



Curvas de intensidade de uso por tipo de veículo automotor da frota da cidade de São Paulo

SÉRIE RELATÓRIOS

CETESB

**Curvas de intensidade de uso por tipo de veículo
automotor da frota da cidade de São Paulo**

RELATÓRIO

ANTONIO DE CASTRO BRUNI

MARCELO PEREIRA BALES

SÃO PAULO
DEZEMBRO/2013

Dados Internacionais de Catalogação

(CETESB – Biblioteca, SP, Brasil)

B92c Bruni, Antonio de Castro

Curvas de intensidade de uso por tipo de veículo automotor da frota da cidade de São Paulo [recurso eletrônico] : relatório / Antonio de Castro Bruni, Marcelo Pereira Bales. — São Paulo : CETESB, 2013.

1 arquivo de texto (67 p.) : il. color., PDF ; 1,08 MB. — (Serie Relatórios / CETESB, ISSN 0103-4103).

Disponível em: <<http://www.ambiente.sp.gov.br>>

ISBN 978-85-61405-61-8

1. Ar - poluição 2. Combustíveis automotivos 3. Emissões veiculares - inventário 4. Regressão linear 5. São Paulo (Cidade) 6. Veículos automotores. I. Bales, Marcelo Pereira II. Título. III. Série.

CDD (21.ed. esp.) 629.202 868 161

CDU (2.ed. port.) 614.72 :629.33 (815.6)



Governador Geraldo Alckmin

SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE

Secretário Bruno Covas

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo

Diretor-Presidente

Diretor Vice-Presidente

Diretor de Gestão Corporativa

Diretor de Engenharia e Qualidade Ambiental

Diretor de Controle e Licenciamento Ambiental

Diretor de Avaliação de Impacto Ambiental

Otávio Okano

Nelson Roberto Bugalho

Sérgio Meirelles Carvalho

Carlos Roberto dos Santos

Aruntho Savastano Neto

Ana Cristina Pasini da Costa

FICHA TÉCNICA

Diretoria de Engenharia e Qualidade Ambiental

Eng. Carlos Roberto dos Santos

Departamento de Apoio Operacional

Met. Carlos Ibsen Vianna Lacava

Divisão de Homologação e Fiscalização Veicular

Tecg. Vanderlei Borsari

Elaboração

Est. Antônio de Castro Bruni

Eng. Marcelo Pereira Bales

Foto da capa

José Jorge Neto / Pedro Carlos Calado

Distribuição

CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo

Av. Prof. Frederico Hermann Jr., 345 - Alto de Pinheiros

Tel.: 3133-6000 - CEP 05459-900 - São Paulo - SP

AGRADECIMENTOS

Agradecemos a Prefeitura do Município de São Paulo, que por meio da Secretaria do Verde e do Meio Ambiente nos cedeu os dados para este estudo.

A Eng^a. Cristiane Dias pelo fornecimento das curvas de Intensidade de uso adotadas pela CETESB.

A Liliana Jose Barbosa pela revisão e enquadramento do texto às normas ABNT.

A Margarida Maria Kioto Terada pela orientação para enquadramento do texto às normas ABNT.

RESUMO

O objetivo do presente estudo foi de ajustar curvas de intensidade de uso da frota inspecionada na cidade de São Paulo e avaliar sua adequação para emprego nas estimativas das emissões do inventário estadual de emissões veiculares. Em 2012, a frota da Capital correspondia a 31,5% da frota do estado. Os dados que serviram de base para o estudo foram cedidos pela Secretaria do Verde e do Meio Ambiente da Prefeitura do Município. Eles foram levantados através do Programa de Inspeção e Manutenção da Cidade de São Paulo, nos exercícios de 2010 e 2011. Os dados de quilometragem efetivamente percorrida foram levantados com base na observação do hodômetro em dois exercícios consecutivos, para o mesmo veículo. São portanto dados reais de quilometragem percorrida por ano e não estimativas. As quantidades de veículos pesquisados foram: 1.670.802 automóveis e derivados, 39.175 utilitários do ciclo Otto, 33.375 veículos diesel e 121.367 motocicletas e similares. Números bastante representativos para a finalidade pretendida de ajuste de curvas de intensidade de uso em função da idade do veículo. O percentual de automóveis cobertos pelo ajuste foi superior a 98%, para todas as categorias e combustíveis dos veículos do ciclo Otto; para os veículos do ciclo diesel e motos, em menor número, esse percentual foi igual a 95%. A técnica de Regressão Linear, empregando o método de Mínimos Quadrados Ordinários foi aplicada, pois ela preserva as emissões totais da frota, oferecendo estimativas não viesadas. Os ajustes finais obtidos no processo de modelagem foram todos significativos, seja pela representatividade (número de dados), seja pela qualidade do ajuste (r^2). As curvas de intensidade de uso obtidas por categoria e combustível foram comparadas com aquelas adotadas pelo Ministério do Meio Ambiente e também com as respectivas curvas ajustadas pelo total de combustível comercializado no estado. Diferenças significativas foram observadas seja com a curva original, seja com a ajustada. Esse fato, associado à representatividade e qualidade dos dados utilizados para levantamento da intensidade de uso leva a propor o emprego das mesmas para compor as estimativas do inventário de emissões veiculares do estado de São Paulo. Considerando os automóveis e derivados do ciclo Otto, a curva obtida no estudo, praticamente se elimina a necessidade do ajuste na intensidade de uso pelo consumo de combustível do estado. Recomenda-se ainda que o próprio Grupo de Trabalho do Ministério do Meio Ambiente avalie a possibilidade de emprego dessas curvas, por constituírem hoje as melhores estimativas disponíveis.

Palavras-chave: Intensidade de uso. Inventário de emissões. Veículos automotores. Regressão linear. Modelagem. Poluição atmosférica.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES E TABELAS

Gráfico 1 - Distribuições da frota inspecionada de automóveis Otto. São Paulo – SP, 2010-2011	20
Gráfico 2 - Distribuições da frota inspecionada de veículos Diesel. São Paulo – SP, 2010-2011.....	20
Gráfico 3 - Distribuições da frota inspecionada de Motos. São Paulo – SP, 2010-2011	21
Gráfico 4 - Histograma e distribuição acumulada das idades dos automóveis e derivados a gasolina. São Paulo – SP, 2010-2011	22
Gráfico 5 - Modelo ajustado para a intensidade de uso dos automóveis e derivados a gasolina (quilometragem média anual segundo a idade)	23
Gráfico 6 - Comparativo das curvas de intensidade de uso para automóveis e derivados a gasolina. São Paulo - SP, 2010-2011.....	24
Gráfico 7 - Histograma e distribuição acumulada das idades dos automóveis e derivados a etanol. São Paulo –SP, 2010-2011.....	25
Gráfico 8 - Modelo ajustado para a intensidade de uso dos automóveis e derivados a etanol (quilometragem média por ano segundo a idade)	25
Gráfico 9 - Comparativo das curvas de intensidade de uso para automóveis e derivados a etanol. São Paulo – SP, 2010-2011.....	26
Gráfico 10 - Histograma e distribuição acumulada das idades dos automóveis e derivados flex. São Paulo, 2010-2011	27
Gráfico 11 - Modelo ajustado para a intensidade de uso dos automóveis e derivados flex (quilometragem média por ano segundo a idade)	28
Gráfico 12 - Comparativo das curvas de intensidade de uso para automóveis e derivados flex. São Paulo – SP, 2010-2011.....	29
Gráfico 13 - Histograma e distribuição acumulada das idades dos utilitários Otto a gasolina. São Paulo, 2010-2011	30
Gráfico 14 - Modelo ajustado para a intensidade de uso dos utilitários Otto a gasolina (quilometragem média por ano segundo a idade). São Paulo – SP, 2010-2011.....	30
Gráfico 15 - Comparativo das curvas de intensidade de uso para utilitários Otto a gasolina. São Paulo, 2010-2011	31
Gráfico 16 - Histograma e distribuição acumulada das idades dos utilitários Otto flex. São Paulo, 2010-2011	32
Gráfico 17 - Modelo ajustado para a intensidade de uso dos utilitários Otto flex (quilometragem média por ano segundo a idade)	33
Gráfico 18 - Comparativo das curvas de intensidade de uso para utilitários Otto flex. São Paulo – SP, 2010-2011	34
Gráfico 19 - Histograma e distribuição acumulada das idades dos caminhões diesel. São Paulo, 2010- 2011.....	35
Gráfico 20 - Modelo ajustado para a intensidade de uso dos caminhões diesel (quilometragem média por ano segundo a idade)	36
Gráfico 21 - Curvas de intensidade de uso para os caminhões diesel. São Paulo – SP, 2010-2011	37
Gráfico 22 - Histograma e distribuição acumulada das idades das caminhonetes diesel. São Paulo, 2010-2011	38
Gráfico 23 - Modelo ajustado para a intensidade de uso das caminhonetes diesel (quilometragem média por ano segundo a idade)	39

