810	6,557
4000	190	9,238	8,082	7,637	7,402	7,076
7000	0	0,918	1,366	1,838	2,231	2,829
7000	5	1,082	1,437	1,898	2,352	2,927
7000	10	1,245	1,508	1,958	2,472	3,026
7000	15	1,398	1,594	2,042	2,579	3,112
7000	20	1,519	1,737	2,202	2,648	3,176
7000	25	1,695	1,858	2,314	2,789	3,334
7000	30	1,859	1,987	2,466	2,837	3,391
7000	35	2,023	2,193	2,596	2,983	3,398
7000	40	2,279	2,352	2,724	3,095	3,505
7000	50	2,619	2,682	2,967	3,393	3,763
7000	60	3,079	3,004	3,278	3,664	3,982
7000	80	3,904	3,719	3,901	4,108	4,426
7000	100	4,693	4,439	4,563	4,767	4,906
7000	150	7,154	6,308	6,280	6,218	6,038
7000	170	8,196	7,195	6,958	6,810	6,557
7000	190	9,238	8,082	7,637	7,402	7,076

ANEXO A – PERFIL DE VELOCIDADES EM FUNÇÃO DO TEMPO DO CICLO RODOVIÁRIO – NORMA NBR7024

Tempo (s)	Velocidade									
	(km/h)									
	0,0 s	0,1 s	0,2 s	0,3 s	0,4 s	0,5 s	0,6 s	0,7 s	0,8 s	0,9 s
0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2	0,0	0,3	0,6	1,0	1,3	1,6	1,9	2,3	2,6	2,9
3	3,2	3,7	4,2	4,6	5,1	5,6	6,0	6,5	7,0	7,4
4	7,9	8,4	8,9	9,4	9,9	10,5	11,0	11,5	12,0	12,5
5	13,0	13,6	14,1	14,6	15,1	15,6	16,1	16,6	17,2	17,7
6	18,2	18,7	19,2	19,7	20,2	20,8	21,3	21,8	22,3	22,8
7	23,3	23,8	24,2	24,7	25,1	25,6	26,0	26,5	26,9	27,4
8	27,8	28,2	28,6	29,0	29,3	29,7	30,1	30,4	30,8	31,2
9	31,5	31,9	32,3	32,6	33,0	33,3	33,7	34,0	34,4	34,7
10	35,1	35,4	35,8	36,1	36,5	36,9	37,2	37,6	37,9	38,3
11	38,6	38,9	39,2	39,5	39,8	40,1	40,4	40,7	40,9	41,2
12	41,5	41,7	41,9	42,1	42,4	42,6	42,8	43,0	43,2	43,4
13	43,6	43,8	43,9	44,0	44,2	44,3	44,5	44,6	44,8	44,9
14	45,1	45,2	45,4	45,5	45,7	45,9	46,0	46,2	46,3	46,5
15	46,7	46,8	47,0	47,2	47,3	47,5	47,6	47,8	48,0	48,1
16	48,3	48,4	48,5	48,6	48,7	48,8	49,0	49,1	49,2	49,3
17	49,4	49,5	49,7	49,8	49,9	50,1	50,2	50,3	50,4	50,6
18	50,7	50,8	50,9	51,0	51,1	51,3	51,4	51,5	51,6	51,7
19	51,8	51,9	52,0	52,2	52,3	52,4	52,5	52,6	52,7	52,8
20	52,9	53,0	53,1	53,2	53,3	53,4	53,5	53,6	53,7	53,8
21	53,9	54,0	54,1	54,2	54,3	54,4	54,5	54,6	54,7	54,8
22	54,9	55,0	55,0	55,1	55,2	55,3	55,4	55,4	55,5	55,6
23	55,7	55,7	55,8	55,8	55,9	55,9	56,0	56,0	56,1	56,1
24	56,2	56,2	56,2	56,3	56,3	56,3	56,4	56,4	56,4	56,5
25	56,5	56,6	56,7	56,8	56,9	57,0	57,1	57,2	57,3	57,4
26	57,5	57,5	57,5	57,6	57,6	57,6	57,6	57,7	57,7	57,7
27	57,8	57,8	57,7	57,7	57,7	57,7	57,7	57,7	57,6	57,6
28	57,6	57,5	57,5	57,4	57,3	57,2	57,1	57,1	57,0	56,9
29	56,8	56,7	56,7	56,6	56,6	56,5	56,4	56,4	56,3	56,2
30	56,2	56,1	56,0	56,0	55,9	55,8	55,8	55,7	55,7	55,6
31	55,5	55,5	55,6	55,6	55,6	55,6	55,6	55,6	55,7	55,7
32	55,7	55,7	55,7	55,8	55,8	55,8	55,9	55,9	55,9	56,0
33	56,0	56,1	56,1	56,2	56,2	56,2	56,3	56,3	56,4	56,4
34	56,5	56,6	56,7	56,8	56,9	57,0	57,1	57,2	57,3	57,4
35	57,5	57,5	57,6	57,6	57,7	57,8	57,8	57,9	58,0	58,0
36	58,1	58,1	58,1	58,1	58,2	58,2	58,2	58,2	58,2	58,2
37	58,3	58,3	58,4	58,4	58,5	58,5	58,5	58,6	58,6	58,7

38	58,7	58,8	58,8	58,8	58,9	58,9	58,9	59,0	59,0	59,0
39	59,1	59,1	59,1	59,2	59,2	59,2	59,3	59,3	59,3	59,4
40	59,4	59,4	59,4	59,4	59,4	59,5	59,5	59,5	59,5	59,5
41	59,5	59,5	59,5	59,5	59,5	59,5	59,5	59,5	59,5	59,5
42	59,5	59,5	59,5	59,5	59,5	59,5	59,5	59,5	59,5	59,5
43	59,5	59,5	59,5	59,5	59,5	59,5	59,5	59,5	59,5	59,5
44	59,5	59,5	59,5	59,5	59,5	59,5	59,5	59,5	59,5	59,5
45	59,5	59,5	59,5	59,5	59,5	59,5	59,5	59,5	59,5	59,5
46	59,5	59,6	59,6	59,6	59,6	59,6	59,6	59,7	59,7	59,7
47	59,7	59,7	59,8	59,8	59,8	59,9	59,9	59,9	60,0	60,0
48	60,0	60,1	60,2	60,3	60,4	60,4	60,5	60,6	60,7	60,8
49	60,8	61,0	61,1	61,2	61,3	61,5	61,6	61,7	61,9	62,0
50	62,1	62,2	62,3	62,5	62,6	62,7	62,8	62,9	63,0	63,1
51	63,2	63,4	63,5	63,6	63,7	63,8	63,9	64,0	64,1	64,3
52	64,4	64,5	64,6	64,7	64,8	64,9	65,0	65,2	65,3	65,4
53	65,5	65,6	65,7	65,8	66,0	66,1	66,2	66,3	66,4	66,5
54	66,6	66,8	66,9	67,0	67,1	67,3	67,4	67,5	67,7	67,8
55	67,9	68,0	68,1	68,3	68,4	68,5	68,6	68,7	68,8	68,9
56	69,0	69,1	69,2	69,3	69,4	69,5	69,6	69,7	69,8	69,9
57	70,0	70,1	70,2	70,2	70,3	70,4	70,5	70,6	70,7	70,7
58	70,8	70,9	70,9	71,0	71,0	71,1	71,1	71,1	71,2	71,2
59	71,3	71,3	71,4	71,4	71,4	71,5	71,5	71,5	71,6	71,6
60	71,6	71,7	71,7	71,8	71,8	71,9	71,9	72,0	72,0	72,1
61	72,1	72,1	72,1	72,1	72,2	72,2	72,2	72,2	72,2	72,2
62	72,3	72,3	72,3	72,3	72,3	72,3	72,4	72,4	72,4	72,4
63	72,4	72,4	72,5	72,5	72,5	72,5	72,5	72,5	72,5	72,6
64	72,6	72,6	72,7	72,7	72,8	72,8	72,9	72,9	73,0	73,0
65	73,1	73,1	73,2	73,2	73,3	73,3	73,4	73,4	73,5	73,5
66	73,5	73,6	73,6	73,7	73,7	73,8	73,8	73,9	73,9	74,0
67	74,0	74,1	74,1	74,2	74,2	74,3	74,3	74,4	74,4	74,5
68	74,5	74,5	74,6	74,6	74,6	74,7	74,7	74,7	74,8	74,8
69	74,8	74,9	74,9	75,0	75,0	75,1	75,1	75,2	75,2	75,3
70	75,3	75,3	75,3	75,4	75,4	75,4	75,4	75,4	75,4	75,5
71	75,5	75,5	75,5	75,5	75,5	75,6	75,6	75,6	75,6	75,6
72	75,6	75,7	75,7	75,7	75,7	75,7	75,7	75,8	75,8	75,8
73	75,8	75,8	75,8	75,8	75,9	75,9	75,9	75,9	75,9	75,9
74	76,0	76,0	76,0	76,0	76,0	76,0	76,1	76,1	76,1	76,1
75	76,1	76,1	76,1	76,1	76,1	76,0	76,0	76,0	76,0	76,0
76	76,0	75,9	75,9	75,9	75,9	75,9	75,9	75,8	75,8	75,8
77	75,8	75,8	75,8	75,8	75,7	75,7	75,7	75,7	75,7	75,7
78	75,6	75,6	75,6	75,6	75,6	75,6	75,5	75,5	75,5	75,5
79	75,5	75,5	75,5	75,5	75,5	75,5	75,5	75,5	75,5	75,5
80	75,5	75,5	75,5	75,5	75,5	75,5	75,5	75,5	75,5	75,5
81	75,5	75,5	75,5	75,5	75,5	75,6	75,6	75,6	75,6	75,6
82	75,6	75,7	75,7	75,7	75,7	75,7	75,7	75,8	75,8	75,8

