

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO  
EM ENGENHARIA DE ENERGIA**

Ricardo Alexandre Sassa

Análise da Eficiência Energética de um Veículo  
Híbrido Hidráulico

**Dissertação submetida ao Programa de Pós-  
Graduação em Engenharia de Energia como  
parte dos requisitos para obtenção do título de  
Mestre em Ciências em Engenharia de Energia.**

**Área de Concentração:** Energia, Sociedade e Meio Ambiente

**Orientador:** Prof°. LUIZ AUGUSTO HORTA NOGUEIRA, D.Sc.

Setembro de 2014

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Mauá –  
Bibliotecária Margareth Ribeiro- CRB\_6/1700

S252a

Sassa, Ricardo Alexandre

Análise da eficiência energética de um veículo híbrido hidráulico  
/ Ricardo Alexandre Sassa. -- Itajubá, (MG) : [s.n.], 2014.  
111 p. : il.

Orientador: Prof. Dr. Luiz Augusto Horta Nogueira.  
Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Itajubá.

1. Veículo híbrido hidráulico. 2. Eficiência energética. 3. Redu\_  
ção de consumo de combustível. I. Nogueira, Luiz Augusto Horta,  
orient. II. Universidade Federal de Itajubá. III. Título.

# UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ

## PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO

### EM ENGENHARIA DE ENERGIA

Ricardo Alexandre Sassa

Dissertação aprovada por banca examinadora em 10 de setembro de 2014, conferindo ao autor o título de **Mestre em Ciências em Engenharia de Energia**.

**Banca Examinadora:**

Prof. Luiz Augusto Horta Nogueira (Orientador)

Prof. Marcelo José Pirani

Prof. Alexandre Salem Szklo

Itajubá 2014



*Ministério da Educação*  
**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ**  
*Criada pela Lei nº 10.436, de 24 de abril de 2002*

**TERMO DE ACEITE**  
**VERSÃO FINAL DA DISSERTAÇÃO/TESE**  
**PROGRAMAS DE PÓS-GRADUAÇÃO STRICTU SENSU**

Eu, Prof. Dr. Luiz Augusto Horta Nogueira, declaro que aceito a versão final da Dissertação/Tese de meu orientado Ricardo Alexandre Sassa, matrícula: 22097 do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Energia e que o mesmo contém as indicações e correções sugeridas pela Banca Examinadora e que poderá ser realizada sua Homologação.

Em \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de 2014.

Assinatura Orientador

## Resumo

Esse trabalho tem como objetivo estudar a eficiência energética de um veículo comercial, utilizando um sistema híbrido hidráulico em uma aplicação de coleta de lixo que tem como principal característica percorrer distâncias curtas, saindo do repouso e chegando a baixas velocidades em torno de 30 km/h e depois já começam a desacelerar o veículo retornando ao repouso. A utilização de um sistema híbrido hidráulico tem como principal objetivo recuperar energia dissipada durante a desaceleração do veículo e armazenar para utilizar quando necessário e com isso reduzir o consumo de combustível e conseqüentemente a redução de emissão de poluentes. Foi efetuada a modelagem da demanda energética em veículos, para estimar o efeito de um sistema híbrido. Os cálculos teóricos desse trabalho mostraram que um veículo híbrido hidráulico operando nessas condições pode alcançar reduções de consumo de combustível em torno de 22%, em relação a um veículo convencional. Testes em campo em um veículo real mostraram que a redução de consumo pode chegar a até 25%, indicando que a análise teórica está consistente com a aplicação real do sistema. Além disso, o sistema híbrido hidráulico melhorou o desempenho do veículo, aumentando a aceleração do veículo percorrendo maiores distâncias em menor tempo. Analisando a aplicação dessa tecnologia na frota de coleta de lixo de um grande centro urbano, no caso o Rio de Janeiro, a redução de consumo pode corresponder a uma economia anual de R\$ 10 milhões de reais, além de uma redução de emissões anuais de poluentes em aproximadamente em 48 t de monóxido de carbono, 110 t de óxido de nitrogênio, 15 t de hidrocarbonetos e 2 t de material particulado, melhorando as condições do ar na cidade e a saúde da população.

**Palavras-Chaves:** veículo híbrido hidráulico. eficiência energética. redução de consumo de combustível.

## **Abstract**

The purpose of this master dissertation is to study the energy efficiency of a commercial vehicle using a hydraulic hybrid system on garbage collection application. In that operation a typical characteristic is traveling small distance, leaving from a stop position and going to low speeds around 30 km/h and then begin to decelerate the vehicle to returning the stop position. The main objective of the hydraulic hybrid system is to recover the dissipated energy during deceleration of the vehicle and store it to use when is necessary, thus reducing the fuel consumption and consequently the pollutant emission. In this study the energy requirement to move vehicles was modeled and it is estimated that a hydraulic hybrid vehicle can achieve around 22% of fuel consumption. Field tests in real vehicle on test presented even greater reduction in fuel consumption (25%), indicating the adherence of theoretical analysis with the real application of the hybrid system on a vehicle. Furthermore, the hydraulic hybrid system has improved the vehicle performance, increasing the vehicle acceleration and allowing traveling greater distance in shortest time. The adoption of such technology in a fleet of garbage trucks in a city like Rio de Janeiro can produce annual savings of about R\$ 10 million in fuel consumption. Furthermore, the annual pollutant emission can be reduced in around 48 t of carbon monoxide, 110 t of nitrogen oxide, 15 t of hydrocarbons and 2 t of particulate matter, improving the air quality and the population health.

**Keywords:** hydraulic hybrid vehicle. energy efficiency. fuel consumption reduction.

*Há uma força motriz mais poderosa que o vapor, a eletricidade e a energia atômica: a vontade*

(Albert Einstein)

## **Agradecimentos**

Aos meus amigos e companheiros de trabalho que me ajudaram a tornar possível a realização desse trabalho.

Ao professor Luiz Augusto Horta Nogueira, pela valiosa orientação e principalmente pelo apoio e por acreditar na elaboração deste trabalho.

A todos os alunos do curso que compartilharam experiências, informações e conhecimentos, e a Kelly Reis que me ajudou inúmeras vezes durante esse curso.

A minha família que sempre me suportou e me ajudou em tudo que era possível, principalmente a minha esposa que teve que me acompanhar durante os dias de estudos e trabalhos.

## **Lista de Tabelas**

Tabela 1 – Dados de Entrada para Cálculos da Aceleração .....	41
Tabela 2 – Dados de Entrada para Frenagem.....	45
Tabela 3 - Preço do Diesel no Rio de Janeiro .....	67
Tabela 4 - Idade Média da Frota de Caminhões no Brasil.....	68
Tabela 5 – Resultados no Plano.....	75
Tabela 7 – Frota da Comlurb .....	79
Tabela 8 – Principais Poluentes dos Veículos Automotores.....	88
Tabela 9 – Limites de Emissão da Legislação PROCONVE .....	89
Tabela 10 – Frota de Veículos da Comlurb Estratificada.....	93
Tabela 11 – Fatores de Emissão da Frota da Comlurb .....	93
Tabela 12 – Emissões da Frota da Comlurb Anualmente.....	94

## Lista de Figuras

Figura 1 – 1º Veículo Híbrido: Lohner-Porsche.....	4
Figura 2 – Esquema de um veículo híbrido elétrico em série .....	8
Figura 3 – Esquema de um veículo híbrido elétrico em paralelo .....	9
Figura 4 – Esquema de um veículo híbrido elétrico duplo .....	10
Figura 5 – Esquema de um veículo híbrido hidráulico em série .....	13
Figura 6 – Esquema de um veículo híbrido hidráulico em paralelo .....	14
Figura 7 – Acumulador hidráulico de bexiga.....	15
Figura 8 – Diagrama de Ragone: Densidade de Energia x Densidade de Potência.....	16
Figura 9 – Característica do Híbrido Elétrico na Utilização da Energia .	17
Figura 10 – Característica do Híbrido Hidráulico na Utilização da Energia .....	17
Figura 11 – Bomba / Motor de Pistões Axial para Veículos Híbridos Hidráulicos .....	18
Figura 12 – Esquema de uma Caixa de Transferência para Veículos Híbridos Hidráulicos.....	19
Figura 13 – Transmissão 9 Velocidades sem HRB .....	23
Figura 14 – Detalhes da Transmissão ZF 9 Velocidades sem HRB .....	24
Figura 15 – Transmissão ZF 6 Velocidades com HRB .....	24
Figura 16 – Detalhes da Transmissão ZF 6 Velocidades com HRB .....	25
Figura 17 – Chassis do Veículo Base .....	26
Figura 18 – Veículo Com Sistema HRB Instalado .....	27
Figura 19 – Caminhão de Coleta de Lixo com Implemento .....	28
Figura 20 – Atuação da Força de Resistência ao Rolamento.....	29
Figura 21 – Atuação da Força de Arrasto Aerodinâmico .....	31
Figura 22 – Atuação da Força de Resistência Devido a Rampa .....	32
Figura 23 – Taxas Constantes de Aceleração e Desaceleração .....	33
Figura 24 – Relações de Marchas da Transmissão do Veículo.....	37
Figura 25 – Especificações do Acumulador Hidráulico .....	39
Figura 26 – Funcionamento do Acumulador Hidráulico .....	40
Figura 27 – Esquema de Rede CAN .....	49
Figura 28 – Equipamento de Leitura da CAN .....	50

Figura 29 - Conector Padrão do OBD.....	51
Figura 30 – Esquema de Aquisição de Dados da Rede CAN de um Veículo.....	52
Figura 31 - Módulo ES 600 Conectado ao Veículo.....	53
Figura 32 - Tela do Software INCA.....	54
Figura 33 - Acionamento do Sistema Híbrido Hidráulico .....	55
Figura 34 – Veículo Híbrido Hidráulico na Pista de Testes.....	56
Figura 35 – Veículo em uma Enchente.....	69
Figura 36 – Qualidade do Diesel Distribuído no Brasil.....	90

## Lista de Gráficos

Gráfico 1– Torque x Rotação do Motor D08 36 280 .....	35
Gráfico 2 – Dente de Serra da Transmissão.....	36
Gráfico 3 – Curva de Aceleração de um Veículo no Plano .....	42
Gráfico 4 – Potência Necessária para Aceleração no Plano .....	43
Gráfico 5 – Torque Necessário para Aceleração no Plano .....	43
Gráfico 6 – Consumo Acumulado para Aceleração no Plano .....	44
Gráfico 7 – Consumo Acumulado Teórico Comparando Veículo Normal e Veículo Híbrido Hidráulico .....	47
Gráfico 8 – Consumo Instantâneo Comparativo com e sem HRB .....	57
Gráfico 9 – Consumo Médio Diário Comparativo com e sem HRB.....	58
Gráfico 10 – Comparativo Consumo Médio Acumulado com e sem HRB .....	58
Gráfico 11 – Comparativo de Velocidades Comparativo com e sem HRB .....	59
Gráfico 12 – Comparativo de Distâncias Percorridas com e sem HRB .....	60
Gráfico 13 – Comparativo de Injeção de Combustível com e sem HRB .....	61
Gráfico 14 – Utilização de Marchas da Transmissão na Aplicação .....	62
Gráfico 15 – Tempo de Operação e Carga do Veículo na Aplicação ....	63
Gráfico 16 – Tempo de Operação e Rampas na Aplicação.....	64
Gráfico 17 – Injeção de Diesel Comparativo Teórico e Testes .....	65
Gráfico 18 – Comparativo de Consumo Teórico e Testes .....	66
Gráfico 19 – Redução das Emissões de Poluentes Conforme Fases da Legislação PROCONVE .....	91
Gráfico 20 – Redução das Emissões de Poluentes com HRB na Frota da Comlurb .....	94

## Lista de Siglas

PROCONVE	Programa de Controle de Poluição do Ar por Veículos Automotores
EURO	European Emission Standard Stage
EPA	United States Environmental Protection Agency
HRB	Hydrostatic Regenerative Braking
HLA	Hydraulic Launch Assist
KERS	Kinetic Energy Recovery System
CAN	Controller Area Network
OBD	On Board Diagnose
$F_{rol}$	Força de resistência ao rolamento
$F$	Coeficiente de resistência ao rolamento
$M$	Massa do veículo
$G$	Aceleração da gravidade
$A$	Ângulo de deformação do pneu com o asfalto
$F_A$	Força de resistência ao rolamento
$C_d$	Coeficiente de arrasto
$\rho_{ar}$	Densidade do ar
$A_{frontal}$	Área frontal do veículo
$V$	Velocidade (velocidade do veículo + velocidade do vento)
$F_{St}$	Resistência devido à rampa
$F_{ac}$	Resistência devido à aceleração
$A$	Aceleração do veículo
$F_{prop}$	Força de propulsão necessária
$M_{roda}$	Momento na roda
$r_{roda}$	Raio dinâmico da roda
$T_{nec}$	Torque necessário do motor
$i_c$	Relação da transmissão
$i_d$	Relação do eixo traseiro
$\eta_{tr}$	Eficiência mecânica da transmissão
$P_{nec}$	Potência necessária
$n_{motor}$	Rotação do motor
$Q_{motor}$	Consumo do motor
$q_{motor}$	Consumo específico do motor
$v_{max}$	Velocidade máxima do veículo na marcha
$r_{max}$	Rotação máxima do motor
$n_{troca}$	Rotação de troca de marcha
$Dx$	Desaceleração linear na direção x
$F_{xt}$	Forças de desaceleração total atuante no veículo na direção longitudinal.
$v_0$	Velocidade inicial
$v_f$	Velocidade final
$t_s$	Tempo da variação de velocidade
$X$	Distância percorrida
$E_c$	Energia Cinética
$E$	Energia consumida
$PCI_{diesel}$	Poder Calorífico Inferior do diesel
$m_{diesel}$	Massa de diesel consumida
ECU	Engine Control Unit

Comlurb	Companhia Municipal de Limpeza Urbana
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CO	Monóxido de carbono
NOx	Óxidos de nitrogênio
HC	Hidrocarbonetos
MP	Material particulado
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
IBAMA	Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e dos Recursos Renováveis
ANP	Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustível
TAC	Termo de Ajustamento de Conduta
ANFAVEA	Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores
$E_p$	Emissão de poluente
Km	Quilometragem média anual
Q	Número de veículos da frota circulante
$FE_p$	Fator de emissão do veículo
$FE_p'$	Fator de emissão em g/kw.h
P	Potência
V	Velocidade média
ANTT	Agência Nacional de Transportes Terrestres

# Sumário

<b>1.INTRODUÇÃO</b>	<b>1</b>
1.1. Transporte, eficiência e meio ambiente	1
1.2. Objetivos	2
1.3. Estrutura da dissertação	2
<b>2.REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b>	<b>4</b>
2.1. Histórico	4
2.2. Definição	5
2.3. Veículo Híbrido Elétrico	6
2.3.1. Veículo Híbrido Elétrico em Série	8
2.3.2. Veículo Híbrido Elétrico em Paralelo	8
2.3.3. Veículo Híbrido Elétrico Duplo	9
2.3.4. Vantagens do Veículo Híbrido Elétrico	10
2.4. Veículo Híbrido Hidráulico	11
2.4.1. Veículo Híbrido Hidráulico em Série	12
2.4.2. Veículo Híbrido Hidráulico em Paralelo	13
2.4.3. Componentes do Veículo Híbrido Hidráulico	14
2.4.3.1. Acumuladores Hidráulicos	15
2.4.3.2. Bombas e Motores Hidráulicos	18
2.4.3.3. Manifold e Central Eletrônica	19

<b>3.VEÍCULOS HÍBRIDOS HIDRÁULICOS VERSUS HÍBRIDOS ELÉTRICOS</b>	<b>21</b>
<b>4.INSTALAÇÃO DO SISTEMA</b>	<b>23</b>
<b>5.MODELAGEM DO SISTEMA HÍBRIDO HIDRÁULICO</b>	<b>28</b>
<b>5.1. Forças Resistivas ao Movimento</b>	<b>29</b>
<b>5.1.1. Resistência ao Rolamento</b>	<b>29</b>
<b>5.1.2. Arrasto Aerodinâmico</b>	<b>30</b>
<b>5.1.3. Resistência Devido a Rampa</b>	<b>32</b>
<b>5.1.4. Resistência Devido a Aceleração</b>	<b>33</b>
<b>5.2. Torque do motor</b>	<b>34</b>
<b>5.3. Transmissão</b>	<b>36</b>
<b>5.4. Frenagem</b>	<b>37</b>
<b>5.5. Energia dos acumuladores</b>	<b>39</b>
<b>6.ESTUDO DE CASO</b>	<b>41</b>
<b>6.1. Dados de Entrada de Aceleração</b>	<b>41</b>
<b>6.2. Simulação de Aceleração no Plano</b>	<b>42</b>
<b>6.3. Simulação de Frenagem</b>	<b>45</b>
<b>7.SIMULAÇÃO DE UM VEÍCULO HÍBRIDO HIDRÁULICO</b>	<b>46</b>
<b>8.TESTES EM VEÍCULO</b>	<b>48</b>
<b>8.1. Rede de Dados</b>	<b>48</b>
<b>8.2. Equipamento de Teste</b>	<b>51</b>

8.3. Resultados em Pista de Teste	55
8.4. Resultados na Aplicação	61
9.COMPARAÇÃO DE RESULTADOS VERSUS TESTES EM VEÍCULO	65
10.REDUÇÃO DO CUSTO OPERACIONAL DO VEÍCULO	67
11.CONCLUSÕES	69
11.1. Sugestões Trabalhos Complementares	70
12.REFERENCIAS	72
13.ANEXOS	75
14.APÊNDICE	88
14.1. Redução da Emissão de Poluentes	88

# 1. INTRODUÇÃO

O transporte eficiente, capaz de atender as demandas de movimentar pessoas e bens com menor consumo de energia e conseqüentemente menor poluição é o campo do presente estudo. Nesse capítulo introdutório o contexto da dissertação é exposto, assim como os objetivos a serem alcançados e a metodologia de estudo empregada para esse trabalho, apresentando os diversos capítulos.

## 1.1. Transporte, eficiência e meio ambiente

A poluição atmosférica é dos aspectos preocupantes da atualidade, afetando bastante a saúde e a qualidade de vida das pessoas, principalmente nos grandes centros urbanos. Até meados da década de 80, a poluição atmosférica urbana era atribuída basicamente às emissões industriais, e as ações dos órgãos governamentais progressivamente promoveram o controle dessas fontes estacionárias de emissões. Entretanto, com o crescimento da frota veicular, verificou-se um notável incremento da contribuição das emissões dos veículos automotores na degradação da qualidade do ar. Além das questões relacionadas com a qualidade de ar local, apresenta também crescente relevância o aumento da concentração atmosférica de dióxido de carbono e outros gases de efeito estufa, com suas importantes implicações sobre a mudança climática no planeta.

Outro estímulo importante para a adoção de novas tecnologias veiculares está associado à segurança energética, que impõe alternativas aos combustíveis baseado em recursos fósseis e concentrados em regiões instáveis, com preços crescentes. Por isso, a busca por combustíveis menos poluentes e por sistemas de transportes mais eficientes e econômicos é objeto de estudo em todo mundo. Empresas, pesquisadores e universidades buscam novas tecnologias de forma a encontrar uma forma de reduzir o consumo de combustível fóssil ou de encontrar novas fontes de energia para locomoção. Além disso, existem várias legislações de emissões de poluentes de veículos automotores, de forma a controlar os níveis de emissões, por exemplo, ao que se aplica aos motores que utilizam diesel, existe o PROCONVE no Brasil, o EURO na União Europeia e o EPA nos Estados Unidos.

Em busca de redução de consumo de combustível, e conseqüentemente uma redução de emissões de poluente, vem crescendo no mercado a utilização de veículos híbridos, que utilizam dois tipos de propulsores para a locomoção

do veículo, de forma a reduzir o consumo de combustível. Atualmente no mercado de automóveis podem ser encontrados diversos modelos de veículos híbridos utilizando um motor de combustão interna alternativo e um motor elétrico, em diferentes configurações.

Esse trabalho propõe o estudo da tecnologia de um veículo comercial híbrido hidráulico para a aplicação no Brasil, levando em consideração as condições de uso no país, apresentando cálculos e equacionamentos do consumo de combustível com o uso dessa tecnologia, avaliando os custos envolvidos e os ganhos durante a operação.

## **1.2. Objetivos**

O objetivo principal desse trabalho é estudar a aplicação da tecnologia híbrida hidráulica utilizada em um veículo comercial de coleta de lixo, que possui uma forma de operação anda e para, avaliando o impacto energético desse sistema no consumo de combustível e também na redução de emissão de poluentes.

Os objetivos específicos são em função dos impactos e resultados da utilização dessa tecnologia:

- Realizar o estudo de impacto em utilizar a tecnologia de híbrido hidráulico em um veículo comercial;
- Simular através de cálculos o ganho potencial em redução de consumo de combustível desse veículo;
- Comparar a simulação dos cálculos com teste em veículo protótipo
- Analisar os dados da aplicação de utilização do sistema híbrido hidráulico em uma situação real de trabalho
- Analisar a viabilidade técnica e as vantagens econômicas dessa tecnologia para ser aplicada no Brasil;

## **1.3. Estrutura da dissertação**

No próximo capítulo se apresenta a revisão bibliográfica, que permitiu coletar diversos trabalhos relativos ao uso de veículos híbridos, bem como toda a base teórica sobre a modelagem de seu funcionamento, especificamente do

ponto de vista energético, considerando a energia necessária para colocar um veículo em movimento e também para pará-lo em determinadas condições.

No capítulo 3 mostra-se uma comparação de um veículo híbrido hidráulico versus um veículo híbrido elétrico e conseqüentemente os motivos de se optar por um veículo híbrido hidráulico para o Brasil.

No capítulo 4 mostra-se como o sistema HRB pode ser instalado em um veículo, e quais são as principais alterações para que o sistema seja adaptado a um veículo existente.

No Capítulo 5 a modelagem do funcionamento é desenvolvida, de forma a permitir estimar o impacto energético de um veículo comercial, coletor de lixo em operação normal utilizada nos dias de hoje.

O estudo de caso da utilização de um sistema híbrido hidráulico é realizado no capítulo 6, simulando como o sistema pode se comportar teoricamente na operação. A análise da operação e do desempenho de um veículo híbrido hidráulico real é desenvolvida no Capítulo 7, que mostra como o veículo com esse sistema HRB (Hydrostatic Regenerative Braking) ou HLA (Hydraulic Launch Assist) irá ter impacto energético em uma aplicação. O Capítulo 8 apresenta os resultados de testes realizados em veículo em pista de teste e também em situação de operação real, assim como resultados do comportamento do veículo durante suas rotas, mostrando que as considerações do estudo teórico estão refletindo uma situação real.

A comparação dos cálculos com os testes em veículos é realizada no Capítulo 9, de forma a validar que a simulação feita em planilha Excel está correta e mostrar que o impacto energético do sistema HRB calculada possui parâmetros satisfatórios aos que foram encontrados no veículo.

No capítulo 10 mostra-se o retorno financeiro que pode ser obtido na utilização de um veículo híbrido hidráulico em uma operação real e o quanto poderá ser investido para a conversão de um veículo.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O levantamento de referências no âmbito dessa dissertação apresentado a seguir cobre desde a evolução histórica dessa tecnologia veicular, revisando as definições e as tecnologias atualmente em desenvolvimento.

### 2.1. Histórico

Apesar de ser um assunto amplamente estudado nos dias de hoje, o veículo híbrido não é uma invenção nova, o primeiro protótipo de um veículo utilizando uma tecnologia híbrida de propulsão é de Ferdinand Porsche em 1898 que ficou conhecido como Lohner-Porsche (Hantula, 2009), um veículo com motor de combustão interna alternativo e quatro motores elétricos montados na roda.



Figura 1 – 1º Veículo Híbrido: Lohner-Porsche

Los Angeles Auto Show (2007)

O Lohner-Porsche utilizava uma mistura de motor elétrico e a gasolina. O motor a gasolina trabalhava em uma rotação constante e alimentava um dínamo que gerava energia elétrica para as baterias. As baterias por sua vez, alimentavam os motores elétricos que estavam posicionados nas rodas dianteiras e traseiras, dessa forma não havia transmissão, cardans, embreagem, etc. O veículo dessa forma tinha um bom rendimento, pois não havia perdas por atrito nos componentes citados anteriormente. Até meados de 1920 foram lançados veículos híbridos similares ao Lohner-Porsche.

Os veículos híbridos foram comercializados fortemente até 1910, porém devido ao avanço dos motores de combustão interna, essa tecnologia foi deixada de lado, pois os motores passaram a ter um melhor rendimento em consumo e desempenho. Porém devido à crise do petróleo nos anos 60 e 70, o interesse por essa tecnologia voltou à tona, pois buscava-se fontes alternativas de energia, já que o petróleo atingia valores altos e havia pouca demanda.

Nos anos 80 a preocupação mudou, passou a ser ambiental, e a não poluição do ar passou a ser premissa para novos desenvolvimentos, fazendo com que a tecnologia de veículos híbridos novamente fosse despertada nos interesses das grandes fabricantes de automóveis. Porém nenhuma tecnologia era comercialmente viável, devido principalmente às baterias que não possuíam tecnologia para suprir as necessidades desses veículos e eram muito caras, até que duas montadoras lançaram em 1997 seus veículos conceitos com tecnologia híbrida: a Toyota lançou o Prius, apresentado em 1995 no salão do automóvel do Japão e a Audi lançou o Audi-Duo A4. Já com baterias que utilizavam a mesma tecnologia de bateria para celulares, com um bom funcionamento e um custo um pouco menor (Jurgen, 2002).

## **2.2. Definição**

No sentido mais amplo, o termo veículo híbrido é usado para designar propulsões automotivas com mais de uma fonte de propulsão. Veículos híbridos podem incorporar vários acumuladores e/ou conversores de energia, similares ou diferentes. O objetivo do desenvolvimento do veículo híbrido é combinar diversos propulsores de modo a aproveitar as vantagens de cada um, sobre diferentes condições operacionais, fazendo com que as vantagens compensem os custos envolvidos.

Os veículos híbridos mais comuns utilizados atualmente são os elétricos, que funcionam com um motor de combustão interna alternativo, porém são capazes de converter energia em eletricidade, que é estocada em uma bateria até que o motor elétrico entre em funcionamento, proporcionando torque ao

veículo, economizando assim a energia requerida pelo motor de combustão interna alternativo, pois o motor funciona na sua melhor curva de rendimento. Isso permite que o motor de combustão interna alternativo seja mais eficiente, use menos combustível e assim produza menos poluentes. Logo, o motor elétrico é usado quando o motor de combustão interna alternativo está com baixa eficiência, isto é, quando acelerando, quando subindo ladeira ou quando em baixa rotação.

Diferente dos veículos elétricos, os veículos híbridos não precisam ser conectados a fontes externas de eletricidade, utilizam somente energia vinda da combustão interna e/ou dos freios regenerativos.

Outra tecnologia de veículos híbridos é denominada como híbrido hidráulico, ao invés de utilizar um motor elétrico, utiliza uma motor/bomba hidráulica para regenerar a energia perdida e acumular essa energia em reservatórios pressurizados, quando há necessidade de usar essa energia acumulada nos reservatórios, o fluido pressurizado é enviado para a motor/bomba de forma a propiciar torque ao veículo e assim uma redução de consumo de combustível.

## **2.3. Veículo Híbrido Elétrico**

Os veículos híbridos elétricos são os mais conhecidos e usados atualmente em automóveis, várias montadoras já possuem seus modelos lançados e com boa aceitação no mercado, o caso mais famoso é o Toyota Prius que na versão 2010 é considerado o veículo com maior economia de combustível disponível no mercado segundo a EPA (Environmental Protection Agency) dos Estados Unidos, esse veículo é um ícone dos automóveis híbridos e dos carros verdes em geral.

Uma aplicação bem conhecida de um sistema híbrido está nos carros de Fórmula 1, onde é conhecido como KERS (Kinetic Energy Recovery System) que é um sistema de recuperação de energia em frenagem, que fica armazenada em uma bateria, e depois essa energia é utilizada para aumentar a potência do motor, principalmente nas retas ou ultrapassagens.

O veículo híbrido elétrico combina a estrutura de um veículo convencional com motor de combustão interna alternativo, com um veículo elétrico que utiliza motores elétricos para proporcionar movimento às rodas.

A estrutura básica de um veículo de combustão interna alternativo se resume a um tanque de combustível que fornece combustível ao motor, que

por sua vez fornece torque a uma transmissão que faz com que dê movimento às rodas. Por sua vez, a estrutura de um veículo elétrico tem um conjunto de baterias que fornecem eletricidade a um motor elétrico que por sua vez fornece torque a uma transmissão que faz com que dê movimento às rodas, essas baterias são carregadas por uma fonte externa quando o veículo está parado para abastecimento. A grande desvantagem nesse caso é o tempo para recarregar as baterias serem elevados e o veículo fica sem uso durante esse período.

Os veículos híbridos elétricos possuem a seguinte estrutura:

Motor de combustão interna alternativo – o veículo híbrido elétrico possui um motor de combustão interna alternativo, semelhante ao veículo de combustão interna alternativo, porém pode ter tamanhos reduzidos, pois em caso de necessidade de mais torque ou potência será auxiliado pelo motor elétrico.

Tanque de combustível – o tanque de combustível de um veículo híbrido elétrico é onde há o armazenamento de energia ao motor de combustão interna alternativo

Motor elétrico – o motor elétrico em um veículo híbrido elétrico é muito sofisticado. A tecnologia eletrônica avançada permite sua atuação tanto como um motor quanto como um gerador. Por exemplo, se for preciso, esse tipo de automóvel pode extrair energia das baterias para acelerar. Entretanto, agindo como gerador, ele pode frear o veículo e devolver energia para as baterias.

Gerador – o gerador é similar a um motor elétrico, mas age apenas para a produção de energia elétrica.

Baterias – a bateria de um veículo híbrido é o dispositivo de armazenamento de energia para o motor elétrico. Diferentemente do combustível no tanque de combustível, que pode acionar apenas o motor a gasolina, o motor elétrico em um veículo híbrido pode fornecer energia para as baterias e ainda retirar energia delas.

Transmissão – a transmissão em um veículo híbrido elétrico tem a mesma função básica de um veículo de combustão interna alternativo, porém existem alguns modelos de transmissão que possuem um gerador integrado para recuperar energia durante a frenagem.

Os veículos híbridos elétricos são classificados em 3 tipos: série, paralelo, duplo ou combinado (Jurgen, 2002), conforme será visto a seguir.

### 2.3.1. Veículo Híbrido Elétrico em Série

São denominados veículos híbridos em série, quando se tem um motor de combustão interna alternativo que tem somente a função de gerar energia para alimentar o sistema de propulsão elétrico, dessa forma o motor de combustão interna alternativo trabalha apenas na sua melhor condição de consumo, gerando energia que será armazenada diretamente nas baterias, que irão alimentar o motor elétrico, que por sua vez irão propiciar movimento ao veículo a Figura 2 ilustra esquematicamente como funciona esse sistema.

Nesses veículos a energia química presente no combustível, é transformada em energia mecânica pelo motor de combustão interna alternativo, passando para um gerador que transforma a energia mecânica em elétrica, parte dessa energia é armazenada em bateria e parte dela vai direto ao motor elétrico que transmite torque as rodas do veículo, todo esse processo é gerenciado por uma central eletrônica.

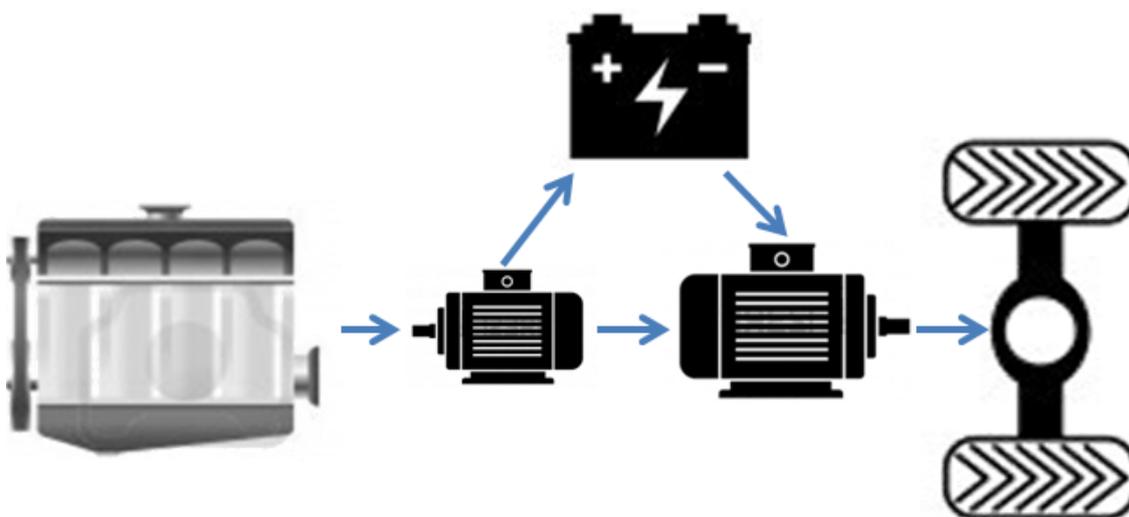


Figura 2 – Esquema de um veículo híbrido elétrico em série

(Elaboração própria)

### 2.3.2. Veículo Híbrido Elétrico em Paralelo

São denominados veículos híbridos elétricos em paralelo, quando se tem um motor a combustão interna, usado para fornecer torque ao veículo e energia ao motor elétrico. O motor elétrico está ligado em paralelo ao motor de

combustão interna alternativo, auxiliando em determinadas situações, acrescentando torque ao veículo, a Figura 3 ilustra esquematicamente como funciona esse sistema.