Gráfico 24 - Comparativo das Curvas de intensidade de uso para as caminhonetes diesel. São Paulo – SP, 2010-2011	40
Gráfico 25 - Histograma e distribuição acumulada das idades dos ônibus urbanos diesel. São Paulo, 2010-2011.....	41
Gráfico 26 - Modelo ajustado para a intensidade de uso dos ônibus urbanos diesel (quilometragem média por ano segundo a idade)	42
Gráfico 27 - Comparativo das Curvas de intensidade de uso para os Ônibus urbanos. São Paulo – SP, 2010-2011.....	43
Gráfico 28 - Histograma e distribuição acumulada das idades dos utilitários leves diesel. São Paulo, 2010-2011.....	44
Gráfico 29 - Modelo ajustado para a intensidade de uso dos utilitários leves diesel (quilometragem média por ano segundo a idade)	45
Gráfico 30 - Comparativo das Curvas de intensidade de uso para os utilitários leves diesel. São Paulo, 2010-2011.....	46
Gráfico 31 - Histograma e distribuição acumulada das idades dos Micro-ônibus diesel. São Paulo, 2010-2011.....	47
Gráfico 32 - Modelo ajustado para a intensidade de uso dos micro-ônibus diesel.....	48
Gráfico 33 - Comparativo das Curvas de intensidade de uso para os micro-ônibus diesel. São Paulo – SP, 2010-2011	49
Gráfico 34 - Histograma e distribuição acumulada das idades dos caminhões-trator. São Paulo, 2010-2011	50
Gráfico 35 - Modelo ajustado para a intensidade de uso dos caminhões-trator (quilometragem média por ano segundo a idade).....	51
Gráfico 36 - Comparativo das Curvas de intensidade de uso para os caminhões-trator. São Paulo – SP, 2010-2011.....	52
Gráfico 37 - Histograma e distribuição acumulada das idades dos motocicletos – São Paulo – 2010/2011	53
Gráfico 38 - Modelo ajustado para a intensidade de uso de motocicletos (quilometragem média segundo a idade)	54
Gráfico 39 - Comparativo das Curvas de intensidade de uso para motocicletos. São Paulo – SP, 2010-2011	55
Gráfico 40 - Histograma e distribuição acumulada das idades das motonetas. São Paulo, 2010-2011.....	56
Gráfico 41 - Modelo ajustado para a intensidade de uso de motonetas (quilometragem média por ano segundo a idade)	57
Gráfico 42 - Comparativo das curvas de intensidade de uso para motonetas. São Paulo – SP, 2010-2011	58
Gráfico 43 - Histograma e distribuição acumulada das idades dos automóveis a gasolina convertidos para GNV. São Paulo, 2010-2011.....	59
Gráfico 44 - Modelo ajustado para a intensidade de uso dos automóveis a gasolina/GNV (quilometragem média por ano segundo a idade)	59
Gráfico 45 - Comparativo das curvas de intensidade de uso para automóveis a gasolina/GNV. São Paulo – SP, 2010-2011	60
Gráfico 46 - Histograma e distribuição acumulada das idades dos automóveis flex convertidos para GNV. São Paulo, 2010-2011.....	61

Gráfico 47 - Modelo ajustado para a intensidade de uso dos automóveis Flex/GNV (quilometragem média por ano segundo a idade)	62
Gráfico 48 - Comparativo das Curvas de intensidade de uso para automóveis flex/GNV. São Paulo – SP, 2010-2011	63
Tabela 1 - Distribuição da frota base para os ajustes das curvas de Intensidade de uso. São Paulo - SP, 2010 - 2011.....	19
Tabela 2- Percentuais relativos à frota da cidade de São Paulo em relação ao estado de São Paulo, 2012.....	21
Tabela 3 - Distribuição da frota de caminhões diesel no estado de São Paulo – 2012.....	35

LISTA DE SIGLAS

CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
GNV	Gás natural veicular
GT-MMA	Grupo de trabalho do Ministério do Meio Ambiente
IU	Intensidade de uso
MMA	Ministério do Meio Ambiente
PBT	Peso bruto total
PROCONVE	Programa de controle de poluição do ar por veículos automotores

LISTA DE SÍMBOLOS

km/ano	Quilômetros por ano
--------	---------------------

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	17
2	OBJETIVO	17
3	METODOLOGIA ESTATÍSTICA	17
4	RESULTADOS	19
4.1	<i>Automóveis e seus derivados a gasolina</i>	22
4.2	<i>Automóveis e seus derivados a álcool</i>	24
4.3	<i>Automóveis e seus derivados flex</i>	27
4.4	<i>Utilitários Otto a gasolina</i>	29
4.5	<i>Utilitários Otto flex</i>	32
4.6	<i>Caminhões diesel</i>	34
4.7	<i>Caminhonetes diesel</i>	37
4.8	<i>Ônibus diesel</i>	40
4.9	<i>Utilitários diesel</i>	43
4.10	<i>Micro-ônibus diesel</i>	46
4.11	<i>Caminhão trator</i>	49
4.12	<i>Motociclos</i>	52
4.13	<i>Motonetas</i>	56
4.14	<i>Automóveis e derivados a gasolina convertidos para Gás Natural Veicular (GNV)</i>	58
4.15	<i>Automóveis e derivados a GNV/Flex</i>	61
5	CONCLUSÕES	64
6	RECOMENDAÇÕES	66
	REFERÊNCIAS	67

1 INTRODUÇÃO

A metodologia de inventário de emissão de veículos utilizada pela CETESB (Companhia Ambiental do Estado de São Paulo) a partir de 2010, publicada nos relatórios Emissões Veiculares de 2012 e 2013, foi baseada na metodologia desenvolvida pelo Grupo de Trabalho formado pelo Ministério do Meio Ambiente (GT-MMA) em 2009. Esse grupo publicou o primeiro relatório em 2011 e desenvolveu os trabalhos até dezembro de 2012.

Tanto nos relatórios da CETESB como no do GT-MMA estão explícitas as incertezas e as demandas por melhorias nos dados de entrada.

A intensidade de uso é uma variável fundamental no cálculo das estimativas de emissão e significa a distância percorrida pelos veículos ao longo de um ano. Essa variável foi estabelecida pelo GT-MMA a partir de estudos variados e apresenta grande incerteza. Por esse fato, é necessário ajustá-la em função do consumo de combustível observado. O primeiro relatório do Ministério do Meio Ambiente (MMA) sugere que seja feita pesquisa para levantar dados mais realistas para as curvas de intensidade de uso.

Em 2012 a CETESB demandou à Secretaria do Verde e do Meio Ambiente da Prefeitura de São Paulo uma série de informações obtidas no programa de inspeção ambiental do município. Entre elas, as leituras dos hodômetros dos veículos inspecionados. A partir desse banco de dados, foram feitas análises estatísticas que permitem compor novas curvas de intensidade de uso.

2 OBJETIVO

Obter, a partir dos dados efetivamente observados de quilometragem percorrida pelos veículos, as curvas de intensidade de uso para as diversas categorias e tipos de veículos automotores da cidade de São Paulo, visando a sua confrontação com as curvas hoje em uso, para verificação de sua validade para a frota do estado de São Paulo.

3 METODOLOGIA ESTATÍSTICA

Os dados de quilometragem percorrida por ano foram cedidos pela Prefeitura da cidade de São Paulo, e foram obtidos através do Programa de Inspeção e Manutenção, coordenado pela Secretaria do Verde e do Meio Ambiente e executado pela empresa Controlar.

A quilometragem efetivamente percorrida foi levantada com base na observação do hodômetro em dois exercícios consecutivos, para o mesmo veículo. Os exercícios utilizados nesse levantamento foram 2010 e 2011. A base de dados desse estudo foi a formada pelos veículos automotores da Cidade de São Paulo que fizeram a inspeção nesses dois exercícios.

Foram repassadas à CETESB as quilometragens médias percorridas, seus desvios-padrão e os respectivos números de observações, para cada ano de fabricação e categoria, o que possibilitou a determinação da idade do veículo.

A descrição das categorias da frota amostrada neste estudo encontra-se na Tabela 1.

A distribuição acumulada de frequências (FELLER, 1968) foi obtida visando a identificação de quais anos de fabricação (range) devem ser considerados em cada caso. Essa distribuição, em conjunto com o respectivo histograma das idades dos veículos, aponta para onde a curva ajustada deve possuir maior aderência (maior quantidade de veículos) e a partir de que idade pode ser utilizado o valor médio (pequena quantidade e pertencentes à mesma fase do Programa de Controle de Poluição do Ar por Veículos Automotores - PROCONVE) ou mesmo o ajuste de uma outra curva para descrever o comportamento assintótico.

O percentual de automóveis ciclo Otto cobertos pelo ajuste foi superior a 98% para todas as categorias e combustíveis, para os veículos diesel e motos, em menor número, esse percentual foi igual a 95%.

A técnica de regressão utilizada para os ajustes foi a de Mínimos Quadrados Ordinários (DRAPER, 1998), pois ela garante duas propriedades que são imperativas para a finalidade pretendida que é o emprego das mesmas nos cálculos do inventário de emissões de poluentes atmosféricos. Essas propriedades são: os desvios em relação à curva tem média igual à zero; o ajuste minimiza os afastamentos entre os valores reais de quilômetros por ano (km/ano) e os preditos pelo modelo (erros), considerados na forma quadrática.

A primeira propriedade garante que o resultado do cálculo das emissões garantirá a mesma quantidade total de quilômetros rodados no ano pela frota. A segunda garante que serão respeitadas as diferenças tecnológicas associadas às diferentes fases do PROCONVE, pois elas levam a diferentes fatores de emissão em função da idade do veículo.