83	75,8	75,8	75,8	75,8	75,8	75,8	75,8	75,8	75,8	75,8
84	75,8	75,8	75,8	75,8	75,9	75,9	75,9	75,9	75,9	75,9
85	76,0	75,9	75,9	75,9	75,9	75,9	75,9	75,8	75,8	75,8
86	75,8	75,8	75,8	75,8	75,7	75,7	75,7	75,7	75,7	75,7
87	75,6	75,6	75,6	75,6	75,6	75,6	75,5	75,5	75,5	75,5
88	75,5	75,4	75,3	75,3	75,2	75,2	75,1	75,0	75,0	74,9
89	74,8	74,8	74,8	74,7	74,7	74,7	74,6	74,6	74,6	74,5
90	74,5	74,5	74,5	74,5	74,4	74,4	74,4	74,4	74,4	74,4
91	74,4	74,4	74,4	74,4	74,4	74,4	74,4	74,5	74,5	74,5
92	74,5	74,5	74,6	74,6	74,6	74,7	74,7	74,7	74,8	74,8
93	74,8	74,9	75,0	75,0	75,1	75,2	75,2	75,3	75,3	75,4
94	75,5	75,5	75,5	75,6	75,6	75,6	75,7	75,7	75,7	75,8
95	75,8	75,8	75,9	75,9	76,0	76,0	76,1	76,1	76,2	76,2
96	76,3	76,3	76,4	76,4	76,5	76,5	76,6	76,6	76,7	76,7
97	76,8	76,8	76,9	76,9	77,0	77,0	77,1	77,1	77,2	77,2
98	77,2	77,3	77,3	77,3	77,4	77,4	77,4	77,5	77,5	77,5
99	77,6	77,6	77,7	77,7	77,8	77,8	77,9	77,9	78,0	78,0
100	78,1	78,1	78,1	78,2	78,2	78,3	78,3	78,4	78,4	78,5
101	78,5	78,6	78,6	78,7	78,7	78,8	78,8	78,9	78,9	79,0
102	79,0	79,0	79,1	79,1	79,1	79,1	79,1	79,1	79,1	79,2
103	79,2	79,2	79,1	79,1	79,1	79,1	79,1	79,1	79,1	79,0
104	79,0	79,0	79,0	79,0	79,0	79,0	79,0	79,0	79,0	79,0
105	79,0	79,0	79,0	79,0	79,0	78,9	78,9	78,9	78,9	78,9
106	78,9	78,9	78,9	78,9	78,9	78,9	78,9	78,9	78,9	78,9
107	78,9	78,9	78,9	78,9	78,9	78,9	79,0	79,0	79,0	79,0
108	79,0	79,0	79,1	79,1	79,1	79,1	79,1	79,1	79,1	79,2
109	79,2	79,2	79,2	79,2	79,2	79,3	79,3	79,3	79,3	79,3
110	79,3	79,4	79,4	79,4	79,4	79,4	79,4	79,5	79,5	79,5
111	79,5	79,5	79,5	79,5	79,6	79,6	79,6	79,6	79,6	79,6
112	79,7	79,7	79,7	79,7	79,7	79,7	79,7	79,7	79,7	79,7
113	79,7	79,7	79,7	79,7	79,7	79,7	79,7	79,7	79,7	79,7
114	79,7	79,6	79,6	79,6	79,6	79,6	79,6	79,5	79,5	79,5
115	79,5	79,5	79,4	79,4	79,3	79,3	79,2	79,2	79,1	79,1
116	79,0	79,0	79,0	78,9	78,9	78,9	78,8	78,8	78,8	78,7
117	78,7	78,6	78,6	78,6	78,5	78,5	78,4	78,4	78,3	78,3
118	78,2	78,2	78,1	78,1	78,1	78,1	78,0	78,0	78,0	77,9
119	77,9	77,8	77,8	77,7	77,7	77,7	77,6	77,6	77,5	77,5
120	77,4	77,3	77,3	77,2	77,2	77,1	77,0	77,0	76,9	76,8
121	76,8	76,7	76,7	76,6	76,6	76,5	76,5	76,4	76,4	76,3
122	76,3	76,3	76,3	76,2	76,2	76,2	76,2	76,2	76,2	76,1
123	76,1	76,2	76,2	76,2	76,3	76,3	76,3	76,3	76,4	76,4
124	76,4	76,5	76,5	76,6	76,6	76,7	76,7	76,8	76,8	76,9
125	76,9	76,9	77,0	77,0	77,0	77,0	77,0	77,0	77,1	77,1
126	77,1	77,1	77,1	77,1	77,2	77,2	77,2	77,2	77,2	77,2
127	77,2	77,2	77,2	77,2	77,2	77,2	77,2	77,1	77,1	77,1

128	77,1	77,1	77,1	77,1	77,1	77,1	77,1	77,1	77,1	77,1
129	77,1	77,1	77,1	77,1	77,1	77,1	77,1	77,1	77,1	77,1
130	77,1	77,1	77,1	77,1	77,2	77,2	77,2	77,2	77,2	77,2
131	77,2	77,2	77,2	77,2	77,2	77,2	77,2	77,2	77,2	77,2
132	77,2	77,2	77,2	77,2	77,2	77,2	77,2	77,2	77,2	77,2
133	77,2	77,2	77,2	77,2	77,2	77,2	77,2	77,1	77,1	77,1
134	77,1	77,0	76,9	76,8	76,7	76,6	76,5	76,4	76,3	76,2
135	76,1	75,9	75,7	75,5	75,3	75,1	74,9	74,7	74,4	74,2
136	74,0	73,6	73,2	72,7	72,3	71,9	71,4	71,0	70,6	70,1
137	69,7	69,3	69,0	68,7	68,3	68,0	67,7	67,3	67,0	66,6
138	66,3	66,0	65,8	65,5	65,2	64,9	64,7	64,4	64,1	63,8
139	63,6	63,5	63,5	63,4	63,4	63,3	63,3	63,2	63,2	63,1
140	63,1	63,1	63,0	63,0	63,0	62,9	62,9	62,9	62,8	62,8
141	62,8	62,8	62,8	62,8	62,8	62,8	62,8	62,8	62,8	62,8
142	62,8	62,8	62,8	62,8	62,8	62,8	62,9	62,9	62,9	62,9
143	62,9	63,0	63,1	63,1	63,2	63,2	63,3	63,4	63,4	63,5
144	63,6	63,7	63,8	63,9	64,0	64,1	64,1	64,2	64,3	64,4
145	64,5	64,7	64,8	65,0	65,1	65,3	65,4	65,5	65,7	65,8
146	66,0	66,1	66,3	66,5	66,6	66,8	66,9	67,1	67,3	67,4
147	67,6	67,8	67,9	68,1	68,3	68,5	68,7	68,8	69,0	69,2
148	69,4	69,5	69,6	69,7	69,7	69,8	69,9	70,0	70,1	70,2
149	70,3	70,4	70,5	70,5	70,6	70,7	70,7	70,8	70,8	70,9
150	71,0	71,0	71,0	71,1	71,1	71,1	71,2	71,2	71,2	71,3
151	71,3	71,3	71,3	71,3	71,4	71,4	71,4	71,4	71,4	71,4
152	71,5	71,5	71,5	71,6	71,6	71,6	71,6	71,7	71,7	71,7
153	71,8	71,8	71,8	71,8	71,8	71,9	71,9	71,9	71,9	71,9
154	71,9	72,0	72,0	72,0	72,1	72,1	72,1	72,2	72,2	72,2
155	72,3	72,3	72,4	72,4	72,5	72,5	72,5	72,6	72,6	72,7
156	72,7	72,8	72,9	73,0	73,1	73,1	73,2	73,3	73,4	73,5
157	73,5	73,6	73,6	73,6	73,7	73,7	73,7	73,8	73,8	73,8
158	73,9	73,9	74,0	74,1	74,1	74,2	74,3	74,3	74,4	74,4
159	74,5	74,6	74,7	74,8	74,8	74,9	75,0	75,1	75,2	75,2
160	75,3	75,3	75,3	75,4	75,4	75,4	75,4	75,4	75,4	75,5
161	75,5	75,5	75,5	75,5	75,5	75,6	75,6	75,6	75,6	75,6
162	75,6	75,7	75,7	75,7	75,7	75,7	75,7	75,8	75,8	75,8
163	75,8	75,9	76,0	76,0	76,1	76,2	76,3	76,4	76,4	76,5
164	76,6	76,7	76,7	76,7	76,8	76,8	76,9	76,9	77,0	77,0
165	77,1	77,1	77,1	77,1	77,2	77,2	77,2	77,2	77,2	77,2
166	77,2	77,2	77,2	77,2	77,2	77,2	77,2	77,2	77,2	77,2
167	77,2	77,2	77,2	77,2	77,2	77,2	77,2	77,1	77,1	77,1
168	77,1	77,1	77,1	77,0	77,0	77,0	77,0	77,0	77,0	76,9
169	76,9	76,8	76,8	76,7	76,6	76,5	76,4	76,4	76,3	76,2
170	76,1	76,0	75,9	75,8	75,7	75,6	75,5	75,4	75,3	75,3
171	75,2	75,1	75,0	74,9	74,8	74,8	74,7	74,6	74,5	74,4
172	74,4	74,3	74,3	74,2	74,2	74,1	74,1	74,0	74,0	73,9