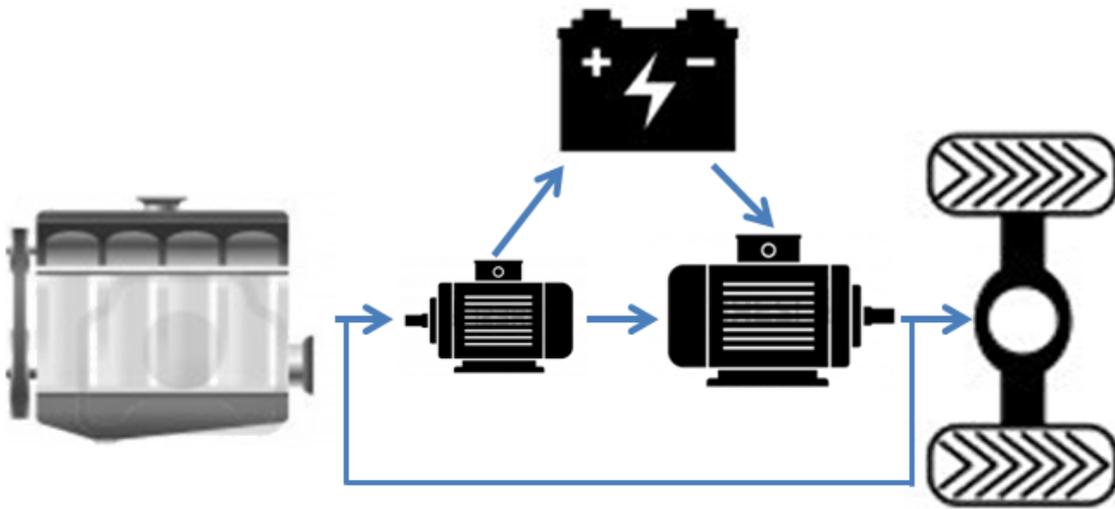


Figura 3 – Esquema de um veículo híbrido elétrico em paralelo

(Elaboração própria)

### 2.3.3. Veículo Híbrido Elétrico Duplo

O veículo híbrido elétrico duplo, ou combinado série-paralelo, é uma combinação dos dois sistemas anteriores. Sua composição é semelhante a um híbrido de série, porém a conexão mecânica das rodas está ligada aos dois propulsores. Neste caso o sistema utiliza as características dos sistemas em série e paralelo em conjunto; requer ambas as funções, um gerador e um motor. A potência mecânica do motor de combustão interna alternativo é dividida através de uma engrenagem planetária no pacote em série (do motor de combustão interna alternativo para o gerador) e no pacote em paralelo (do motor de combustão interna alternativo para as rodas), a Figura 4 ilustra como funciona esse sistema.

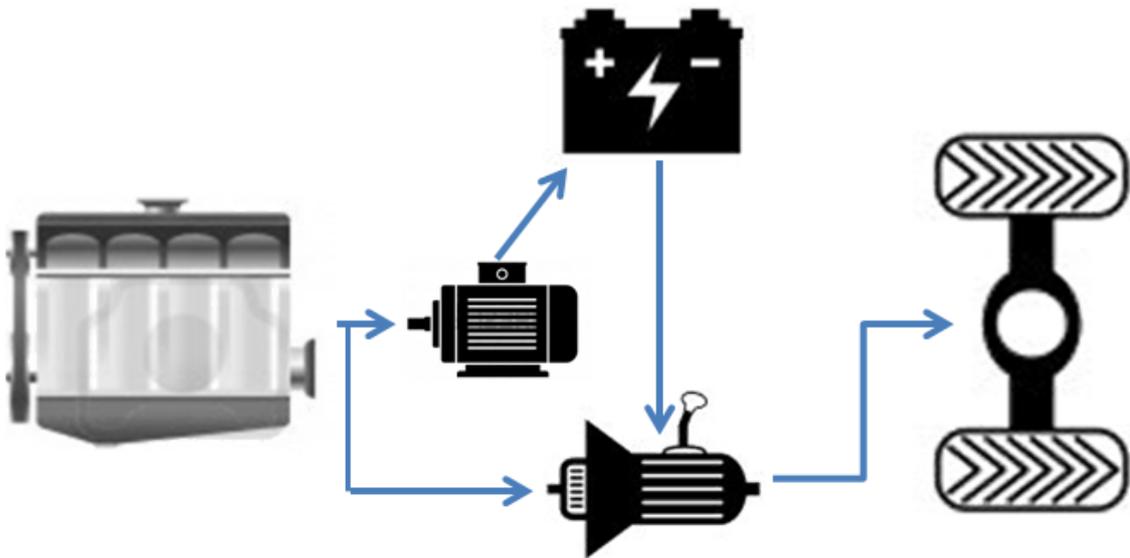


Figura 4 – Esquema de um veículo híbrido elétrico duplo  
(Elaboração própria)

### 2.3.4. Vantagens do Veículo Híbrido Elétrico

Os veículos híbridos elétricos integram duas fontes de energia num único veículo, combinando um veículo a combustão convencional com um veículo de motor elétrico. A bateria armazena a energia elétrica produzida pelo motor de combustão, fornecendo-a ao motor elétrico que a transforma em energia mecânica. O motor de combustão, que tem como fonte um reservatório de combustível, pode acionar o gerador para carregar a bateria ou acionar diretamente as rodas.

Estes tipos de veículos combinam características positivas dos veículos com motores de combustão interna como a autonomia e a disponibilidade de potência, com características de motores elétricos como menor ruído, gestão da potência, menor consumo e reaproveitamento da energia.

Algumas das vantagens dos veículos híbridos elétricos são devido a sua tecnologia, que tem como base:

- a) Frenagem regenerativa – ao frear o veículo as rodas passam a gerar energia ao motor elétrico, o qual funciona como um gerador fornecendo energia elétrica às baterias.
- b) Desligamento automático – quando o veículo está parado, no caso de um semáforo ou devido ao trânsito, encontrando-se em

marcha lenta, o motor desliga-se automaticamente, com consumo zero de combustível, e quando necessário entrar em movimento, o motor elétrico é acionado pelas baterias para colocar o veículo em movimento, e em seguida o motor de combustão interna alternativo é novamente ligado.

- c) Assistência à tração – quando necessário uma potência maior, em casos de subida ou ultrapassagem, o motor elétrico fornece potência adicional. Em caso de funcionamento em regimes de baixa velocidade, o motor elétrico fornece toda energia responsável para movimentar o veículo, uma vez que motores de combustão interna são menos eficientes nesses regimes.

Com toda essa tecnologia embarcada em um veículo é possível citar as vantagens de um veículo híbrido elétrico:

- a) Economia de combustível
- b) Redução de emissão de poluentes
- c) Redução de ruído

## **2.4. Veículo Híbrido Hidráulico**

O veículo híbrido hidráulico possui o mesmo princípio de funcionamento de um veículo híbrido elétrico, porém ao invés de utilizar componentes para trabalhar com eletricidade, os híbridos hidráulicos utilizam componentes hidráulicos, como bomba e motor hidráulico, acumuladores hidráulicos e fluidos. Esses componentes são utilizados amplamente em aplicações industriais, como prensas e injetoras. Existe também uma grande aplicação veicular, principalmente em veículos como tratores, colheitadeiras, guindastes, caminhão de lixo ou caminhão de reboque. Porém nessas aplicações veiculares, esses equipamentos são utilizados normalmente para funções auxiliares, como levantar peso ou implementos para realização do trabalho, mas não são utilizados para proporcionar movimento ao veículo.

Os veículos híbridos hidráulicos possuem a seguinte estrutura:

- a) Motor de combustão interna alternativo – o veículo híbrido hidráulico possui um motor de combustão interna alternativo, da mesma forma que o híbrido elétrico, é responsável por transformar energia química do combustível em energia mecânica para que o sistema funcione.

- b) Tanque de combustível – o tanque de combustível de um veículo híbrido hidráulico é onde há o armazenamento de energia ao motor de combustão interna alternativo.
- c) Bomba hidráulica – a bomba hidráulica é responsável por pressurizar o fluido para ser utilizado quando necessário.
- d) Reservatórios – o veículo híbrido hidráulico possui reservatório de baixa pressão que é responsável apenas por armazenar o fluido que irá passar pela bomba hidráulica, e possui o reservatório de alta pressão ou acumulador de alta pressão que irá armazenar o fluido pressurizado pela bomba.
- e) Motor hidráulico – o motor hidráulico é responsável por utilizar o fluido pressurizado e transformar a energia do fluido em energia mecânica para movimentar o veículo
- f) Transmissão – a transmissão em um veículo híbrido hidráulico tem a mesma função de um veículo convencional, apenas transmite a energia para as rodas do veículo.

Os veículos híbridos hidráulicos são classificados em 2 tipos: em série e em paralelo, que serão descritos nos próximos itens.

### **2.4.1. Veículo Híbrido Hidráulico em Série**

O veículo híbrido hidráulico em série possui um motor que é responsável apenas por alimentar a bomba hidráulica, parte desse fluido que passa pela bomba irá para a transmissão hidráulica que irá transmitir torque para as rodas, e parte desse fluido pressurizado irá para o reservatório de alta pressão, ficando armazenado e posteriormente será utilizado também para a transmissão hidráulica, a Figura 5 mostra como funciona esse sistema.

Os veículos híbridos hidráulicos em série possuem a vantagem de ter menos componentes por onde o fluido irá passar para transmitir o torque para as rodas do veículo, com isso possuem uma maior economia de combustível, pois tem menos perdas no sistema, seja por restrição ou atrito.

O sistema híbrido hidráulico em série, elimina vários componentes do trem de força de um veículo, fazendo com que o veículo ganhe diferentes características de condução e também uma redução de consumo de combustível, uma vez que o sistema hidráulico fornece menos perda por atrito do que os sistemas mecânicos convencionais, transmissão, cardan, etc, esses sistemas poderiam ser até mesmo utilizados em máquinas de construções pesadas, que apesar de não possuir uma aplicação onde pode haver grande

recuperação de energia, a eficiência do sistema hidráulico pode reduzir o consumo de combustível dessas máquinas (Achten, P. A. 2008)

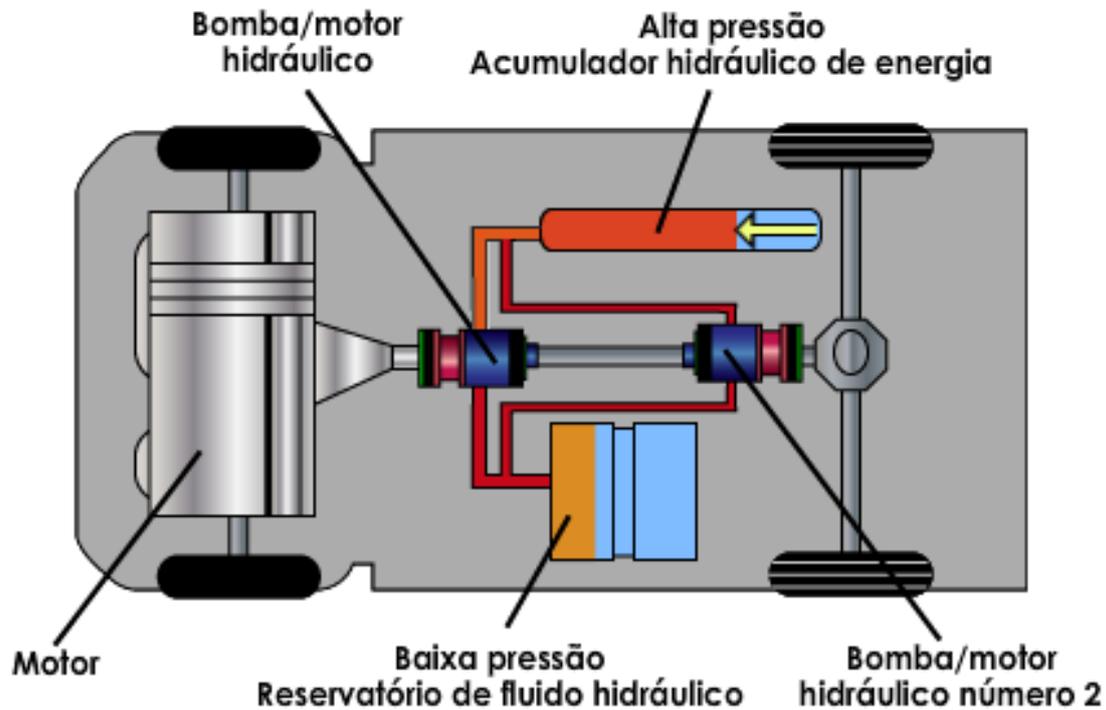


Figura 5 – Esquema de um veículo híbrido hidráulico em série

(How Stuff Works, 2013)

## 2.4.2. Veículo Híbrido Hidráulico em Paralelo

O veículo híbrido hidráulico em paralelo possui todos os componentes de um veículo a combustão interna tradicional, porém, além disso, possui uma bomba / motor hidráulico, e reservatórios de alta e baixa pressão. Esse sistema hidráulico opera paralelamente ao sistema principal do veículo, fazendo que em momentos que o veículo necessite de mais torque, o fluido pressurizado do reservatório de alta pressão seja deslocado para o motor hidráulico que transmite torque ao veículo, auxiliando o sistema principal normalmente em subidas. Quando o veículo está freando, o fluido do reservatório de baixa pressão é deslocado para a bomba hidráulica que pressuriza o fluido e envia para o reservatório de alta pressão, recuperando a energia perdida durante a frenagem, além de auxiliar o veículo a frear, a Figura 6 mostra como funciona esse sistema.

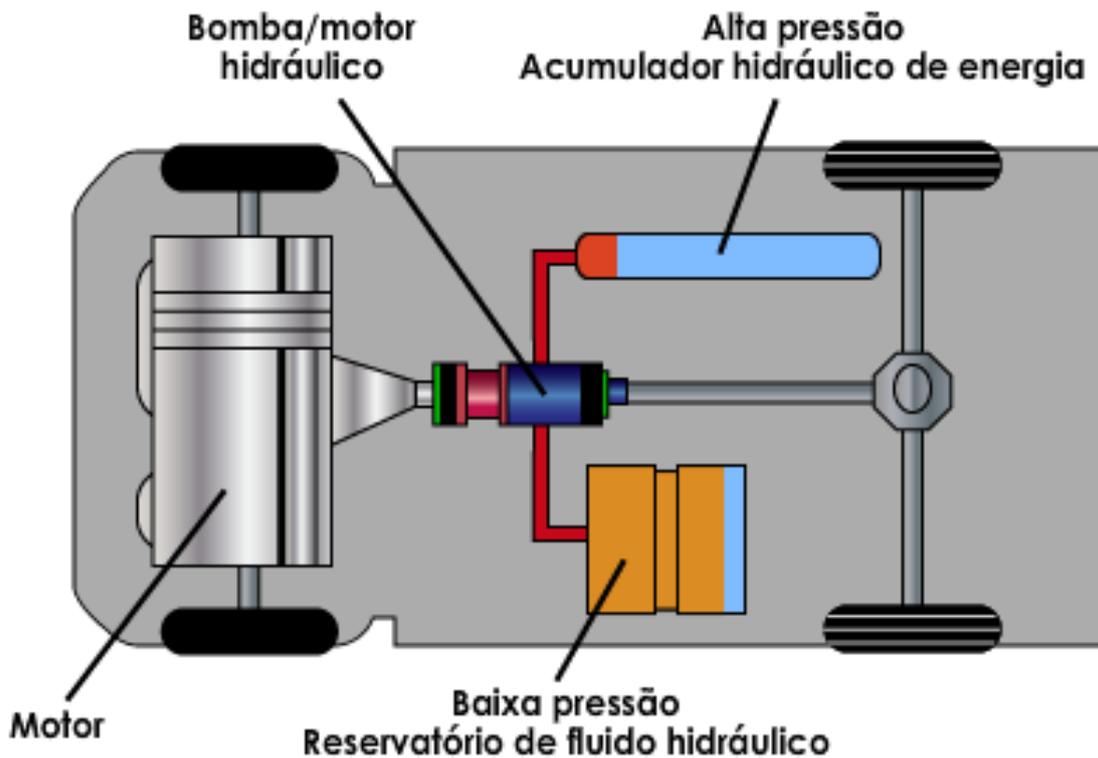


Figura 6 – Esquema de um veículo híbrido hidráulico em paralelo

(How Stuff Works, 2013)

### 2.4.3. Componentes do Veículo Híbrido Hidráulico

Nesse item será detalhado os principais componentes de um sistema híbrido hidráulico, quais são suas funções, seu sistema de funcionamento no veículo e também quais são as suas vantagens e desvantagens para utilização em um país em desenvolvimento como o Brasil.

Os veículos híbridos hidráulicos em paralelos são utilizados atualmente em situações de muito trânsito ou quando existe a necessidade de andar e parar por várias vezes, como por exemplo, em aplicação de lixo ou de ônibus urbano, pois toda vez que existe a necessidade do veículo parar, os freios são acionados e ocorre a recuperação de energia pelo sistema, que pode ser utilizado no momento em que o veículo irá partir.

### 2.4.3.1. Acumuladores Hidráulicos

Em um veículo híbrido hidráulico temos acumuladores hidráulicos de alta pressão, para armazenar a energia recuperada durante a frenagem do veículo em forma de pressão. Os acumuladores hidráulicos normalmente utilizados são os de bexiga que utilizam normalmente gás nitrogênio.

Esse acumulador possui uma bexiga com gás nitrogênio dentro de um cilindro metálico, com 2 válvulas, uma para o gás nitrogênio ser abastecido na bexiga e outra para o fluido de trabalho. Quando o veículo está desacelerando, a bomba hidráulica é acionada de forma a enviar o fluido do reservatório de baixa pressão para o acumulador de alta pressão, conforme esse acumulador vai enchendo de fluido, o gás nitrogênio vai sendo pressurizado dentro da bexiga, pois o volume da bexiga vai diminuindo conforme o volume de fluido aumenta no acumulador.

Após o fluido estar pressurizado no acumulador, quando o veículo necessita de um torque extra ou necessita economizar combustível, a válvula do fluido se abre, de forma que o fluido que está pressurizado saia do acumulador devido a expansão do gás nitrogênio dentro da bexiga, e alimente um motor hidráulico de forma a fornecer energia ao veículo, esse fluido após passar pelo motor hidráulico é enviado a um reservatório de baixa pressão.

A Figura 7 mostra um acumulador hidráulico de bexiga:

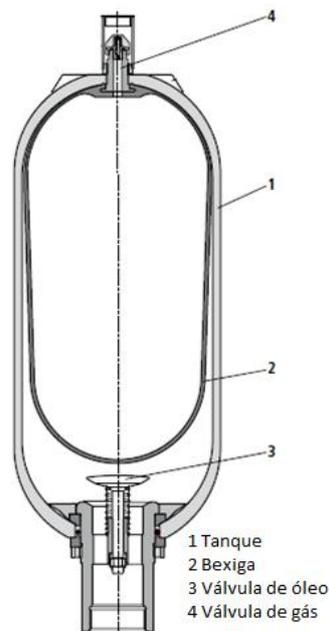


Figura 7 – Acumulador hidráulico de bexiga

(BOSCH, 2012)

Os acumuladores hidráulicos no veículo híbrido hidráulico possuem a mesma função das baterias no híbrido elétrico, acumular a energia restaurada durante a frenagem e utilizá-la quando necessário. O sistema de acumulação de energia hidráulica mostra-se mais eficiente, quando a energia sai dos acumuladores e irá ser utilizada, no sistema elétrico a eficiência da energia quando sai da bateria e chega aos motores elétricos é de 81% e no veículo híbrido hidráulico essa eficiência é de 94% quando a energia sai dos acumuladores e chega aos motores hidráulicos, uma grande diferença de eficiência bem no início da utilização da energia restaurada (Rydberg, 2009).

Conforme o Diagrama de Ragone (Electropaedia, 2005) Figura 8, pode-se concluir que as baterias possuem alta energia específica e os acumuladores hidráulicos alta potência específica. As baterias por terem alta energia específica possuem uma autonomia bem maior que os acumuladores, porém possuem baixa potência específica que levam um tempo maior para armazenar e dissipar a energia. Por sua vez, os acumuladores hidráulicos possuem alta potência específica que faz com que possa rapidamente armazenar e dissipar essa energia, que em uma situação de muito transito ou de uma aplicação veicular de aceleração e desaceleração seja vantajoso o uso dessa tecnologia.

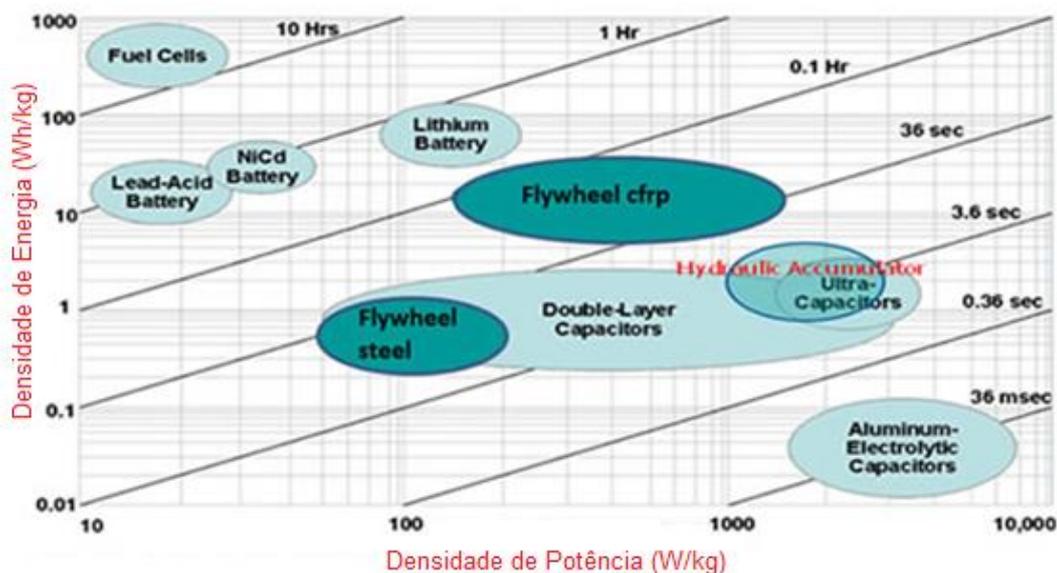
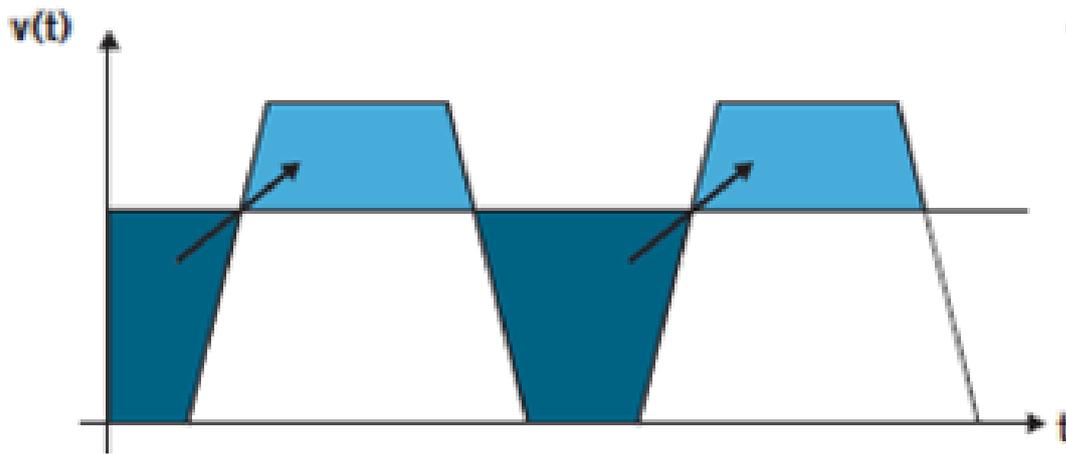


Figura 8 – Diagrama de Ragone: Densidade de Energia x Densidade de Potência (Electropaedia, 2013)

Pode-se mostrar que o funcionamento para armazenar e utilizar a energia é diferente em acumuladores hidráulicos e baterias elétricas, o gráfico da Figura 9 e da Figura 10 mostram como é feito essas ações em ambos os casos:

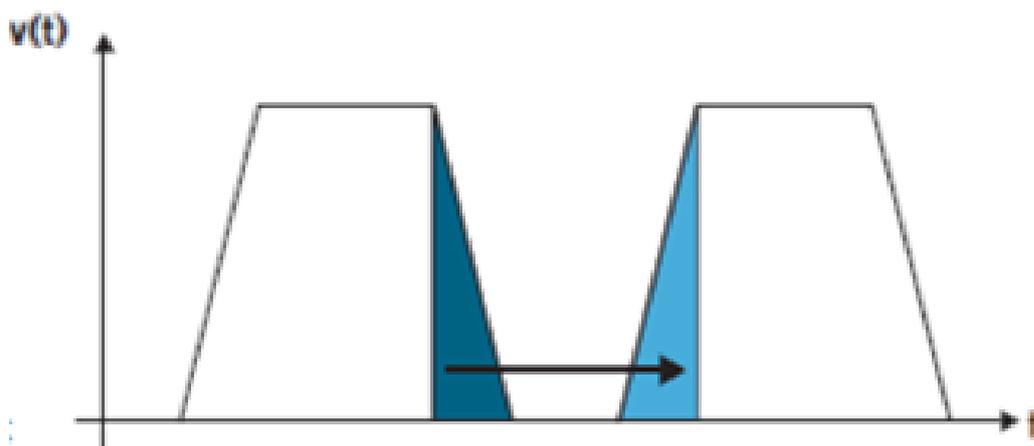


## Híbrido Elétrico

Figura 9 – Característica do Híbrido Elétrico na Utilização da Energia

(BOSCH, 2002)

No híbrido elétrico o excesso de energia é acumulado por um longo período na bateria (parte azul escuro), o veículo vai acumulando a energia excedente por um longo período de tempo e depois é utilizada quando necessário (parte azul claro), como a sua densidade de potência é baixa, a energia das baterias vão sendo fornecidas lentamente ao veículo por um longo período.



## Híbrido Hidráulico

Figura 10 – Característica do Híbrido Hidráulico na Utilização da Energia

(BOSCH, 2002)

No híbrido hidráulico utilizando a energia cinética da frenagem alimenta o acumulador hidráulico (parte azul escuro), como os acumuladores hidráulicos possuem alta densidade de potência, rapidamente a energia é absorvida e também disponibilizada para o uso (parte azul clara), porém como possui baixa densidade de energia, sua capacidade em acumular energia é bem pequena, fazendo com que o sistema se esvazie rapidamente.

### 2.4.3.2. Bombas e Motores Hidráulicos

Nos veículos híbridos hidráulicos em paralelos, tem-se um componente hidrostático que em alguns momentos trabalha como bomba e depois como motor hidráulico, por ser um componente único e fazer essas duas funções é conhecido como motor/bomba hidráulica.

Para efetuar essa função em um veículo híbrido hidráulico são utilizadas bombas de pistões axiais, pois são componentes que podem facilmente trabalhar como bomba e como motor, por uma simples mudança de posição de um eixo esse componente pode mudar a sua forma de atuação, dessa forma quando existe a necessidade de fornecer torque ao veículo à placa da bomba/motor é colocada em um ângulo que faz com que o fluido sai do acumulador hidráulico de alta pressão, passe nesse caso pelo motor hidráulico fornecendo torque e siga para o reservatório de baixa pressão. Quando o veículo está freando, o ângulo da placa nesse caso da bomba hidráulica é colocado em uma posição que faz com que o fluido sai do reservatório de baixa pressão passe pela bomba e pressurize o nitrogênio contido no acumulador de alta pressão.

A Figura 11 mostra os componentes dessa peça, que funciona como bomba e como motor hidráulico.

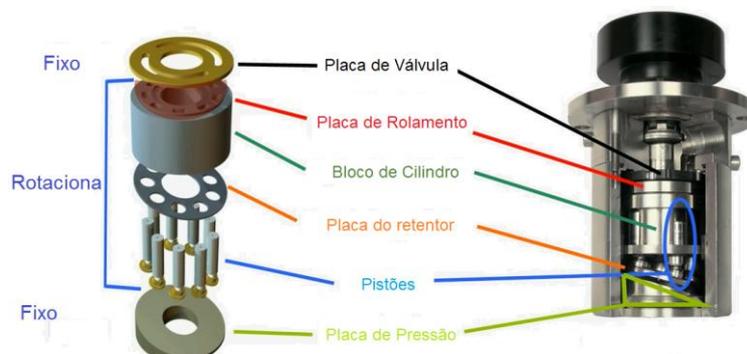


Figura 11 – Bomba / Motor de Pistões Axial para Veículos Híbridos Hidráulicos

(Danfoss, 2012)

A moto/bomba hidráulica é acoplada a uma caixa de transferência conforme Figura 12, essa caixa de transferência é composta por engrenagens que fazem a ligação da moto/bomba com o sistema de propulsão do veículo. Essa caixa de transferência normalmente está conectada a árvore de transmissão do veículo, assim ela está sempre acionada. Quando é necessário torque ao veículo e os acumuladores estão cheios, a moto/bomba é acionada de forma que essa caixa de transferência forneça energia ao veículo e ajude em sua movimentação, quando o veículo está freando, a caixa de transferência fornece energia a moto/bomba que faz o fluido hidráulico sair do reservatório de baixa pressão e ir para os acumuladores de alta pressão.

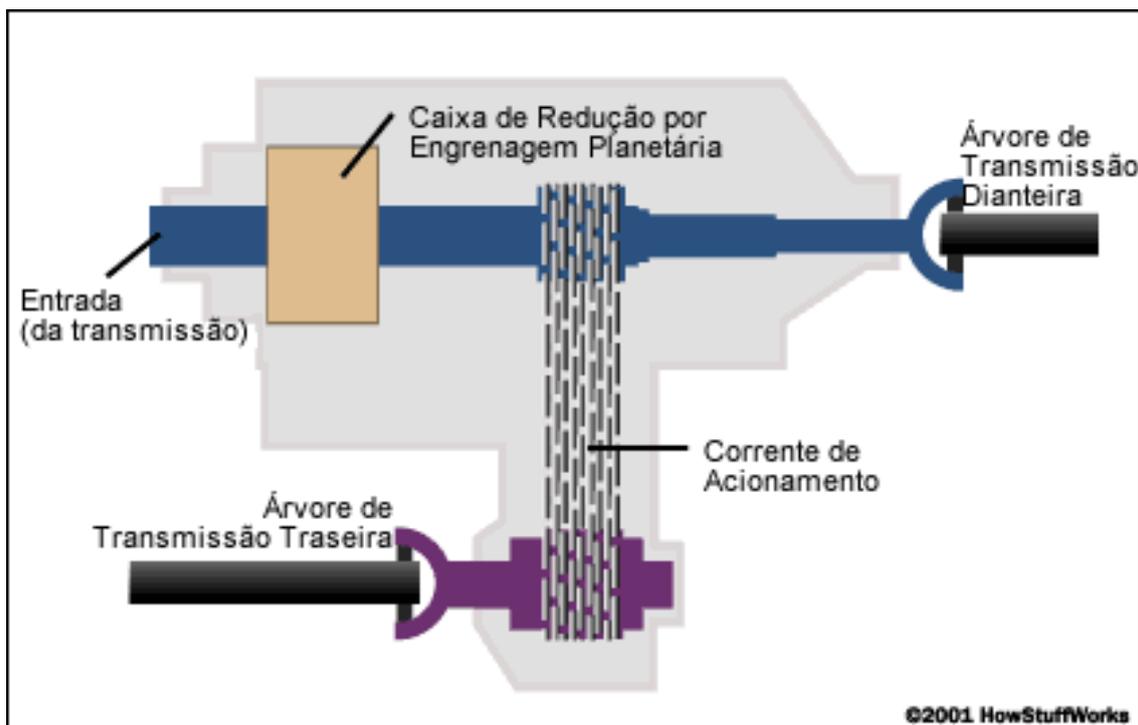


Figura 12 – Esquema de uma Caixa de Transferência para Veículos Híbridos Hidráulicos

(How Stuff Works, 2001)

### 2.4.3.3. Manifold e Central Eletrônica

Para controlar a atuação do sistema, fazendo com que o fluxo de fluido saia de um reservatório e siga para outro, é necessário um coletor/distribuidor controlado por válvulas, o qual é conhecido por manifold. Esse elemento é controlado eletricamente através de válvulas solenoides que direcionam o sentido do fluxo que o fluido deve seguir.

Os comandos elétricos para esse manifold são realizados por uma central eletrônica, que possui um software e assim detecta em que condição o veículo está operando e define qual a atuação o sistema deve seguir, de recuperar energia ou de auxiliar o sistema a movimentar-se. Essa central eletrônica é conectada ao veículo na rede CAN, onde passam todas as informações da central eletrônica do motor e da transmissão, fazendo uma comunicação completa dos principais sistemas de um veículo.