Foram ajustados, na maioria dos casos, funções polinomiais de grau 3, em poucos casos de grau 2 e outros tipos de funções para descrever o comportamento assintótico. O critério de escolha foi o de maior coeficiente de explicação – r^2 .

O foco dos ajustes foi na interpolação dos resultados para as idades mais frequentes. Para finalidade de extrapolação para os veículos mais antigos, primeiramente se verificava a adequação do mesmo modelo, caso não fosse ideal, apresentando erros devido à extrapolação, outro modelo ou mesmo uma constante igual ao valor médio foi escolhido para os veículos mais antigos, dependendo se as idades estivessem todas numa mesma fase do PROCONVE, garantindo assim os mesmos fatores de emissão. O modelo final em alguns casos foi então ajustado por partes.

4 RESULTADOS

A distribuição da frota que serviu de base para os ajustes das curvas de intensidade de uso está apresentada na Tabela 1. Essa frota foi a inspecionada na cidade de São Paulo, no Programa de Inspeção e Manutenção para Veículos Automotores em Uso - I/M, nos exercícios de 2010 e 2011.

Tabela 1 - Distribuição da frota base para os ajustes das curvas de Intensidade de uso. São Paulo - SP, 2010 - 2011

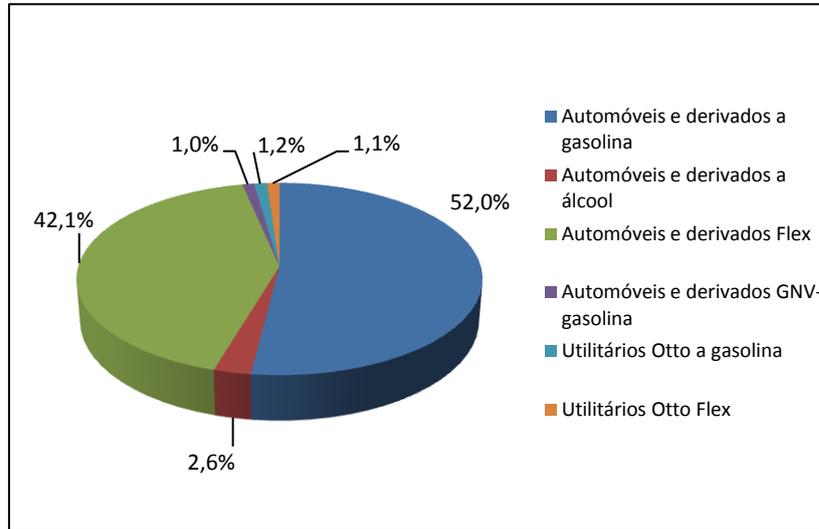
Tipo	Categoria e Combustível	Quantidade	%
Ciclo Otto	Automóveis e derivados a gasolina	888846	47,56%
	Automóveis e derivados a álcool	45000	2,41%
	Automóveis e derivados flex	719195	38,49%
	Automóveis e derivados GNV-gasolina	17761	0,95%
	Utilitários Otto a gasolina	20111	1,08%
	Utilitários Otto flex	19064	1,02%
Diesel	Caminhões	10138	0,54%
	Caminhonetes	15544	0,83%
	Ônibus	3357	0,18%
	Micro-ônibus	4081	0,22%
	Utilitários diesel	4255	0,23%
Motos	Motociclos	111699	5,98%
	Motonetas	9668	0,52%
Todos		1868719	100,00%

Fonte: São Paulo (2012, adaptado pelos autores)

Categorias e combustíveis com percentuais menores que 0,18% não fizeram parte do estudo, pois sua contribuição é igualmente pequena e o ajuste ficaria dificultado e pouco representativo pela pequena quantidade de dados disponíveis por ano-fabricação.

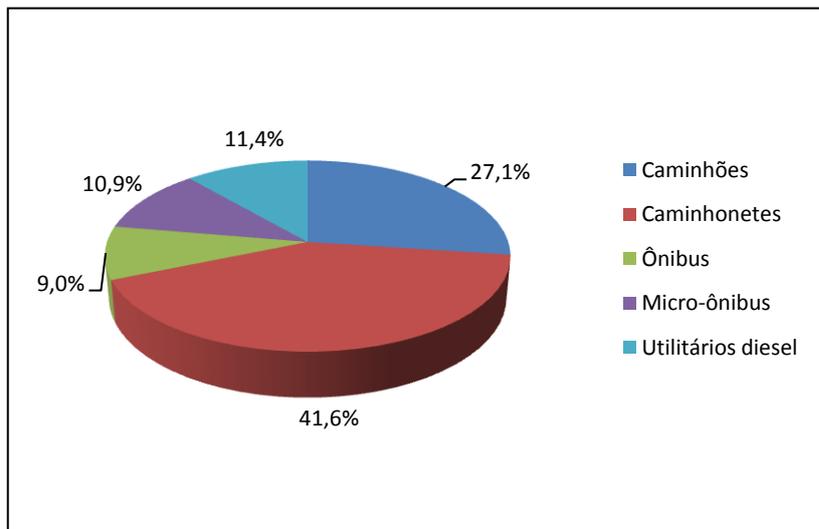
As distribuições percentuais, por tipo de veículo, estão apresentadas nos Gráficos 1, 2 e 3.

Gráfico 1 - Distribuições da frota inspecionada de automóveis Otto. São Paulo – SP, 2010-2011



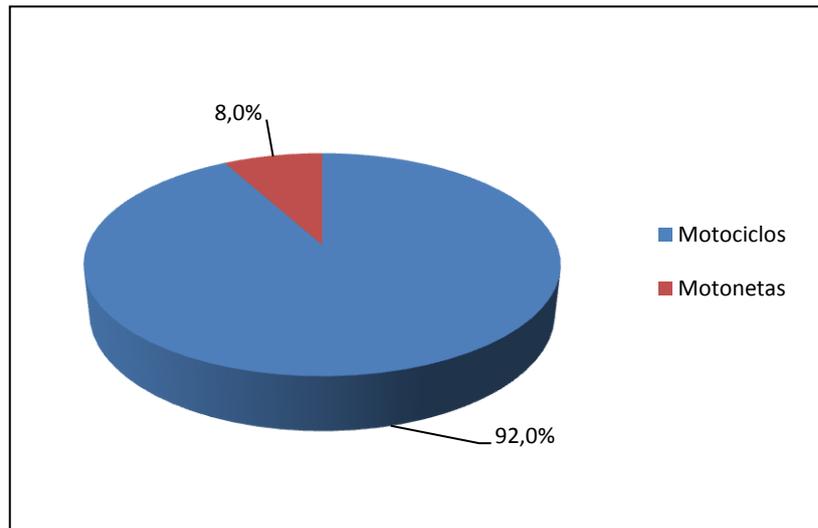
Fonte: São Paulo (2012, adaptado pelos autores)

Gráfico 2 - Distribuições da frota inspecionada de veículos diesel. São Paulo – SP, 2010-2011



Fonte: São Paulo (2012, adaptado pelos autores)

Gráfico 3 - Distribuições da frota inspecionada de motos. São Paulo – SP, 2010-2011



Fonte: São Paulo (2012, adaptado pelos autores)

A frota inspecionada de veículos automotores ciclo Otto é dominada por automóveis e derivados a gasolina (52,0%) e flex (42,1%).

A frota de veículos diesel da cidade de São Paulo é dominada pelas caminhonetes (41,6%), seguido pelos caminhões (27,1%). Os utilitários leves diesel respondem por 11,4%, micro-ônibus com 10,9% e os ônibus por 9,0%.

O percentual da frota do estado de São Paulo representado pela frota inspecionada na Cidade está apresentado na Tabela 2. As estimativas das frotas foram feitas pela CETESB.

Tabela 2- Percentuais relativos à frota da cidade de São Paulo em relação ao estado de São Paulo, 2012

Tipo de veículo	Capital	Estado	Percentual relativo
Automóveis	3225213	9457369	34,1%
Comerciais Leves	564592	1390990	40,6%
Caminhões	83645	437915	19,1%
Ônibus	33157	93285	35,5%
Motos	497076	2611043	19,0%
Total	4403683	13990602	31,5%

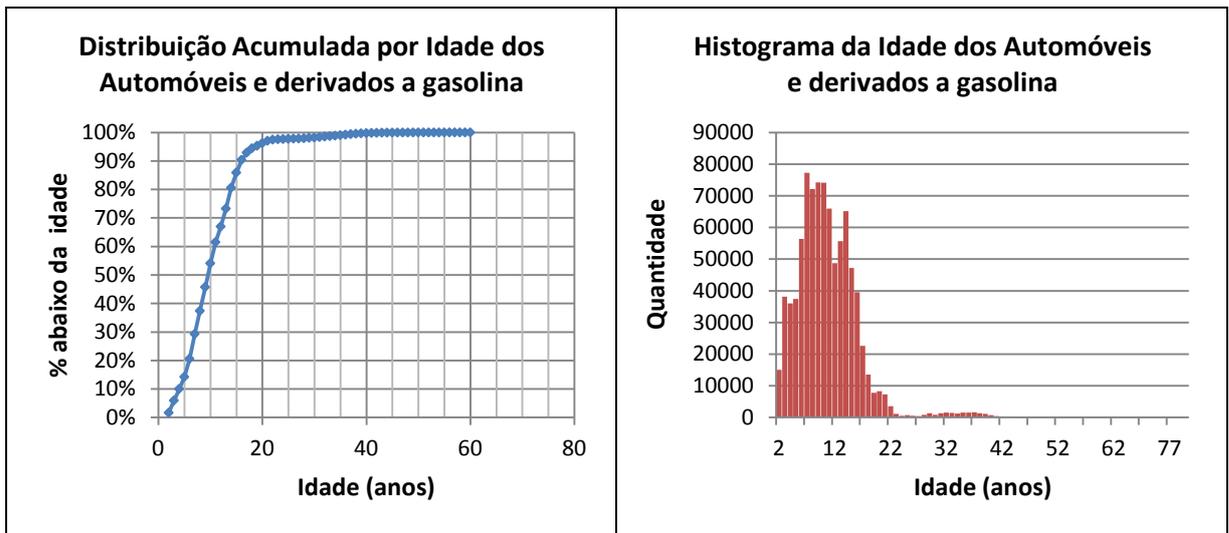
Fonte: CETESB (2013)

Somente a frota da cidade de São Paulo representou 31,5% da frota total estimada para o estado em 2012.