173	73,9	73,8	73,8	73,8	73,7	73,7	73,7	73,6	73,6	73,6
174	73,5	73,5	73,5	73,5	73,4	73,4	73,4	73,3	73,3	73,3
175	73,2	73,2	73,2	73,2	73,2	73,1	73,1	73,1	73,1	73,1
176	73,1	73,0	73,0	73,0	73,0	73,0	73,0	73,0	72,9	72,9
177	72,9	72,9	72,8	72,8	72,7	72,7	72,6	72,6	72,5	72,5
178	72,4	72,3	72,1	71,9	71,8	71,6	71,5	71,3	71,1	71,0
179	70,8	70,7	70,5	70,4	70,2	70,1	69,9	69,8	69,7	69,5
180	69,4	69,2	69,1	68,9	68,8	68,6	68,5	68,3	68,2	68,1
181	67,9	67,8	67,7	67,6	67,5	67,4	67,2	67,1	67,0	66,9
182	66,8	66,8	66,8	66,8	66,8	66,8	66,8	66,8	66,8	66,8
183	66,8	66,9	67,0	67,1	67,2	67,3	67,4	67,5	67,6	67,7
184	67,8	67,9	68,0	68,1	68,3	68,4	68,5	68,7	68,8	68,9
185	69,0	69,1	69,2	69,3	69,4	69,5	69,6	69,7	69,8	69,9
186	70,0	70,1	70,1	70,2	70,3	70,3	70,4	70,5	70,5	70,6
187	70,7	70,6	70,6	70,5	70,5	70,4	70,4	70,3	70,3	70,2
188	70,2	70,1	70,1	70,0	70,0	69,9	69,9	69,8	69,8	69,7
189	69,7	69,6	69,6	69,5	69,5	69,4	69,4	69,3	69,3	69,3
190	69,2	69,2	69,2	69,3	69,3	69,3	69,3	69,3	69,3	69,3
191	69,4	69,4	69,5	69,5	69,6	69,6	69,7	69,7	69,7	69,8
192	69,8	69,9	70,0	70,1	70,2	70,2	70,3	70,4	70,5	70,6
193	70,7	70,7	70,8	70,8	70,9	71,0	71,0	71,1	71,2	71,2
194	71,3	71,3	71,4	71,4	71,5	71,5	71,6	71,6	71,7	71,7
195	71,8	71,8	71,9	71,9	72,0	72,0	72,1	72,1	72,2	72,2
196	72,3	72,2	72,2	72,2	72,2	72,2	72,2	72,1	72,1	72,1
197	72,1	72,0	72,0	71,9	71,8	71,8	71,7	71,6	71,6	71,5
198	71,5	71,4	71,3	71,2	71,1	71,1	71,0	70,9	70,8	70,7
199	70,7	70,6	70,5	70,4	70,3	70,2	70,2	70,1	70,0	69,9
200	69,8	69,8	69,8	69,7	69,7	69,7	69,7	69,6	69,6	69,6
201	69,5	69,5	69,5	69,5	69,5	69,5	69,5	69,5	69,5	69,5
202	69,5	69,5	69,5	69,5	69,5	69,4	69,4	69,4	69,4	69,4
203	69,4	69,3	69,3	69,3	69,3	69,3	69,3	69,3	69,2	69,2
204	69,2	69,2	69,2	69,2	69,2	69,2	69,2	69,2	69,2	69,2
205	69,2	69,2	69,2	69,3	69,3	69,3	69,3	69,3	69,3	69,3
206	69,4	69,4	69,5	69,5	69,6	69,6	69,7	69,7	69,7	69,8
207	69,8	69,9	70,0	70,1	70,2	70,2	70,3	70,4	70,5	70,6
208	70,7	70,7	70,7	70,7	70,7	70,7	70,7	70,8	70,8	70,8
209	70,8	70,7	70,7	70,6	70,5	70,4	70,3	70,2	70,2	70,1
210	70,0	69,9	69,7	69,6	69,4	69,3	69,1	69,0	68,8	68,7
211	68,6	68,4	68,2	68,0	67,8	67,7	67,5	67,3	67,1	67,0
212	66,8	66,7	66,5	66,4	66,3	66,1	66,0	65,9	65,8	65,6
213	65,5	65,4	65,3	65,2	65,0	64,9	64,8	64,7	64,6	64,5
214	64,4	64,4	64,4	64,4	64,4	64,4	64,4	64,4	64,4	64,4
215	64,4	64,4	64,5	64,5	64,6	64,6	64,7	64,7	64,8	64,8
216	64,9	65,0	65,1	65,2	65,3	65,4	65,5	65,6	65,8	65,9
217	66,0	66,1	66,3	66,5	66,6	66,8	66,9	67,1	67,3	67,4

263	79,0	79,0	79,0	79,0	79,0	78,9	78,9	78,9	78,9	78,9
264	78,9	78,8	78,8	78,8	78,8	78,8	78,8	78,7	78,7	78,7
265	78,7	78,6	78,5	78,4	78,2	78,1	78,0	77,9	77,8	77,7
266	77,6	77,5	77,4	77,3	77,2	77,2	77,1	77,0	76,9	76,8
267	76,8	76,7	76,7	76,7	76,6	76,6	76,6	76,5	76,5	76,5
268	76,4	76,4	76,3	76,3	76,3	76,2	76,2	76,1	76,1	76,0
269	76,0	75,9	75,8	75,7	75,6	75,6	75,5	75,4	75,3	75,2
270	75,2	75,1	75,0	74,9	74,8	74,8	74,7	74,6	74,5	74,4
271	74,4	74,3	74,3	74,3	74,2	74,2	74,2	74,1	74,1	74,1
272	74,0	74,0	74,0	73,9	73,9	73,9	73,8	73,8	73,8	73,7
273	73,7	73,7	73,6	73,6	73,6	73,5	73,5	73,5	73,5	73,4
274	73,4	73,4	73,3	73,3	73,3	73,2	73,2	73,2	73,1	73,1
275	73,1	73,0	73,0	73,0	72,9	72,9	72,9	72,8	72,8	72,8
276	72,7	72,7	72,7	72,6	72,6	72,6	72,5	72,5	72,5	72,5
277	72,4	72,4	72,3	72,3	72,2	72,2	72,1	72,1	72,0	72,0
278	71,9	71,9	71,9	71,8	71,8	71,8	71,7	71,7	71,7	71,6
279	71,6	71,6	71,5	71,5	71,4	71,4	71,3	71,3	71,2	71,2
280	71,1	71,0	70,9	70,8	70,7	70,6	70,5	70,3	70,2	70,1
281	70,0	69,9	69,8	69,7	69,6	69,4	69,3	69,2	69,1	69,0
282	68,9	68,8	68,6	68,5	68,4	68,2	68,1	68,0	67,8	67,7
283	67,6	67,3	67,0	66,7	66,4	66,1	65,8	65,5	65,1	64,8
284	64,5	64,3	64,1	63,8	63,6	63,3	63,1	62,8	62,6	62,4
285	62,1	61,9	61,8	61,6	61,4	61,2	61,1	60,9	60,7	60,5
286	60,4	60,1	59,8	59,5	59,3	59,0	58,7	58,4	58,2	57,9
287	57,6	57,4	57,3	57,1	56,9	56,7	56,6	56,4	56,2	56,0
288	55,8	55,7	55,6	55,5	55,4	55,3	55,2	55,1	54,9	54,8
289	54,7	54,6	54,5	54,4	54,3	54,2	54,0	53,9	53,8	53,7
290	53,6	53,5	53,3	53,2	53,1	52,9	52,8	52,7	52,6	52,4
291	52,3	52,2	52,0	51,9	51,8	51,7	51,5	51,4	51,3	51,1
292	51,0	50,8	50,7	50,5	50,3	50,1	50,0	49,8	49,6	49,4
293	49,2	49,1	48,9	48,8	48,6	48,4	48,3	48,1	48,0	47,8
294	47,6	47,5	47,4	47,3	47,1	47,0	46,9	46,7	46,6	46,5
295	46,3	46,3	46,2	46,2	46,1	46,0	46,0	45,9	45,8	45,8
296	45,7	45,7	45,8	45,8	45,8	45,9	45,9	45,9	46,0	46,0
297	46,0	46,2	46,3	46,5	46,6	46,8	46,9	47,0	47,2	47,3
298	47,5	47,8	48,1	48,4	48,7	49,0	49,3	49,6	49,9	50,2
299	50,5	50,9	51,2	51,5	51,8	52,1	52,5	52,8	53,1	53,4
300	53,8	54,1	54,5	54,8	55,2	55,5	55,9	56,2	56,6	56,9
301	57,3	57,6	57,9	58,2	58,5	58,8	59,1	59,4	59,7	60,0
302	60,4	60,6	60,9	61,1	61,4	61,6	61,9	62,2	62,4	62,7
303	62,9	63,1	63,3	63,5	63,6	63,8	64,0	64,2	64,3	64,5
304	64,7	64,8	65,0	65,1	65,3	65,4	65,6	65,7	65,9	66,0
305	66,1	66,3	66,4	66,5	66,6	66,7	66,8	66,9	67,0	67,2
306	67,3	67,4	67,5	67,6	67,7	67,8	67,8	67,9	68,0	68,1
307	68,2	68,3	68,4	68,4	68,5	68,6	68,6	68,7	68,8	68,8