A central eletrônica pode possuir ainda um algoritmo integrado ao veículo, de forma que a utilização da energia dos acumuladores hidráulicos seja realizada nos momentos em que o veículo mais consome combustível, ao invés de utilizá-las em qualquer momento, com essa lógica sendo implementada, o sistema poderia ficar mais econômico ainda, fazendo com que os veículos híbridos hidráulicos pudessem ter um rendimento ainda maior, em torno de 28 a 48% de redução de consumo (Wu, 2004).

### **3. VEÍCULOS HÍBRIDOS HIDRÁULICOS VERSUS HÍBRIDOS ELÉTRICOS**

Nos capítulos anteriores foi descrito o funcionamento de duas tecnologias de veículos híbridos, o elétrico e o hidráulico, os sistemas tem o funcionamentos parecidos, porém mudam seus componentes. Analisando a parte de armazenamento de energia, o híbrido elétrico utiliza baterias, que podem armazenar uma grande quantidade de energia, porém baixa potência de utilização, avaliando a sua aplicação, é recomendada para veículos que precisam ter grande autonomia, já os hidráulicos utilizam acumuladores hidráulicos que armazenam pouca energia, mas tem grande potência, recomendado para aplicações de anda e pára, de forma a carregar e descarregar o sistema rapidamente. Analisando os sistemas de armazenamento de energia, o sistema elétrico possui uma vida menor de duração, pois as baterias possuem uma durabilidade menor que o sistema hidráulico.

Nos veículos híbridos elétricos a manutenção e manuseio dos equipamentos necessitam de uma atenção especial, pois o sistema atua em alta tensão e os riscos de acidentes são elevados, além de ser suscetível a áreas que possuem risco de alagamento, nos veículos hidráulicos o sistema consiste em equipamentos de manutenção mais simples, como bombas, mangueiras e acumuladores hidráulicos, o que facilita sua manutenção e permite a utilização em locais com risco de alagamento.

O sistema híbrido hidráulico possui um alto nível de ruído, pois seus componentes hidráulicos possuem muita turbulência no fluxo do fluido, e os veículos elétricos são muito silenciosos, pois não possuem equipamentos mecânicos de transferência de energia.

Os sistemas possuem suas características, pontos fortes e fracos, porém analisando uma aplicação de coleta de lixo no Brasil, pode-se chegar a conclusão da utilização do sistema híbrido hidráulico pelos seguintes pontos:

- Disponibilidade de mão de obra para manutenção do sistema disponível em oficinas.
- Não possui risco de choques de alta tensão ou danos ao veículo devido a enchentes ou fortes chuvas.
- A aplicação de coleta de lixo é do tipo anda e pára, fazendo com que o sistema possa carregar e descarregar facilmente.
- A durabilidade do sistema, principalmente do acumulador hidráulico faz com que o retorno financeiro durante a vida

do veículo seja maior, pois não necessita de novos investimentos na manutenção do sistema.

- O sistema atua recuperando energia durante a frenagem, o que auxilia o sistema de freio e faz com que seus componentes tenham uma vida maior.

Os itens de vantagem do sistema híbrido hidráulico mostram que esse sistema é uma alternativa de recuperação de energia em um veículo de coleta de lixo que apresenta a melhor alternativa para países como o Brasil, que possuem baixo nível de manutenção de sua frota e condições climáticas e de operações extremamente severas, necessitando assim de um sistema robusto e que possa além de recuperar energia e diminuir o consumo de combustível, não comprometa a utilização do veículo durante sua operação, evitando assim transtornos ou retirando o veículo da operação devido a defeitos ou por falta de mão de obra especializada para reparo.

## 4. INSTALAÇÃO DO SISTEMA

O sistema HRB possui uma vantagem de ter componentes que podem ser adicionados a veículos existentes com poucas alterações, os veículos praticamente recebem um kit com as peças novas do sistema e pequenas modificações. No caso do veículo conceito, algumas alterações mais complexas foram realizadas de forma a ter um veículo mais apropriado para a aplicação de lixo.

A primeira alteração foi realizar a troca da transmissão, o veículo possuía uma transmissão de 9 velocidades manual, e como a aplicação de coleta de lixo acaba sendo apenas em baixas velocidades, optou-se para a utilização de uma transmissão de 6 marchas automatizada, com isso reduziu o peso do caminhão com a utilização de uma transmissão mais leve, a Figura 13 e a Figura 14 mostram alguns detalhes da transmissão retirada do veículo.



Figura 13 – Transmissão 9 Velocidades sem HRB

(ZF, 2012)

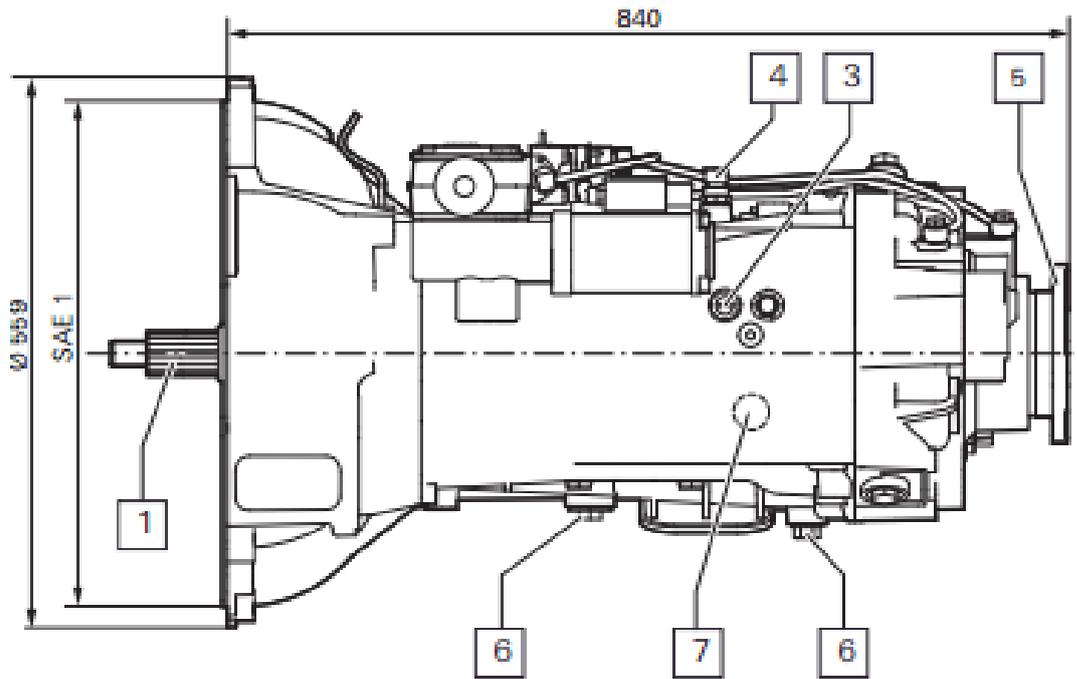


Figura 14 – Detalhes da Transmissão ZF 9 Velocidades sem HRB  
(ZF, 2012)

A Figura 15 e a Figura 16 mostram a transmissão de 6 velocidades que foi instalada no veículo conceito, sua utilização não é mandatória para transformar um veículo para híbrido hidráulico, pode-se manter a transmissão existente no veículo, nesse caso particular, optou-se por substituir a transmissão para ter uma redução de peso do veículo e com isso poder transportar mais carga.



Figura 15 – Transmissão ZF 6 Velocidades com HRB  
(ZF, 2012)

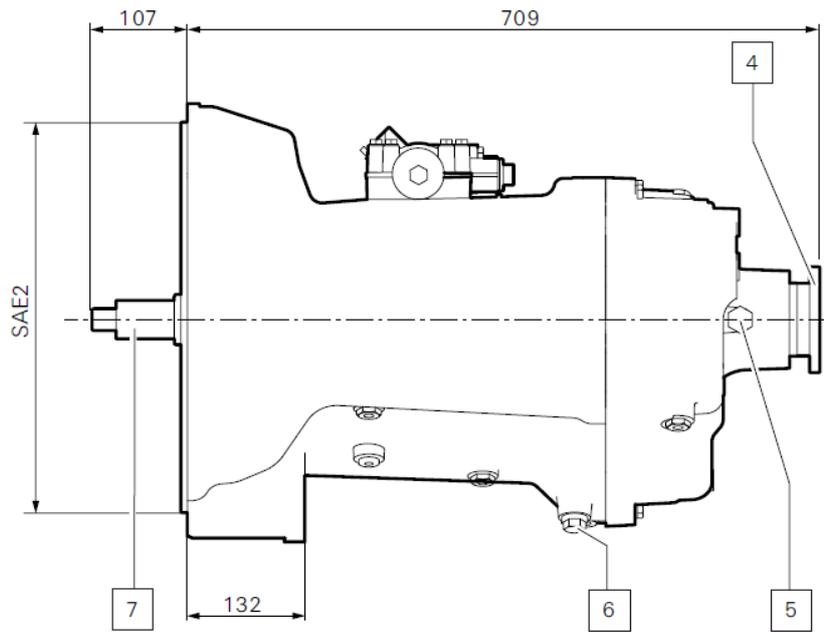


Figura 16 – Detalhes da Transmissão ZF 6 Velocidades com HRB  
(ZF, 2012)

A troca da transmissão manual por uma automatizada faz com que o sistema de troca de marchas passe a ser controlado por uma central eletrônica da transmissão, que através das informações que recebe do motor, como rotação e torque, a central possui um algoritmo que calcula qual a marcha mais adequada para determinada situação. Essa transmissão possui atuadores hidráulicos que desacoplam a embreagem e faz o engate das marchas. Esse sistema faz com que o veículo utilize sempre a marcha correta de forma a ter melhor consumo, protege os componentes do veículo, pois evita trocas indevidas de marchas, assim como a utilização em altas rotações do motor, além disso traz um grande conforto ao motorista, pois não precisa ficar acionando a embreagem e nem trocando de marchas, evitando assim lesões por movimentos repetitivos que a aplicação com transmissão manual exige.

A Figura 17 mostra o chassi do veículo base com uma transmissão de 9 velocidades:

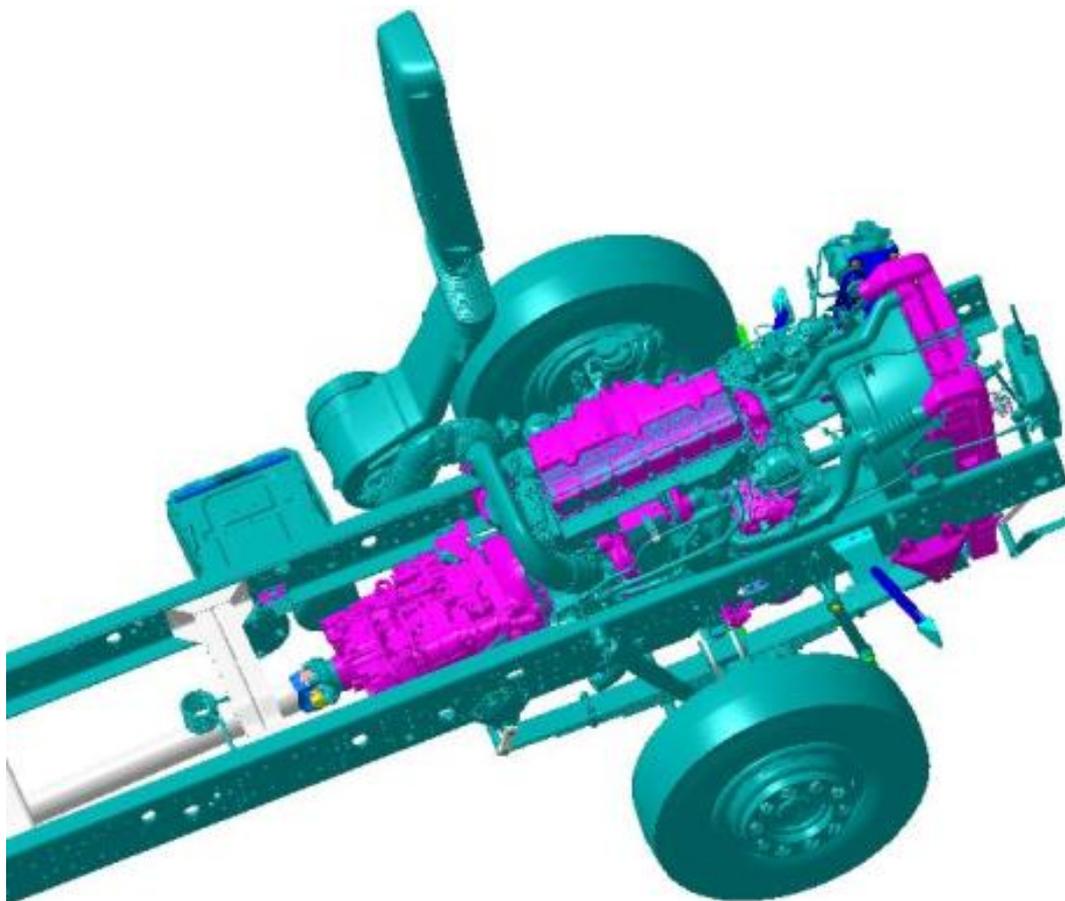


Figura 17 – Chassis do Veículo Base

Como a transmissão de 6 velocidades é menor, isso facilitou a instalação da moto/bomba que precisa ser adicionada ao sistema, sua ligação com o trem de força foi feita com eixos cardans adaptados, ligando a transmissão a moto/bomba e depois ao eixo traseiro do veículo. A moto/bomba foi fixada no chassi, através de suportes estampados com um amortecimento de borracha para absorver as vibrações e movimentação do sistema.

O reservatório de baixa pressão e os acumuladores, ficaram posicionados na parte traseira da cabine, de forma a não reduzir o espaço do implemento compactador. Todos os demais componentes como manifold, central eletrônica e as tubulações hidráulicas, foram fixadas no chassi através de suportes, em locais vazios que não seriam utilizados, a Figura 18 mostra como ficou a instalação do sistema:

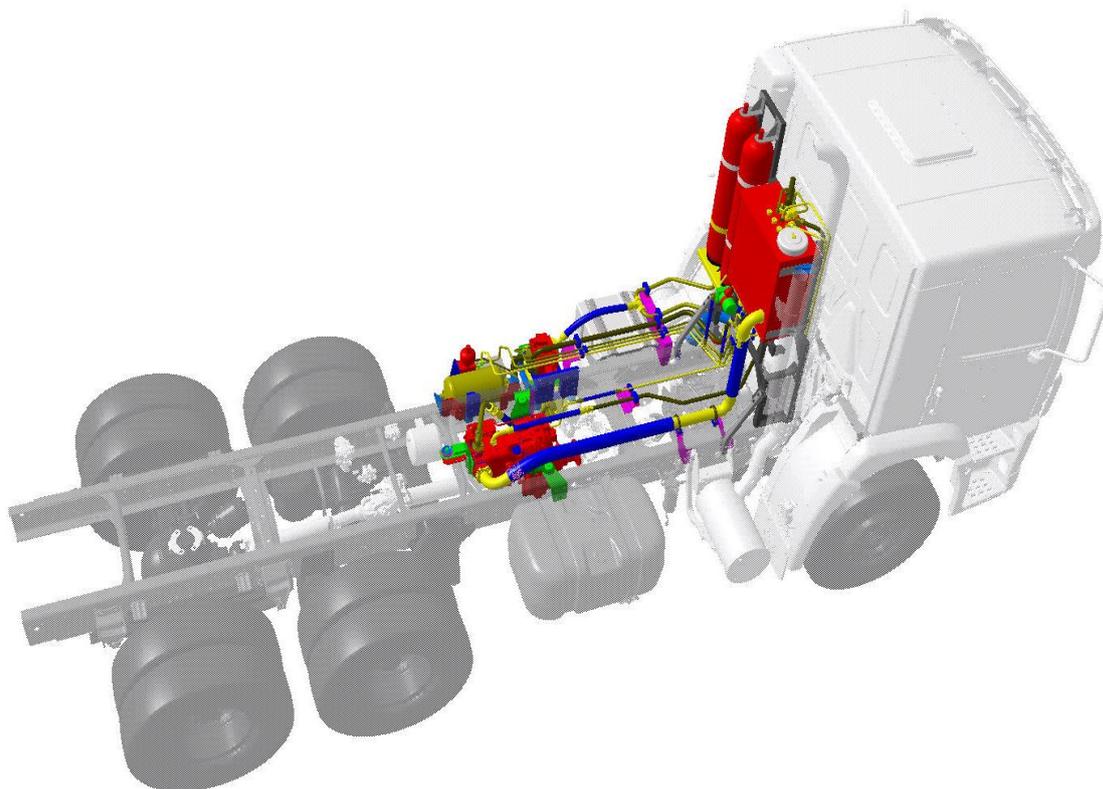


Figura 18 – Veículo Com Sistema HRB Instalado

O veículo também precisou fazer uma adaptação dos chicotes elétricos, pois foi necessário colocar a central eletrônica da transmissão em comunicação com a central eletrônica do motor, e também com a central eletrônica do sistema HRB.

Após todas essas alterações o veículo foi enviado a um encarroçador para colocar o implemento compactador de lixo para começar a operar.

## 5. MODELAGEM DO SISTEMA HÍBRIDO HIDRÁULICO

Nesse capítulo serão apresentadas as equações de movimento relacionadas a um veículo, e também as equações de recuperação de energia de frenagem do sistema híbrido hidráulico. A partir dessas equações será possível avaliar e dimensionar a redução de consumo que um sistema híbrido poderá proporcionar em um dado ciclo de carga ou utilização, a ser comparado com o sistema convencional.

Para essa modelagem será considerado um caminhão de coleta de lixo, esses veículos são utilizados com implemento de compactadores normalmente, e sua utilização é de anda e pára, o que pode-se ver mais a frente que é a aplicação com melhor resultado para esse tipo de sistema, a Figura 19 mostra um caminhão desse tipo:



Figura 19 – Caminhão de Coleta de Lixo com Implemento

## 5.1. Forças Resistivas ao Movimento

As forças que atuam em um veículo em movimento são: resistência ao rolamento, arrasto aerodinâmico, resistência devido a rampa e resistência devido a aceleração. Nos próximos itens iremos descrever qual a sua natureza e seu equacionamento.

### 5.1.1. Resistência ao Rolamento

A força de resistência ao rolamento ( $F_{rol}$ ) é a força que o pneu exerce contra o movimento do veículo, esse fenômeno ocorre devido à deformação que o pneu sofre em contato com o solo em razão da carga aplicada sobre ele. Como o pneu é feito de borracha, um material com propriedades visco elásticas, quando ele rola, a face em contato com o solo se deforma, e após passar por esse contato, ela volta ao seu estado normal. Essas deformações repetidas inúmeras vezes causam uma perda de energia em forma de calor, devido ao efeito de histerese contido nesse elemento. A Figura 20 ilustra como é a atuação dessa força.

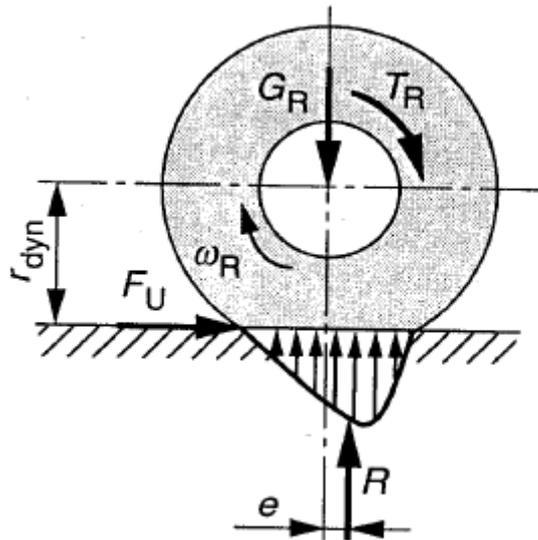


Figura 20 – Atuação da Força de Resistência ao Rolamento

(Lechner, 1999)

A equação para cálculo da resistência ao rolamento é:

$$F_{rol} = f * m * g * \cos \alpha \quad \text{equação (5.1)}$$

Onde:

$F_{rol}$  = resistência ao rolamento

$f$  = coeficiente de resistência ao rolamento

$m$  = massa do veículo

$g$  = aceleração da gravidade

$\alpha$  = ângulo de deformação do pneu com o asfalto

O coeficiente de resistência ao rolamento para caminhões para asfalto ou concreto está entre 0,006 a 0,01 (Bosch, 2005).

### 5.1.2. Arrasto Aerodinâmico

As forças aerodinâmicas que têm efeito no movimento dos veículos são originadas de duas fontes, a primeira é o atrito viscoso e a segunda o diferencial de pressão devido ao formato do veículo.

Para o cálculo da força de arraste aerodinâmico ( $F_A$ ), é utilizada uma forma simplificada, devido ao fluxo de ar ao redor do veículo ser muito complexo, o que levaria a desenvolvimento de modelos semi empíricos para poder representar o arrasto aerodinâmico.

A equação para o cálculo da força de arraste aerodinâmico é:

$$F_A = \frac{1}{2} * C_d * \rho_{ar} * A_{frontal} * v^2 \quad \text{equação (5.2)}$$

Onde:

$F_A$  = força de arrasto aerodinâmico

$C_d$  = coeficiente de arrasto

$\rho_{ar}$  = densidade do ar

$A_{frontal}$  = área frontal do veículo

$v$  = velocidade (velocidade do veículo + velocidade do vento)

No caso da velocidade, se o vento estiver contra o sentido de movimentação do veículo deverá ser somada a velocidade do veículo, se estiver no mesmo sentido de movimentação do veículo, a velocidade do vento deve ser subtraída.

O coeficiente de arrasto para caminhões está entre 0,80 a 1,5 (Bosch, 2005), a área frontal está em torno de 6,0 a 10,0 m<sup>2</sup> (Lechner, 1999), no caso do veículo em análise, suas medidas são de 3,2 m de altura e 2,5 m de largura, resultando em uma área frontal de 8,2 m<sup>2</sup> (MAN, 2013).

A Figura 21 mostra um veículo em um túnel de vento, é possível observar como o fluxo de ar se comporta quando atinge o veículo, isso mostra como a força que o arrasto aerodinâmico pode exercer sobre um veículo, dificultando o seu movimento. No caso de caminhões, principalmente aqueles que são utilizados para percorrer longas distâncias e com velocidades mais elevadas, a influência do arrasto aerodinâmico é muito significativa na performance do veículo, e principalmente no consumo de combustível, é uma área que está sendo cada dia mais explorada pelos fabricantes automotores para melhorar o desempenho dos seus produtos.

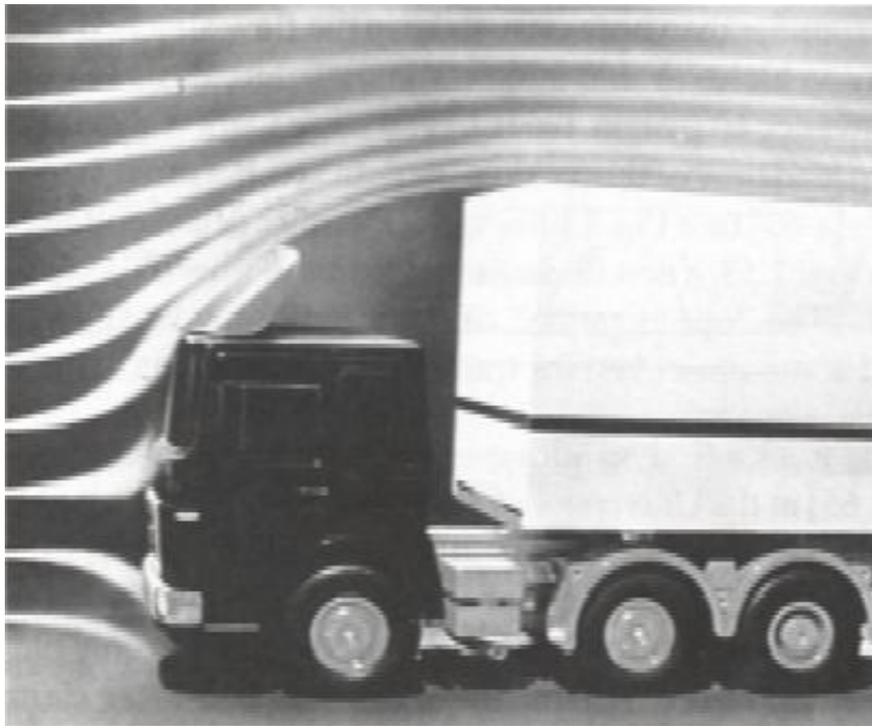


Figura 21 – Atuação da Força de Arrasto Aerodinâmico  
(Hucho, 1987)

### 5.1.3. Resistência Devido a Rampa

O veículo também pode ter uma resistência devido a rampa em que se encontra, sendo que se estiver em uma subida essa resistência a rampa irá dificultar a sua movimentação, e quando estiver em descida essa força irá ajudar a movimentar-se. Essa força está relacionada ao ângulo de gradiente da pista e sua equação é:

$$F_{ST} = m * g * \text{sen } \delta \quad \text{equação (5.3)}$$

Onde:

$F_{St}$  = resistência devido a rampa

$\delta$  = ângulo de gradiente da pista

A Figura 22 ilustra como as forças resistivas devido à rampa atuam em um veículo:

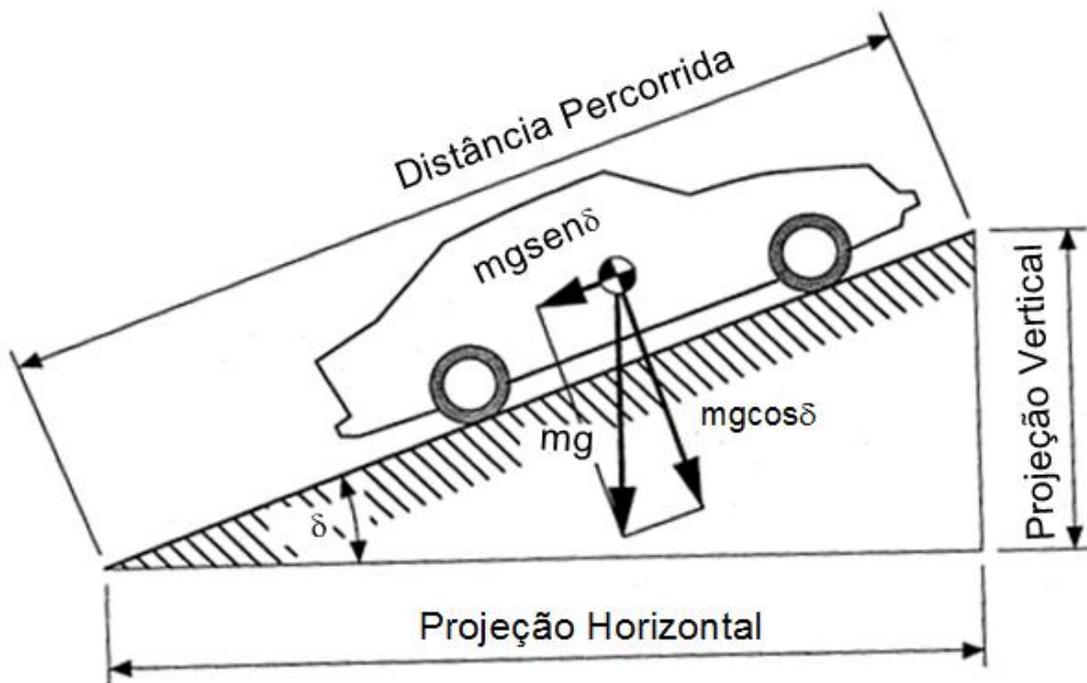


Figura 22 – Atuação da Força de Resistência Devido a Rampa

(Lechner, 1999)

### 5.1.4. Resistência Devido a Aceleração

O veículo para começar o movimento e chegar a uma determinada velocidade, necessita de uma aceleração, conforme a segunda lei de Newton tem-se:

$$F_{ac} = m * a \quad \text{equação (5.4)}$$

Onde:

$F_{ac}$  = resistência devido à aceleração

$a$  = aceleração do veículo

Considerando um veículo de coleta de lixo, sua utilização é típica de anda e pára, será considerado que o veículo opera de 0 a 30 km/h e depois disso inicia a sua desaceleração até parar novamente, a distância percorrida para isso será considerado em média de 50m, com esses dados, na Figura 23 tem-se que para esse tipo de aplicação, a taxa de aceleração e desaceleração média é de  $0,55\text{m/s}^2$ .

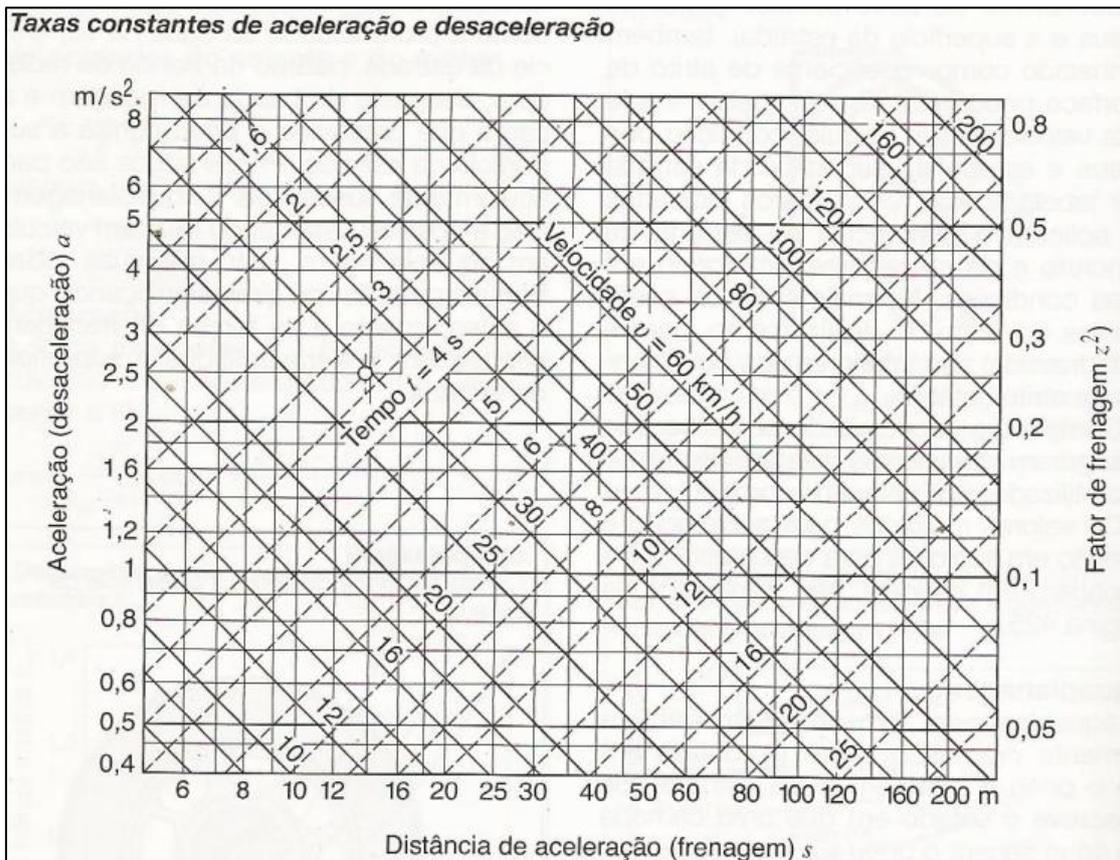


Figura 23 – Taxas Constantes de Aceleração e Desaceleração

(Bosch, 2005)

## 5.2. Torque do motor

Com as equações de resistência ao movimento e a potência de resistência ao movimento definidas, podemos então calcular qual o torque necessário no motor para que o veículo possa entrar e permanecer em movimento:

$$F_{prop} = \frac{M_{roda}}{r_{roda}} \quad \text{equação (5.5)}$$

O torque necessário no eixo do motor para conseguir o momento na roda, com um determinado sistema de transmissão será dado por:

$$T_{nec} = \frac{M_{roda}}{i_c * i_d * \eta_{tr}} \quad \text{equação (5.6)}$$

Onde:

$F_{prop}$  = força de propulsão necessária

$M_{roda}$  = momento na roda

$r_{roda}$  = raio dinâmico da roda

$T_{nec}$  = torque necessário do motor

$i_c$  = relação da transmissão

$i_d$  = relação do eixo traseiro

$\eta_{tr}$  = eficiência mecânica da transmissão

O motor possui uma curva característica de operação, uma dessas curvas relaciona o torque em função da rotação e pode ser visto no

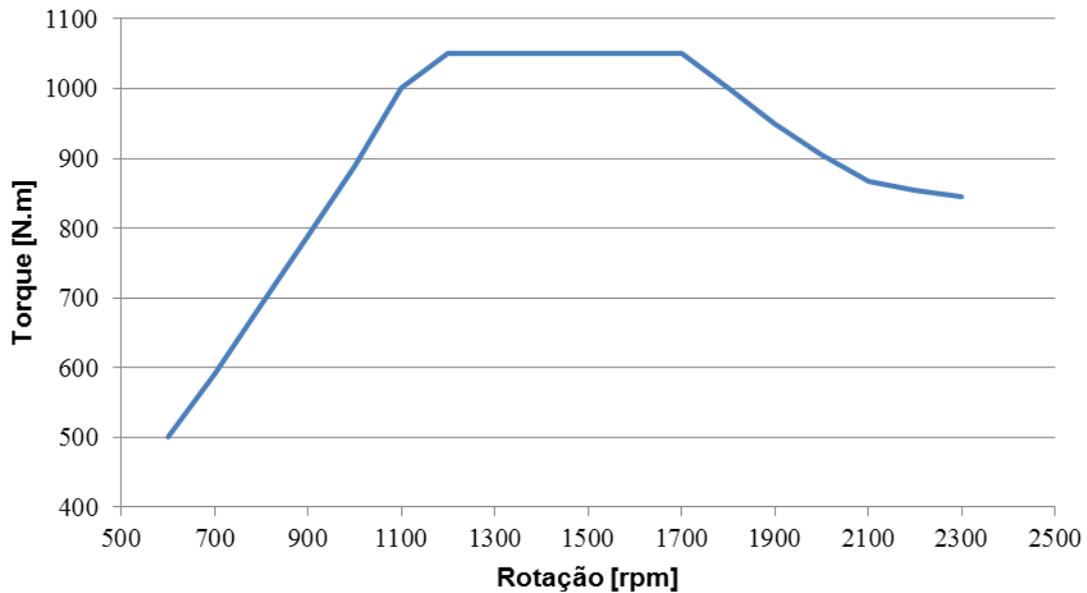


Gráfico 1– Torque x Rotação do Motor D08 36 280

(Baseado em *Technical Data D 114.510/E · mu 08102, Man Engines, 2013*)

Com o torque do motor pode-se calcular a potência necessária através da equação:

$$P_{nec} = \frac{n_{motor}}{T_{nec}} * 9549 \text{ [kW]} \quad \text{equação (5.7)}$$

Onde:

$P_{nec}$  = potência necessária [kW]

$n_{motor}$  = rotação do motor [rpm]

Com a potência necessária para o motor colocar o veículo em movimento, pode-se calcular o consumo do motor:

$$Q_{motor} = P_{nec} * q_{motor} * t \quad \text{equação (5.8)}$$

Onde:

$Q_{motor}$  = consumo do motor [g]

$q_{motor}$  = consumo específico do motor [g/kW\*h]

$t$  = tempo [h]

### 5.3. Transmissão

A transmissão ou câmbio é um sistema formado por um conjunto de engrenagens que é responsável por regular o torque e a velocidade apropriados para a locomoção do veículo. A transmissão é responsável por fazer a multiplicação do torque que recebe do motor e transmitir para o eixo cardan que por sua vez transmite ao eixo traseiro do veículo, dessa forma faz com que o veículo consiga operar em uma faixa de velocidade e torque bem amplo, com o motor trabalhando em uma faixa de velocidade e torque bem restrita.