4.1 Automóveis e seus derivados a gasolina

A composição dessa frota por idade pode ser observada no Gráfico 4, onde estão apresentados o histograma das idades e a distribuição acumulada de frequências.

Gráfico 4 - Histograma e distribuição acumulada das idades dos automóveis e derivados a gasolina. São Paulo – SP, 2010-2011

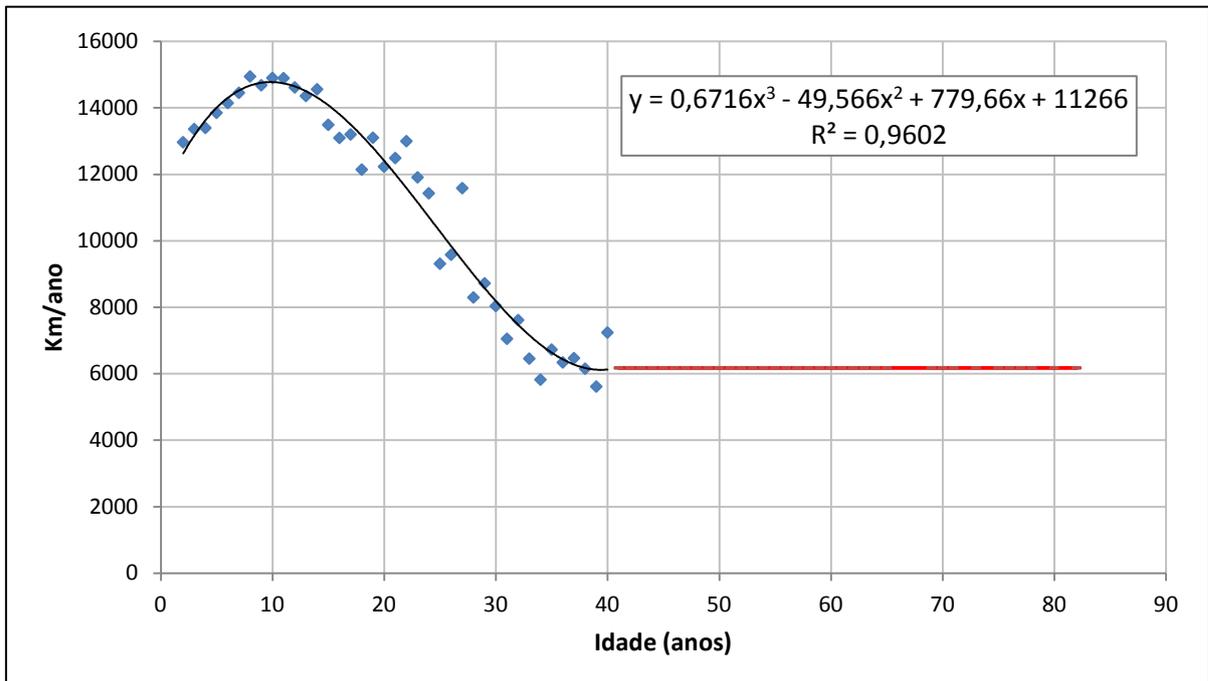


Fonte: São Paulo (2012, adaptado pelos autores)

A maioria dos veículos - 96,25% - tem 20 anos ou menos de idade e a grande maioria se concentra em torno de dez anos. O intervalo para o ajuste será então até 20 anos de idade para os automóveis e derivados a gasolina.

O Gráfico 5 apresenta o modelo ajustado através da técnica de regressão linear por mínimos quadrados. Foi utilizado o software SPSS versão 21 (IBM, 2012) para obtenção das constantes do modelo e respectivas estatísticas do ajuste.

Gráfico 5 - Modelo ajustado para a intensidade de uso dos automóveis e derivados a gasolina (quilometragem média anual segundo a idade)



Fonte: São Paulo (2012, adaptado pelos autores)

O modelo ajustado mostrou-se adequado para automóveis a gasolina com idade até 40 anos, após essa idade uma constante igual a 6174 km/ano deve ser adotada como valor característico. Devemos observar que os automóveis a gasolina com essas idades são todos pré-PROCONVE e, portanto, possuem o mesmo fator de emissão. Esse valor médio é o que garante o total de quilômetros rodados por essa frota.

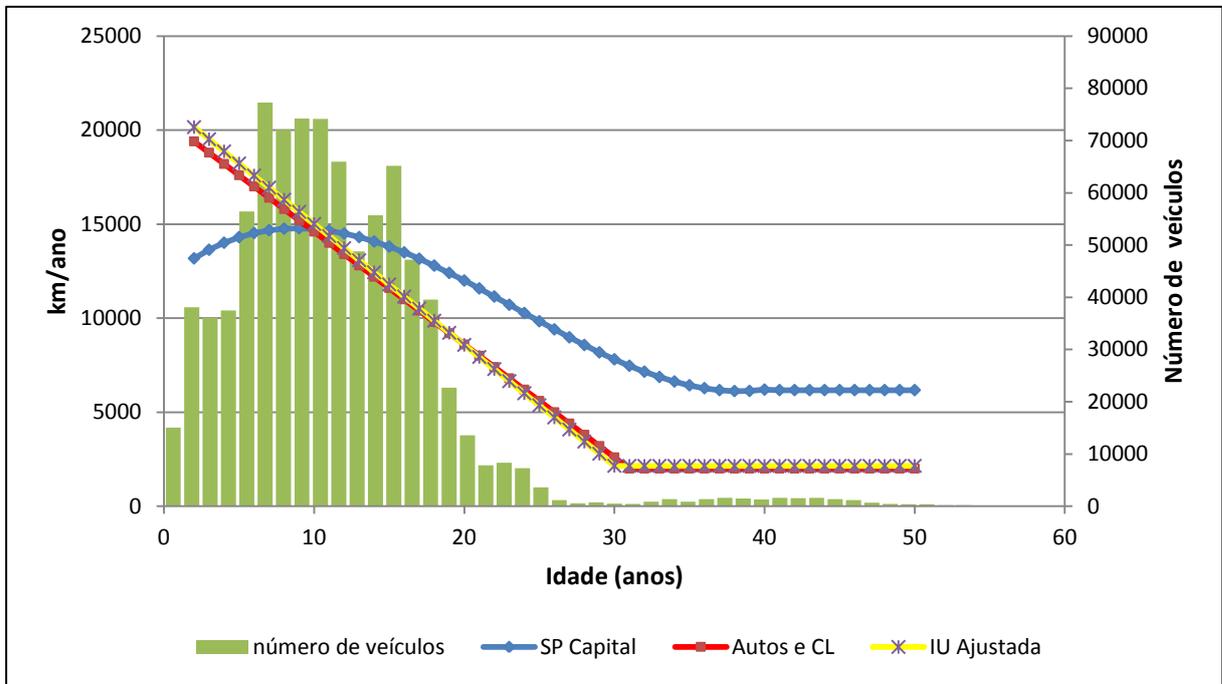
O coeficiente de explicação foi igual a 96,02% considerando toda essa amplitude de idades, esse é um valor bastante representativo para o objetivo pretendido.

O Gráfico 6 apresenta a comparação dessa curva com aquela adotada atualmente no Relatório de Emissões Veiculares no Estado de São Paulo – 2012 (CETESB, 2013). Além das duas curvas, foi incluído o histograma de frequências por idade para avaliação da magnitude do impacto devido às diferenças entre elas. Os resultados apresentados no Gráfico 6 fundamentam as recomendações que se seguem para essa frota de automóveis e derivados a gasolina.

A curva denominada “SP Capital” representa a obtida acima, a curva “Autos e CL” representa a curva do Inventário Nacional para automóveis e comerciais leves ciclo Otto. A curva “IU (intensidade de uso) ajustada” foi obtida através do ajuste pela quantidade do combustível comercializada no ano sobre a curva original do MMA.

O histograma apresentado é da frota inspecionada na cidade de São Paulo nos exercícios de 2010 e 2011.