308	68,9	69,0	69,0	69,1	69,2	69,3	69,4	69,4	69,5	69,6
309	69,7	69,8	69,8	69,9	70,0	70,1	70,2	70,2	70,3	70,4
310	70,5	70,6	70,7	70,7	70,8	70,9	71,0	71,1	71,1	71,2
311	71,3	71,4	71,4	71,5	71,6	71,6	71,7	71,7	71,8	71,9
312	71,9	72,0	72,0	72,1	72,1	72,2	72,2	72,3	72,3	72,4
313	72,4	72,5	72,5	72,5	72,5	72,6	72,6	72,6	72,7	72,7
314	72,7	72,8	72,8	72,8	72,9	72,9	72,9	73,0	73,0	73,0
315	73,1	73,1	73,1	73,1	73,1	73,1	73,2	73,2	73,2	73,2
316	73,2	73,3	73,3	73,4	73,4	73,5	73,5	73,6	73,6	73,7
317	73,7	73,7	73,8	73,8	73,8	73,9	73,9	73,9	74,0	74,0
318	74,0	74,0	74,1	74,1	74,1	74,1	74,1	74,1	74,2	74,2
319	74,2	74,3	74,3	74,4	74,4	74,5	74,6	74,6	74,7	74,8
320	74,8	74,9	74,9	75,0	75,0	75,1	75,1	75,2	75,2	75,3
321	75,3	75,4	75,4	75,5	75,5	75,6	75,6	75,7	75,7	75,8
322	75,8	75,9	76,0	76,1	76,2	76,3	76,4	76,5	76,6	76,7
323	76,8	76,9	77,0	77,1	77,2	77,2	77,3	77,4	77,5	77,6
324	77,7	77,8	78,0	78,1	78,2	78,3	78,4	78,5	78,6	78,7
325	78,9	79,0	79,1	79,2	79,3	79,4	79,5	79,6	79,8	79,9
326	80,0	80,1	80,2	80,3	80,4	80,5	80,6	80,7	80,8	80,9
327	81,0	81,1	81,2	81,3	81,4	81,5	81,6	81,7	81,9	82,0
328	82,1	82,2	82,3	82,4	82,5	82,6	82,8	82,9	83,0	83,1
329	83,2	83,3	83,4	83,5	83,7	83,8	83,9	84,0	84,1	84,2
330	84,3	84,4	84,6	84,7	84,8	84,9	85,0	85,1	85,2	85,3
331	85,5	85,6	85,7	85,8	85,9	86,0	86,1	86,2	86,4	86,5
332	86,6	86,7	86,8	86,9	87,0	87,1	87,3	87,4	87,5	87,6
333	87,7	87,8	87,9	88,0	88,2	88,3	88,4	88,5	88,6	88,7
334	88,8	88,9	89,0	89,1	89,2	89,3	89,4	89,5	89,6	89,7
335	89,8	89,9	90,0	90,1	90,2	90,3	90,4	90,5	90,6	90,7
336	90,8	90,8	90,9	91,0	91,1	91,2	91,2	91,3	91,4	91,5
337	91,6	91,6	91,6	91,6	91,6	91,7	91,7	91,7	91,7	91,7
338	91,7	91,7	91,8	91,8	91,8	91,8	91,8	91,8	91,9	91,9
339	91,9	91,9	92,0	92,0	92,0	92,1	92,1	92,1	92,2	92,2
340	92,2	92,3	92,3	92,4	92,4	92,5	92,5	92,6	92,6	92,6
341	92,7	92,7	92,8	92,8	92,8	92,9	92,9	92,9	93,0	93,0
342	93,0	93,1	93,1	93,1	93,1	93,2	93,2	93,2	93,3	93,3
343	93,3	93,4	93,4	93,4	93,4	93,4	93,4	93,5	93,5	93,5
344	93,5	93,6	93,6	93,6	93,7	93,7	93,8	93,8	93,9	93,9
345	94,0	94,0	94,1	94,1	94,2	94,2	94,3	94,3	94,4	94,4
346	94,5	94,5	94,5	94,5	94,5	94,5	94,6	94,6	94,6	94,6
347	94,6	94,6	94,7	94,7	94,7	94,7	94,7	94,7	94,8	94,8
348	94,8	94,8	94,8	94,8	94,9	94,9	94,9	94,9	94,9	94,9
349	95,0	95,0	95,0	95,0	95,0	95,0	95,0	95,0	95,0	95,0
350	95,0	94,9	94,9	94,9	94,9	94,9	94,9	94,8	94,8	94,8
351	94,8	94,8	94,8	94,7	94,7	94,7	94,7	94,7	94,7	94,6
352	94,6	94,6	94,6	94,5	94,5	94,5	94,4	94,4	94,4	94,3