O Gráfico 2 denominado como gráfico dente de serra ou *split chart*, mostra como uma transmissão funciona em função da velocidade e rotação do veículo:

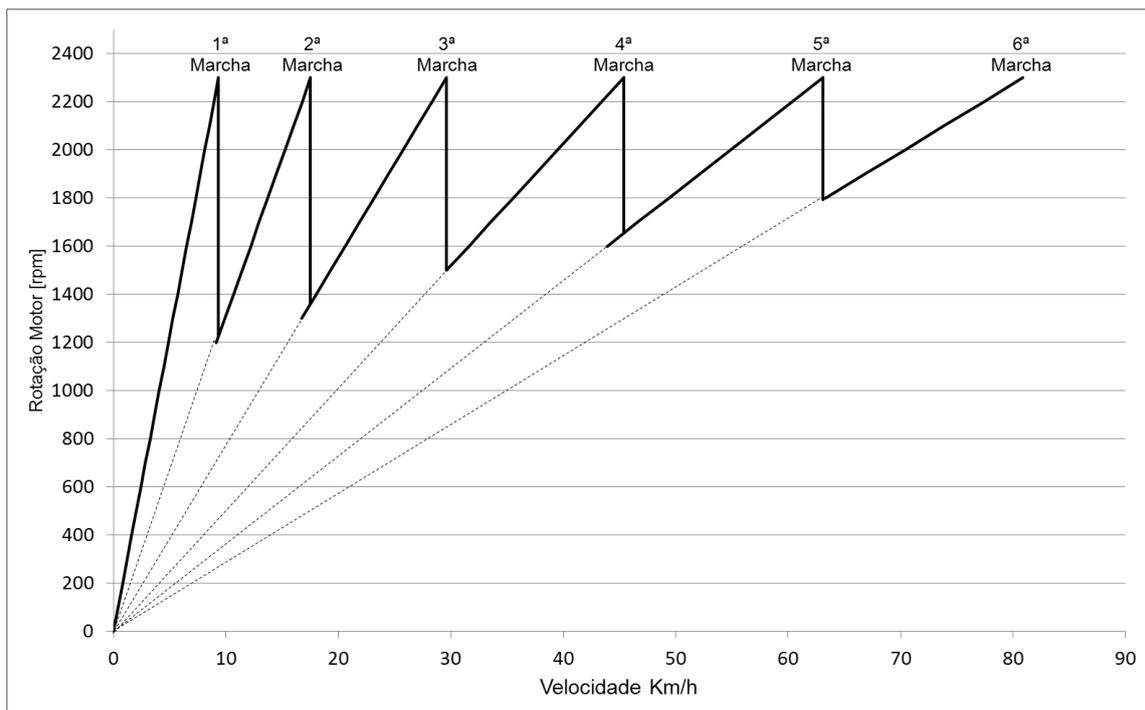


Gráfico 2 – Dente de Serra da Transmissão

(Elaboração Própria)

As equações utilizadas para fazer o gráfico dente de serra são:

$$v_{max} = \frac{n_{max} * r_{roda} * 0,377}{i_c * i_d} \quad [\text{km/h}] \quad \text{equação (5.9)}$$

$$n_{troca} = \frac{n_{max} * i_c}{i_{c-1}} \quad [\text{rpm}] \quad \text{equação (5.10)}$$

Onde:

$v_{max}$  = velocidade máxima do veículo na marcha

$r_{max}$  = rotação máxima do motor

$n_{troca}$  = rotação de troca de marcha

As relações de marchas consideradas no Gráfico 2, corresponde a uma transmissão ZF 6AS1000TO:

Standard ratios in gear

1	2	3	4	5	6	R
6.75	3.60	2.13	1.39	1.00	0.78	6.06

Figura 24 – Relações de Marchas da Transmissão do Veículo  
(ZF, 2012)

## 5.4. Frenagem

A frenagem tem seu equacionamento baseado na segunda lei de Newton, de acordo com Gillespie (1992), assumindo que as forças no veículo serão constantes e que não existem forças ou resistências externas, é possível obter a desaceleração linear na direção X por:

$$D_x = \frac{F_{xt}}{m} = \frac{d_v}{d_t} \quad \text{equação (5.11)}$$

Onde:

$D_x$  = desaceleração linear na direção x

$F_{xt}$  = Forças de desaceleração total atuante no veículo na direção longitudinal.

A equação 3.11 pode ser integrada, pois conforme descrito o termo  $F_{xt}$  é constante:

$$v_f d_v = \frac{F_{xt}}{m} t_s d_t = \frac{D_v}{D_t} \quad \text{equação (5.12)}$$

$$v_0 - v_f = \frac{F_{xt}}{m} * t_s \quad \text{equação (5.13)}$$

Onde:

$v_0$  = velocidade inicial

$v_f$  = velocidade final

$t_s$  = tempo da variação de velocidade

Como  $v = dx/dt$ , pode-se substituir  $dt$  na equação (3.9), resultando em:

$$\frac{v_0^2 - v_f^2}{2} = \frac{F_{xt}}{m} * X \quad \text{equação (5.14)}$$

Onde:

$X$  = distancia percorrida

Como o veículo desacelera até a sua parada total, temos  $v_f=0$ , então:

$$X = \frac{v_0^2}{2 * \frac{F_{xt}}{m}} = \frac{v_0^2}{2 * D_x} \quad \text{equação (5.15)}$$

e

$$t_s = \frac{v_0}{\frac{F_{xt}}{m}} = \frac{v_0}{D_x} \quad \text{equação (5.16)}$$

Como o veículo está em movimento, ele possui uma energia cinética, que pode ser calculada por:

$$E_c = \frac{m}{2} * (v_0^2 - v_f^2) \quad \text{equação (5.17)}$$

Toda essa energia tem que ser absorvida pelo freio quando o veículo pára totalmente, dividindo essa energia pelo tempo que leva para que o veículo chegue a  $v_f = 0$ , tem-se a potência de frenagem:

$$P_f = \frac{m}{2} * \frac{v_0^2}{t_s} \quad \text{equação (5.18)}$$

## 5.5. Energia dos acumuladores

Os acumuladores trabalham com a compressão do gás nitrogênio  $N_2$ , esse gás é comprimido por um fluido hidráulico quando o sistema está armazenando energia e posteriormente é expandido fazendo com que o fluido escoe dos acumuladores, passando pelo motor hidráulico e transferindo energia ao sistema de propulsão do veículo.

Os acumuladores utilizados são do tipo bexiga, e conforme especificações descritas na Figura 25, pode-se ver que a energia armazenada no sistema com 64 litros de nitrogênio é de 530 kJ.

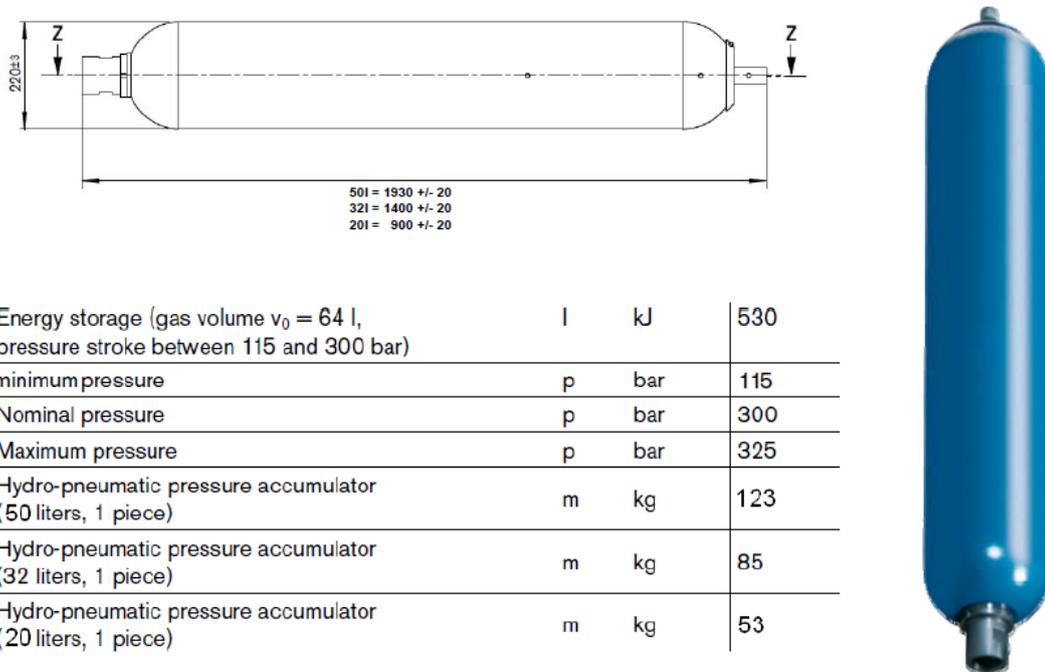


Figura 25 – Especificações do Acumulador Hidráulico

(Bosch, 2009)

A utilização do gás nitrogênio para esse tipo de aplicação se deve principalmente por ser um gás inerte, de fácil manuseio e também de ser muito fácil de encontrar para substituição ou enchimento do sistema.

A Figura 26 mostra como um acumulador hidráulico de bexiga funciona, no momento em que está sendo carregado, a primeira parte ao lado esquerdo, mostra o acumulador hidráulico somente com a bexiga de nitrogênio, no momento seguinte o fluido hidráulico enviado pela bomba, vai entrando no

acumulador pela válvula inferior e começa a pressurizar o nitrogênio, na parte direita da figura o sistema está completamente cheio de fluido, fazendo com que a bexiga de nitrogênio esteja totalmente pressurizada.

Após o sistema estar completamente carregado, o fluxo do fluido inverte, sai do acumulador hidráulico pressurizado (lado direito da figura) e a bexiga de nitrogênio vai expandindo, expulsando o fluido do acumulador hidráulico, fazendo com que o fluido forneça energia ao motor hidráulico e conseqüentemente ao sistema.

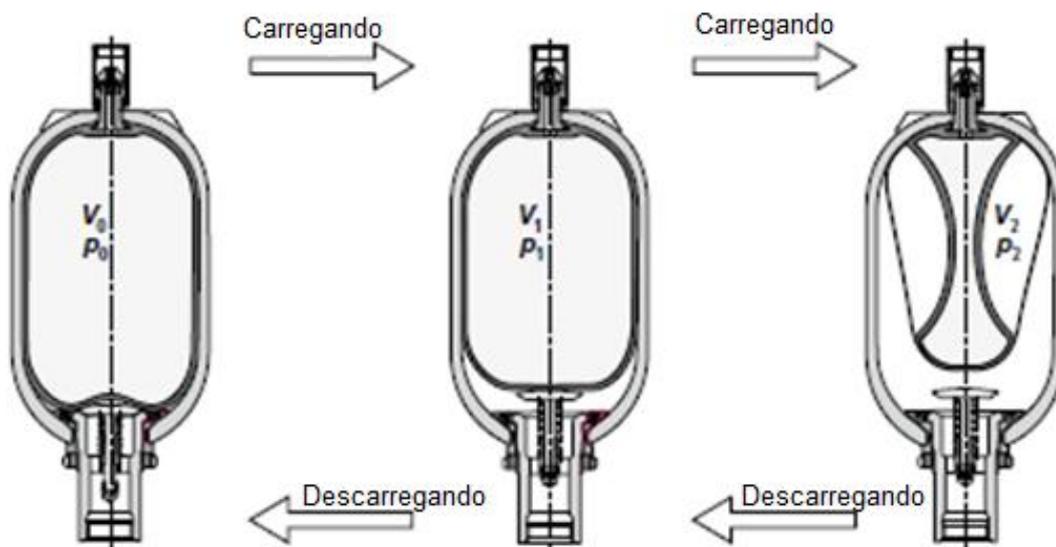


Figura 26 – Funcionamento do Acumulador Hidráulico

(Bosch, 2012)

## 6. ESTUDO DE CASO

### 6.1. Dados de Entrada de Aceleração

A partir das equações apresentadas no capítulo anterior, foi possível realizar uma modelagem em planilha Excel, visando estimar o consumo de combustível de um veículo híbrido hidráulico. Foram adotados os dados de entrada apresentados na Tabela 1, referentes ao estudo experimental detalhado adiante. Para uma análise comparativa, foi considerando um veículo totalmente carregado, pois é a pior condição de operação do veículo, e também foi considerada uma pista plana, pois as diferenças entre subidas e descidas serão proporcionais ao consumo do veículo com e sem o sistema híbrido hidráulico.

Item	Valor	Unidade	Observação
Aceleração da gravidade	9,80	m/s <sup>2</sup>	
Densidade do ar	1,2	kg/m <sup>3</sup>	
Massa do veículo	22.000,00	kg	Veiculo carregado
Ângulo da pista	0	°	Pista plana
Área frontal	8,2	m <sup>2</sup>	MAN (2013)
Coeficiente de rolamento	0,01	-	Bosch (2005)
Coeficiente de arrasto	1,2	-	Bosch (2005)
Aceleração	0,55	m/s <sup>2</sup>	Taxa de aceleração Bosch (2005)
Relações da Transmissão 1 <sup>a</sup> 2 <sup>a</sup> 3 <sup>a</sup>	6,75 3,60 2,13	-	ZF (2012)
Relação eixo traseiro	6,83	-	MAN (2013)
Raio dinâmico da roda	0,49	m	Firestone (2013)
Consumo específico do motor	230@200Nm 205@400Nm 190@600Nm	g/kWh	Consumo específico
Rendimento transmissão	0,85	-	Lechner (1999)
Rendimento do Eixo	0,85	-	Lechner (1999)
Velocidade Final	30	km/h	
Volume dos acumuladores	70(2x35)	litros	Bosch (2012)
Volume de nitrogênio	66,8(2x33,4)	litros	Bosch (2012)

Tabela 1 – Dados de Entrada para Cálculos da Aceleração

## 6.2. Simulação de Aceleração no Plano

Com esses dados de entradas, mais a curva do motor, o gráfico dente de serra e as equações, foi possível calcular as forças resistivas ao movimento usando as equações de resistência ao movimento, com isso foi possível determinar o torque mínimo necessário e a potência necessária, com todos esses cálculos e o consumo específico do motor foi possível determinar o consumo de diesel do veículo durante a sua aceleração de 0 a 30 km/h, que é uma operação característica (anda e pára) de um veículo urbano. Esses cálculos estão na Tabela 5 em anexo.

Com base na Tabela 5, pode-se analisar como se comporta a potência necessária, o torque necessário, a velocidade e o consumo acumulado de combustível em função do tempo, conforme gráficos abaixo:

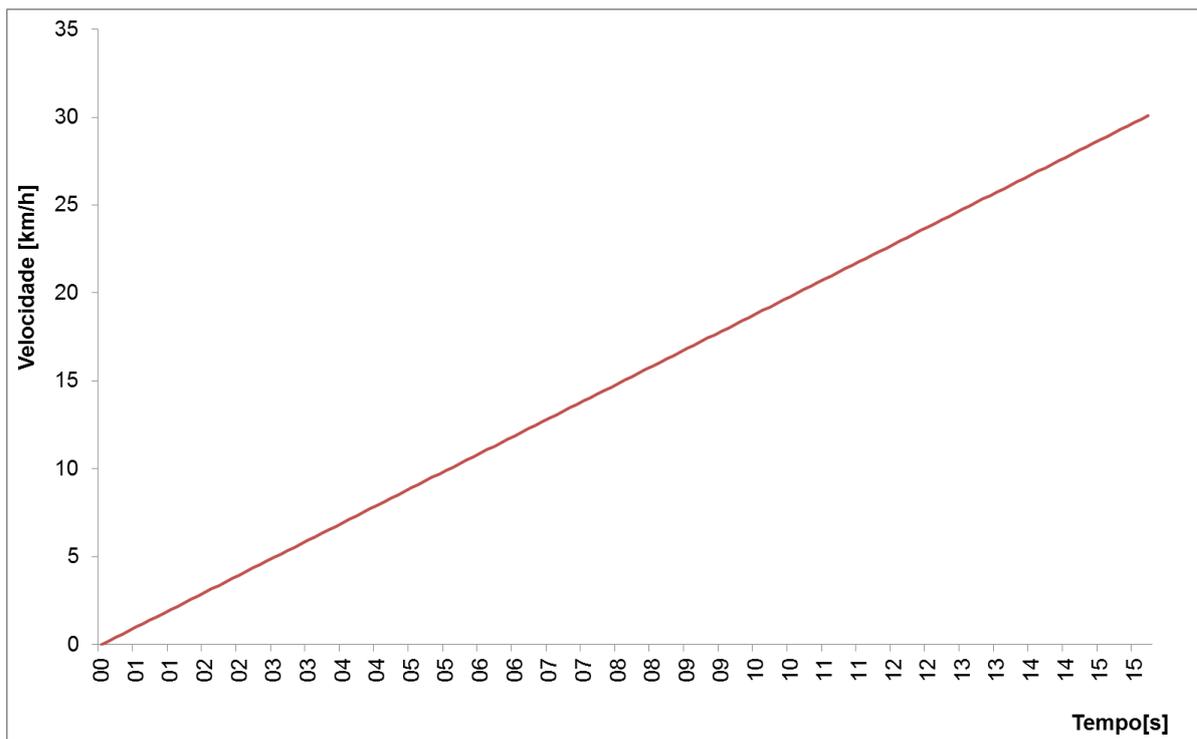


Gráfico 3 – Curva de Aceleração de um Veículo no Plano

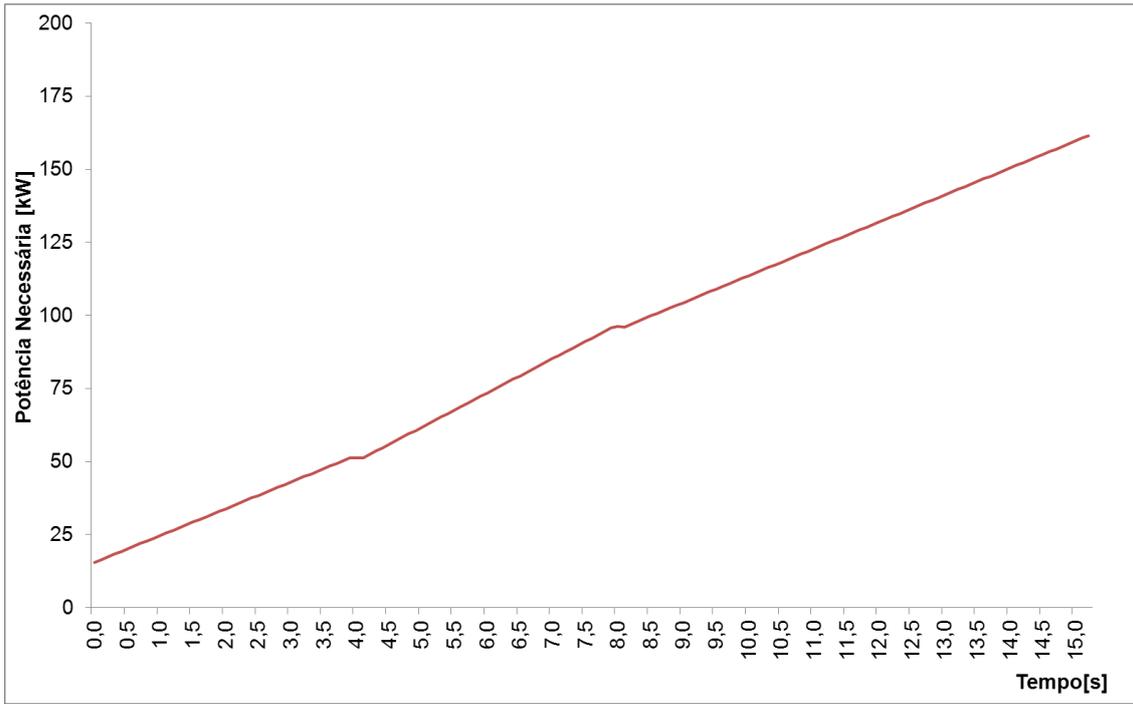


Gráfico 4 – Potência Necessária para Aceleração no Plano

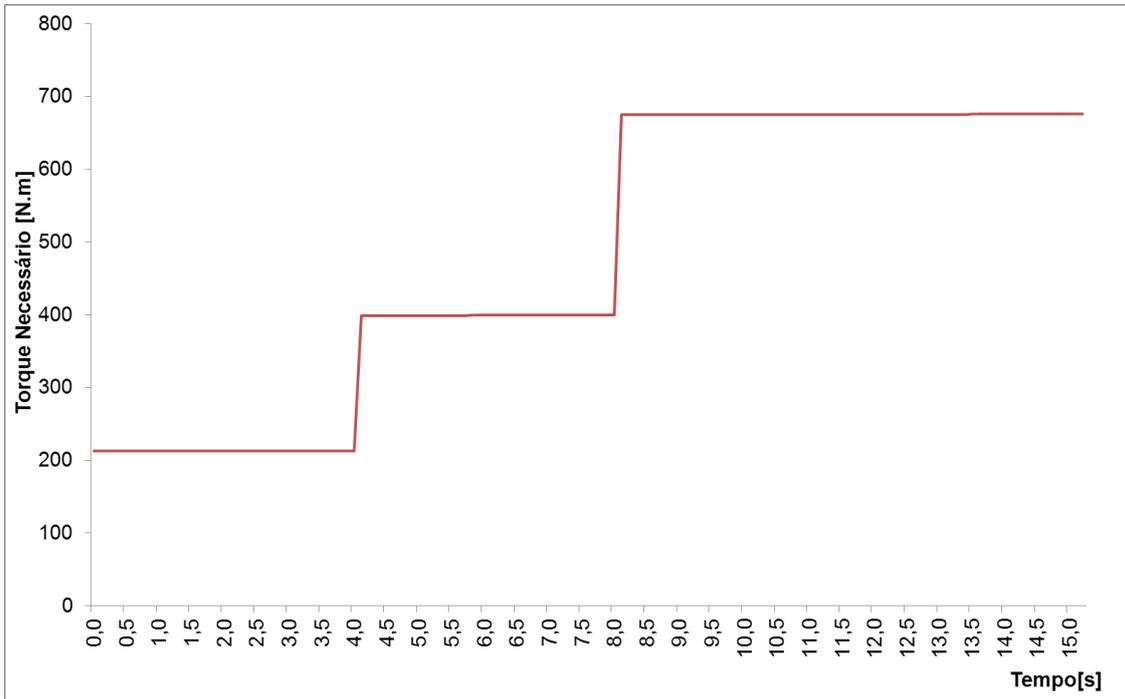


Gráfico 5 – Torque Necessário para Aceleração no Plano

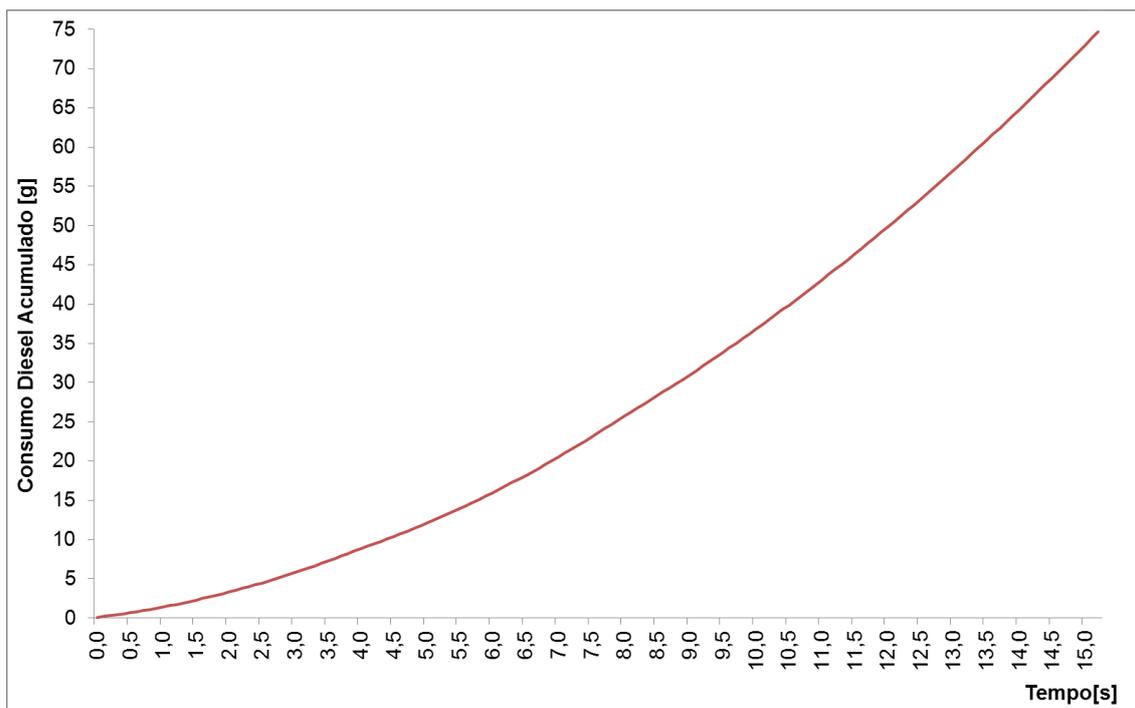


Gráfico 6 – Consumo Acumulado para Aceleração no Plano

O Gráfico 3 mostra a taxa de aceleração do veículo que foi considerada de  $0,55 \text{ m/s}^2$ , pode-se observar por esse gráfico que o veículo irá levar em torno de 15 s para atingir a velocidade de 30 km/h.

O Gráfico 4 mostra a potência necessária conforme o veículo vai acelerando até atingir a velocidade de 30 km/h, a potência necessária é calculada em função do torque necessário, como não é afetada pela relação de transmissão, a potência necessária é afetada pelas forças resistivas, que em um plano, a maior influência é da força aerodinâmica que aumenta conforme há um aumento de velocidade.

O Gráfico 5 mostra o torque necessário para o veículo poder atingir a velocidade desejada, desde o momento de iniciar o movimento até manter-se em uma aceleração constante, as curvas desse gráfico são divididas em 3 partes, pois em cada parte do torque necessário o veículo encontra-se em uma marcha da transmissão.

O Gráfico 6 mostra que o consumo acumulado do veículo para sair do repouso e chegar a 30 km/h é em torno de 74,7 g de diesel, esse consumo foi calculado utilizando a potência necessária que o veículo necessita, com isso e o consumo específico foi possível calcular a massa de diesel necessária para essa aceleração.

### 6.3. Simulação de Frenagem

Utilizando os dados de entrada para 22 toneladas e pista plana, e as formulas descritas para a frenagem, consegue-se calcular a energia necessária para frear o veículo, conforme tabela abaixo:

<b>Tempo de desaceleração</b>	15,09	s
Dx	0,55	m/s <sup>2</sup>
V <sub>0</sub>	8,30	m/s
V <sub>f</sub>	0,00	
<b>Distância</b>	62,63	m
<b>Potência frenagem</b>	50215,00	w
M	22000,00	kg
<b>Energia acumulada</b>	757790,00	Nm
	758	kJ

Tabela 2 – Dados de Entrada para Frenagem

Para que o veículo pare totalmente, será necessário uma energia de 758 kJ, parte dessa energia para frear o veículo pode ser absorvida pelo sistema híbrido hidráulico, usando os acumuladores de pressão para armazenar essa energia recuperada.

## 7. SIMULAÇÃO DE UM VEÍCULO HÍBRIDO HIDRÁULICO

O veículo híbrido hidráulico proposto nesse estudo, possui 2 acumuladores de pressão do tipo bexiga, cada um com 34 l no total e conforme a sua especificação é possível armazenar 530 kJ de recuperação de energia de frenagem, como o veículo gasta em torno de 758 kJ para frear, os acumuladores hidráulicos serão carregados até a frenagem.

Como o veículo para acelerar e chegar a velocidade de 30 km/h foi necessário consumir 74,7 g de diesel, podemos concluir que para isso, considerando o PCI (poder calorífico inferior) do diesel em 43000 kJ/kg (Dubbel, 1994) e usando a equação:

$$E = PCI_{diesel} * m_{diesel} \quad \text{equação (7.1)}$$

Onde:

E = energia consumida

$PCI_{diesel}$  = Poder Calorífico Inferior do diesel

$m_{diesel}$  = massa de diesel consumida

podemos chegar ao resultado do consumo de energia de um veículo sem sistema híbrido hidráulico é:

$$E = 43000 * 74,7 = 3212100 \text{ J} = 3212 \text{ kJ}$$

Utilizando a energia de 530 kJ armazenada nos acumuladores do sistema híbrido hidráulico, temos que a energia utilizada do consumo de diesel será de 3212 kJ menos 530 kJ dos acumuladores, assim temos que:

$$E_{diesel} = 3212 - 530 = 2682 \text{ kJ} = 2682000 \text{ J}$$

$$m_{diesel} = 2682000 / 43000 = 62,37 \text{ g de diesel}$$

Comparando o valor de 74,7g de diesel do veículo sem sistema híbrido hidráulico, com os 62,37 g de diesel do veículo com o sistema híbrido hidráulico, chega-se a uma redução de consumo de 12,33 g de diesel, correspondendo a uma economia de 16,5%.

Se utilizarmos essa redução de consumo de 12,33 g, na simulação de um veículo, considerando que essa energia fosse utilizada quando o veículo já estivesse em movimento e estivesse utilizando a segunda marcha da transmissão, e comparar com um veículo sem o sistema híbrido hidráulico, teríamos a condição apresentada no Gráfico 7.