Gráfico 6 - Comparativo das curvas de intensidade de uso para automóveis e derivados a gasolina. São Paulo - SP, 2010-2011



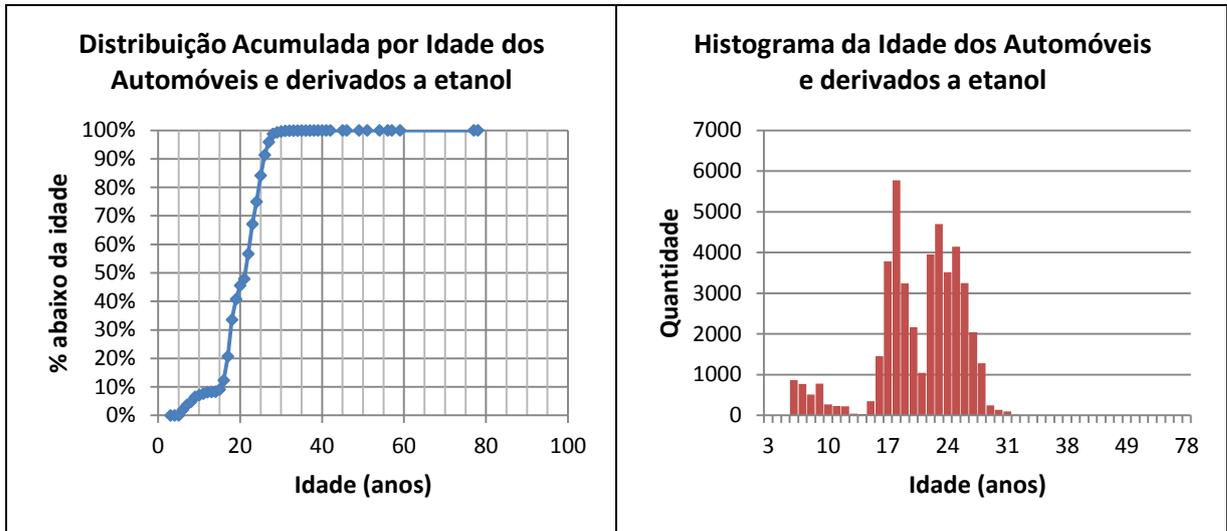
Fonte: São Paulo (2012, adaptado pelos autores)

Como se observa, o comportamento real da frota da cidade de São Paulo diferiu significativamente da curva de intensidade de uso adotada no Inventário Nacional. As diferenças foram constatadas em praticamente todas as idades. O impacto dessa frota no inventário é significativo, pois a mesma representou 47,67% do total de veículos inspecionados.

4.2 Automóveis e seus derivados a álcool

A composição dessa frota por idade pode ser observada no Gráfico 7 onde estão apresentados o histograma das idades e a distribuição acumulada de frequência.

**Gráfico 7 - Histograma e distribuição acumulada das idades dos automóveis e derivados a etanol.
São Paulo –SP, 2010-2011**

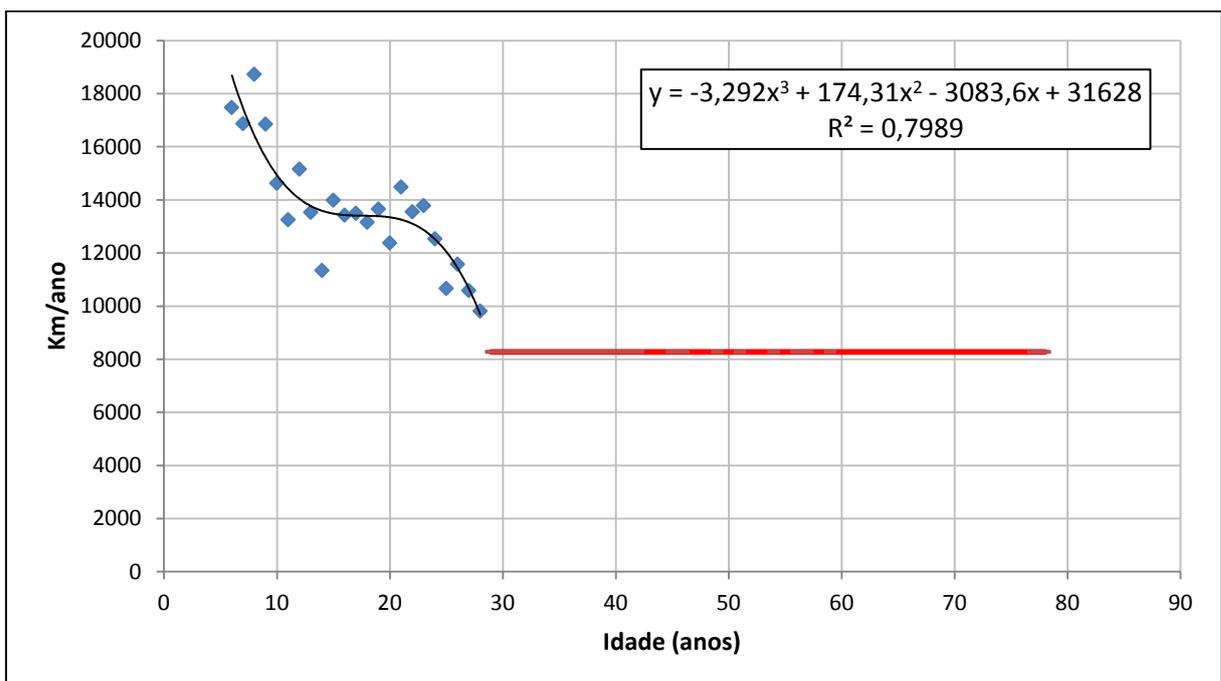


Fonte: São Paulo (2012, adaptado pelos autores)

A maioria dos veículos está na faixa de 15 a 30 anos de idade. A grande maioria se concentra em torno de 20 anos. O intervalo que utilizaremos para o ajuste foi de 6 a 28 anos de idade para os automóveis e derivados a etanol.

No Gráfico 8 é apresentado o modelo ajustado através da técnica de regressão linear por mínimos quadrados.

**Gráfico 8 - Modelo ajustado para a intensidade de uso dos automóveis e derivados a etanol
(quilometragem média por ano segundo a idade)**



Fonte: São Paulo (2012, adaptado pelos autores)

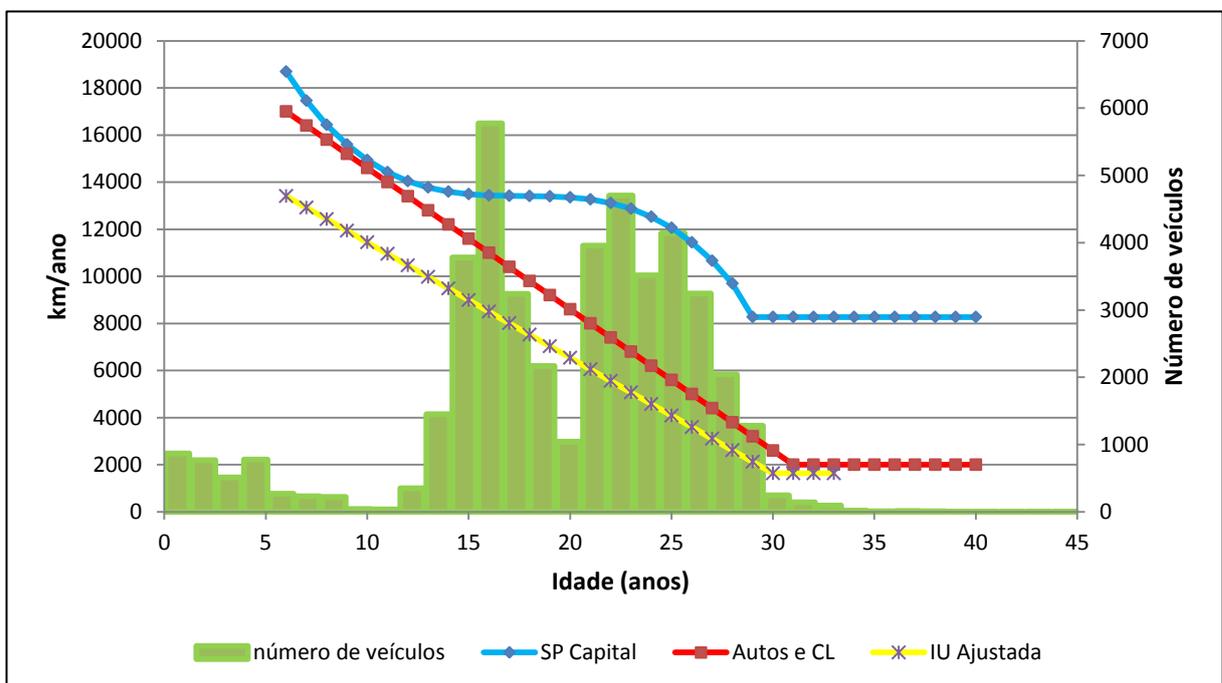
O modelo ajustado mostrou-se adequado para automóveis a etanol com idade de até 28 anos, após essa idade uma constante igual a 8275 km/ano deve ser adotada como valor característico. Devemos observar que os automóveis a etanol com essas idades são todos pré-PROCONVE e, portanto possuem o mesmo fator de emissão. Esse valor médio é o que garante o total de quilômetros rodados por essa frota.

O coeficiente de explicação foi igual a 79,89%, considerando toda essa amplitude de idades, e a elevada média etária, esse é um valor bastante significativo para o objetivo pretendido e tamanho dessa frota.