353	94,3	94,3	94,2	94,2	94,2	94,1	94,1	94,1	94,1	94,0
354	94,0	94,0	93,9	93,9	93,9	93,8	93,8	93,8	93,7	93,7
355	93,7	93,6	93,6	93,6	93,6	93,6	93,6	93,6	93,5	93,5
356	93,5	93,5	93,5	93,5	93,4	93,4	93,4	93,4	93,4	93,4
357	93,3	93,3	93,3	93,3	93,3	93,3	93,2	93,2	93,2	93,2
358	93,2	93,1	93,1	93,0	93,0	92,9	92,9	92,8	92,8	92,7
359	92,7	92,7	92,6	92,6	92,6	92,5	92,5	92,5	92,4	92,4
360	92,4	92,3	92,3	92,3	92,2	92,2	92,2	92,2	92,1	92,1
361	92,1	92,0	92,0	92,0	92,0	92,0	92,0	91,9	91,9	91,9
362	91,9	91,9	91,9	91,8	91,8	91,8	91,8	91,8	91,8	91,7
363	91,7	91,7	91,7	91,7	91,7	91,7	91,7	91,7	91,7	91,7
364	91,7	91,7	91,7	91,7	91,7	91,7	91,6	91,6	91,6	91,6
365	91,6	91,6	91,6	91,6	91,6	91,6	91,6	91,6	91,6	91,6
366	91,6	91,6	91,6	91,6	91,6	91,6	91,6	91,6	91,6	91,6
367	91,6	91,6	91,6	91,6	91,6	91,7	91,7	91,7	91,7	91,7
368	91,7	91,7	91,7	91,7	91,7	91,7	91,7	91,7	91,7	91,7
369	91,7	91,7	91,7	91,7	91,7	91,7	91,7	91,7	91,7	91,7
370	91,7	91,7	91,7	91,7	91,7	91,7	91,7	91,7	91,7	91,7
371	91,7	91,7	91,7	91,7	91,7	91,7	91,7	91,7	91,7	91,7
372	91,7	91,7	91,7	91,7	91,7	91,7	91,7	91,7	91,7	91,7
373	91,7	91,7	91,7	91,7	91,7	91,7	91,7	91,7	91,7	91,7
374	91,7	91,7	91,7	91,7	91,7	91,7	91,7	91,7	91,7	91,7
375	91,7	91,7	91,7	91,7	91,7	91,7	91,7	91,7	91,7	91,7
376	91,7	91,7	91,7	91,7	91,7	91,7	91,6	91,6	91,6	91,6
377	91,6	91,6	91,5	91,5	91,5	91,5	91,5	91,5	91,4	91,4
378	91,4	91,4	91,3	91,3	91,2	91,2	91,1	91,1	91,0	91,0
379	90,9	90,9	90,8	90,8	90,7	90,7	90,6	90,6	90,5	90,5
380	90,4	90,4	90,4	90,3	90,3	90,3	90,3	90,2	90,2	90,2
381	90,1	90,1	90,1	90,1	90,1	90,1	90,1	90,1	90,1	90,1
382	90,1	90,1	90,1	90,1	90,1	90,1	90,1	90,1	90,1	90,1
383	90,1	90,1	90,2	90,2	90,2	90,2	90,2	90,2	90,3	90,3
384	90,3	90,3	90,4	90,4	90,5	90,5	90,6	90,6	90,7	90,7
385	90,8	90,8	90,9	90,9	91,0	91,0	91,1	91,1	91,2	91,2
386	91,2	91,3	91,3	91,3	91,4	91,4	91,4	91,5	91,5	91,5
387	91,6	91,6	91,6	91,7	91,7	91,7	91,8	91,8	91,8	91,9
388	91,9	91,9	92,0	92,0	92,0	92,1	92,1	92,1	92,2	92,2
389	92,2	92,2	92,2	92,3	92,3	92,3	92,3	92,3	92,3	92,4
390	92,4	92,4	92,4	92,4	92,4	92,4	92,4	92,4	92,4	92,4
391	92,4	92,3	92,3	92,3	92,2	92,2	92,2	92,2	92,1	92,1
392	92,1	92,0	92,0	92,0	91,9	91,9	91,9	91,8	91,8	91,8
393	91,7	91,7	91,7	91,7	91,7	91,7	91,6	91,6	91,6	91,6
394	91,6	91,5	91,5	91,4	91,4	91,3	91,3	91,2	91,2	91,1
395	91,1	91,0	91,0	90,9	90,9	90,8	90,8	90,8	90,7	90,7
396	90,6	90,6	90,5	90,5	90,5	90,4	90,4	90,4	90,3	90,3
397	90,3	90,3	90,4	90,4	90,5	90,5	90,6	90,6	90,7	90,7

443	93,2	93,2	93,2	93,2	93,2	93,2	93,2	93,2	93,2	93,2
444	93,2	93,2	93,2	93,2	93,2	93,3	93,3	93,3	93,3	93,3
445	93,3	93,4	93,4	93,4	93,4	93,4	93,4	93,5	93,5	93,5
446	93,5	93,5	93,5	93,5	93,5	93,5	93,5	93,5	93,5	93,5
447	93,5	93,5	93,5	93,6	93,6	93,6	93,6	93,6	93,6	93,6
448	93,7	93,7	93,7	93,7	93,7	93,7	93,7	93,7	93,7	93,7
449	93,7	93,7	93,7	93,7	93,7	93,7	93,7	93,7	93,7	93,7
450	93,7	93,6	93,6	93,6	93,6	93,6	93,6	93,6	93,5	93,5
451	93,5	93,5	93,5	93,5	93,4	93,4	93,4	93,4	93,4	93,4
452	93,3	93,3	93,3	93,3	93,3	93,3	93,3	93,3	93,3	93,3
453	93,3	93,3	93,3	93,3	93,3	93,3	93,3	93,3	93,3	93,3
454	93,3	93,3	93,3	93,3	93,3	93,3	93,3	93,3	93,3	93,3
455	93,3	93,3	93,3	93,3	93,3	93,3	93,3	93,3	93,3	93,3
456	93,3	93,3	93,3	93,3	93,3	93,3	93,3	93,3	93,3	93,3
457	93,3	93,3	93,3	93,3	93,3	93,3	93,2	93,2	93,2	93,2
458	93,2	93,2	93,2	93,2	93,2	93,2	93,2	93,2	93,2	93,2
459	93,2	93,2	93,2	93,2	93,2	93,3	93,3	93,3	93,3	93,3
460	93,3	93,4	93,4	93,4	93,4	93,4	93,4	93,5	93,5	93,5
461	93,5	93,5	93,5	93,5	93,5	93,5	93,5	93,5	93,5	93,5
462	93,5	93,5	93,5	93,6	93,6	93,6	93,6	93,6	93,6	93,6
463	93,7	93,7	93,7	93,7	93,7	93,7	93,8	93,8	93,8	93,8
464	93,8	93,8	93,8	93,8	93,8	93,8	93,8	93,8	93,8	93,8
465	93,8	93,8	93,8	93,8	93,8	93,8	93,8	93,8	93,8	93,8
466	93,8	93,8	93,8	93,8	93,8	93,7	93,7	93,7	93,7	93,7
467	93,7	93,6	93,6	93,6	93,6	93,6	93,6	93,6	93,5	93,5
468	93,5	93,5	93,5	93,5	93,4	93,4	93,4	93,4	93,4	93,4
469	93,3	93,3	93,3	93,2	93,2	93,2	93,1	93,1	93,1	93,1
470	93,0	93,0	92,9	92,9	92,8	92,8	92,7	92,7	92,6	92,6
471	92,5	92,5	92,4	92,3	92,3	92,2	92,2	92,1	92,0	92,0
472	91,9	91,9	91,9	91,8	91,8	91,8	91,8	91,8	91,8	91,7
473	91,7	91,7	91,6	91,5	91,5	91,4	91,3	91,3	91,2	91,2
474	91,1	91,0	90,9	90,8	90,8	90,7	90,6	90,5	90,4	90,4
475	90,3	90,3	90,3	90,2	90,2	90,2	90,2	90,2	90,2	90,1
476	90,1	90,1	90,1	90,0	90,0	90,0	89,9	89,9	89,9	89,8
477	89,8	89,8	89,7	89,7	89,6	89,6	89,5	89,5	89,4	89,4
478	89,3	89,3	89,2	89,2	89,1	89,1	89,0	89,0	88,9	88,9
479	88,8	88,8	88,8	88,8	88,8	88,8	88,7	88,7	88,7	88,7
480	88,7	88,7	88,6	88,6	88,6	88,6	88,6	88,6	88,5	88,5
481	88,5	88,5	88,5	88,5	88,4	88,4	88,4	88,4	88,4	88,4
482	88,4	88,4	88,4	88,4	88,4	88,4	88,4	88,4	88,4	88,4
483	88,4	88,4	88,4	88,4	88,4	88,4	88,4	88,4	88,4	88,4
484	88,4	88,4	88,4	88,4	88,4	88,4	88,4	88,4	88,4	88,4
485	88,4	88,4	88,4	88,4	88,4	88,4	88,4	88,4	88,4	88,4
486	88,4	88,4	88,4	88,4	88,4	88,4	88,4	88,4	88,4	88,4
487	88,4	88,4	88,4	88,4	88,4	88,4	88,4	88,5	88,5	88,5