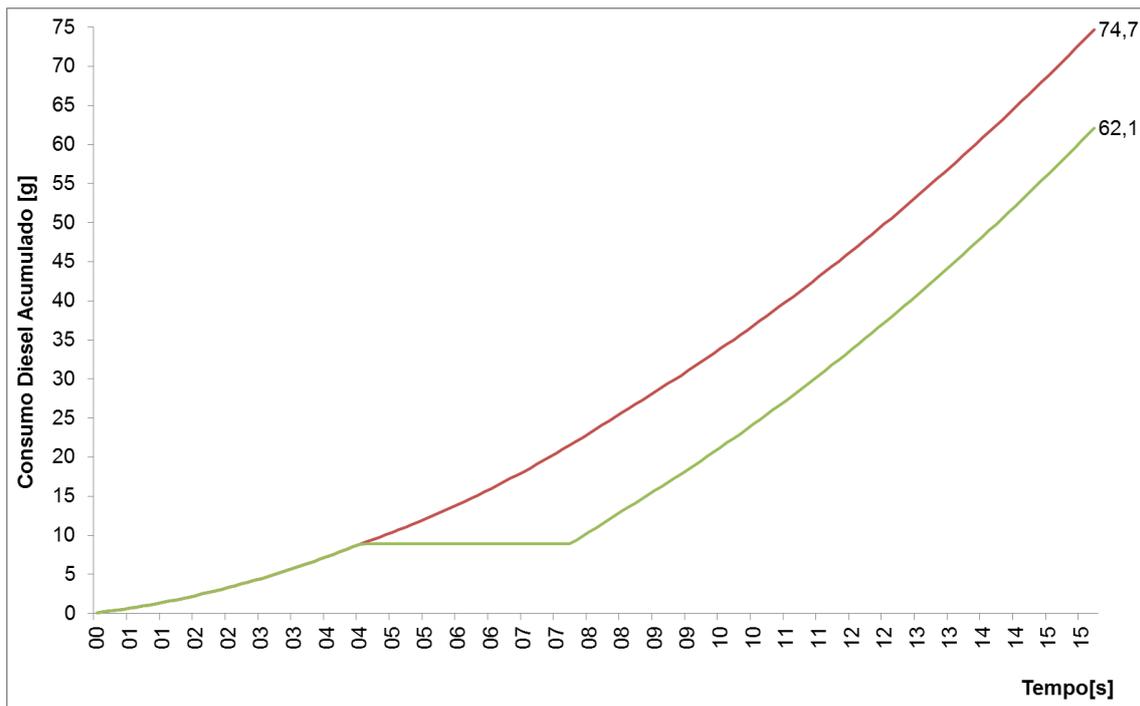


Gráfico 7 – Consumo Acumulado Teórico Comparando Veículo Normal e Veículo Híbrido Hidráulico

Assim, a simulação efetuada permite inferir que com o sistema HRB descarregando a sua energia acumulada quando o veículo está em segunda marcha, por um longo período de tempo a injeção de combustível é muito baixa nessa condição, reduzindo o consumo em torno de 16,5% ou 12 g de diesel aproximadamente.

## 8. TESTES EM VEÍCULO

Foram realizados testes em um veículo real, inicialmente em uma pista de testes e posteriormente em um veículo em operação real na cidade do Rio de Janeiro, com o objetivo de fazer aquisição de dados e com isso poder fazer uma análise do comportamento do sistema durante a sua operação.

### 8.1. Rede de Dados

A indústria automotiva sofreu nos anos 80 um grande avanço tecnológico e um aumento grande no número de sensores para telemetria, fazendo com que os cabos elétricos tivessem que aumentar de espessura e também de quantidade, fazendo com que as redes elétricas de comunicação de um veículo tivessem comprimentos muito longos e também de uma complexidade enorme, fazendo com que a reconfiguração de uma rede ou mesmo a manutenção dessa rede trouxesse uma grande complexidade e grandes chances de defeitos.

A empresa Robert Bosch pensando nessa complexidade em 1986 propôs a *Controller Area Network* ou CAN para a interconexão dos componentes de controle de um veículo, que consiste em um protocolo de comunicação digital serial que permite a troca de informações entre módulos eletrônicos e disponibilidade de informações geradas pelos sensores e que são necessárias para vários módulos. Dessa forma todos os módulos eletrônicos de um veículo puderam ser interligados em uma mesma rede, diminuindo assim a complexidade da rede elétrica de um veículo.

A comunicação CAN em um veículo faz com que todos os módulos recebam a informação da rede, porém cada módulo possui uma lógica e o recebimento dessa mensagem pode fazer com que o módulo execute uma ação ou apenas ignore por não ser relevante ao seu modo de operação, devido a essa complexidade de mensagens que todos os módulos estão enviando e recebendo, a rede CAN possui as seguintes características:

- Prioridade de mensagens – as mensagens podem ter prioridades diferentes, fazendo com que as mensagens mais importantes sejam interpretadas primeiro pelos módulos;
- Tempos de latência garantidos – o tempo em que o módulo recebe uma mensagem processa a ação e recebe a mensagem do resultado;
- Flexibilidade de configuração – o sistema possui inúmeras formas de configuração e dependem da arquitetura eletrônica de um veículo

- Recepção multi-módulos com re-sincronização – vários módulos podem receber uma mesma mensagem e ter ações definidas, e ambos os módulos podem sincronizar essas ações;
- Consistência dos dados – apesar de ter um grande ambiente de ruídos e interferências, o sistema possui consistência na transmissão dos dados;
- Detecção e sinalização de erro – detecta e sinaliza erros e problemas da rede;
- Distinção entre erros temporários e falhas permanentes em módulos – diferencia erros temporários de comunicação do sistema de erros permanentes no módulo.

A Figura 27 mostra um esquema de uma rede CAN em um veículo, onde vários módulos estão interligados na mesma rede, e alguns sistemas necessitam da informação para funcionamento e outros sistemas não tem essa interação.

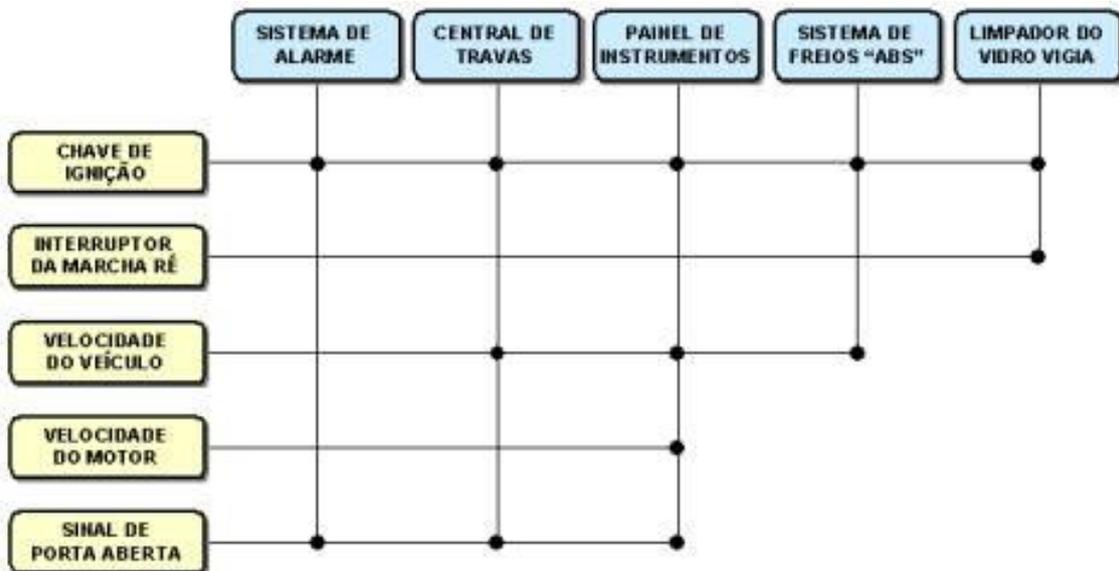


Figura 27 – Esquema de Rede CAN

(Guimarães, 2007)

Com a rede CAN em um veículo, todos os sistemas eletrônicos estão interligados e essa comunicação está disponível para ser acessada quando necessária, para esse acesso, foram criadas algumas ferramentas de forma a possibilitar a leitura dessas mensagens e identificar falhas ou informações relevantes ao veículo. Esses equipamentos foram desenvolvidos por várias empresas e atualmente é de fácil acesso, podendo ter inúmeras informações disponíveis nessa ferramenta, Figura 28 mostra um equipamento de leitura da rede CAN, desenvolvida por uma empresa brasileira.

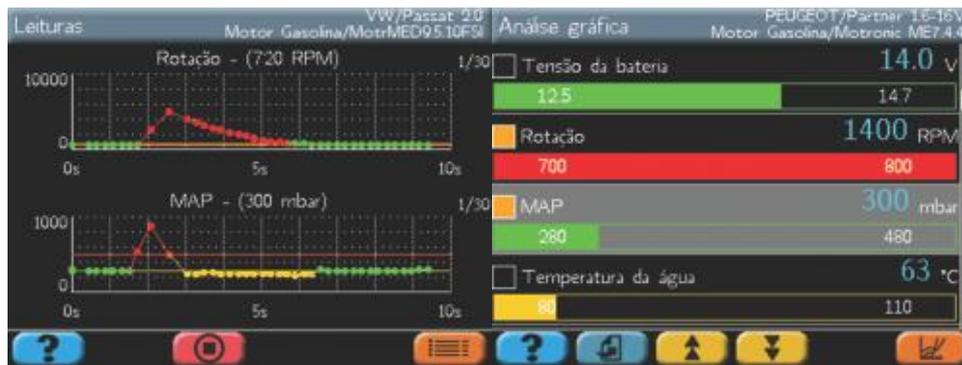


Figura 28 – Equipamento de Leitura da CAN  
(Tecnomotor, 2013)

A conexão dos equipamentos de leitura com a rede CAN é feita via OBD (*On Board Diagnose*), que é um sistema desenvolvido para fazer a conexão da central eletrônica do veículo com equipamentos externos e internos, é um sistema de auto diagnose que permite que as informações da central estejam disponíveis e que em caso de defeitos sua detecção seja feita de forma rápida e simples, reduzindo os custos e tempo de manutenção. O sistema OBD possui um conector padronizado e foi implementado para veículos comerciais nos Estados Unidos e na Europa desde 1996, o Brasil adotou essa implementação a partir de 2010.

Além dessa conectividade da central eletrônica com equipamentos de leitura da rede CAN, o OBD monitora praticamente todos os componentes que podem afetar o desempenho da emissão de poluentes do veículo para garantir que o veículo mantenha o seu padrão de emissões a sua vida inteira, e também auxilia a manutenção do veículo ao diagnosticar e corrigir problemas com os controles de motor computadorizado. Se um problema for detectado, o sistema OBD acende uma lâmpada de advertência no painel de instrumento do veículo para alertar o motorista. Esta lâmpada de advertência, normalmente, contém a frase para fazer uma manutenção no motor. O sistema também irá

armazenar informações importantes sobre a avaria detectada para que um mecânico possa com precisão localizar e corrigir o problema. A Figura 29 ilustra a conexão padrão do OBD em um veículo.



Figura 29 - Conector Padrão do OBD  
(EPA, 2013)

## 8.2. Equipamento de Teste

Os equipamentos disponíveis no mercado e de fácil acesso são limitados e também algumas informações são codificadas de modo que não é possível qualquer um ter acesso a essas informações da rede. Para aquisições mais específicas na rede CAN de um veículo são necessárias ferramentas mais sofisticadas e com mais recursos.

Algumas empresas fazem módulos de processamento e leitura de dados da rede CAN, a ferramenta mais conhecida e utilizada mundialmente é da fabricante ETAS, uma empresa do grupo Bosch, sua especialidade é o desenvolvimento de ferramentas de alto desempenho e recursos para leitura,

monitoramento e edição dos parâmetros das centrais eletrônicas de um veículo.

O sistema de ferramentas para a leitura da rede CAN, consiste em um módulo que é conectado a rede do veículo, esse módulo é capaz de fazer diversos tipos de leituras e sinais elétricos, a partir desse módulo é conectado um computador, que através de softwares específicos, transformam essas leituras em dados e/ou gráficos, a Figura 30 mostra como é feita essa interligação do sistema com a central eletrônica do veículo.

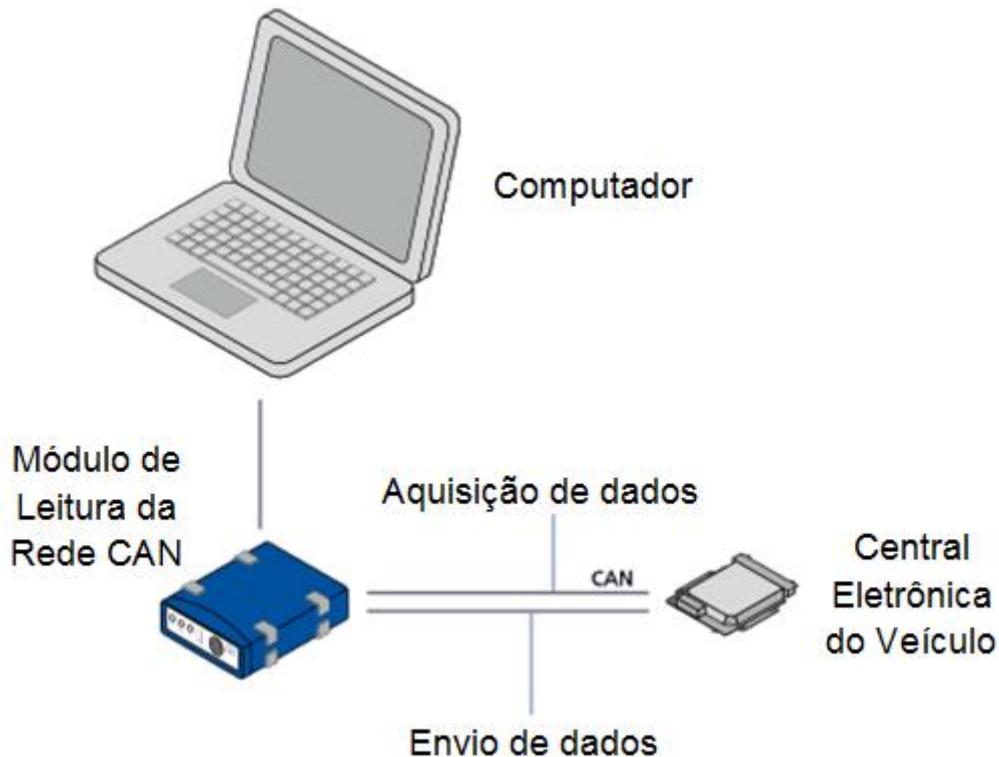


Figura 30 – Esquema de Aquisição de Dados da Rede CAN de um Veículo  
(ETAS, 2010)

O módulo de leitura da rede CAN é conectado ao veículo através do OBD, esse módulo tem uma enorme capacidade de aquisição e leitura de dados, para o teste em veículo foi utilizado o módulo ES 600 da empresa ETAS, esse equipamento fornece valores exatos, devido a possuir canais de leitura individuais e possuir isolamento térmica elevada, evitando problemas de leitura devido à alteração de temperatura, esse módulo fornece medições de sinais com precisão de microssegundo e podem ser sincronizados com o painel do veículo ou com um software com um número elevado de transferência de dados para os aplicativos, e os canais de leitura podem ter taxas de aquisição

de dados ajustadas individualmente. A Figura 31 mostra o módulo ES 600 conectado a rede CAN do veículo.



Figura 31 - Módulo ES 600 Conectado ao Veículo  
(ETAS, 2010)

Com o recebimento de dados da rede CAN pelo módulo, utilizando um computador, é possível armazenar esses dados para uma posterior análise dos resultados, ou também monitorar o que está acontecendo instantaneamente no veículo, além disso, é possível alterar parâmetros de calibração da central eletrônica do veículo de forma a melhorar seu desempenho.

A indústria automotiva está a cada dia mais avançando em direção aos veículos "inteligentes", abrangendo com segurança, um alto grau de conforto de condução, baixo consumo de combustível e emissões de poluentes, isto significa que sistemas para evitar travamento dos freios, sistemas de controle de tração, unidade de controle de programas para transmissões automáticas e automatizadas, mapa de controle de injeção de diesel com controles adaptáveis, etc. Isso significa programar funções complexas e algoritmos de controle em unidades de controle com microprocessadores, além disso, para cada aplicação existe a necessidade de ajustes desses sistemas e do motor, para poder trabalhar com todo esse processamento e leitura de dados pode-se usar o software INCA da empresa ETAS. Esse software é uma ferramenta de medição, calibração e diagnóstico do veículo.

O software INCA gera leituras em tempo real e também armazena os dados para posterior análise, a Figura 32 mostra uma tela do software INCA recebendo os dados de leitura do módulo e transformando em gráficos facilitando a leitura e interpretação.

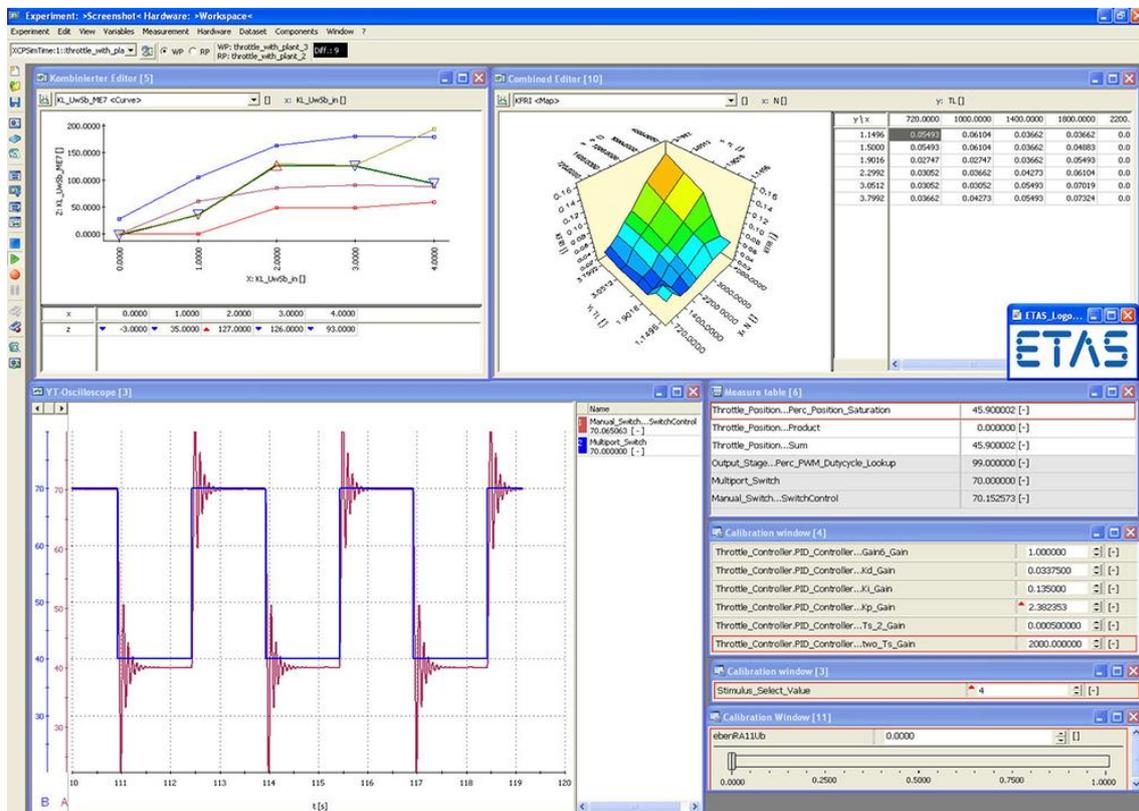


Figura 32 - Tela do Software INCA  
(INCA, 2005)

Utilizando um veículo equipado com um módulo ES 600 de leitura da rede CAN, um computador ligado a esse módulo, com o software INCA, é possível fazer medições instantânea de injeção de combustível, consumo de combustível acumulado, aceleração, velocidade, distância percorrida, temperatura do motor, entre outros inúmeros dados que podem ser adquiridos pela rede CAN.

Com o veículo equipado com essa instrumentação, foi possível definir os testes e as aquisições de dados que pudessem comparar um veículo com o sistema híbrido hidráulico de um veículo sem o sistema, para isso foi colocado um interruptor no painel do veículo de forma a ter a opção de ligar e desligar o sistema híbrido hidráulico e dessa forma poder ter resultados comparativos de forma rápida e com dados confiáveis, pois não foi necessário utilizar veículos

diferentes ou rotas e condições que pudessem ter grande variação dos dados adquiridos pelos equipamentos. A Figura 33 mostra o interruptor de acionamento do sistema híbrido hidráulico, toda vez que o veículo é ligado, o sistema HRB automaticamente está ativado, fazendo com que o sistema esteja sempre ligado, o interruptor serve para desligar o sistema quando desejado.



Figura 33 - Acionamento do Sistema Híbrido Hidráulico  
(Bosch, 2011)

### 8.3. Resultados em Pista de Teste

Utilizando um veículo carregado com 22 toneladas no total e com o sistema híbrido hidráulico instalado, definiu-se a seguinte metodologia para execução:

- Pista de teste plana e reta, com 2 vias e retorno circular no final das retas de forma que o veículo continue sempre em movimento, sem necessidade de manobrar ou utilizar a marcha ré;
- O veículo sai do repouso pressionando o pedal do acelerador até o fim de curso, acelerando até atingir a velocidade de 30 km/h;
- Após atingir a velocidade desejada é retirado o pedal do acelerador, deixando assim o veículo ir desacelerando até parar;
- O veículo permanece parado por 10 segundos, simulando uma situação real de coleta de lixo;
- Os procedimentos foram realizados com o sistema híbrido hidráulico ligado e desligado.

O teste foi realizado por 8 horas durante 4 dias, metade com o sistema ligado e metade com o sistema desligado, foram realizados dois métodos de medição de consumo de combustível:

- Controle de injeção de combustível que consiste em utilizar os dados da ECU (Engine Control Unit) que mostram a quantidade de combustível injetado nos cilindros instantaneamente;
- Medição de volume de combustível que consiste em medir o volume que foi gasto do tanque com combustível no início e no final do teste, com o sistema ligado e desligado.

As duas formas de medir o consumo de combustível foram consideradas para possibilitar uma medição instantânea utilizando os dados do controle de injeção, e uma medição média realizada pela medição do volume de diesel. Dessa forma foi possível comparar a redução de consumo instantânea e avaliar se isso seria repetido várias vezes e desse uma redução média no consumo de combustível, a Figura 34 mostra o veículo na pista de teste.



Figura 34 – Veículo Híbrido Hidráulico na Pista de Testes

O resultado da medição pela ECU do motor mostra como o veículo atua quando tem o sistema ligado e quando o sistema está desligado, conforme Gráfico 8:

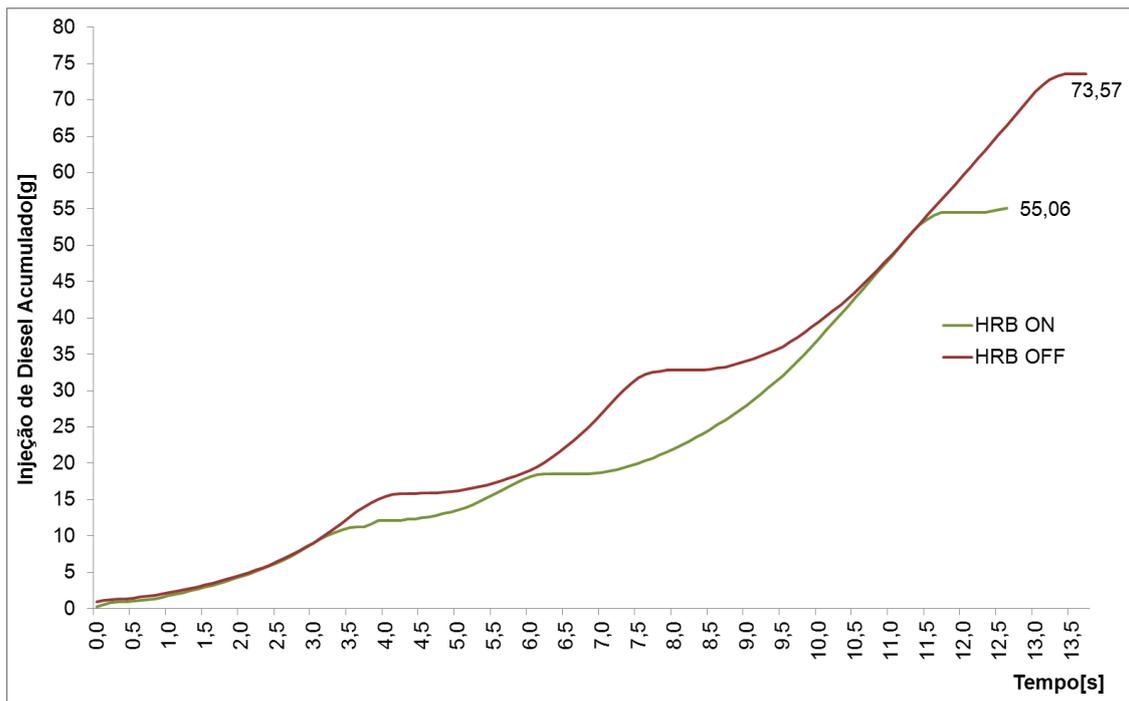


Gráfico 8 – Consumo Instantâneo Comparativo com e sem HRB

O resultado da medição instantânea, durante um ciclo em que o veículo acelera para chegar a 30 km/h mostra que com o sistema HRB ligado foram utilizados 55,06 g de diesel, e com o sistema desligado foram utilizados 73,57 g. Com o sistema HRB ligado, reduziu-se o consumo em 18,51 g de diesel, correspondendo a 25,15%.

Utilizando a medição do volume de combustível através do tanque, consegue-se observar no Gráfico 9 depois de 4 dias, como o consumo se comporta durante uma operação de 4 horas com o sistema desligado e 4 horas com o sistema ligado, onde as barras mais escuras correspondem a distância percorrida em km (eixo do lado esquerdo do gráfico) e as barras mais claras a quantidade de combustível em litros utilizado para percorrer essa distância (eixo do lado direito do gráfico):

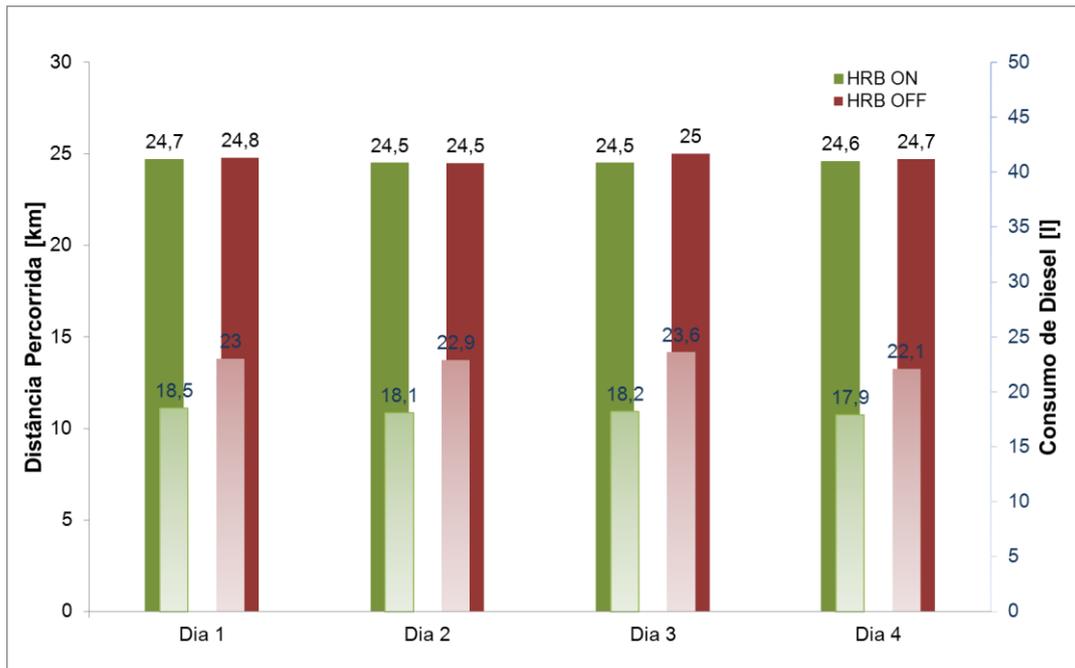


Gráfico 9 – Consumo Médio Diário Comparativo com e sem HRB

Com os dados do gráfico acima é possível fazermos um comparativo de consumo resultando no Gráfico 10 onde as barras mais escuras correspondem a distância percorrida em km (eixo do lado esquerdo do gráfico) e as barras mais claras a quantidade de combustível em litros utilizado para percorrer essa distância (eixo do lado direito do gráfico):

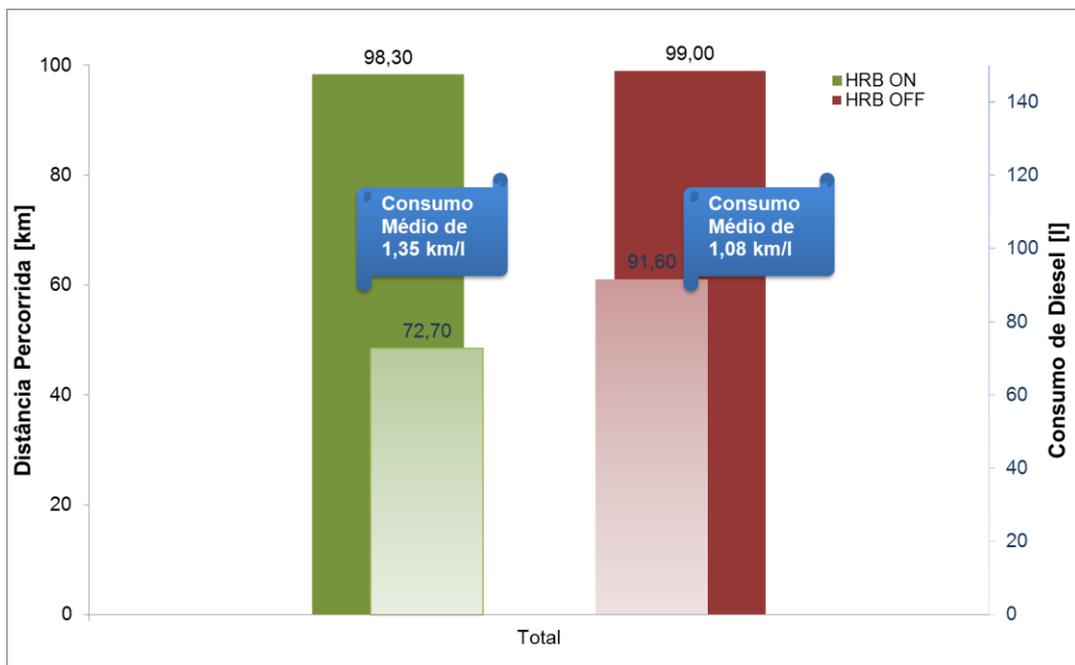


Gráfico 10 – Comparativo Consumo Médio Acumulado com e sem HRB

Pode-se ver nos resultados que a autonomia do veículo com o sistema ligado é de 1,35 km/l em média e do sistema desligado é de 1,08 km/l em média, resultando em uma diferença de 25% a mais de distância percorrida com o sistema ligado para cada litro de combustível utilizado.

Com o sistema HRB ligado, o veículo possui um torque adicional vindo pelo sistema hidráulico, o que resulta em uma aceleração mais rápida, como mostra o Gráfico 11:

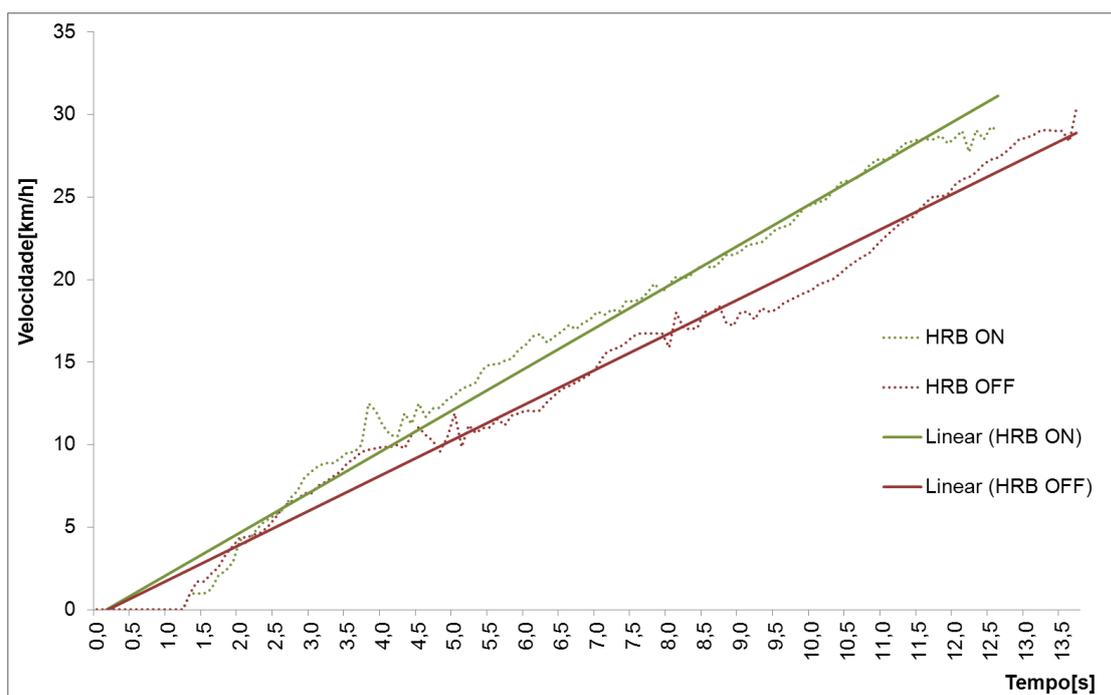


Gráfico 11 – Comparativo de Velocidades Comparativo com e sem HRB

Pode-se ver pelo Gráfico 11 que para atingir a velocidade de 30 km/h, o veículo com o HRB ligado leva menos tempo comparado com o sistema desligado, pode-se concluir que além de proporcionar ao veículo uma redução de consumo, o desempenho do veículo irá melhorar o que pode proporcionar uma redução do tempo de operação do veículo, ou um aumento de produtividade, conseguindo percorrer uma maior distância em menos tempo.