No Gráfico 9 é apresentada a comparação dessa curva com aquela adotada atualmente no Relatório de Emissões Veiculares no Estado de São Paulo – 2012 (CETESB, 2013). Além das duas curvas, foi incluído o histograma de frequências por idade para avaliação da magnitude do impacto devido às diferenças entre elas. Os resultados apresentados no Gráfico 9 fundamentam as recomendações que se seguem para essa frota de automóveis e derivados a etanol.

A curva IU ajustada foi obtida através do ajuste pela quantidade do combustível comercializada no ano.

Gráfico 9 - Comparativo das curvas de intensidade de uso para automóveis e derivados a etanol. São Paulo – SP, 2010-2011



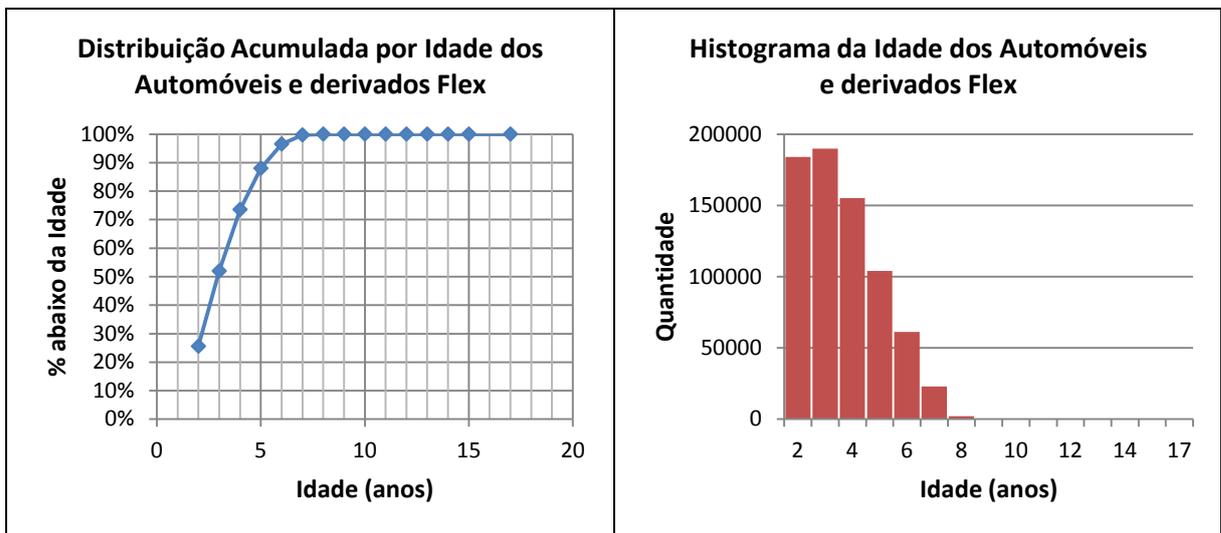
Fonte: São Paulo (2012, adaptado pelos autores)

As curvas de intensidade de uso são relativamente próximas para veículos com até dez anos de idade, que representam somente 7,12% do total da frota desse tipo de veículo. Na faixa onde se situam a maioria dos veículos, as curvas diferem significativamente. O impacto dessa frota no inventário não será tão significativo, pois a mesma representou 2,41% do total de veículos inspecionados.

4.3 Automóveis e seus derivados flex

A composição dessa frota por idade pode ser observada no Gráfico 10 onde estão apresentados o histograma das idades e a distribuição acumulada de frequência.

Gráfico 10 - Histograma e distribuição acumulada das idades dos automóveis e derivados flex. São Paulo, 2010-2011



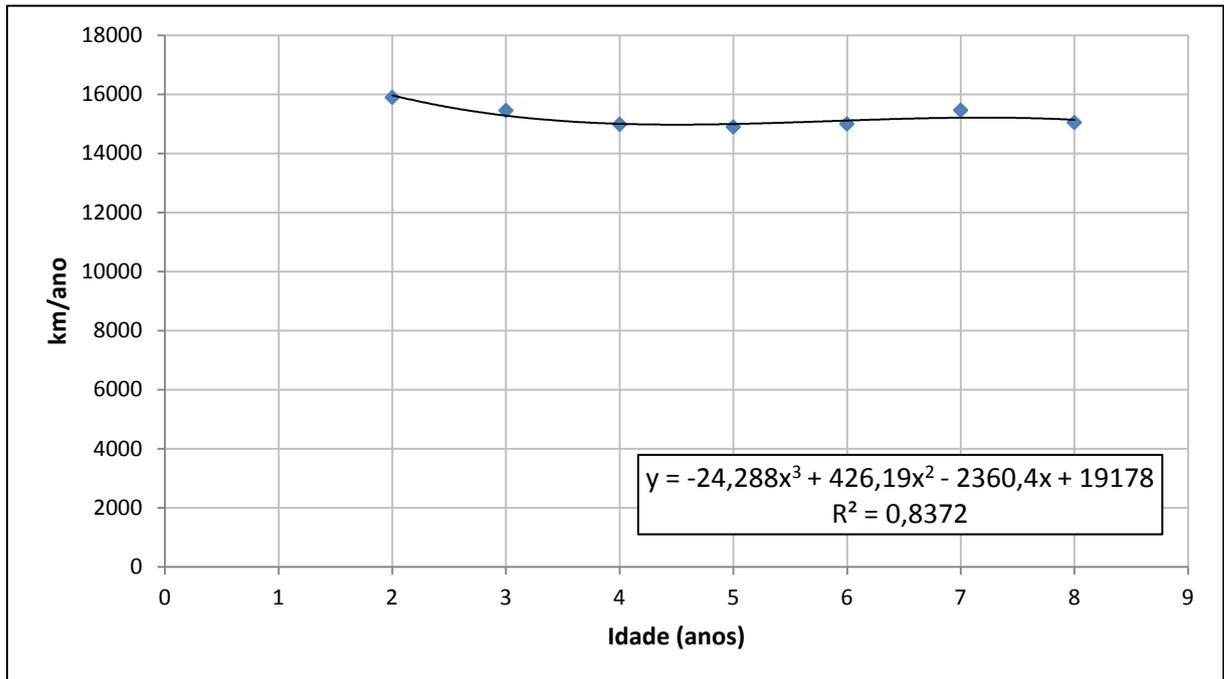
Fonte: São Paulo (2012, adaptado pelos autores)

A frota de automóveis e derivados flex é relativamente nova, foi introduzida no mercado em 2003 e está crescendo substancialmente. Essa frota tende a dominar o mercado e é, portanto uma frota de grande interesse. Alguns poucos veículos que aparecem com mais de oito anos são referentes a alterações irregulares nas características dos veículos e não foram utilizados para finalidade de ajuste do modelo. O intervalo utilizado para o ajuste foi de dois a oito anos de idade para os automóveis e derivados flex.

No Gráfico 11 é apresentado o modelo ajustado através da técnica de regressão linear por mínimos quadrados. Como não temos veículos nessa categoria com mais de oito anos, não há necessidade de extrapolação do modelo para idades superiores a oito anos.

A estimativa feita pelo modelo para veículos com idade de um ano foi de 17220 km/ano. Para idades superiores a oito anos, recomenda-se usar a constante de 15000 km/ano, limitada em dez anos, pois a curva precisará ser revista com o envelhecimento da frota.

Gráfico 11 - Modelo ajustado para a intensidade de uso dos automóveis e derivados flex (quilometragem média por ano segundo a idade)



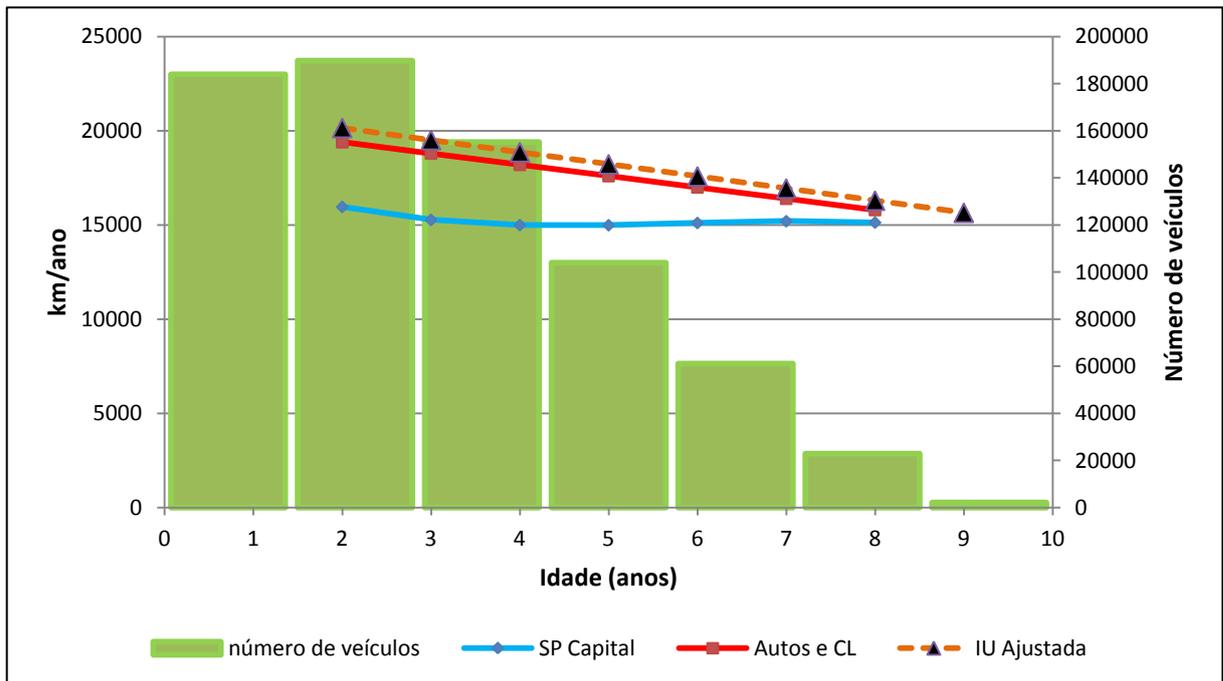
Fonte: São Paulo (2012, adaptado pelos autores)

O coeficiente de explicação foi igual a 83,72%, considerando essa amplitude de idades e a baixa média etária. Esse é um valor bastante significativo para o objetivo pretendido.