488	88,5	88,5	88,5	88,5	88,5	88,5	88,5	88,5	88,5	88,5
489	88,5	88,5	88,5	88,5	88,5	88,5	88,5	88,5	88,5	88,5
490	88,5	88,5	88,5	88,5	88,5	88,5	88,5	88,5	88,5	88,5
491	88,5	88,5	88,5	88,5	88,5	88,5	88,5	88,5	88,5	88,5
492	88,5	88,5	88,5	88,5	88,5	88,5	88,5	88,5	88,5	88,5
493	88,5	88,5	88,5	88,6	88,6	88,6	88,6	88,6	88,6	88,7
494	88,7	88,7	88,7	88,7	88,7	88,7	88,7	88,7	88,7	88,7
495	88,7	88,7	88,6	88,6	88,6	88,6	88,6	88,6	88,5	88,5
496	88,5	88,5	88,5	88,5	88,4	88,4	88,4	88,4	88,4	88,4
497	88,4	88,4	88,4	88,4	88,4	88,4	88,4	88,4	88,4	88,4
498	88,4	88,3	88,3	88,3	88,3	88,3	88,3	88,2	88,2	88,2
499	88,2	88,2	88,2	88,1	88,1	88,1	88,1	88,1	88,1	88,0
500	88,0	88,0	88,0	88,0	88,0	88,0	87,9	87,9	87,9	87,9
501	87,9	87,8	87,8	87,8	87,7	87,7	87,7	87,6	87,6	87,6
502	87,5	87,5	87,5	87,5	87,5	87,5	87,5	87,4	87,4	87,4
503	87,4	87,4	87,4	87,4	87,4	87,4	87,4	87,4	87,4	87,4
504	87,4	87,4	87,4	87,3	87,3	87,3	87,3	87,3	87,3	87,2
505	87,2	87,2	87,2	87,2	87,2	87,1	87,1	87,1	87,1	87,1
506	87,1	87,1	87,1	87,1	87,1	87,1	87,1	87,1	87,1	87,1
507	87,1	87,1	87,1	87,1	87,1	87,1	87,1	87,1	87,1	87,1
508	87,1	87,0	87,0	87,0	87,0	87,0	87,0	87,0	86,9	86,9
509	86,9	86,9	86,9	86,9	86,9	86,9	86,9	86,9	86,9	86,9
510	86,9	86,9	86,9	86,9	86,9	86,9	86,9	86,9	86,9	86,9
511	86,9	86,9	86,9	86,9	86,9	86,9	86,9	86,9	86,9	86,9
512	86,9	86,9	86,9	86,9	86,9	86,9	86,9	86,9	86,9	86,9
513	86,9	86,9	86,9	86,9	86,9	86,9	86,9	86,9	86,9	86,9
514	86,9	86,9	86,9	86,9	86,9	86,9	86,9	86,9	86,9	86,9
515	86,9	86,9	86,9	86,9	86,9	86,9	86,9	86,9	86,9	86,9
516	86,9	86,9	86,9	87,0	87,0	87,0	87,0	87,0	87,0	87,0
517	87,1	87,1	87,1	87,1	87,1	87,1	87,2	87,2	87,2	87,2
518	87,2	87,3	87,3	87,4	87,4	87,5	87,5	87,6	87,6	87,7
519	87,7	87,8	87,8	87,9	87,9	88,0	88,0	88,0	88,1	88,1
520	88,2	88,2	88,2	88,2	88,3	88,3	88,3	88,3	88,3	88,3
521	88,4	88,4	88,4	88,4	88,4	88,4	88,4	88,5	88,5	88,5
522	88,5	88,5	88,5	88,6	88,6	88,6	88,6	88,6	88,6	88,7
523	88,7	88,7	88,7	88,7	88,7	88,8	88,8	88,8	88,8	88,8
524	88,8	88,8	88,8	88,8	88,8	88,8	88,8	88,8	88,8	88,8
525	88,8	88,9	88,9	88,9	88,9	88,9	88,9	88,9	89,0	89,0
526	89,0	89,0	89,0	89,0	89,1	89,1	89,1	89,1	89,1	89,1
527	89,2	89,2	89,2	89,2	89,2	89,2	89,3	89,3	89,3	89,3
528	89,3	89,3	89,4	89,4	89,4	89,4	89,4	89,4	89,4	89,5
529	89,5	89,5	89,5	89,5	89,5	89,6	89,6	89,6	89,6	89,6
530	89,6	89,7	89,7	89,7	89,7	89,7	89,7	89,8	89,8	89,8
531	89,8	89,8	89,8	89,8	89,9	89,9	89,9	89,9	89,9	89,9
532	90,0	90,0	90,0	90,0	90,0	90,0	90,1	90,1	90,1	90,1

533	90,1	90,1	90,1	90,1	90,1	90,1	90,1	90,1	90,1	90,1
534	90,1	90,1	90,1	90,1	90,1	90,1	90,1	90,1	90,1	90,1
535	90,1	90,1	90,1	90,1	90,1	90,1	90,1	90,1	90,1	90,1
536	90,1	90,1	90,1	90,1	90,1	90,1	90,1	90,1	90,1	90,1
537	90,1	90,1	90,1	90,1	90,1	90,1	90,1	90,1	90,1	90,1
538	90,1	90,1	90,1	90,1	90,1	90,1	90,1	90,1	90,1	90,1
539	90,1	90,1	90,1	90,1	90,1	90,1	90,1	90,1	90,1	90,1
540	90,1	90,1	90,1	90,1	90,1	90,1	90,1	90,1	90,1	90,1
541	90,1	90,1	90,1	90,1	90,1	90,1	90,1	90,1	90,1	90,1
542	90,1	90,1	90,1	90,1	90,1	90,1	90,1	90,1	90,1	90,1
543	90,1	90,1	90,1	90,1	90,1	90,1	90,1	90,1	90,1	90,1
544	90,1	90,1	90,1	90,1	90,1	90,1	90,1	90,1	90,1	90,1
545	90,1	90,1	90,1	90,1	90,1	90,1	90,1	90,1	90,1	90,1
546	90,1	90,1	90,1	90,1	90,1	90,0	90,0	90,0	90,0	90,0
547	90,0	90,0	90,0	90,0	90,0	90,0	90,0	90,0	90,0	90,0
548	90,0	90,0	90,0	90,0	90,0	90,0	90,0	90,0	90,0	90,0
549	90,0	89,9	89,9	89,9	89,9	89,9	89,9	89,8	89,8	89,8
550	89,8	89,8	89,7	89,7	89,7	89,6	89,6	89,6	89,5	89,5
551	89,5	89,4	89,4	89,4	89,4	89,3	89,3	89,3	89,2	89,2
552	89,2	89,1	89,1	89,1	89,0	89,0	89,0	88,9	88,9	88,9
553	88,8	88,8	88,8	88,8	88,8	88,8	88,7	88,7	88,7	88,7
554	88,7	88,7	88,6	88,6	88,6	88,6	88,6	88,6	88,5	88,5
555	88,5	88,5	88,5	88,5	88,4	88,4	88,4	88,4	88,4	88,4
556	88,4	88,3	88,3	88,2	88,2	88,1	88,1	88,0	88,0	87,9
557	87,9	87,8	87,8	87,8	87,7	87,7	87,7	87,6	87,6	87,6
558	87,5	87,5	87,5	87,5	87,4	87,4	87,4	87,3	87,3	87,3
559	87,2	87,2	87,2	87,2	87,2	87,1	87,1	87,1	87,1	87,1
560	87,1	87,0	87,0	86,9	86,9	86,8	86,8	86,7	86,7	86,6
561	86,6	86,5	86,5	86,4	86,3	86,3	86,2	86,1	86,1	86,0
562	85,9	85,9	85,9	85,9	85,9	85,9	85,8	85,8	85,8	85,8
563	85,8	85,7	85,7	85,7	85,6	85,6	85,6	85,6	85,5	85,5
564	85,5	85,4	85,4	85,4	85,3	85,3	85,3	85,2	85,2	85,2
565	85,1	85,1	85,0	85,0	84,9	84,9	84,8	84,8	84,7	84,7
566	84,7	84,6	84,6	84,6	84,5	84,5	84,5	84,4	84,4	84,4
567	84,3	84,3	84,3	84,2	84,2	84,2	84,1	84,1	84,1	84,0
568	84,0	84,0	84,0	84,0	83,9	83,9	83,9	83,9	83,9	83,9
569	83,8	83,8	83,8	83,8	83,8	83,8	83,8	83,7	83,7	83,7
570	83,7	83,7	83,7	83,7	83,7	83,7	83,7	83,7	83,7	83,7
571	83,7	83,7	83,7	83,7	83,7	83,7	83,7	83,7	83,7	83,7
572	83,7	83,7	83,7	83,7	83,7	83,7	83,7	83,7	83,7	83,7
573	83,7	83,7	83,7	83,7	83,8	83,8	83,8	83,8	83,8	83,8
574	83,8	83,8	83,8	83,8	83,8	83,8	83,8	83,7	83,7	83,7
575	83,7	83,7	83,7	83,7	83,7	83,7	83,7	83,7	83,7	83,7
576	83,7	83,7	83,7	83,6	83,6	83,6	83,6	83,6	83,6	83,5
577	83,5	83,5	83,4	83,4	83,3	83,3	83,2	83,2	83,1	83,1