No Gráfico 12 mostra que a distância percorrida pelo veículo com o sistema HRB ligado é maior em relação ao tempo.

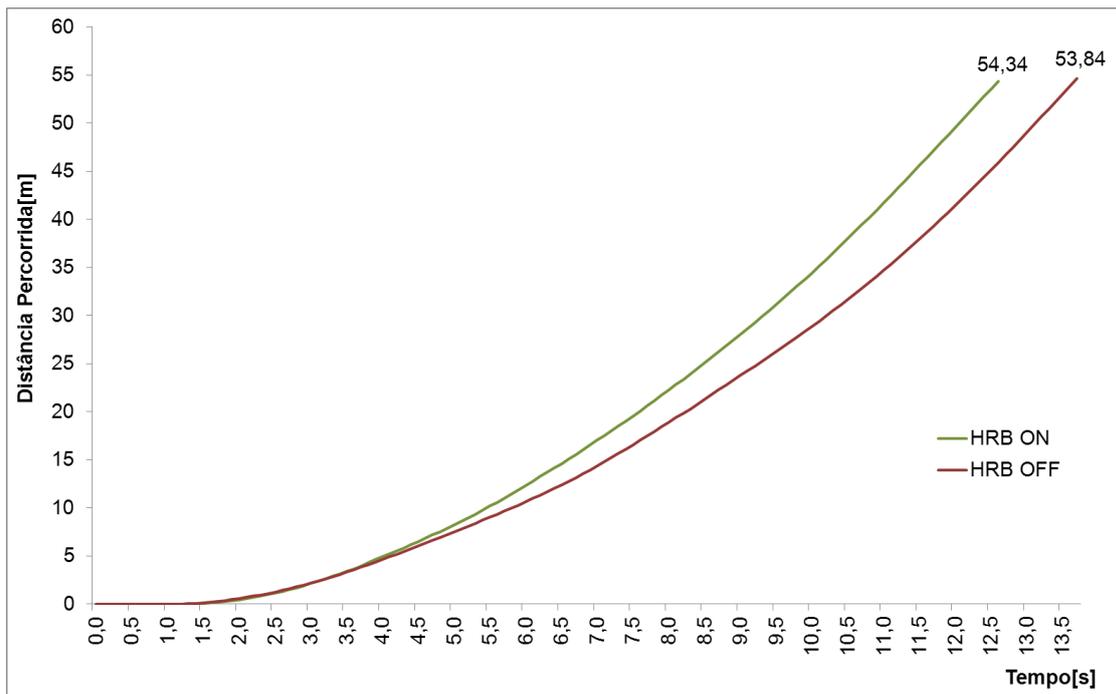


Gráfico 12 – Comparativo de Distâncias Percorridas com e sem HRB

Analisando a injeção de combustível instantânea em relação ao tempo, observa-se que a maior redução de consumo do veículo com o HRB ligado é quando o veículo está em 2ª marcha, conforme Gráfico 13, na curva com o sistema desliga, observa-se que a injeção de combustível instantânea vai aumentando conforme aumenta a rotação do motor, e vai praticamente a zero no momento em que troca de marchas. Na curva com o sistema ligado, a injeção de combustível vai aumentando conforme a rotação, depois vai praticamente a zero na troca de marchas e novamente quando sistema híbrido hidráulico fornece energia ao sistema:

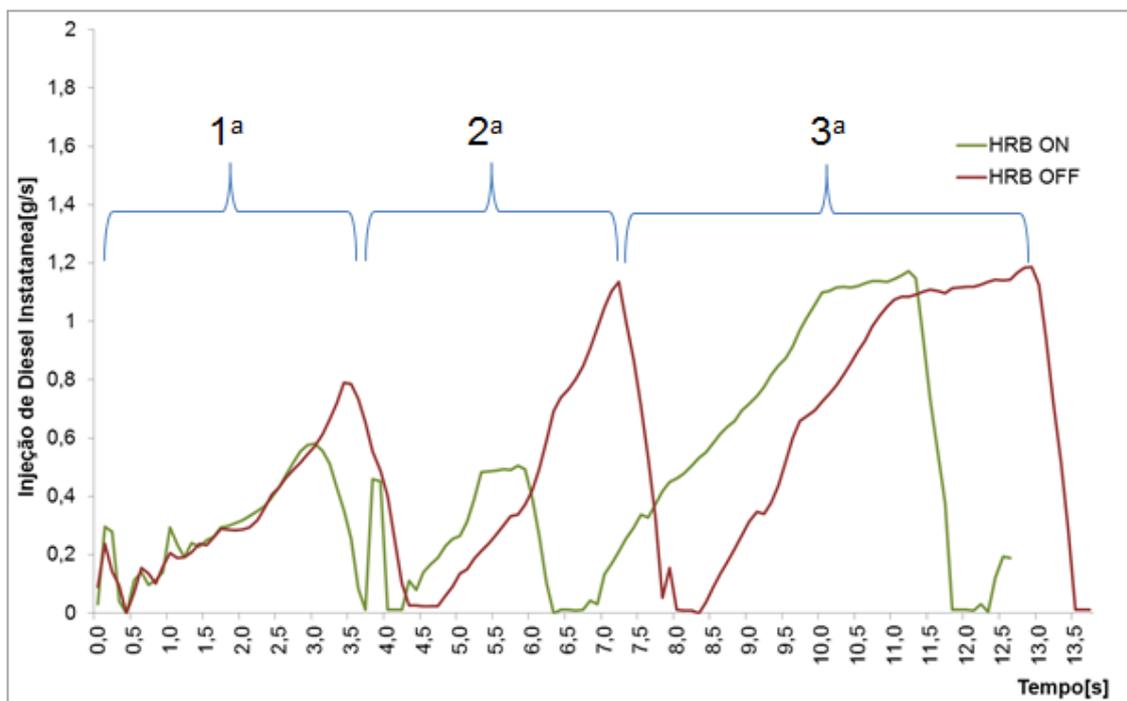


Gráfico 13 – Comparativo de Injeção de Combustível com e sem HRB

Pode-se observar que quando o veículo troca da primeira para a segunda marcha, a atuação do sistema HRB faz uma redução significativa na injeção de combustível, mesmo com o veículo em aceleração, em alguns momentos a injeção de combustível é praticamente zero, o perfil de injeção de combustível da 1ª e 3ª marcha são praticamente idênticas com e sem o sistema HRB acionado, apenas estão defasadas no tempo.

## 8.4. Resultados na Aplicação

Após os testes realizados no campo de provas, o veículo foi disponibilizado para a Comlurb (Companhia Municipal de Limpeza Urbana) maior organização de limpeza pública da América Latina, tendo a prefeitura do Rio de Janeiro como acionista majoritária, e opera na coleta de resíduos na cidade do Rio de Janeiro.

O veículo pode ser aplicado em uma condição normal de operação possibilitando uma análise na aplicação real, com isso foi possível coletar dados de como o veículo se comporta na maior parte do tempo. O veículo cumpriu rotas nos arredores do Estádio do Maracanã, na Zona Sul e favelas como a da Rocinha e do Vidigal para coletar lixo. Em média, o veículo

percorreu cerca de 160 quilômetros nos dois turnos que operou a cada dia do teste, e apresentou uma redução de consumo estimado em 25% (MAN, 2014).

Foram coletados dados diretamente no módulo eletrônico da transmissão, pois devido ao seu funcionamento, a transmissão está sempre coletando informações para poder fazer o cálculo e escolher a marcha correta para utilização, as informações contidas no módulo da transmissão mostram como o veículo ficou em operação, porém não tem informações sobre consumo de combustível, são apenas dados de operação como relevo, utilização das marchas e carregamento utilizado durante o período de operação do veículo.

O Gráfico 14 mostra como o veículo se comporta em relação as marchas mais utilizadas:

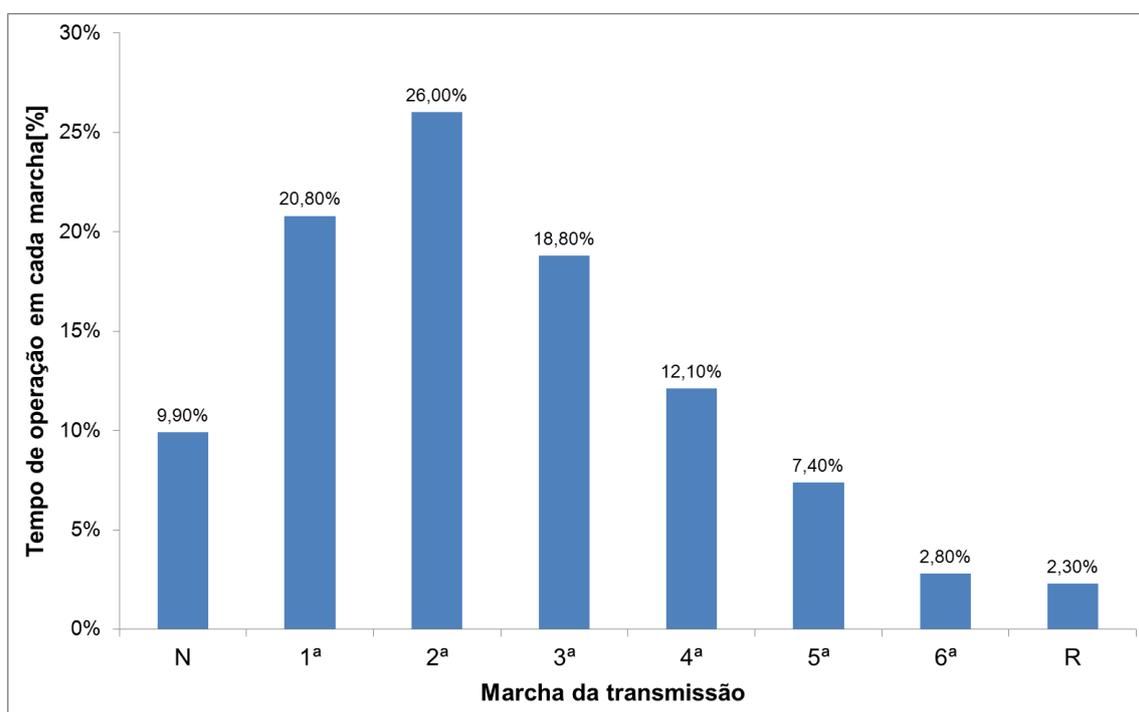


Gráfico 14 – Utilização de Marchas da Transmissão na Aplicação

Pode-se observar que o veículo fica na maior parte do tempo nas primeiras três marchas, caracterizando uma situação de anda e para e de velocidades em torno de 20 a 30 km/h. Tem-se uma utilização em marchas de maiores velocidades, em virtude do veículo após estar cheio ter que descarregar em um aterro onde são utilizadas vias com velocidades maiores.

Outro dado importante retirado do módulo eletrônico da transmissão é em relação ao carregamento do veículo, como o veículo está sempre sendo carregado ao longo da operação, pode-se ver no Gráfico 15 que o veículo nesse caso está sempre com uma carga elevada em sua operação.

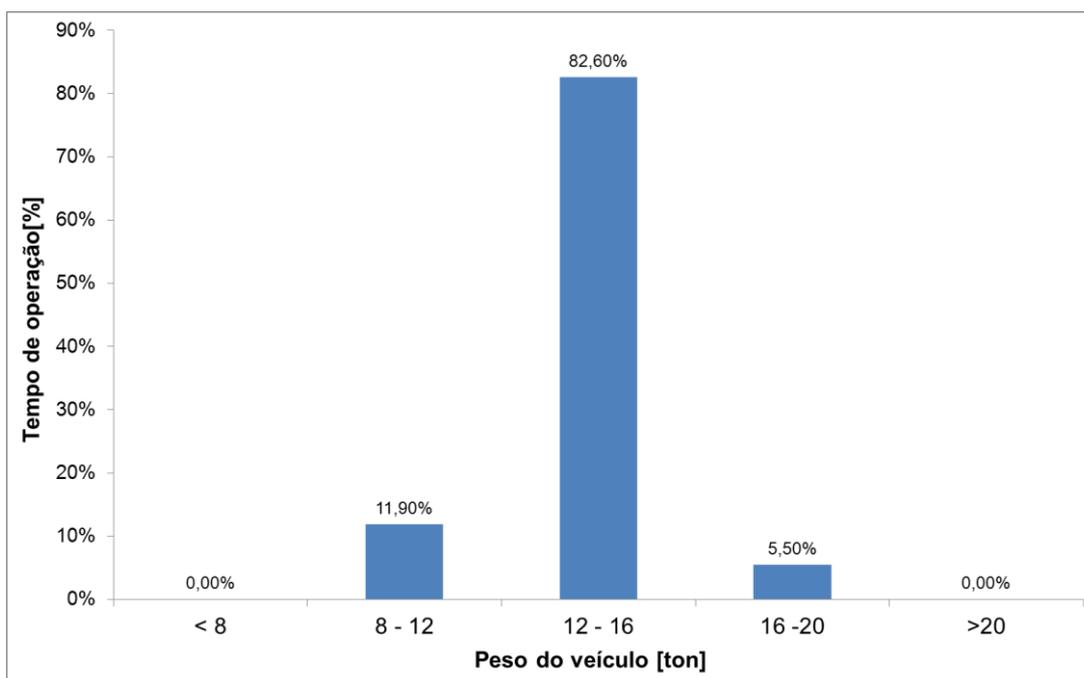


Gráfico 15 – Tempo de Operação e Carga do Veículo na Aplicação

O gráfico mostra que na maior parte do tempo o veículo está operando com 12 a 16 toneladas de peso total, no caso desse veículo tem-se uma compactadora de lixo de 19 m<sup>3</sup>, o peso do veículo vazio é em torno de 8 toneladas e o máximo permitido do peso total do veículo são 24 toneladas, porém o volume de lixo que o veículo comporta, limita a sua capacidade de carga devido ao espaço, fazendo com que o máximo de lixo que pode ser carregado é em torno de 12 toneladas, fazendo com que o veículo chegue no máximo a 20 toneladas de peso total na operação. Porém a maior parte do tempo o veículo acaba operando com 4 a 8 toneladas de lixo no compactador.

O Gráfico 16 mostra como foi o relevo de operação desse veículo, pois além da carga em que o veículo possui, a transmissão precisa saber qual a inclinação em que o veículo se encontra para poder adequar a marcha necessária para que o veículo continue o seu trajeto.

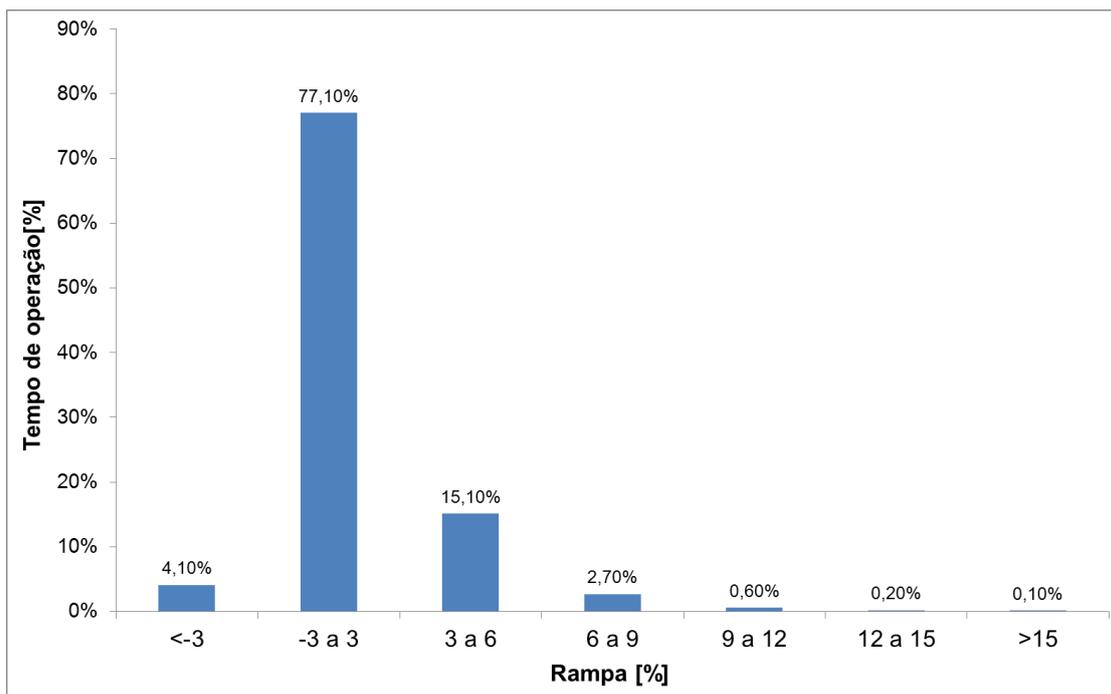


Gráfico 16 – Tempo de Operação e Rampas na Aplicação

Observa-se que a maior parte do tempo 77,10% de operação o veículo ficou em relevos de -3 a 3% de inclinação, isso significa descidas de  $1,72^\circ$  a subidas de  $1,72^\circ$ , que são trechos relativamente mais planos. O veículo operou 15,10% em subidas de 3 a 6% que significam rampas de  $1,72^\circ$  a  $3,43^\circ$  de inclinação, e pouca parte do tempo operou em inclinações acima desses valores.

## 9. COMPARAÇÃO DE RESULTADOS VERSUS TESTES EM VEÍCULO

Os cálculos realizados de consumo de combustível mostram que o consumo necessário para se atingir a velocidade de 30 km/h sem o sistema HRB é de 74,7 g de diesel, e a medição feita no teste foi de 73,57 g conforme Gráfico 17:

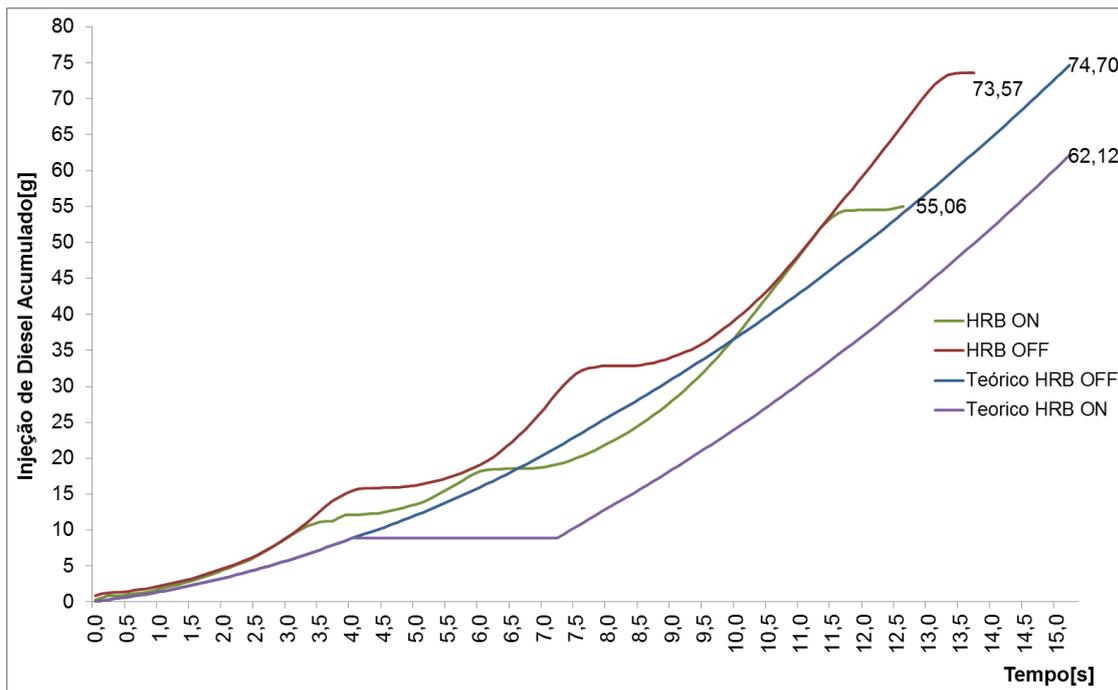


Gráfico 17 – Injeção de Diesel Comparativo Teórico e Testes

Os cálculos realizados mostram uma redução de 16,5% de consumo quando se utiliza o sistema HRB, pois o sistema pode armazenar uma energia durante a frenagem de 530 kJ que é utilizada quando o veículo entra em movimento. Quando se realiza a medição instantânea de consumo de combustível com e sem o sistema HRB, os dados coletados mostraram uma redução de 25% de consumo, assim como o teste de longa duração medindo o consumo em litros, conforme Gráfico 18:

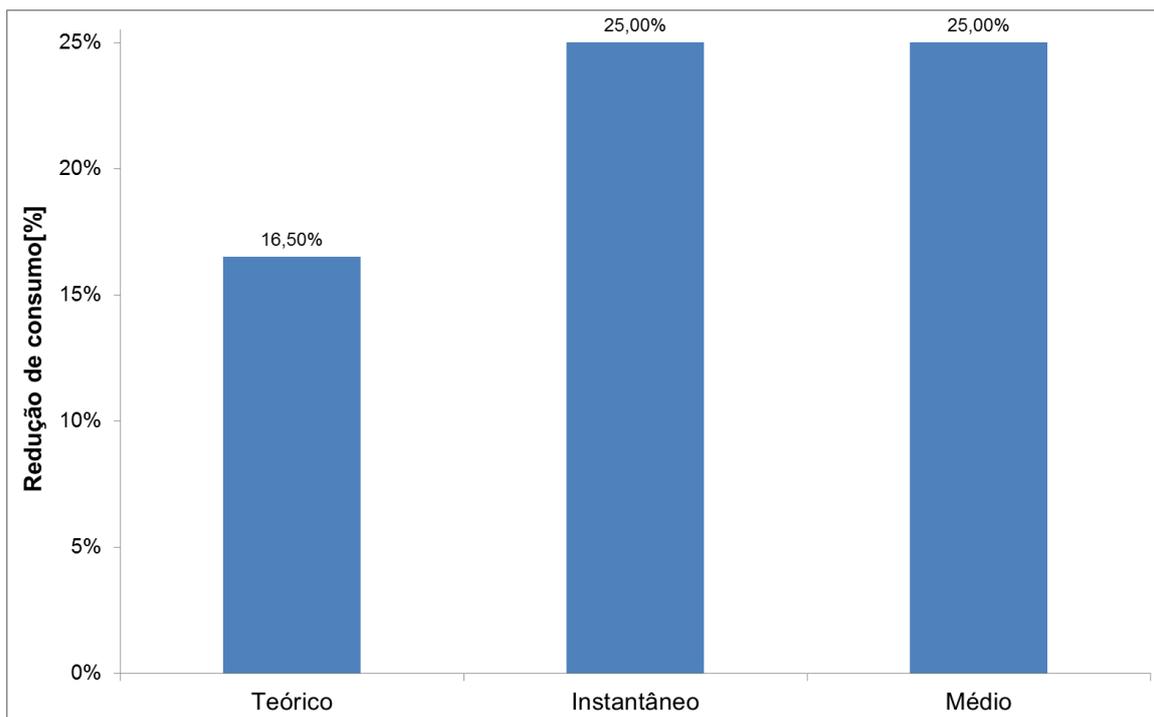


Gráfico 18 – Comparativo de Consumo Teórico e Testes

Analisando o cálculo teórico comparado com a medição instantânea realizada, pode-se observar que os valores são diferentes dos cálculos realizados. A diferença encontrada do teórico para o teste deve-se a algumas diferenças que não foram consideradas durante os cálculos, como por exemplo:

- A interrupção de torque no momento das trocas de marchas, que faz com que o veículo entre em uma desaceleração por um curto período de tempo;
- A aceleração ou aumento da rotação do motor foi considerado no cálculo como uniforme e constante, e no veículo ocorrem mudanças de rotações do motor que não são uniformes e constantes;
- O consumo específico do motor nos cálculos teóricos foram sempre constante e médio, baseado no torque em que o motor irá propiciar ao veículo, enquanto que no veículo real esse consumo irá variar bastante, pois o motor está sempre buscando a curva de melhor consumo em função do torque e rotação;
- Condições de vento foram desconsideradas em ambos os casos, no teste com veículo pode ter influência.

A planilha de cálculo utilizada, assim como todas as considerações que foram feitas para simular o consumo de diesel e conseqüentemente a redução

de consumo do sistema HRB, mostrou que os valores encontrados estão menores do que foi verificado em testes veiculares, a redução de consumo em situação de teste foi maior do que os valores calculados.

## 10. REDUÇÃO DO CUSTO OPERACIONAL DO VEÍCULO

A quilometragem média percorrida por esses veículos diariamente é em torno de 160 km, conforme mostrou o veículo híbrido hidráulico que ficou em operação normal de coleta de lixo durante os testes. Conforme o teste realizado na pista de teste, foi possível observar que o veículo sem o sistema HRB ligado, o consumo é de 1,08 km/litro de diesel, considerando esse consumo pela quilometragem diária percorrida, podemos chegar à conclusão que esses veículos em média gastam em torno de 148 litros de diesel por dia, dividindo os 160 km pelo consumo de 1,08 km/litro de diesel.

Se cada veículo tem um consumo de 148 litros de diesel por dia, e se são utilizados 6 vezes na semana, durante 51 semanas no ano, a empresa gasta em média por veículo 45.288 litros de diesel por ano, aplicando uma redução de consumo de 20%, teríamos uma economia de aproximadamente 9.000 litros de combustível anualmente.

A Tabela 3 mostra o preço do diesel S10 praticado na cidade do Rio de Janeiro

<b>PREÇO VENDA</b>	
<b>MÉDIA</b>	<b>2,679</b>
<b>DESVIO PADRÃO</b>	<b>0,095</b>
<b>VALOR MÍNIMO</b>	<b>2,509</b>
<b>VALOR MÁXIMO</b>	<b>2,899</b>

Tabela 3 - Preço do Diesel no Rio de Janeiro

(ANP, 2014)

Utilizando o valor médio do preço do diesel de R\$ 2,679, a economia de um veículo seria em torno de R\$ 24.000,00 por ano.

Analisando a vida média de um veículo comercial no Brasil, tem-se a seguinte situação mostrada na Tabela 4, observa-se que os veículos

comerciais tem um longo tempo de utilização, a maior parte da frota tem mais de 21 anos, o que mostra que o tempo de utilização é elevado.

Tempo	Número de Veículos	%
21 anos ou mais	1064563	40,6
16 a 20 anos	228121	8,7
11 a 15 anos	312027	11,9
6 a 10 anos	372335	14,2
Até 5 anos	645031	24,6

Tabela 4 - Idade Média da Frota de Caminhões no Brasil

(ANFAVEA, 2011)

Se for considerado que em 4 anos de operação, a economia de combustível obtida com o sistema HRB pode ser investida para a adaptação do veículo no momento inicial da aquisição, é possível afirmar que se o sistema tiver um custo em torno de R\$ 96.000,00, o retorno desse investimento irá acontecer durante a vida do veículo.

As empresas do Brasil tem uma idade média da frota de caminhões de 11 anos (ANTT, 2009), com todo esse período em que o veículo estará incorporado a empresa, o retorno do investimento em um sistema HRB irá trazer rentabilidade durante essa fase. Além disso, as empresas podem ter um financiamento a longo prazo para a aquisição desses veículos, como o FINAME que é um financiamento do BNDES para as micro, pequenas e médias empresas que buscam linha de crédito para investimento em máquinas e equipamentos.

## 11. CONCLUSÕES

Este trabalho teve como principal objetivo analisar a eficiência energética de um veículo comercial híbrido hidráulico em uma aplicação de coleta de lixo para o Brasil. A crescente utilização de veículos híbridos no mundo mostra que cada vez mais, a busca por eficiência energética nos veículos automotores é uma prioridade para a indústria da locomoção, com o intuito de reduzir o consumo de combustível fóssil ao máximo possível.

A falta de mão de obra qualificada e o custo envolvido para isso faz com que para o Brasil existam algumas dificuldades para a utilização de veículos híbridos elétricos, o sistema funciona com alta tensão e os seus custos de manutenção podem inviabilizar sua utilização, além do grande problema de enchentes que principalmente as grandes cidades possuem. Outra desvantagem desse sistema é a duração das baterias que armazenam a energia recuperada, que possuem uma vida limitada e são de alto custo, fazendo com que o investimento inicial não seja recuperado durante a vida do veículo.



Figura 35 – Veículo em uma Enchente

(Site Veja, 2014)

A utilização de veículo híbrido hidráulico aparece como uma solução fácil de ser adaptada ao país, pois os componentes utilizados nesse sistema são todos hidráulicos de fácil manutenção e que não necessitam de mão de obra especializada, fazendo com que em qualquer oficina seja possível fazer

intervenção no sistema quando necessário, além disso, o sistema não possui problemas com enchentes, diminuindo os riscos com acidente nessas ocasiões.

O sistema híbrido hidráulico sendo utilizado em uma aplicação de coleta de lixo, onde tipicamente é uma situação de anda e pára, os cálculos realizados e os testes mostram que o veículo pode ter em torno de 16,5 a 25% de redução de consumo de combustível. Alguns fatores podem influenciar que essa redução de consumo em veículo seja nessa ordem, dependendo principalmente da rota que esse veículo possa ser utilizado e da velocidade de operação.

Simulando a utilização do sistema HRB em uma cidade como o Rio de Janeiro, os cálculos mostram que a utilização dessa tecnologia em uma frota de coleta de lixo, pode levar a reduções de custo na ordem de R\$ 9.000,00 reais por ano, porém é necessário saber o quanto irá custar a implementação desse sistema em um veículo, o investimento inicial não será recuperado no primeiro ano, mas ocorrerá durante a vida do veículo.

Outro fato importante é a redução de emissão de poluentes, fazendo com que os grandes centros possam ter uma redução significativa nessas emissões, melhorando a qualidade do ar nesses centros urbanos. A extensão da utilização desse sistema em ônibus urbano também pode ser avaliada e aplicada, pois esses veículos também possuem uma operação de anda e para típica para utilização dessa tecnologia.

Com todos esses fatores a tecnologia híbrida hidráulica para veículos comerciais mostra-se eficaz para as condições encontradas não apenas no Brasil como em todos os países emergentes, onde a capacitação da mão de obra e os recursos necessários são escassos e que necessitam de uma tecnologia simples e de fácil manuseio.

## **11.1. Sugestões Trabalhos Complementares**

Como sugestão novos trabalhos em continuidade ao tema, poderiam ser implementadas modelagens mais detalhadas, eventualmente empregando pacotes computacionais específicos para estudos energéticos em veículos, e incorporando variáveis econômicas (investimentos e custos operacionais), visando reforçar as conclusões obtidas no presente estudo, particularmente explorando mediante estudos de sensibilidade diferentes condições de operação.

Da mesma forma poderia ser analisada a aplicação da tecnologia HRB em ônibus urbanos que possuem uma característica semelhante de operação, as rotas precisam ser analisadas e os veículos devem ser monitorados para que possa chegar à conclusão da viabilidade da aplicação dessa tecnologia. As frotas de ônibus urbano são maiores e com isso as reduções de emissões de poluentes podem aumentar proporcionalmente ao número de veículos e o retorno financeiro com a redução de consumo de combustível pode ter valores ainda mais significativos do que os caminhões de coleta de lixo.

A utilização do HRB faz com que o veículo utilize menos o sistema de freio, pois o sistema HRB utiliza a energia para desacelerar o veículo minimizando a utilização do freio, como o sistema de freio sofre desgaste e são um componente onde há a troca de peças regularmente, principalmente as pastilhas, o sistema HRB pode prolongar a vida desses componentes e aumentar o retorno financeiro.

O veículo com o sistema HRB em operação mostrou um nível de ruído elevado, o que deverá ser aprimorado com o desenvolvimento e aplicação da tecnologia em maior escala e das necessidades dos clientes, pois isso poderá trazer um desconforto para os trabalhadores e até mesmo ser prejudicial à saúde.

O sistema HRB melhora o desempenho do veículo, atingindo as velocidades e distâncias desejadas em menor tempo, pode-se analisar o quanto essa redução de tempo poderá ter impacto em redução do tempo de trabalho e de se conseguir reduzir a frota e o número de trabalhadores, aumentando a eficiência da coleta de lixo e reduzindo a frota circulante nas cidades. Por outro lado, com a melhora do desempenho, pode-se analisar a redução do tamanho dos motores, reduzindo seus volumes e assim reduzindo o custo de aquisição do veículo diminuindo o custo inicial da aplicação do sistema HRB.