No Gráfico 12 é apresentada a comparação dessa curva com aquela adotada atualmente no Relatório de Emissões Veiculares no Estado de São Paulo – 2012 (CESTESB, 2013). Além das duas curvas, foi incluído o histograma de frequências por idade para avaliação da magnitude do impacto devido às diferenças entre elas. Os resultados apresentados no Gráfico 12 fundamentam as recomendações que se seguem para essa frota de automóveis e derivados flex.

A curva IU ajustada foi obtida através do ajuste pela quantidade do combustível comercializada no ano.

Gráfico 12 - Comparativo das curvas de intensidade de uso para automóveis e derivados flex. São Paulo – SP, 2010-2011



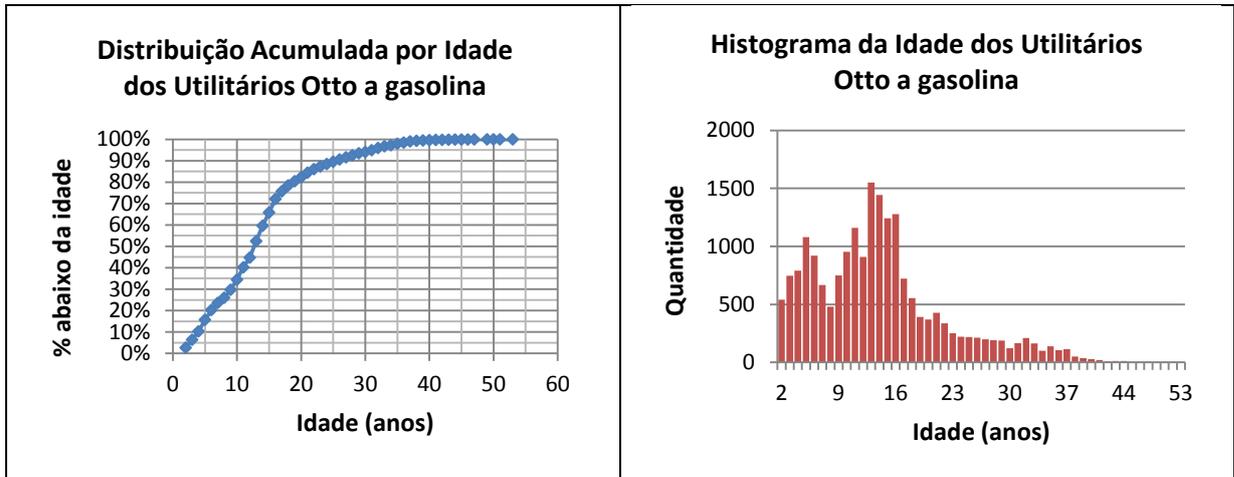
Fonte: São Paulo (2012, adaptado pelos autores)

As curvas de intensidade de uso são bastante distintas se aproximando somente após oito anos de idade. Como o número de automóveis flex é bastante significativo, apesar da pouca idade da frota, o impacto nos cálculos do inventário é igualmente significativo. O impacto dessa frota no inventário é significativo, pois a mesma representou 38,57% do total de veículos inspecionados.

4.4 Utilitários Otto a gasolina

A composição dessa frota por idade pode ser observada no Gráfico 13, onde estão apresentados o histograma das idades e a distribuição acumulada de frequência.

Gráfico 13 - Histograma e distribuição acumulada das idades dos utilitários Otto a gasolina. São Paulo, 2010-2011

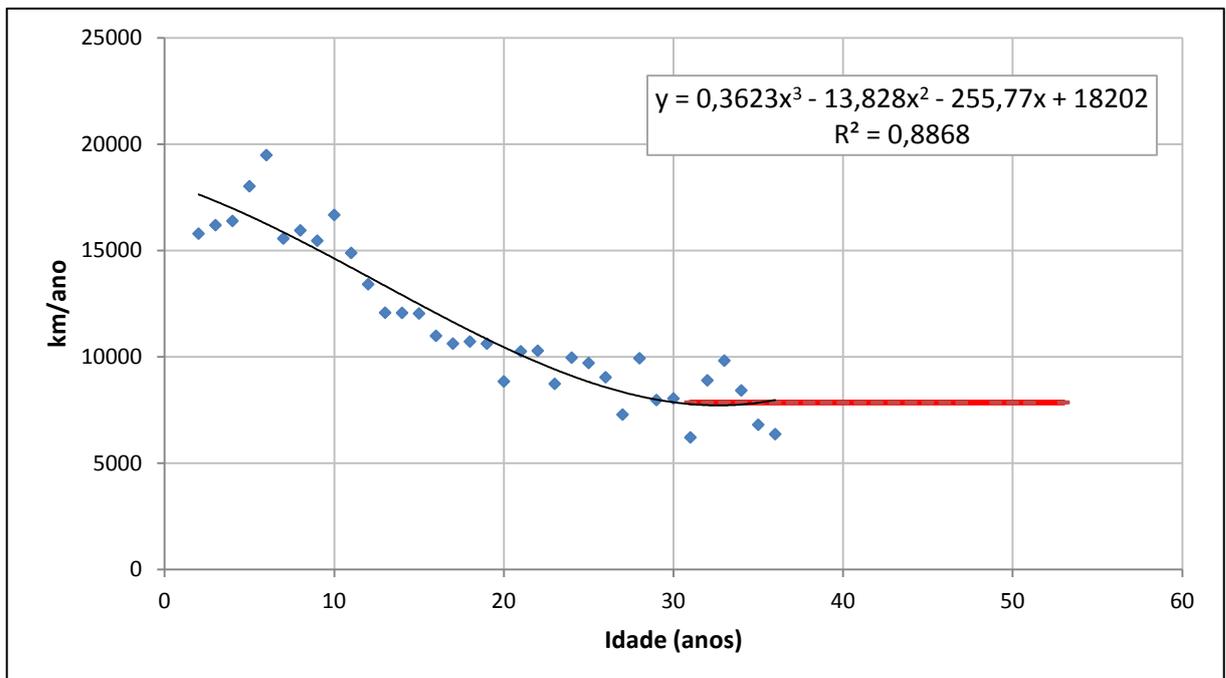


Fonte: São Paulo (2012, adaptado pelos autores)

Essa frota de utilitários Otto a gasolina possui uma longevidade bastante acentuada. Para finalidade do ajuste do modelo, foram utilizados veículos com idade de até 36 anos, o que corresponde a 98,5% do total desse tipo de veículo.

No Gráfico 14 é apresentado o modelo ajustado através da técnica de regressão linear por mínimos quadrados.

Gráfico 14 - Modelo ajustado para a intensidade de uso dos utilitários Otto a gasolina (quilometragem média por ano segundo a idade). São Paulo – SP, 2010-2011



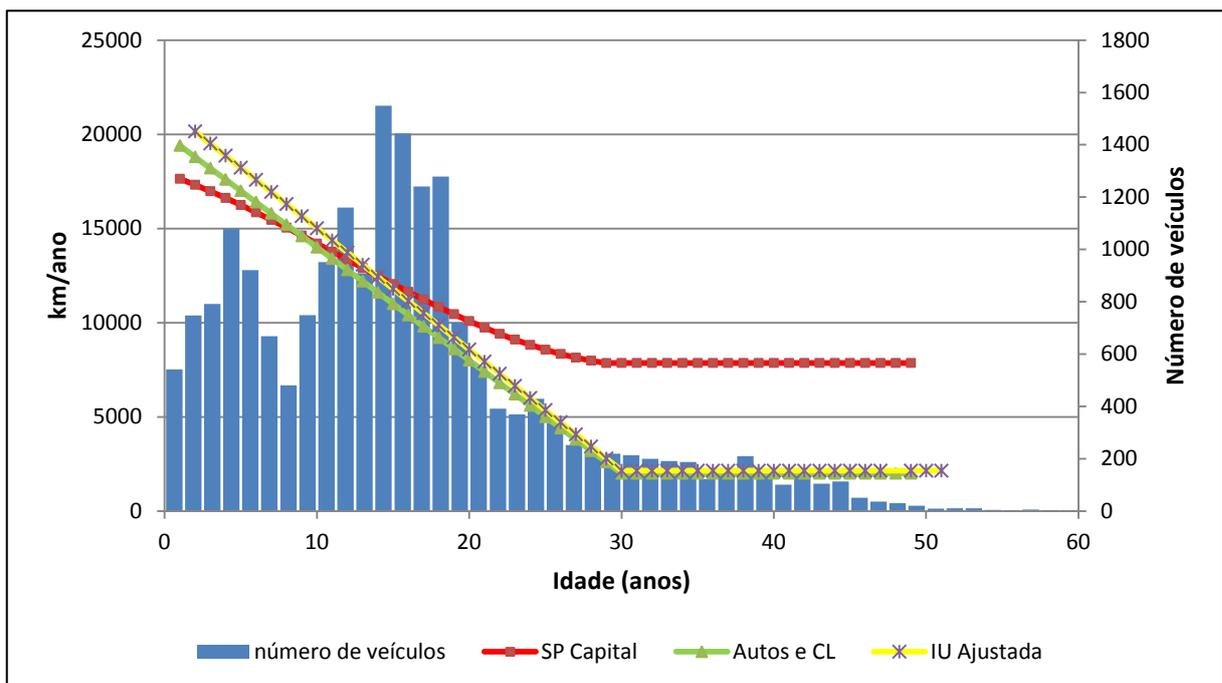
Fonte: São Paulo (2012, adaptado pelos autores)