578	83,0	83,0	83,0	82,9	82,9	82,9	82,8	82,8	82,8	82,8
579	82,7	82,7	82,6	82,6	82,5	82,5	82,4	82,4	82,3	82,3
580	82,2	82,2	82,1	82,0	82,0	81,9	81,9	81,8	81,7	81,7
581	81,6	81,5	81,5	81,4	81,3	81,3	81,2	81,1	81,1	81,0
582	81,0	80,9	80,8	80,7	80,6	80,5	80,5	80,4	80,3	80,2
583	80,1	80,1	80,0	79,9	79,8	79,7	79,7	79,6	79,5	79,4
584	79,3	79,2	79,1	79,1	79,0	78,9	78,8	78,7	78,6	78,5
585	78,4	78,3	78,2	78,1	78,1	78,0	77,9	77,8	77,7	77,7
586	77,6	77,6	77,5	77,5	77,5	77,5	77,5	77,5	77,4	77,4
587	77,4	77,4	77,4	77,4	77,3	77,3	77,3	77,3	77,3	77,3
588	77,2	77,2	77,2	77,2	77,2	77,2	77,2	77,2	77,2	77,2
589	77,2	77,3	77,3	77,3	77,3	77,3	77,3	77,4	77,4	77,4
590	77,4	77,5	77,5	77,6	77,6	77,7	77,7	77,7	77,8	77,8
591	77,9	78,0	78,1	78,1	78,2	78,3	78,4	78,5	78,5	78,6
592	78,7	78,7	78,7	78,7	78,8	78,8	78,8	78,8	78,8	78,8
593	78,9	78,9	78,9	78,9	78,9	78,9	79,0	79,0	79,0	79,0
594	79,0	79,0	79,0	79,0	79,0	79,0	79,0	79,0	79,0	79,0
595	79,0	79,0	79,0	79,0	79,0	78,9	78,9	78,9	78,9	78,9
596	78,9	78,9	78,9	78,9	78,9	78,9	78,9	78,9	78,9	78,9
597	78,9	78,8	78,8	78,8	78,8	78,8	78,8	78,7	78,7	78,7
598	78,7	78,6	78,6	78,6	78,5	78,5	78,4	78,4	78,3	78,3
599	78,2	78,2	78,1	78,1	78,0	78,0	77,9	77,9	77,8	77,8
600	77,7	77,7	77,6	77,6	77,5	77,5	77,4	77,4	77,3	77,3
601	77,2	77,2	77,2	77,2	77,2	77,2	77,2	77,1	77,1	77,1
602	77,1	77,1	77,1	77,0	77,0	77,0	77,0	77,0	77,0	76,9
603	76,9	76,9	76,9	76,9	76,9	76,8	76,8	76,8	76,8	76,8
604	76,8	76,8	76,8	76,9	76,9	76,9	77,0	77,0	77,0	77,1
605	77,1	77,2	77,2	77,3	77,3	77,4	77,5	77,5	77,6	77,7
606	77,7	77,8	78,0	78,1	78,2	78,3	78,4	78,5	78,6	78,7
607	78,9	78,9	78,9	78,9	78,9	78,9	79,0	79,0	79,0	79,0
608	79,0	79,0	79,0	79,0	79,0	78,9	78,9	78,9	78,9	78,9
609	78,9	78,8	78,8	78,8	78,8	78,8	78,8	78,7	78,7	78,7
610	78,7	78,6	78,4	78,3	78,1	78,0	77,8	77,7	77,5	77,4
611	77,2	77,1	77,0	76,8	76,7	76,5	76,4	76,2	76,1	75,9
612	75,8	75,7	75,5	75,4	75,2	75,1	74,9	74,8	74,6	74,5
613	74,4	74,3	74,3	74,3	74,3	74,3	74,3	74,2	74,2	74,2
614	74,2	74,2	74,2	74,2	74,2	74,2	74,2	74,2	74,2	74,2
615	74,2	74,2	74,2	74,2	74,3	74,3	74,3	74,3	74,3	74,3
616	74,4	74,5	74,6	74,7	74,8	74,9	75,0	75,1	75,3	75,4
617	75,5	75,6	75,8	75,9	76,1	76,2	76,3	76,5	76,6	76,8
618	76,9	77,1	77,3	77,5	77,7	77,9	78,1	78,3	78,5	78,7
619	78,9	79,0	79,1	79,2	79,3	79,4	79,5	79,6	79,8	79,9
620	80,0	80,1	80,3	80,4	80,6	80,7	80,9	81,0	81,1	81,3
621	81,4	81,6	81,7	81,9	82,0	82,2	82,3	82,4	82,6	82,7
622	82,9	83,0	83,1	83,2	83,3	83,4	83,6	83,7	83,8	83,9

623	84,0	84,1	84,2	84,2	84,3	84,4	84,5	84,6	84,7	84,7
624	84,8	84,9	84,9	85,0	85,0	85,1	85,1	85,2	85,2	85,2
625	85,3	85,4	85,5	85,6	85,7	85,8	85,9	86,0	86,1	86,2
626	86,3	86,3	86,4	86,5	86,5	86,6	86,6	86,7	86,8	86,8
627	86,9	86,9	86,9	87,0	87,0	87,0	87,0	87,0	87,0	87,0
628	87,1	87,1	87,2	87,2	87,3	87,3	87,4	87,4	87,5	87,5
629	87,5	87,6	87,6	87,7	87,7	87,8	87,8	87,9	87,9	88,0
630	88,0	88,1	88,2	88,2	88,3	88,4	88,4	88,5	88,5	88,6
631	88,7	88,7	88,8	88,8	88,9	88,9	89,0	89,0	89,1	89,1
632	89,2	89,2	89,2	89,2	89,2	89,2	89,2	89,2	89,2	89,2
633	89,2	89,1	89,0	89,0	88,9	88,8	88,8	88,7	88,6	88,6
634	88,5	88,4	88,4	88,3	88,2	88,1	88,0	88,0	87,9	87,8
635	87,7	87,6	87,4	87,3	87,1	87,0	86,8	86,7	86,6	86,4
636	86,3	86,1	85,9	85,7	85,6	85,4	85,2	85,0	84,8	84,7
637	84,5	84,1	83,8	83,4	83,0	82,6	82,3	81,9	81,5	81,2
638	80,8	80,5	80,1	79,8	79,5	79,2	78,9	78,5	78,2	77,9
639	77,6	77,3	77,0	76,7	76,5	76,2	75,9	75,7	75,4	75,1
640	74,8	74,8	74,7	74,7	74,6	74,6	74,5	74,5	74,4	74,4
641	74,4	74,3	74,3	74,3	74,2	74,2	74,2	74,1	74,1	74,1
642	74,0	74,0	74,0	74,0	74,0	74,0	74,0	74,0	74,0	74,0
643	74,0	74,1	74,1	74,2	74,2	74,3	74,3	74,4	74,4	74,5
644	74,5	74,6	74,7	74,8	74,8	74,9	75,0	75,1	75,2	75,2
645	75,3	75,4	75,5	75,7	75,8	75,9	76,0	76,1	76,2	76,3
646	76,4	76,6	76,7	76,8	76,9	77,0	77,1	77,2	77,3	77,5
647	77,6	77,7	77,8	77,9	78,0	78,1	78,1	78,2	78,3	78,4
648	78,5	78,6	78,8	78,9	79,0	79,1	79,2	79,3	79,4	79,5
649	79,7	79,8	79,9	80,0	80,1	80,2	80,3	80,5	80,6	80,7
650	80,8	80,9	81,0	81,0	81,1	81,2	81,3	81,4	81,4	81,5
651	81,6	81,7	81,7	81,8	81,9	81,9	82,0	82,0	82,1	82,2
652	82,2	82,3	82,4	82,5	82,6	82,7	82,8	82,9	83,0	83,1
653	83,2	83,3	83,4	83,4	83,5	83,6	83,7	83,8	83,8	83,9
654	84,0	84,1	84,1	84,2	84,2	84,2	84,3	84,3	84,4	84,4
655	84,5	84,4	84,4	84,3	84,2	84,2	84,1	84,0	84,0	83,9
656	83,8	83,8	83,7	83,6	83,5	83,4	83,4	83,3	83,2	83,1
657	83,0	83,0	82,9	82,8	82,7	82,6	82,6	82,5	82,4	82,3
658	82,2	82,2	82,2	82,2	82,2	82,2	82,1	82,1	82,1	82,1
659	82,1	82,1	82,1	82,1	82,1	82,1	82,1	82,1	82,1	82,1
660	82,1	82,1	82,1	82,1	82,1	82,2	82,2	82,2	82,2	82,2
661	82,2	82,3	82,3	82,4	82,4	82,5	82,5	82,6	82,6	82,7
662	82,7	82,8	82,8	82,9	82,9	83,0	83,0	83,1	83,1	83,2
663	83,2	83,3	83,3	83,3	83,4	83,4	83,5	83,5	83,6	83,6
664	83,7	83,7	83,8	83,8	83,8	83,8	83,9	83,9	83,9	84,0
665	84,0	84,1	84,1	84,2	84,2	84,2	84,3	84,3	84,4	84,4
666	84,5	84,5	84,6	84,6	84,7	84,7	84,8	84,8	84,9	84,9
667	85,0	85,0	84,9	84,9	84,9	84,9	84,9	84,9	84,8	84,8