## 12. REFERENCIAS

- [1] HANTULA, Richard; VOEGE, Debra. How Do Hybrid Cars Work?. Infobase Publishing, 2009.
- [2] JURGEN, Ronald K. Electric and hybrid-electric vehicles. SAE Technical Paper, 2002.
- [3] EPA, United States Environmental Protection URL: [www.epa.gov](http://www.epa.gov)
- [4] ACHTEN, Peter AJ. A serial hydraulic hybrid drive train for off-road vehicles. In: PROCEEDINGS OF THE NATIONAL CONFERENCE ON FLUID POWER. 2008. p. 515.
- [5] RYDBERG, Karl-Erik. Energy efficient hydraulic hybrid drives. 2009.
- [6] Wu, B., Lin, C. C., Filipi, Z., Peng, H., & Assanis, D. (2004). Optimal power management for a hydraulic hybrid delivery truck. Vehicle System Dynamics.
- [7] HUCHO, Wolf-Heinrich. Aerodynamics of road vehicles. 1987.
- [8] Danfoss Axial Pump Introduction, 2012, disponível em: [http://www.youtube.com/watch?v=\\_WLtj\\_fzPAg&list=UU9Lg8czvr3MDvu\\_hvm6C9AEQ](http://www.youtube.com/watch?v=_WLtj_fzPAg&list=UU9Lg8czvr3MDvu_hvm6C9AEQ)
- [9] WILLUMEIT, H. P.; BENNETER, B. Hydro-bus: a city-bus with braking-recovery system. In: International FISITA congress. 19. 1982. p. 65.1-65.4.
- [10] DUBBEL, Heinrich; BEITZ, Wolfgang; KUTTNER, Karl-Heinz. Handbook of mechanical engineering. Springer-Verlag, 1994.
- [11] BOSCH REXROTH. Bladder-type accumulator. RE50170/01.09. Lohr am Main, Alemanha. Disponível em: <http://www.boschrexroth.com>. Acesso em: agosto. 2013.
- [12] How Stuffs Work. URL: <http://www.carros.hsw.uol.com.br>. Acesso em: agosto. 2013
- [13] ELECTROPAEDIA, Battery. Energy Technologies. Acesso em agosto 2013: <http://www.mpoweruk.com/performance.htm>.
- [14] LECHNER, Gisbert; NAUNHEIMER, Harald. Automotive transmissions: fundamentals, selection, design, and application. Springer, 1999.

- [15] Technical data D0836 D 114.510/E . mu 08102, disponível em [www.man-engines.com](http://www.man-engines.com), 2013
- [16] BOSCH, Robert. Manual de Tecnologia Automotiva. Edgard Blucher, 2005.
- [17] Bosch Rexroth AG 2009. Hydrostatic Regenerative Brakingsystem - application center truck-drive Horb (Germany)
- [18] GILLESPIE, Thomas D. Fundamentals of vehicle dynamics (R-114). SAE International, March, 1992.
- [19] Bosch - Axial Piston Variable Pump A4VSO - Operating Instructions - RE 92050-01-B/03.08
- [20] Firestone BRI 0001 13 AF01 Folheto Firestone.indd 16 Disponível em: [www.firestone.com.br](http://www.firestone.com.br). Acesso em: ago. 2013.
- [21] Bosch – Bladder Type Accumulator - RE 50170/02.12
- [22] VAN WYLEN, Gordon John; SONNTAG, Richard Edwin; BORGNAKKE, Claus. Fundamentals of classical thermodynamics. New York, NY: Wiley, 1994.
- [23] MAN Latin America. URL: <http://www.man-la.com/sala-de-imprensa/33-noticia-sem-categoria/17536-comlurb-e-man-latin-america-reduzem-em-ate-25-consumo-de-combustivel-na-coleta-de-lixo-no-rio>. Acesso em janeiro 2014
- [24] DE ALMEIDA GUIMARÃES, Alexandre. Eletrônica embarcada automotiva. Érica, 2007.
- [25] TECNOMOTOR, TM 540 - Rasther III. Acesso em agosto 2014: <http://www.tecnomotor.com.br/novo/index.php/produtos/diagnostico-automotivo-diesel/scanners/tm-540-rasther-iii>
- [26] EPA – United States Environmental Agency Protection 2013
- [27] ETAS – Measurement, ECU Calibration, and Diagnostics –Development Solutions for Automotive Embedded Systems - ETAS/COM\_Sar/03.2010
- [28] INCA V5.3 – Document AM010010 R5.3.0 EM, 2005
- [29] Bosch – Sistema de freio regenerativo hidrostático HRB – RP 94850-20-B/08.11, 2011
- [30] CONAMA. (2002), “Artigo 15”. Resolução 315/2002. Disponível em <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=337> Acesso em 18.05.2014.

- [31] Rio + Nosso <http://www.riomaisnosso.com/comlurb-frota-de-limpeza-3/>  
acesso em 18.05.2014
- [32] BRASIL, A. N. P. Agência Nacional de Petróleo e Gás Natural e Biocombustíveis. Preço do diesel. Disponível em:  
[http://www.anp.gov.br/preco/prc/Resumo\\_Por\\_Municipio\\_Posto.asp](http://www.anp.gov.br/preco/prc/Resumo_Por_Municipio_Posto.asp)  
[acesso em 01/07/2014](#)
- [33] Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores, Sindicato Nacional da Indústria de Tratores, Caminhões, Automóveis, & Veículos Similares (2011). Indústria automobilística brasileira. ANFAVEA.
- [34] Agência Nacional de Transportes Terrestres. ANTT (2009)
- [35] Veja, Revista do Grupo Abril  
<http://veja3.abril.com.br/assets/images/2011/1/26347/chuva-alagamento-sao-paulo-20110111-05-size-598.jpg> acesso em 25/07/2014
- [36] ZF Friedrichshafen AG Ecomid EN 2012-08  
[http://www.zf.com/media/media/en/productfinder\\_media/trucks/trucks\\_driveline\\_ecomid/pdf\\_102/9\\_s\\_1110\\_td.pdf](http://www.zf.com/media/media/en/productfinder_media/trucks/trucks_driveline_ecomid/pdf_102/9_s_1110_td.pdf)
- [37] ZF Friedrichshafen AG AS-Tronic Light EN 2012-07  
[http://www.zf.com/media/media/en/productfinder\\_media/trucks/trucks\\_driveline\\_astronic\\_lite/pdf\\_100/6\\_as\\_1000\\_to.pdf](http://www.zf.com/media/media/en/productfinder_media/trucks/trucks_driveline_astronic_lite/pdf_100/6_as_1000_to.pdf)

## 13. ANEXOS

Tabela 5 – Resultados no Plano

Tempo [s]	rotação [rpm]	Vel. [km/h]	Frol [N]	Faer [N]	Fac [N]	Torque mínimo [N.m]	Pot [kW]	Cons. Diesel [g]	Cons. Diesel Acumulado [g]
0	700	0,00	2156	0,00	12100	212,71	15,59	0,10	0,1
0,1	741	0,20	2156	0,24	12100	212,72	16,51	0,11	0,2
0,2	782	0,40	2156	0,48	12100	212,72	17,42	0,11	0,3
0,3	823	0,59	2156	0,71	12100	212,72	18,33	0,12	0,4
0,4	864	0,79	2156	0,95	12100	212,73	19,25	0,12	0,6
0,5	905	0,99	2156	1,19	12100	212,73	20,16	0,13	0,7
0,6	946	1,19	2156	1,43	12100	212,73	21,08	0,13	0,8
0,7	987	1,39	2156	1,66	12100	212,74	21,99	0,14	1,0
0,8	1028	1,58	2156	1,90	12100	212,74	22,90	0,15	1,1
0,9	1069	1,78	2156	2,14	12100	212,74	23,82	0,15	1,3
1	1110	1,98	2156	2,38	12100	212,75	24,73	0,16	1,4
1,1	1151	2,18	2156	2,61	12100	212,75	25,64	0,16	1,6
1,2	1192	2,38	2156	2,85	12100	212,75	26,56	0,17	1,8
1,3	1233	2,57	2156	3,09	12100	212,76	27,47	0,18	1,9
1,4	1274	2,77	2156	3,33	12100	212,76	28,39	0,18	2,1
1,5	1315	2,97	2156	3,56	12100	212,77	29,30	0,19	2,3
1,6	1356	3,17	2156	3,80	12100	212,77	30,21	0,19	2,5
1,7	1397	3,37	2156	4,04	12100	212,77	31,13	0,20	2,7
1,8	1438	3,56	2156	4,28	12100	212,78	32,04	0,20	2,9
1,9	1479	3,76	2156	4,51	12100	212,78	32,96	0,21	3,1
2	1520	3,96	2156	4,75	12100	212,78	33,87	0,22	3,3
2,1	1561	4,16	2156	4,99	12100	212,79	34,78	0,22	3,5
2,2	1602	4,36	2156	5,23	12100	212,79	35,70	0,23	3,8
2,3	1643	4,55	2156	5,46	12100	212,79	36,61	0,23	4,0
2,4	1684	4,75	2156	5,70	12100	212,80	37,53	0,24	4,2
2,5	1725	4,95	2156	5,94	12100	212,80	38,44	0,25	4,5
2,6	1766	5,15	2156	6,18	12100	212,80	39,36	0,25	4,7
2,7	1807	5,35	2156	6,42	12100	212,81	40,27	0,26	5,0
2,8	1848	5,54	2156	6,65	12100	212,81	41,18	0,26	5,3
2,9	1889	5,74	2156	6,89	12100	212,81	42,10	0,27	5,5
3	1930	5,94	2156	7,13	12100	212,82	43,01	0,27	5,8
3,1	1971	6,14	2156	7,37	12100	212,82	43,93	0,28	6,1
3,2	2012	6,34	2156	7,60	12100	212,83	44,84	0,29	6,4
3,3	2053	6,53	2156	7,84	12100	212,83	45,76	0,29	6,7
3,4	2094	6,73	2156	8,08	12100	212,83	46,67	0,30	7,0
3,5	2135	6,93	2156	8,32	12100	212,84	47,59	0,30	7,3

3,6	2176	7,13	2156	8,55	12100	212,84	48,50	0,31	7,6
3,7	2217	7,33	2156	8,79	12100	212,84	49,42	0,32	7,9
3,8	2258	7,52	2156	9,03	12100	212,85	50,33	0,32	8,2
3,9	2299	7,72	2156	9,27	12100	212,85	51,25	0,33	8,5
4	2300	7,92	2156	9,50	12100	212,85	51,27	0,33	8,9
4,1	1226	8,12	2156	9,74	12100	399,11	51,24	0,29	9,2
4,2	1254	8,32	2156	9,98	12100	399,11	52,41	0,30	9,5
4,3	1282	8,51	2156	10,22	12100	399,12	53,58	0,31	9,8
4,4	1310	8,71	2156	10,45	12100	399,13	54,76	0,31	10,1
4,5	1338	8,91	2156	10,69	12100	399,13	55,93	0,32	10,4
4,6	1366	9,11	2156	10,93	12100	399,14	57,10	0,33	10,7
4,7	1394	9,31	2156	11,17	12100	399,15	58,27	0,33	11,0
4,8	1422	9,50	2156	11,40	12100	399,15	59,44	0,34	11,4
4,9	1450	9,70	2156	11,64	12100	399,16	60,61	0,35	11,7
5	1478	9,90	2156	11,88	12100	399,17	61,78	0,35	12,1
5,1	1506	10,10	2156	12,12	12100	399,17	62,95	0,36	12,4
5,2	1534	10,30	2156	12,36	12100	399,18	64,13	0,37	12,8
5,3	1562	10,49	2156	12,59	12100	399,19	65,30	0,37	13,2
5,4	1590	10,69	2156	12,83	12100	399,19	66,47	0,38	13,6
5,5	1618	10,89	2156	13,07	12100	399,20	67,64	0,39	13,9
5,6	1646	11,09	2156	13,31	12100	399,21	68,81	0,39	14,3
5,7	1674	11,29	2156	13,54	12100	399,21	69,98	0,40	14,7
5,8	1702	11,48	2156	13,78	12100	399,22	71,16	0,41	15,1
5,9	1730	11,68	2156	14,02	12100	399,23	72,33	0,41	15,6
6	1758	11,88	2156	14,26	12100	399,23	73,50	0,42	16,0
6,1	1786	12,08	2156	14,49	12100	399,24	74,67	0,43	16,4
6,2	1814	12,28	2156	14,73	12100	399,25	75,84	0,43	16,8
6,3	1842	12,47	2156	14,97	12100	399,25	77,02	0,44	17,3
6,4	1870	12,67	2156	15,21	12100	399,26	78,19	0,45	17,7
6,5	1898	12,87	2156	15,44	12100	399,27	79,36	0,45	18,2
6,6	1926	13,07	2156	15,68	12100	399,27	80,53	0,46	18,6
6,7	1954	13,27	2156	15,92	12100	399,28	81,70	0,47	19,1
6,8	1982	13,46	2156	16,16	12100	399,29	82,88	0,47	19,6
6,9	2010	13,66	2156	16,39	12100	399,29	84,05	0,48	20,0
7	2038	13,86	2156	16,63	12100	399,30	85,22	0,49	20,5
7,1	2066	14,06	2156	16,87	12100	399,31	86,39	0,49	21,0
7,2	2094	14,26	2156	17,11	12100	399,31	87,57	0,50	21,5
7,3	2122	14,45	2156	17,34	12100	399,32	88,74	0,51	22,0
7,4	2150	14,65	2156	17,58	12100	399,33	89,91	0,51	22,5
7,5	2178	14,85	2156	17,82	12100	399,33	91,08	0,52	23,0
7,6	2206	15,05	2156	18,06	12100	399,34	92,26	0,53	23,6
7,7	2234	15,25	2156	18,30	12100	399,35	93,43	0,53	24,1
7,8	2262	15,44	2156	18,53	12100	399,35	94,60	0,54	24,6
7,9	2290	15,64	2156	18,77	12100	399,36	95,77	0,55	25,2
8	2300	15,84	2156	19,01	12100	399,37	96,19	0,55	25,7

8,1	1360	16,04	2156	19,25	12100	675,00	96,14	0,51	26,2
8,2	1373	16,24	2156	19,48	12100	675,01	97,06	0,51	26,8
8,3	1386	16,43	2156	19,72	12100	675,02	97,98	0,52	27,3
8,4	1399	16,63	2156	19,96	12100	675,03	98,90	0,52	27,8
8,5	1412	16,83	2156	20,20	12100	675,04	99,82	0,53	28,3
8,6	1425	17,03	2156	20,43	12100	675,05	100,74	0,53	28,9
8,7	1438	17,23	2156	20,67	12100	675,06	101,66	0,54	29,4
8,8	1451	17,42	2156	20,91	12100	675,08	102,58	0,54	29,9
8,9	1464	17,62	2156	21,15	12100	675,09	103,50	0,55	30,5
9	1477	17,82	2156	21,38	12100	675,10	104,42	0,55	31,0
9,1	1490	18,02	2156	21,62	12100	675,11	105,34	0,56	31,6
9,2	1503	18,22	2156	21,86	12100	675,12	106,26	0,56	32,1
9,3	1516	18,41	2156	22,10	12100	675,13	107,18	0,57	32,7
9,4	1529	18,61	2156	22,33	12100	675,14	108,10	0,57	33,3
9,5	1542	18,81	2156	22,57	12100	675,15	109,03	0,58	33,9
9,6	1555	19,01	2156	22,81	12100	675,17	109,95	0,58	34,4
9,7	1568	19,21	2156	23,05	12100	675,18	110,87	0,59	35,0
9,8	1581	19,40	2156	23,28	12100	675,19	111,79	0,59	35,6
9,9	1594	19,60	2156	23,52	12100	675,20	112,71	0,59	36,2
10	1607	19,80	2156	23,76	12100	675,21	113,63	0,60	36,8
10,1	1620	20,00	2156	24,00	12100	675,22	114,55	0,60	37,4
10,2	1633	20,20	2156	24,24	12100	675,23	115,47	0,61	38,0
10,3	1646	20,39	2156	24,47	12100	675,24	116,39	0,61	38,6
10,4	1659	20,59	2156	24,71	12100	675,26	117,32	0,62	39,3
10,5	1672	20,79	2156	24,95	12100	675,27	118,24	0,62	39,9
10,6	1685	20,99	2156	25,19	12100	675,28	119,16	0,63	40,5
10,7	1698	21,19	2156	25,42	12100	675,29	120,08	0,63	41,1
10,8	1711	21,38	2156	25,66	12100	675,30	121,00	0,64	41,8
10,9	1724	21,58	2156	25,90	12100	675,31	121,92	0,64	42,4
11	1737	21,78	2156	26,14	12100	675,32	122,84	0,65	43,1
11,1	1750	21,98	2156	26,37	12100	675,33	123,77	0,65	43,7
11,2	1763	22,18	2156	26,61	12100	675,35	124,69	0,66	44,4
11,3	1776	22,37	2156	26,85	12100	675,36	125,61	0,66	45,0
11,4	1789	22,57	2156	27,09	12100	675,37	126,53	0,67	45,7
11,5	1802	22,77	2156	27,32	12100	675,38	127,45	0,67	46,4
11,6	1815	22,97	2156	27,56	12100	675,39	128,37	0,68	47,1
11,7	1828	23,17	2156	27,80	12100	675,40	129,29	0,68	47,7
11,8	1841	23,36	2156	28,04	12100	675,41	130,22	0,69	48,4
11,9	1854	23,56	2156	28,27	12100	675,42	131,14	0,69	49,1
12	1867	23,76	2156	28,51	12100	675,44	132,06	0,70	49,8
12,1	1880	23,96	2156	28,75	12100	675,45	132,98	0,70	50,5
12,2	1893	24,16	2156	28,99	12100	675,46	133,90	0,71	51,2
12,3	1906	24,35	2156	29,22	12100	675,47	134,82	0,71	51,9
12,4	1919	24,55	2156	29,46	12100	675,48	135,75	0,72	52,7
12,5	1932	24,75	2156	29,70	12100	675,49	136,67	0,72	53,4

12,6	1945	24,95	2156	29,94	12100	675,50	137,59	0,73	54,1
12,7	1958	25,15	2156	30,18	12100	675,51	138,51	0,73	54,8
12,8	1971	25,34	2156	30,41	12100	675,52	139,43	0,74	55,6
12,9	1984	25,54	2156	30,65	12100	675,54	140,36	0,74	56,3
13	1997	25,74	2156	30,89	12100	675,55	141,28	0,75	57,1
13,1	2010	25,94	2156	31,13	12100	675,56	142,20	0,75	57,8
13,2	2023	26,14	2156	31,36	12100	675,57	143,12	0,76	58,6
13,3	2036	26,33	2156	31,60	12100	675,58	144,04	0,76	59,3
13,4	2049	26,53	2156	31,84	12100	675,59	144,97	0,77	60,1
13,5	2062	26,73	2156	32,08	12100	675,60	145,89	0,77	60,9
13,6	2075	26,93	2156	32,31	12100	675,61	146,81	0,77	61,6
13,7	2088	27,13	2156	32,55	12100	675,63	147,73	0,78	62,4
13,8	2101	27,32	2156	32,79	12100	675,64	148,66	0,78	63,2
13,9	2114	27,52	2156	33,03	12100	675,65	149,58	0,79	64,0
14	2127	27,72	2156	33,26	12100	675,66	150,50	0,79	64,8
14,1	2140	27,92	2156	33,50	12100	675,67	151,42	0,80	65,6
14,2	2153	28,12	2156	33,74	12100	675,68	152,35	0,80	66,4
14,3	2166	28,31	2156	33,98	12100	675,69	153,27	0,81	67,2
14,4	2179	28,51	2156	34,21	12100	675,70	154,19	0,81	68,0
14,5	2192	28,71	2156	34,45	12100	675,72	155,11	0,82	68,8
14,6	2205	28,91	2156	34,69	12100	675,73	156,04	0,82	69,7
14,7	2218	29,11	2156	34,93	12100	675,74	156,96	0,83	70,5
14,8	2231	29,30	2156	35,16	12100	675,75	157,88	0,83	71,3
14,9	2244	29,50	2156	35,40	12100	675,76	158,80	0,84	72,2
15	2257	29,70	2156	35,64	12100	675,77	159,73	0,84	73,0
15,1	2270	29,90	2156	35,88	12100	675,78	160,65	0,85	73,8
15,2	2283	30,10	2156	36,12	12100	675,79	161,57	0,85	74,7

Tabela 6 – Frota da Comlurb

	Denominação	Modelo	Placa
1	18* – COMPACTADOR DE 11M <sup>3</sup>	17-180	LSV2697
2	P19* – COMPACTADOR DE 11M <sup>3</sup>	17-180	KXA1894
3	P20* – COMPACTADOR DE 11M <sup>3</sup>	17-180	KWV2099
4	P21* – COMPACTADOR DE 11M <sup>3</sup>	17-180	LSX2698
5	P22* – COMPACTADOR DE 12M <sup>3</sup>	17-220	LSZ2841
6	P23* – COMPACTADOR DE 12M <sup>3</sup>	17-220	KPW0924
7	P25* – COMPACTADOR DE 12M <sup>3</sup>	17-220	LSZ2840
8	P26* – COMPACTADOR DE 12M <sup>3</sup>	17-220	LSR2713
9	P27* – COMPACTADOR DE 12M <sup>3</sup>	17-220	KQF3519
10	P28* – COMPACTADOR DE 12M <sup>3</sup>	17-220	LSZ2839
11	P29* – COMPACTADOR DE 12M <sup>3</sup>	17-220	KQQ3392
12	P31* – COMPACTADOR DE 12M <sup>3</sup>	17-220	KRN2013
13	P32* – COMPACTADOR DE 12M <sup>3</sup>	17-220	LUB2559
14	P36* – COMPACTADOR DE 12M <sup>3</sup>	17-220	KVH3376
15	P37 – COMPACTADOR DE 12M <sup>3</sup>	17-220	KVK3291
16	P38 – COMPACTADOR DE 12M <sup>3</sup>	17-220	KVO3063
17	P41* – BASCULANTE DE 8M <sup>3</sup>	17-180	KXK1974
18	P42* – BASCULANTE DE 8M <sup>3</sup>	17-180	LTB2282
19	P43* – BASCULANTE DE 8M <sup>3</sup>	17-180	LQX2553
20	P44* – BASCULANTE DE 8M <sup>3</sup>	17-180	KVR3298
21	P45* – BASCULANTE DE 8M <sup>3</sup>	17-180	KQF3489
22	P46* – BASCULANTE DE 8M <sup>3</sup>	17-180	KPM8028
23	P50* – BASCULANTE DE 8M <sup>3</sup>	17-180	KQR1178
24	P51* – BASCULANTE DE 8M <sup>3</sup>	17-180	LTT2372
25	P52* – BASCULANTE DE 8M <sup>3</sup>	17-180	LSH2837
26	P53* – BASCULANTE DE 8M <sup>3</sup>	17-180	KUZ6427
27	P54* – BASCULANTE DE 8M <sup>3</sup>	17-180	KXB1987
28	Q04* – COMPACTADOR DE 8M <sup>3</sup>	17-180	KVU3240
29	Q05* – COMPACTADOR DE 8M <sup>3</sup>	17-180	KVT3244
30	Q07* – COMPACTADOR DE 8M <sup>3</sup>	17-180	KXR2147
31	Q08* – COMPACTADOR DE 8M <sup>3</sup>	17-180	KXP1975
32	Q10* – COMPACTADOR DE 8M <sup>3</sup>	17-180	KXM2047
33	Q11* – COMPACTADOR DE 8M <sup>3</sup>	17-180	KVT3243
34	Q12* – COMPACTADOR DE 8M <sup>3</sup>	17-180	KYU1802
35	Q13* – COMPACTADOR DE 11M <sup>3</sup>	17-180	LTZ2406
36	Q14* – COMPACTADOR DE 11M <sup>3</sup>	17-180	KUZ6368
37	Q15* – COMPACTADOR DE 11M <sup>3</sup>	17-180	LTT2371
38	Q16* – COMPACTADOR DE 11M <sup>3</sup>	17-180	KUZ6371
39	Q17* – COMPACTADOR DE 11M <sup>3</sup>	17-180	KRY0853
40	Q18* – COMPACTADOR DE 11M <sup>3</sup>	17-180	LUB2536
41	Q19* – COMPACTADOR DE 11M <sup>3</sup>	17-180	KXU1771
42	Q20* – COMPACTADOR DE 11M <sup>3</sup>	17-180	KXI1777

43	Q21* – COMPACTADOR DE 11M <sup>3</sup>	17-180	KXM2045
44	Q22* – COMPACTADOR DE 11M <sup>3</sup>	17-180	KXG1693
45	Q23* – COMPACTADOR DE 11M <sup>3</sup>	17-180	KXR2146
46	Q24* – COMPACTADOR DE 11M <sup>3</sup>	17-180	KXC2039
47	Q25* – COMPACTADOR DE 11M <sup>3</sup>	17-180	KXW1811
48	Q26* – COMPACTADOR DE 11M <sup>3</sup>	17-180	KYL1522
49	Q27* – COMPACTADOR DE 11M <sup>3</sup>	17-180	KWL2453
50	Q28* – COMPACTADOR DE 11M <sup>3</sup>	17-180	KYC1496
51	Q29* – COMPACTADOR DE 11M <sup>3</sup>	17-180	KXH1905
52	Q33* – COMPACTADOR DE 12M <sup>3</sup>	17-220	KVT3180
53	Q34* – COMPACTADOR DE 12M <sup>3</sup>	17-220	LUB2561
54	Q35* – COMPACTADOR DE 12M <sup>3</sup>	17-220	KVX3038
55	Q36* – COMPACTADOR DE 12M <sup>3</sup>	17-220	KVV3164
56	Q37* – COMPACTADOR DE 12M <sup>3</sup>	17-220	KVT3237
57	Q38* – COMPACTADOR DE 12M <sup>3</sup>	17-220	KVW3364
58	Q41* – BASCULANTE DE 8M <sup>3</sup>	17-180	LSN2746
59	Q44* – BASCULANTE DE 8M <sup>3</sup>	17-180	KUZ6426
60	Q45* – BASCULANTE DE 8M <sup>3</sup>	17-180	LSJ2681
61	Q46* – BASCULANTE DE 8M <sup>3</sup>	17-180	LSL2565
62	Q51* – BASCULANTE DE 8M <sup>3</sup>	17-180	KYI1857
63	Q52* – BASCULANTE DE 8M <sup>3</sup>	17-180	KVJ3151
64	Q53* – BASCULANTE DE 8M <sup>3</sup>	17-180	KXE1916
65	Q55* – BASCULANTE DE 8M <sup>3</sup>	17-180	KPA3360
66	Q56* – BASCULANTE DE 8M <sup>3</sup>	17-180	KVN3626
67	Q57* – BASCULANTE DE 8M <sup>3</sup>	17-180	KVI3500
68	Q58* – BASCULANTE DE 8M <sup>3</sup>	17-180	KVQ3197
69	Q59* – BASCULANTE DE 8M <sup>3</sup>	17-180	KXG1687
70	Q60* – BASCULANTE DE 8M <sup>3</sup>	17-180	KVN3632
71	Q77 – COMPACTADOR DE 11M <sup>3</sup>	17-180	KXD4568
72	Q78 – COMPACTADOR DE 11M <sup>3</sup>	17-180	LLI4293
73	Q79 – COMPACTADOR DE 11M <sup>3</sup>	17-180	KNY3307
74	Q80 – COMPACTADOR DE 11M <sup>3</sup>	17-180	KZG5858
75	Q81 – COMPACTADOR DE 11M <sup>3</sup>	17-180	LPS8332
76	Q82* -	24-220	LLO4572
77	Q84* -	24-220	KVN7312
78	Q86* -	17-180	OME5762
79	Q87* -	17-180	OME5747
80	Q88* -	17-180	OME5754
81	Q89* -	15-180	EVO9255
82	Q90 -	17-180	OOV8308
83	Q91* -	17-180	OME8913
84	Q93 -	17-180	OOV8307
85	R12* – COMPACTADOR DE 8M <sup>3</sup>	17-180	LPH6919
86	R14* – COMPACTADOR DE 8M <sup>3</sup>	17-180	LKU4717
87	R17* – COMPACTADOR DE 11M <sup>3</sup>	17-180	LPH5555

88	R21* – COMPACTADOR DE 11M <sup>3</sup>	17-180	LKU1007
89	R22* – COMPACTADOR DE 11M <sup>3</sup>	17-180	LKU1004
90	R24* – COMPACTADOR DE 12M <sup>3</sup>	17-220	LKT9930
91	R25* – COMPACTADOR DE 12M <sup>3</sup>	17-220	LPH5498
92	R31* – COMPACTADOR DE 12M <sup>3</sup>	17-220	KNT8232
93	R32* – COMPACTADOR DE 12M <sup>3</sup>	17-220	KYB2101
94	R33* – COMPACTADOR DE 12M <sup>3</sup>	17-220	LPZ2585
95	R34* – COMPACTADOR DE 12M <sup>3</sup>	17-220	LKT9927
96	R35* – COMPACTADOR DE 12M <sup>3</sup>	17-220	LPH6507
97	R36* – COMPACTADOR DE 12M <sup>3</sup>	17-220	LPH5495
98	R37* – COMPACTADOR DE 12M <sup>3</sup>	17-220	LPN2260
99	R38* – COMPACTADOR DE 12M <sup>3</sup>	17-220	LKT9923
100	R39* – COMPACTADOR DE 12M <sup>3</sup>	17-220	KQY1221
101	R40* – COMPACTADOR DE 12M <sup>3</sup>	17-220	LKU2421
102	R42* – BASCULANTE DE 8M <sup>3</sup>	17-180	LRR2715
103	R44* – BASCULANTE DE 8M <sup>3</sup>	17-180	LKT9926
104	R45* – BASCULANTE DE 8M <sup>3</sup>	17-180	LPH5589
105	R46* – BASCULANTE DE 8M <sup>3</sup>	17-180	KNT8255
106	R47* – BASCULANTE DE 8M <sup>3</sup>	17-180	LPH5601
107	R48* – BASCULANTE DE 8M <sup>3</sup>	17-180	LKU1072
108	R49* – BASCULANTE DE 8M <sup>3</sup>	17-180	KWZ2148
109	R50* -	17-180	KWG3528
110	R51* -	17-180	KVZ3844
111	R52* – BASCULANTE DE 8M <sup>3</sup>	17-180	LPH5593
112	R53* – BASCULANTE DE 8M <sup>3</sup>	17-180	KXO2597
113	R54* -	17-180	KVV3753
114	R55* -	17-180	KVZ3843
115	R56* -	17-180	KVW3889
116	R57* -	17-180	KWB3807
117	R58* -	17-180	KVX3617
118	R59* – BASCULANTE DE 8M <sup>3</sup>	17-180	LKU1071
119	R60* – BASCULANTE DE 8M <sup>3</sup>	17-180	LKU1073
120	R61* -	17-180	KWD3581
121	R63* – BASCULANTE DE 8M <sup>3</sup>	17-180	KZD1770
122	R64* – BASCULANTE DE 8M <sup>3</sup>	17-180	KOE5718
123	R80* -	24-220	KWC3326
124	R85* -	24-220	KWA3335
125	S55 – COMPACTADOR DE 11M <sup>3</sup>	17-180	KRR0366
126	S56 – COMPACTADOR DE 11M <sup>3</sup>	17-180	LUJ1391
127	S57 – COMPACTADOR DE 11M <sup>3</sup>	17-180	KQN6618
128	S58 – COMPACTADOR DE 11M <sup>3</sup>	17-180	LRR1801
129	S59 – COMPACTADOR DE 11M <sup>3</sup>	17-180	KNO0635
130	S60 – COMPACTADOR DE 11M <sup>3</sup>	17-180	KZB0517
131	S61 – COMPACTADOR DE 11M <sup>3</sup>	17-180	LTZ1535
132	S62 – COMPACTADOR DE 11M <sup>3</sup>	17-180	LTN1402

133	S63 – COMPACTADOR DE 11M <sup>3</sup>	17-180	KRB5521
134	S64 – COMPACTADOR DE 11M <sup>3</sup>	17-180	LQV1902
135	S65 – COMPACTADOR DE 11M <sup>3</sup>	17-180	KQT0693
136	S66 – COMPACTADOR DE 11M <sup>3</sup>	17-180	LUN1551
137	S70 – COMPACTADOR DE 11M <sup>3</sup>	17-180	LUH1384
138	S71 – COMPACTADOR DE 11M <sup>3</sup>	17-180	KPH0582
139	S72 – COMPACTADOR DE 11M <sup>3</sup>	17-180	KPV0354
140	S73 – COMPACTADOR DE 11M <sup>3</sup>	17-180	KRZ0670
141	S74 – COMPACTADOR DE 11M <sup>3</sup>	17-180	KQF1439
142	S75 – COMPACTADOR DE 12M <sup>3</sup>	17-220	EHH8069
143	S76 – COMPACTADOR DE 12M <sup>3</sup>	17-220	EHH8055
144	S77 – COMPACTADOR DE 12M <sup>3</sup>	17-220	EHH8057
145	S78 – BASCULANTE DE 8M <sup>3</sup>	17-180	KUR3812
146	S79 – BASCULANTE DE 8M <sup>3</sup>	17-180	LUB1621
147	S80 – BASCULANTE DE 8M <sup>3</sup>	17-180	LTR1309
148	S81 – BASCULANTE DE 8M <sup>3</sup>	17-180	KVI2242
149	S82 – BASCULANTE DE 8M <sup>3</sup>	17-180	LUJ1465
150	S83 – BASCULANTE DE 8M <sup>3</sup>	17-180	LUL1485
151	V21 – COMPACTADOR DE 11M <sup>3</sup>	17-180	LTB1421
152	V22 – COMPACTADOR DE 11M <sup>3</sup>	17-180	LRR1810
153	V23 – COMPACTADOR DE 11M <sup>3</sup>	17-180	kRV0361
154	V24 – COMPACTADOR DE 11M <sup>3</sup>	17-180	KQJ3333
155	V25 – COMPACTADOR DE 11M <sup>3</sup>	17-180	LQD1887
156	V27 – COMPACTADOR DE 11M <sup>3</sup>	17-180	LQF1978
157	V28 – COMPACTADOR DE 12M <sup>3</sup>	17-220	EHH8062
158	V29 – COMPACTADOR DE 12M <sup>3</sup>	17-220	EHH8061
159	V30 – COMPACTADOR DE 12M <sup>3</sup>	17-220	LTX1528
160	V31 – COMPACTADOR DE 12M <sup>3</sup>	17-220	KRK1002
161	V33 – COMPACTADOR DE 12M <sup>3</sup>	17-220	LPF1944
162	V34 – COMPACTADOR DE 12M <sup>3</sup>	17-220	LPB2519
163	V35 – COMPACTADOR DE 12M <sup>3</sup>	17-220	LPD2623
164	V36 – COMPACTADOR DE 12M <sup>3</sup>	17-220	LAH9826
165	V37 – COMPACTADOR DE 12M <sup>3</sup>	17-220	KOY0894
166	V41 – BASCULANTE DE 8M <sup>3</sup>	17-180	KUZ2722
167	V42 – BASCULANTE DE 8M <sup>3</sup>	17-180	KRO0425
168	V43 – BASCULANTE DE 8M <sup>3</sup>	17-180	LUA1021
169	V44 – BASCULANTE DE 8M <sup>3</sup>	17-180	LTZ1556
170	V45 – BASCULANTE DE 8M <sup>3</sup>	17-180	KUS6372
171	V46 – BASCULANTE DE 8M <sup>3</sup>	17-180	KUS6356
172	V47 – BASCULANTE DE 8M <sup>3</sup>	17-180	KUS6371
173	V48 – BASCULANTE DE 8M <sup>3</sup>	17-180	EPG3069
174	V49 – BASCULANTE DE 8M <sup>3</sup>	17-180	EPG3011
175	V50 – BASCULANTE DE 8M <sup>3</sup>	17-180	KRX0392
176	V52 – BASCULANTE DE 12M <sup>3</sup>	17-220	KVN1733
177	V53 – BASCULANTE DE 12M <sup>3</sup>	17-220	KQX0350

178	V55 – BASCULANTE DE 12M <sup>3</sup>	17-220	LTR1308
179	V61 – BASCULANTE DE 12M <sup>3</sup>	17-220	KVD1702
180	V62 – BASCULANTE DE 12M <sup>3</sup>	17-220	LUR1348
181	V76 – COMPACTADOR EXTRA PESADO	31-260	KPT0527
182	V77 – COMPACTADOR EXTRA PESADO	31-260	KQO3673
183	V78 – COMPACTADOR EXTRA PESADO	31-260	LPZ1984
184	V93 -	17-180	KVS1526
185	Y07* – COMPACTADOR DE 10M <sup>3</sup>	15-180	LPJ7319
186	Y08* – COMPACTADOR DE 11M <sup>3</sup>	17-180	KXP2481
187	Y09* – COMPACTADOR DE 11M <sup>3</sup>	17-180	KXO2965
188	Y10* – COMPACTADOR DE 11M <sup>3</sup>	17-180	KXO2964
189	Y11* – COMPACTADOR DE 11M <sup>3</sup>	17-180	KXQ1866
190	Y12* – COMPACTADOR DE 11M <sup>3</sup>	17-180	KXS2076
191	Y13* – COMPACTADOR DE 11M <sup>3</sup>	17-180	KXN2807
192	Y14* – COMPACTADOR DE 11M <sup>3</sup>	17-180	KXO2966
193	Y15* – COMPACTADOR DE 11M <sup>3</sup>	17-180	KXN2806
194	Y16* – COMPACTADOR DE 11M <sup>3</sup>	17-180	KXR2691
195	Y17* – COMPACTADOR DE 12M <sup>3</sup>	17-220	KZG2329
196	Y18* – COMPACTADOR DE 12M <sup>3</sup>	17-220	LPJ5567
197	Y19* – COMPACTADOR DE 12M <sup>3</sup>	17-220	LKW7197
198	Y20* – COMPACTADOR DE 12M <sup>3</sup>	17-220	KZG2333
199	Y22* – COMPACTADOR DE 12M <sup>3</sup>	17-220	KQS1272
200	Y24* – COMPACTADOR DE 12M <sup>3</sup>	17-220	KZG2330
201	Y25* – COMPACTADOR DE 12M <sup>3</sup>	17-220	KZG2331
202	Y26* – COMPACTADOR DE 12M <sup>3</sup>	17-220	LKW9764
203	Y27* – COMPACTADOR DE 12M <sup>3</sup>	17-220	LPJ5565
204	Y28* – COMPACTADOR DE 12M <sup>3</sup>	17-220	KVW3798
205	Y29* – COMPACTADOR DE 12M <sup>3</sup>	17-220	LKW9762
206	Y30* – COMPACTADOR DE 12M <sup>3</sup>	17-220	LPJ8211
207	Y31* – COMPACTADOR DE 12M <sup>3</sup>	17-220	KVC3994
208	Y32* – COMPACTADOR DE 12M <sup>3</sup>	17-220	KVN4009
209	Y33* – COMPACTADOR DE 12M <sup>3</sup>	17-220	LKW9757
210	Y34* – COMPACTADOR DE 12M <sup>3</sup>	17-220	KRL1464
211	Y35* – BASCULANTE DE 8M <sup>3</sup>	17-180	KVB8131
212	Y36* – BASCULANTE DE 8M <sup>3</sup>	17-180	LPJ2948
213	Y37* – BASCULANTE DE 8M <sup>3</sup>	17-180	KNU7420
214	Y38* – BASCULANTE DE 8M <sup>3</sup>	17-180	LPJ2943
215	Y39* – BASCULANTE DE 8M <sup>3</sup>	17-180	LKW6195
216	Y40* – BASCULANTE DE 8M <sup>3</sup>	17-180	LPJ4837
217	Y41* – BASCULANTE DE 12M <sup>3</sup>	17-220	LKW1591
218	Y42* – BASCULANTE DE 12M <sup>3</sup>	17-220	KXX2732
219	Y43* – BASCULANTE DE 12M <sup>3</sup>	17-220	KXT2743
220	Y45* – BASCULANTE DE 12M <sup>3</sup>	17-220	KXU2249
221	Y46* – BASCULANTE DE 12M <sup>3</sup>	17-220	KXX2733
222	Y57* – COMPACTADOR EXTRA PESADO	26-260	KRA3397

223	Y58* – COMPACTADOR EXTRA PESADO	26-260	KVC4032
224	Z05* – COMPACTADOR DE 10M <sup>3</sup>	15-180	KVB9284
225	Z06* – COMPACTADOR DE 10M <sup>3</sup>	15-180	KVB9256
226	Z08* – COMPACTADOR DE 10M <sup>3</sup>	15-180	LPJ6792
227	Z09* – COMPACTADOR DE 10M <sup>3</sup>	15-180	LPJ6734
228	Z11* – COMPACTADOR DE 11M <sup>3</sup>	17-180	KNU8690
229	Z12* – COMPACTADOR DE 11M <sup>3</sup>	17-180	KNU8684
230	Z13* – COMPACTADOR DE 11M <sup>3</sup>	17-180	LKW7876
231	Z15* – COMPACTADOR DE 11M <sup>3</sup>	17-180	LKW6989
232	Z16* – COMPACTADOR DE 11M <sup>3</sup>	17-180	LPJ5397
233	Z18* – COMPACTADOR DE 12M <sup>3</sup>	17-220	KVB8839
234	Z19* – COMPACTADOR DE 12M <sup>3</sup>	17-220	LSV2913
235	Z20* – COMPACTADOR DE 12M <sup>3</sup>	17-220	KNU8671
236	Z21* – COMPACTADOR DE 12M <sup>3</sup>	17-220	LPJ6452
237	Z22* – COMPACTADOR DE 12M <sup>3</sup>	17-220	LKW8367
238	Z23* – COMPACTADOR DE 12M <sup>3</sup>	17-220	KXG2062
239	Z24* – COMPACTADOR DE 12M <sup>3</sup>	17-220	LTV2613
240	Z25* – COMPACTADOR DE 12M <sup>3</sup>	17-220	LKW6687
241	Z26* – COMPACTADOR DE 12M <sup>3</sup>	17-220	KVD3873
242	Z27* – COMPACTADOR DE 12M <sup>3</sup>	17-220	LTV2605
243	Z28* – BASCULANTE DE 8M <sup>3</sup>	17-180	LPI8580
244	Z29* – BASCULANTE DE 8M <sup>3</sup>	17-180	LPI8588
245	Z30* – BASCULANTE DE 8M <sup>3</sup>	17-180	LKV9175
246	Z31* – BASCULANTE DE 8M <sup>3</sup>	17-180	LPI8459
247	Z32* – BASCULANTE DE 8M <sup>3</sup>	17-180	LPI8586
248	Z33* – BASCULANTE DE 8M <sup>3</sup>	17-180	LPI8445
249	Z41* – COMPACTADOR EXTRA PESADO	26-260	LPJ5344
250	Z42* – COMPACTADOR EXTRA PESADO	26-260	LKW8897
251	Z44* – COMPACTADOR EXTRA PESADO	26-260	LPJ4808
252	Z45* – COMPACTADOR EXTRA PESADO	26-260	LKW8893
253	Z46* – COMPACTADOR EXTRA PESADO	26-260	KNU7831
254	Z53* –	15-180	KQQ3516
255	Z54* –	15-180	KVB7413
256	Z55* -	15-180	LQA6024
257	Z56* -	15-180	LLO7644
258	Z57* -	15-180	LLO7640
259	Z58* -	15-180	KON5630
260	Z59 -	15-180	LLO7647
261	Z60* -	17-250	KON7418
262	G03* – COMPACTADOR DE 10M <sup>3</sup>	15-180	LPJ7142
263	G04* – COMPACTADOR DE 10M <sup>3</sup>	15-180	LPJ6794
264	G05* – COMPACTADOR DE 11M <sup>3</sup>	17-180	KNU7570
265	G06* – COMPACTADOR DE 11M <sup>3</sup>	17-180	LPJ7286
266	G08* – COMPACTADOR DE 11M <sup>3</sup>	17-180	KVO3176
267	G10* – COMPACTADOR DE 11M <sup>3</sup>	17-180	KZB2209

268	G11* – COMPACTADOR DE 11M³	17-180	LPJ5954
269	G12* – COMPACTADOR DE 11M³	17-180	LPJ6379
270	G13* – COMPACTADOR DE 11M³	17-180	LKW8468
271	G14* – BASCULANTE DE 8M³	17-180	LKV8990
272	G15* – BASCULANTE DE 8M³	17-180	LPI8599
273	G16* – BASCULANTE DE 8M³	17-180	KXV2732
274	G17* – BASCULANTE DE 8M³	17-180	KRP1037
275	G18* – BASCULANTE DE 12M³	17-220	KYB2285
276	G19* – BASCULANTE DE 12M³	17-220	KYF2417
277	G21* – BASCULANTE DE 12M³	17-220	KYF2418
278	G22* – BASCULANTE DE 12M³	17-220	KYF2419
279	G23* – BASCULANTE DE 12M³	17-220	KYE1831
280	G29* – COMPACTADOR EXTRA PESADO	26-260	LPJ6754
281	G30* – COMPACTADOR EXTRA PESADO	26-260	LKW8901
282	G31* – COMPACTADOR EXTRA PESADO	26-260	LPJ5973
283	G32* – COMPACTADOR EXTRA PESADO	26-260	LPJ4056
284	G33* – COMPACTADOR EXTRA PESADO	26-260	LPJ4059
285	G34* – COMPACTADOR EXTRA PESADO	26-260	KNU7839
286	G35* – COMPACTADOR EXTRA PESADO	26-260	LPJ4825
287	G39 -	17-250	KNU8661
288	H04 -	17-190	OLP1205
289	H05 -	17-190	OLP1202
290	H06 -	17-190	OLP1197
291	H07 -	17-190	OLP1194
292	H08 -	17-190	OLP1193
293	H19 -	17-190	OLP1174
294	H20 -	17-190	OLP1169
295	H21 -	17-190	OLP1167
296	H22 -	17-190	OLP1163
297	H23 -	17-190	OLP1161
298	H24 -	17-190	OLP1152
299	H25 -	17-190	OLP1125
300	H26 -	17-190	OLP1108
301	H27 -	17-190	OLP1104
302	H28 -	17-190	OLP1102
303	H29 -	17-190	OLP1096
304	H30 -	17-190	OLP1091
305	H31 -	17-190	OLP1089
306	H32 -	17-190	OLP1084
307	H33 -	17-190	OLP1075
308	H34 -	17-190	OLP1078
309	H35 -	17-190	OLP1081
310	H36 -	17-190	OLP1069
311	H37 -	17-190	OLP1235
312	H38 -	17-190	OLS0291

313	H39 -	17-190	OLS0268
314	H40 -	17-190	OLS0285
315	H44 -	17-190	OLQ4052
316	H46 -	17-190	OLP1187
317	H48 -	17-190	OLP1181
318	H49 -	17-190	OLP1179
319	K14 -	24-280	LQL7076
320	K15 -	24-280	LQL7080
321	K15 -	24-280	LQL7080
322	K16 -	24-280	KOY4689
323	K17 -	24-280	LQL7078
324	K18 -	24-280	LQL7079
325	K19 -	24-280	LQL7075
326	K21* – COMPACTADOR DE 8M <sup>3</sup>	17-180	KYV1885
327	K22* – COMPACTADOR DE 11M <sup>3</sup>	17-180	KYH1716
328	K24* – COMPACTADOR DE 12M <sup>3</sup>	17-220	KVZ3233
329	K25* – BASCULANTE DE 8M <sup>3</sup>	17-180	KUZ6372
330	K26* – BASCULANTE DE 8M <sup>3</sup>	17-180	KXF1999
331	K29 -	15-180	LQA6029
332	K30 – COMPACTADOR DE 11M <sup>3</sup>	17-180	BUS8202
333	K35* – COMPACTADOR DE 8M <sup>3</sup>	17-180	KYU1803
334	K36* – COMPACTADOR DE 11M <sup>3</sup>	17-180	KYF1902
335	K37* – COMPACTADOR DE 12M <sup>3</sup>	17-220	KRI0924
336	K38* – COMPACTADOR DE 12M <sup>3</sup>	17-220	KRC8353
337	K39* – BASCULANTE DE 8M <sup>3</sup>	17-180	KWP2301
338	K40* – BASCULANTE DE 8M <sup>3</sup>	17-180	KXH2028
339	K45* – COMPACTADOR DE 8M <sup>3</sup>	17-180	KYU1984
340	K46* – COMPACTADOR DE 11M <sup>3</sup>	17-180	LPH5557
341	K49* – BASCULANTE DE 8M <sup>3</sup>	17-180	LKU1067
342	K50* – BASCULANTE DE 8M <sup>3</sup>	17-180	KOZ5190
343	K53* -	17-180	KWF3516
344	K60 – COMPACTADOR DE 11M <sup>3</sup>	17-180	LQL7077
345	K61* – COMPACTADOR DE 12M <sup>3</sup>	17-220	KNU8673
346	K62* – COMPACTADOR DE 12M <sup>3</sup>	17-220	LKW8444
347	K63* – BASCULANTE DE 8M <sup>3</sup>	17-180	LPI8457
348	K66* – COMPACTADOR EXTRA PESADO	26-260	KVT3583
349	K69* – COMPACTADOR DE 10M <sup>3</sup>	15-180	LKW8871
350	K70* – COMPACTADOR DE 11M <sup>3</sup>	17-180	LPJ5545
351	K71* – BASCULANTE DE 8M <sup>3</sup>	17-180	LQB2651
352	K72* – BASCULANTE DE 12M <sup>3</sup>	17-220	KYC1788
353	K78* – COMPACTADOR DE 10M <sup>3</sup>	15-180	LPJ7322
354	K79* – COMPACTADOR DE 11M <sup>3</sup>	17-180	KXN2805
355	K80* – COMPACTADOR DE 12M <sup>3</sup>	17-220	KZH1894
356	K81* – COMPACTADOR DE 12M <sup>3</sup>	17-220	KQV0982
357	K83* – BASCULANTE DE 8M <sup>3</sup>	17-180	KVB8122

358	K84* – BASCULANTE DE 12M <sup>3</sup>	17-220	KXX2731
359	K92 -	17-180	NVQ5309
360	K93 -	17-180	NVQ4899
361	K94 -	17-250	LQG4032
362	K95 -	17-250	LQG4037
363	P05* – COMPACTADOR DE 8M <sup>3</sup>	17-180	KXO2340
364	P07* – COMPACTADOR DE 8M <sup>3</sup>	17-180	KXO2341
365	P08* – COMPACTADOR DE 8M <sup>3</sup>	17-180	KYW1308
366	P10* – COMPACTADOR DE 8M <sup>3</sup>	17-180	KXN2223
367	P11* – COMPACTADOR DE 11M <sup>3</sup>	17-180	KXD1936
368	P12 -	17-180	BUS8085
369	P14* – COMPACTADOR DE 11M <sup>3</sup>	17-180	KYI1744
370	P30* – COMPACTADOR DE 12M <sup>3</sup>	17-220	KQW0868
371	P47* – BASCULANTE DE 8M <sup>3</sup>	17-180	LRV2718
372	P49* – BASCULANTE DE 8M <sup>3</sup>	17-180	KRY0854
373	Q83 -	24-220	KOL9374
374	Q92 -	17-180	OOV8305
375	U32 -	1717	KYR2594
376	V99 -	17-180	KVS1525

## 14. APÊNDICE

### 14.1. Redução da Emissão de Poluentes

O crescimento da frota brasileira a partir dos anos 80, e as condições precárias da manutenção dos veículos, mostravam a necessidade de reduzir os níveis de emissão dos principais poluentes veiculares, entre eles o monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrogênio (NOx), hidrocarbonetos (HC) e material particulado (MP), assim em 1986 foi criado um programa denominado PROCONVE (Programa de Controle de Poluição do Ar por Veículos Automotores), pelo CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente) com o intuito de reduzir o nível de poluentes emitidos por veículos novos. Os efeitos desses gases são nocivos a saúde humana e os seus impactos podem ser vistos na Tabela 7:

Poluente	Impacto
CO	Atua no sangue reduzindo a sua oxigenação, pode causar morte se exposto por determinado período.
HC	Combustível parcialmente queimado ou não queimado formam o smog (poluição atmosférica derivado da emissão de veículos a combustão interna) e compostos cancerígenos
NOx	Formação de dióxido de nitrogênio e na formação do smog fotoquímico e chuva ácida
MP	Pode penetrar nas defesas do organismo, atingir os alvéolos pulmonares causando irritações, asma, bronquite e câncer de pulmão.

Tabela 7 – Principais Poluentes dos Veículos Automotores

O PROCONVE foi baseado na experiência internacional de países desenvolvidos exigindo que os veículos e motores atendam a limites máximos de emissões de poluentes em ensaios padronizados e com combustível de referência, a CETESB (Companhia Ambiental do Estado de São Paulo) é o órgão técnico conveniado com o IBAMA (Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e dos Recursos Renováveis) para assuntos de certificação de veículos, todos os veículos e motores nacionais e importados são submetidos obrigatoriamente à homologação quanto à emissão de poluentes. O PROCONVE é dividido em duas categorias: veículos leve abaixo de 3856 kg de massa total máxima, e veículos pesados acima de 3856 kg de massa total máxima. No Brasil foram

adotados os limites de emissões de poluentes, baseados na norma da comunidade europeia, que denominou cada fase da norma como Euro, e conseqüentemente no Brasil têm-se suas respectivas fases denominadas por P, correspondentes a versão europeia, conforme mostra a Tabela 8:

PROCONVE	Euro	CO	HC	NOx	MP	Vigência	Teor Enxofre(S)
		g/kW.h					
P1	-	14,00	3,50	18,00	-	1989-93	-
P2	Euro 0	11,20	2,45	14,40	0,60	1994-95	3000 a 10000 ppm
P3	Euro 1	4,90	1,23	9,00	0,40	1996-99	3000 a 10000 ppm
P4	Euro 2	4,00	1,10	7,00	0,15	2000-05	3000 a 10000 ppm
P5	Euro 3	2,10	0,66	5,00	0,10	2006-08	500 a 2000 ppm
P6	Euro 4	1,50	0,46	3,50	0,02	2009-12	50 ppm
P7	Euro 5	1,50	0,46	2,00	0,02	a partir 2012	10 ppm

Tabela 8 – Limites de Emissão da Legislação PROCONVE

A fase P1 não exigia legalmente que esses valores de emissões fossem seguidos pelos veículos comercializados na época.

A Fase P6 não entrou em vigor, pois para seu atendimento, os motores precisariam de novas tecnologias que até então não eram aplicadas, e mandatoriamente necessitavam de um diesel com teor de enxofre com 50 ppm ou menos, e os órgãos e empresas do governo responsáveis pela especificação e produção do combustível de teste dos motores não conseguiram atender a tempo conforme a Resolução 315/2002, com isso impossibilitou a produção de veículos P6 a partir de janeiro de 2009.

Como forma de compensação pelo não cumprimento da Resolução 315/2002, o Ministério Público Federal firmou um TAC (Termo de Ajustamento de Conduta) entre o Estado de São Paulo, o IBAMA, a ANP (Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustível), a Petrobrás, a ANFAVEA (Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores) e a CETESB

de forma a reduzir as emissões produzidas pela não implementação da fase P6 do PROCONVE, com isso a fase P7 foi acelerada e estabeleceram um cronograma de medidas, visando a transição da fase P5 para P7, onde uma das principais ações era que a Petrobrás a partir de 1º de janeiro de 2009 começasse a substituir gradativamente o diesel atual por uma versão com menos enxofre e assim antecipar a entrada em vigor da fase P7 do CONAMA para 2012, o que corresponde a norma europeia Euro 5. A Figura 36 mostra como está prevista a introdução do diesel com menor teor de enxofre pela Petrobrás:



Figura 36 – Qualidade do Diesel Distribuído no Brasil

Fonte: Petrobrás cenário 2009/2020

Pode-se observar que o a legislação PROCONVE tem o objetivo de reduzir drasticamente a emissão de poluentes por veículos automotores, e está conseguindo pois está incentivando e obrigando a implementação de novas tecnologias nos motores afim de se conseguir atingir os limites de emissões, por outro lado também obriga a utilização de combustíveis de melhor qualidade, com baixo nível de enxofre para a aplicação dessas novas tecnologias.

Na Europa a implementação das fases Euro estão sempre a frente do Brasil, enquanto utiliza-se no Brasil o PROCONVE P7 equivalente ao Euro 5, que foi implementado a partir de janeiro de 2012, a Europa implementou o Euro 5 em 2009, e atualmente está na fase Euro 6 a partir de 2014, o que ainda não tem data para que ocorra no Brasil.

No Gráfico 19 os limites de emissões impostos pela legislação forçaram drasticamente a redução de emissão de poluentes, considerando da fase P2 (Euro 0) em diante, quando realmente foi exigido e fiscalizado as emissões dos veículos.

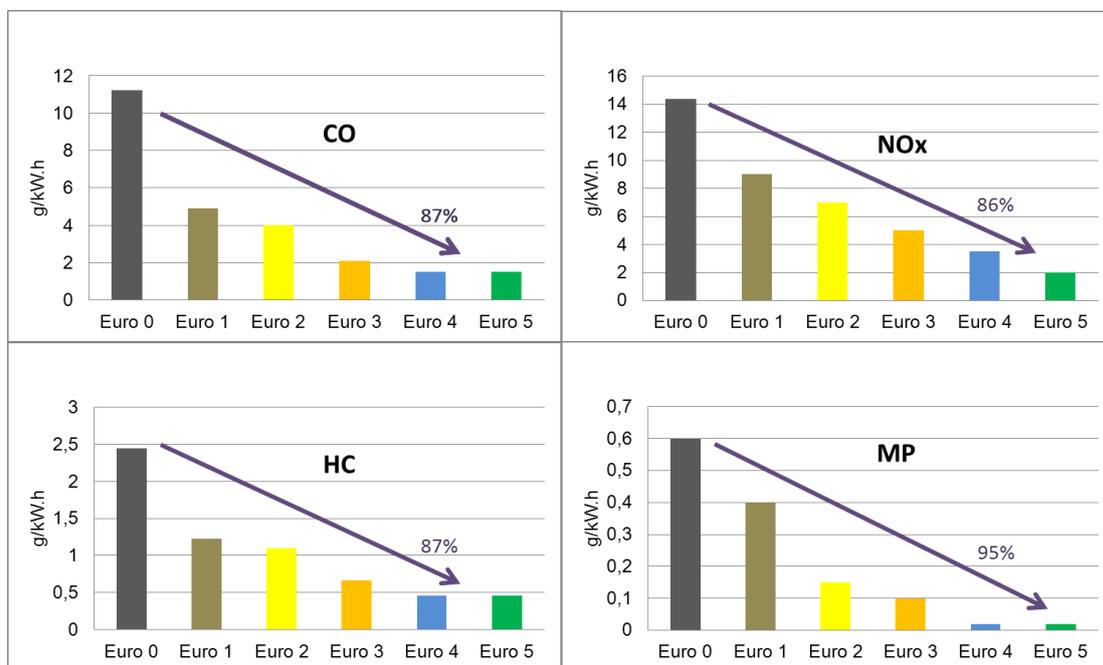


Gráfico 19 – Redução das Emissões de Poluentes Conforme Fases da Legislação PROCONVE

Com os resultados mostrados nos capítulos anteriores, é possível deduzir que têm-se uma redução de consumo de combustível entre 16,5 a 25%, o que irá proporcionar uma redução também na emissão de poluentes dessa grandeza.

Considerando a cidade do Rio de Janeiro, onde a empresa COMLURB é responsável pela coleta de lixo, foi possível fazer o levantamento da frota dessa empresa, com dados de janeiro de 2013 (site <http://riomaisnosso.com>), os dados disponíveis no site não estavam completos, onde alguns veículos não possuíam descrição de sua utilização, porém haviam as placas desses veículos e com elas foi possível fazer o levantamento pelo Denatran, qual era o veículo em si, com isso foi possível separar os veículos de interesse para esse estudo, dos que não operam de forma que necessite um sistema híbrido hidráulico. A Tabela 6 nos anexos mostra o levantamento dessa frota.

Todos esses veículos são para coleta de lixo, e para uma aplicação típica anda e para, são basculantes e compactadores, alguns estão sem a denominação dos implementos, mas a Tabela 6 mostra a lista de todos os

veículos 17/24/26 e 31 toneladas utilizadas pela COMLURB na cidade do Rio de Janeiro.

A quilometragem média percorrida por esses veículos diariamente é em torno de 160 km, conforme o veículo híbrido hidráulico que ficou em operação normal de coleta de lixo durante os testes. Conforme o teste realizado na pista de teste, foi possível observar que o veículo sem o sistema HRB ligado, o consumo é de 1,08 km/litro de diesel, considerando esse consumo pela quilometragem diária percorrida, pode-se chegar a conclusão que esses veículos em média gastam em torno de 148 litros de diesel por dia, dividindo os 160km pelo consumo de 1,08 km/litro de diesel.

Para calcular as emissões de poluentes dessa frota da Comlurb, será considerada a metodologia utilizada pela CETESB, essa metodologia leva em consideração o número de veículos da frota analisada, a quilometragem anual percorrida e o fator de emissão para o veículo, dessa forma a emissão de cada gás poluente pode ser definida como:

$$E_p = km * Q * FE_p \quad \text{equação (14.1)}$$

Onde:

$E_p$  = é a emissão de poluente

$Km$  = quilometragem média anual

$Q$  = número de veículos da frota circulante

$FE_p$  = fator de emissão do veículo

O fator de emissão é um valor médio da quantidade de poluente emitida através de cálculo ou de medições reais realizadas na frota, como não existe esse fator dessa frota medido ou calculada, será considerado o fator de emissão será o limite máximo estabelecido pela legislação PROCONVE, descrita na Tabela 8 – Limites de Emissão da Legislação PROCONVE.

Os níveis de emissões da legislação PROCONVE estão expressos em g/kw.h, para transformar em g/km, utiliza-se a equação (14.2):

$$FE_p = FE_{p'} * P * \frac{1}{v} \quad \text{equação (14.2)}$$

Onde:

$FE_p$  = fator de emissão em g/kw.h

$P$  = potência

$V$  = velocidade média

Estratificando a frota da Comlurb, separando os modelos pela sua potência e nível de emissão, tem-se a Tabela 9:

Quantidade	Potência CV	Potência kW	Legislação
217	180	132	Euro 3
98	220	162	Euro 3
4	250	184	Euro 3
18	260	191	Euro 3
1	170	125	Euro 3
7	280	206	Euro 5
31	190	140	Euro 5

Tabela 9 – Frota de Veículos da Comlurb Estratificada

Com essa informação, pode-se calcular fator de emissão em g/km, utilizando a velocidade média conforme visto no teste do veículo utilizado na aplicação real, a velocidade de operação na maior parte do tempo está entre 20 e 30 km/h, para os cálculos será utilizada a velocidade média desses veículos em 25 km/h, assim obtêm-se à Tabela 10:

Quantidade	Potência CV	Potência kW	Legislação	Fep CO	Fep HC	Fep NOx	Fep MP
				g/km			
217	180	132	Euro 3	11,12	3,50	26,48	0,53
98	220	162	Euro 3	13,59	4,27	32,36	0,65
4	250	184	Euro 3	15,45	4,85	36,77	0,74
18	260	191	Euro 3	16,06	5,05	38,25	0,76
1	170	125	Euro 3	10,50	3,30	25,01	0,50
7	280	206	Euro 5	12,36	3,79	16,48	0,16
31	190	140	Euro 5	8,38	2,57	11,18	0,11

Tabela 10 – Fatores de Emissão da Frota da Comlurb

Como os veículos em média percorrem 160 km por dia, sendo que operam 6 vezes na semana, tendo um ano 51 semanas, cada veículo percorre em média 48.960 km por ano, com isso chega-se ao nível de emissão de poluentes dessa frota, conforme Tabela 11:

	CO	HC	NOx	MP
	toneladas/ano			
	118,15	37,13	281,31	5,63
	65,22	20,50	155,28	3,11
	3,02	0,95	7,20	0,14
	14,16	4,45	33,71	0,67
	0,51	0,16	1,22	0,02
	4,23	1,30	5,65	0,06
	12,73	3,90	16,97	0,17
<b>Total</b>	<b>218,02</b>	<b>68,39</b>	<b>501,33</b>	<b>9,80</b>

Tabela 11 – Emissões da Frota da Comlurb Anualmente

Considerando a redução de consumo de combustível em 22% conforme calculado anteriormente, pode-se chegar a reduções de emissões conforme Gráfico 20:

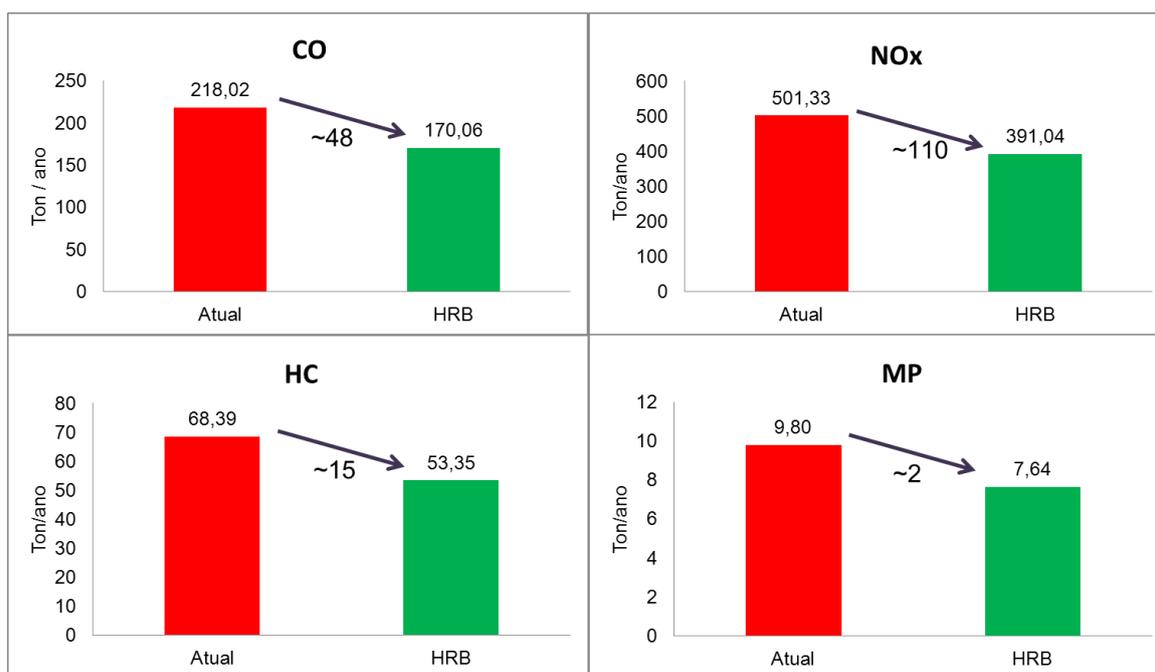


Gráfico 20 – Redução das Emissões de Poluentes com HRB na Frota da Comlurb

Os gráficos mostram que seria possível conseguir reduções significativas na emissão de poluentes utilizando o sistema HRB na empresa Comlurb, pode-se chegar a uma redução de 48 toneladas de CO, 110 toneladas de NOx, 15 toneladas de HC e 2 toneladas de MP na cidade do Rio de Janeiro, apenas usando os veículos de coleta de lixo.