668	84,8	84,8	84,8	84,8	84,7	84,7	84,7	84,7	84,7	84,7
669	84,7	84,6	84,6	84,5	84,5	84,4	84,4	84,3	84,3	84,2
670	84,2	84,2	84,2	84,2	84,2	84,2	84,2	84,2	84,2	84,2
671	84,2	84,2	84,2	84,2	84,2	84,2	84,3	84,3	84,3	84,3
672	84,3	84,3	84,4	84,4	84,4	84,4	84,4	84,4	84,5	84,5
673	84,5	84,5	84,6	84,6	84,6	84,7	84,7	84,7	84,7	84,8
674	84,8	84,8	84,8	84,8	84,8	84,8	84,8	84,8	84,8	84,8
675	84,8	84,8	84,7	84,7	84,6	84,6	84,5	84,5	84,4	84,4
676	84,3	84,3	84,2	84,2	84,1	84,1	84,0	84,0	83,9	83,9
677	83,8	83,8	83,7	83,7	83,6	83,5	83,5	83,4	83,3	83,3
678	83,2	83,1	83,0	82,9	82,8	82,7	82,6	82,5	82,4	82,3
679	82,2	82,1	82,0	81,9	81,9	81,8	81,7	81,6	81,5	81,4
680	81,3	81,2	81,1	81,1	81,0	81,0	80,9	80,8	80,8	80,7
681	80,6	80,6	80,5	80,5	80,4	80,4	80,3	80,3	80,2	80,2
682	80,1	80,1	80,1	80,1	80,1	80,1	80,0	80,0	80,0	80,0
683	80,0	80,0	80,0	79,9	79,9	79,9	79,9	79,9	79,9	79,8
684	79,8	79,8	79,8	79,8	79,8	79,7	79,7	79,7	79,7	79,7
685	79,7	79,7	79,7	79,7	79,7	79,7	79,7	79,7	79,7	79,7
686	79,7	79,7	79,7	79,8	79,8	79,8	79,9	79,9	79,9	80,0
687	80,0	80,0	80,1	80,1	80,2	80,2	80,3	80,3	80,4	80,4
688	80,5	80,5	80,5	80,6	80,6	80,6	80,7	80,7	80,7	80,8
689	80,8	80,9	80,9	81,0	81,0	81,1	81,2	81,2	81,3	81,4
690	81,4	81,5	81,6	81,7	81,8	81,8	81,9	82,0	82,1	82,2
691	82,2	82,3	82,4	82,5	82,6	82,6	82,7	82,8	82,9	83,0
692	83,0	83,1	83,1	83,2	83,2	83,3	83,3	83,4	83,4	83,5
693	83,5	83,5	83,6	83,6	83,6	83,6	83,6	83,6	83,7	83,7
694	83,7	83,7	83,7	83,7	83,8	83,8	83,8	83,8	83,8	83,8
695	83,8	83,9	83,9	84,0	84,0	84,1	84,1	84,2	84,2	84,3
696	84,3	84,4	84,5	84,6	84,7	84,7	84,8	84,9	85,0	85,1
697	85,1	85,2	85,3	85,3	85,4	85,5	85,5	85,6	85,6	85,7
698	85,8	85,8	85,9	86,0	86,0	86,1	86,2	86,2	86,3	86,4
699	86,4	86,5	86,6	86,7	86,7	86,8	86,9	87,0	87,1	87,1
700	87,2	87,3	87,3	87,4	87,4	87,5	87,5	87,6	87,6	87,7
701	87,7	87,8	87,8	87,9	87,9	88,0	88,0	88,0	88,1	88,1
702	88,2	88,2	88,3	88,3	88,3	88,4	88,4	88,4	88,4	88,5
703	88,5	88,6	88,7	88,8	88,8	88,9	89,0	89,1	89,2	89,2
704	89,3	89,4	89,4	89,5	89,6	89,6	89,7	89,8	89,8	89,9
705	90,0	90,0	90,0	90,1	90,1	90,1	90,2	90,2	90,2	90,3
706	90,3	90,3	90,3	90,4	90,4	90,4	90,5	90,5	90,5	90,6
707	90,6	90,6	90,6	90,7	90,7	90,7	90,7	90,7	90,7	90,8
708	90,8	90,8	90,8	90,8	90,8	90,8	90,9	90,9	90,9	90,9
709	90,9	91,0	91,0	91,0	91,1	91,1	91,1	91,2	91,2	91,2
710	91,2	91,3	91,3	91,3	91,4	91,4	91,4	91,5	91,5	91,5
711	91,6	91,6	91,6	91,6	91,6	91,7	91,7	91,7	91,7	91,7
712	91,7	91,8	91,8	91,9	91,9	92,0	92,0	92,1	92,1	92,2

713	92,2	92,3	92,3	92,4	92,5	92,5	92,6	92,7	92,7	92,8
714	92,9	92,9	93,0	93,1	93,2	93,3	93,3	93,4	93,5	93,6
715	93,7	93,8	93,9	94,0	94,1	94,1	94,2	94,3	94,4	94,5
716	94,6	94,7	94,7	94,8	94,8	94,9	94,9	95,0	95,0	95,1
717	95,1	95,1	95,1	95,2	95,2	95,2	95,2	95,2	95,2	95,3
718	95,3	95,3	95,2	95,2	95,2	95,2	95,2	95,2	95,1	95,1
719	95,1	95,1	95,0	95,0	94,9	94,9	94,8	94,8	94,7	94,7
720	94,6	94,6	94,5	94,5	94,4	94,4	94,3	94,3	94,2	94,2
721	94,1	94,1	94,0	94,0	93,9	93,8	93,8	93,7	93,6	93,6
722	93,5	93,4	93,4	93,3	93,2	93,2	93,1	93,1	93,0	92,9
723	92,9	92,8	92,7	92,7	92,6	92,5	92,5	92,4	92,3	92,3
724	92,2	92,2	92,2	92,1	92,1	92,1	92,0	92,0	92,0	91,9
725	91,9	91,8	91,8	91,7	91,7	91,7	91,6	91,6	91,5	91,5
726	91,4	91,4	91,3	91,3	91,2	91,2	91,1	91,1	91,0	91,0
727	90,9	90,9	90,8	90,8	90,7	90,7	90,6	90,6	90,5	90,5
728	90,4	90,3	90,2	90,1	90,0	89,9	89,8	89,7	89,5	89,4
729	89,3	89,2	89,0	88,9	88,7	88,6	88,4	88,3	88,2	88,0
730	87,9	87,8	87,7	87,6	87,5	87,5	87,4	87,3	87,2	87,1
731	87,1	87,0	86,9	86,9	86,8	86,7	86,7	86,6	86,6	86,5
732	86,4	86,3	86,3	86,2	86,1	86,0	85,9	85,9	85,8	85,7
733	85,6	85,6	85,5	85,5	85,4	85,4	85,3	85,3	85,2	85,2
734	85,1	85,1	85,0	84,9	84,9	84,8	84,7	84,7	84,6	84,6
735	84,5	84,4	84,3	84,2	84,2	84,1	84,0	83,9	83,8	83,8
736	83,7	83,6	83,5	83,3	83,2	83,1	83,0	82,9	82,8	82,7
737	82,6	82,4	82,3	82,2	82,0	81,9	81,8	81,7	81,5	81,4
738	81,3	81,1	81,0	80,8	80,6	80,5	80,3	80,1	80,0	79,8
739	79,7	79,5	79,3	79,2	79,0	78,9	78,7	78,5	78,4	78,2
740	78,1	77,9	77,8	77,6	77,5	77,3	77,2	77,0	76,9	76,7
741	76,6	76,5	76,3	76,2	76,1	76,0	75,8	75,7	75,6	75,4
742	75,3	75,1	74,9	74,7	74,5	74,4	74,2	74,0	73,8	73,6
743	73,4	73,2	72,9	72,7	72,5	72,3	72,0	71,8	71,6	71,4
744	71,1	70,9	70,6	70,3	70,0	69,8	69,5	69,2	68,9	68,7
745	68,4	67,9	67,3	66,8	66,3	65,7	65,2	64,7	64,1	63,6
746	63,1	62,6	62,0	61,5	61,0	60,4	59,9	59,4	58,8	58,3
747	57,8	57,2	56,7	56,2	55,7	55,1	54,6	54,1	53,5	53,0
748	52,5	51,9	51,4	50,9	50,3	49,8	49,3	48,7	48,2	47,7
749	47,2	46,8	46,3	45,9	45,5	45,1	44,7	44,3	43,9	43,5
750	43,1	42,8	42,4	42,0	41,6	41,3	40,9	40,5	40,2	39,8
751	39,4	38,9	38,5	38,0	37,5	37,0	36,5	36,0	35,6	35,1
752	34,6	34,3	34,0	33,6	33,3	33,0	32,7	32,3	32,0	31,7
753	31,4	31,0	30,7	30,4	30,0	29,7	29,4	29,0	28,7	28,3
754	28,0	27,6	27,3	26,9	26,5	26,2	25,8	25,4	25,0	24,7
755	24,3	23,9	23,4	23,0	22,6	22,1	21,7	21,3	20,8	20,4
756	20,0	19,5	19,1	18,7	18,2	17,8	17,3	16,9	16,5	16,0
757	15,6	15,2	14,7	14,3	13,9	13,4	13,0	12,6	12,1	11,7