Pode-se observar que o modelo tem um comportamento assintótico a partir dos 36 anos de idade, sendo esse valor constante igual a 7862 km/ano. Esse valor deve então ser considerado como a quilometragem média anual rodada pelos utilitários Otto a gasolina com mais de 36 anos de idade.

O coeficiente de explicação do modelo foi igual a 88,68%, considerando essa amplitude de idades e a elevada média etária. Esse é um valor bastante significativo para o objetivo pretendido.

No Gráfico 15 é apresentada a comparação dessa curva com aquela adotada atualmente no Relatório de Emissões Veiculares no Estado de São Paulo – 2012 (CETESB, 2013). Além das duas curvas, foi incluído o histograma de frequências por idade para avaliação da magnitude do impacto devido às diferenças entre elas. Os resultados apresentados no Gráfico 15 fundamentam as recomendações que se seguem para essa frota de utilitários Otto a gasolina.

Gráfico 15 - Comparativo das curvas de intensidade de uso para utilitários Otto a gasolina. São Paulo, 2010-2011



Fonte: São Paulo (2012, adaptado pelos autores)

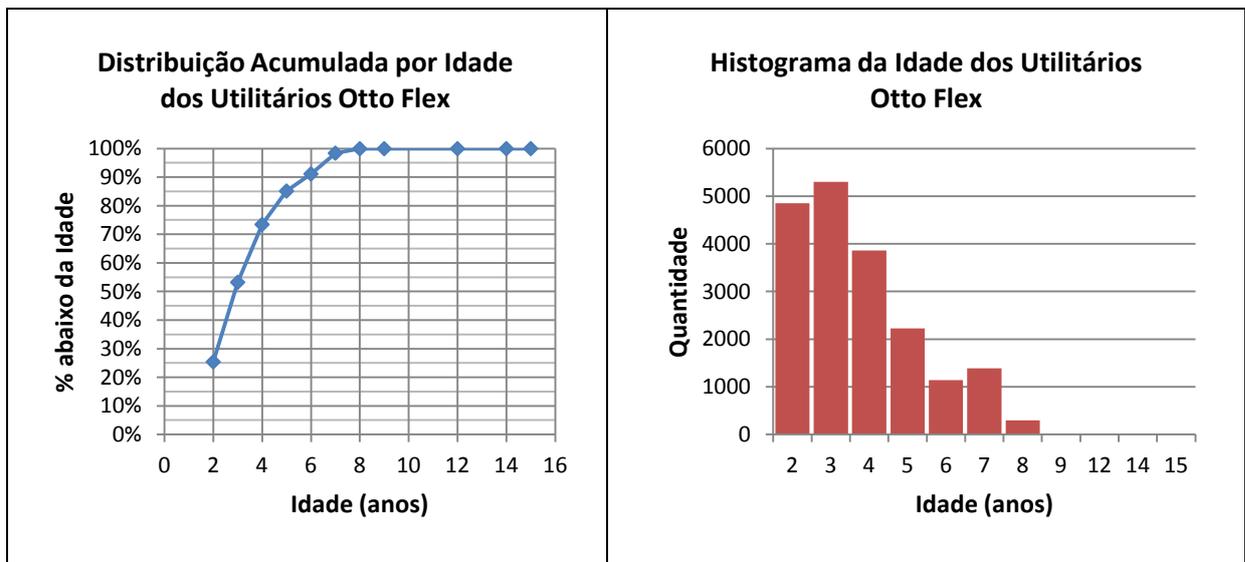
As curvas diferem significativamente e não somente onde há menor quantidade de veículos (>30 anos). O impacto em termos de inventário precisa ser avaliado, pois apesar de ser pequena a proporção desses veículos (1,08%), essa diferença pode ter impacto significativo devido aos fatores de emissão dos veículos mais antigos serem significativamente maiores que aqueles dos veículos mais novos.

A curva IU ajustada foi obtida através do ajuste pela quantidade do combustível comercializada no ano.

4.5 Utilitários Otto flex

A composição dessa frota por idade pode ser observada no Gráfico 16 onde estão apresentados o histograma das idades e a distribuição acumulada de frequências.

Gráfico 16 - Histograma e distribuição acumulada das idades dos utilitários Otto flex. São Paulo, 2010-2011



Fonte: São Paulo (2012, adaptado pelos autores)

Essa frota de utilitários Otto flex é relativamente nova, introduzida no mercado em 2003 e que vem crescendo substancialmente. É também uma frota de interesse. Alguns poucos veículos que aparecem com mais de oito anos são referentes a alterações irregulares nas características dos veículos, não tendo relevância para finalidade do ajuste ou extrapolação.

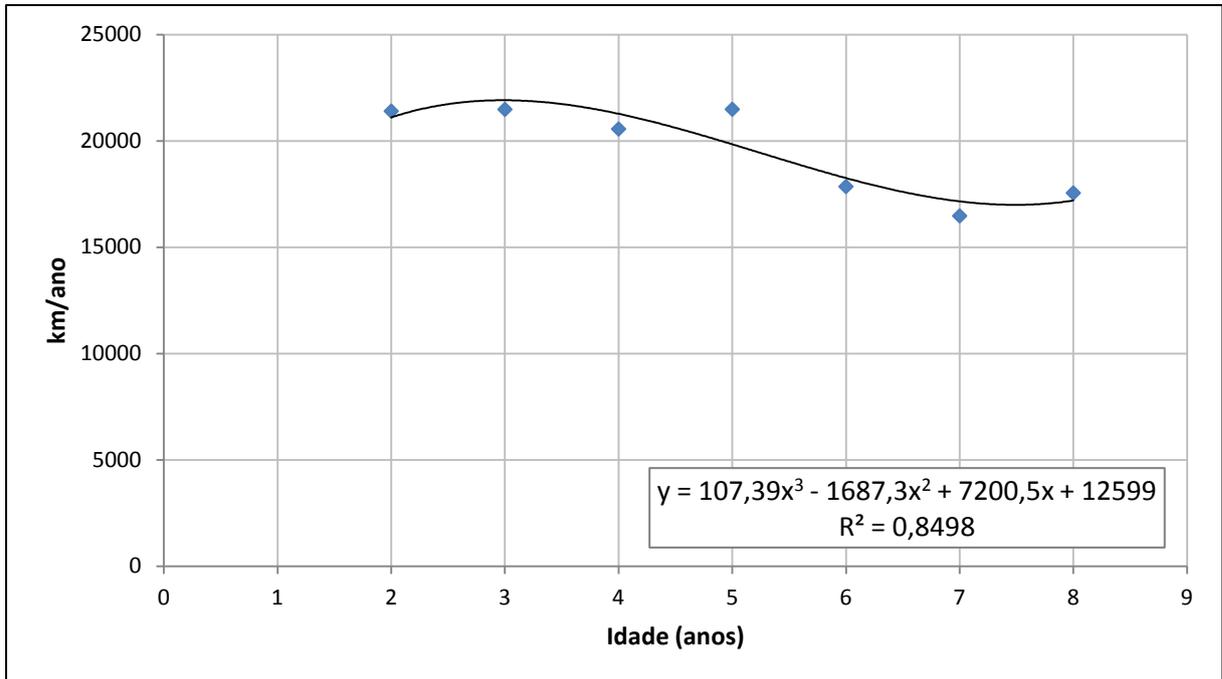
O intervalo que foi utilizado para o ajuste foi de até oito anos de idade para os utilitários Otto flex.

No Gráfico 17 é apresentado o modelo ajustado através da técnica de regressão linear por mínimos quadrados. Como não temos veículos nessa categoria com mais de oito anos, não há necessidade de extrapolação do modelo.

A estimativa feita pelo modelo para veículos com idade de um ano foi de 18220 km/ano. Para idades superiores a oito anos recomenda-se usar a constante de 17500 km/ano, limitada em dez anos pois a curva precisará ser revista com o envelhecimento natural dessa frota.

Para finalidade do ajuste do modelo foram utilizados veículos com idade de até oito anos, o que corresponde a 99,97% do total desse tipo de veículo.

Gráfico 17 - Modelo ajustado para a intensidade de uso dos utilitários Otto flex (quilometragem média por ano segundo a idade)



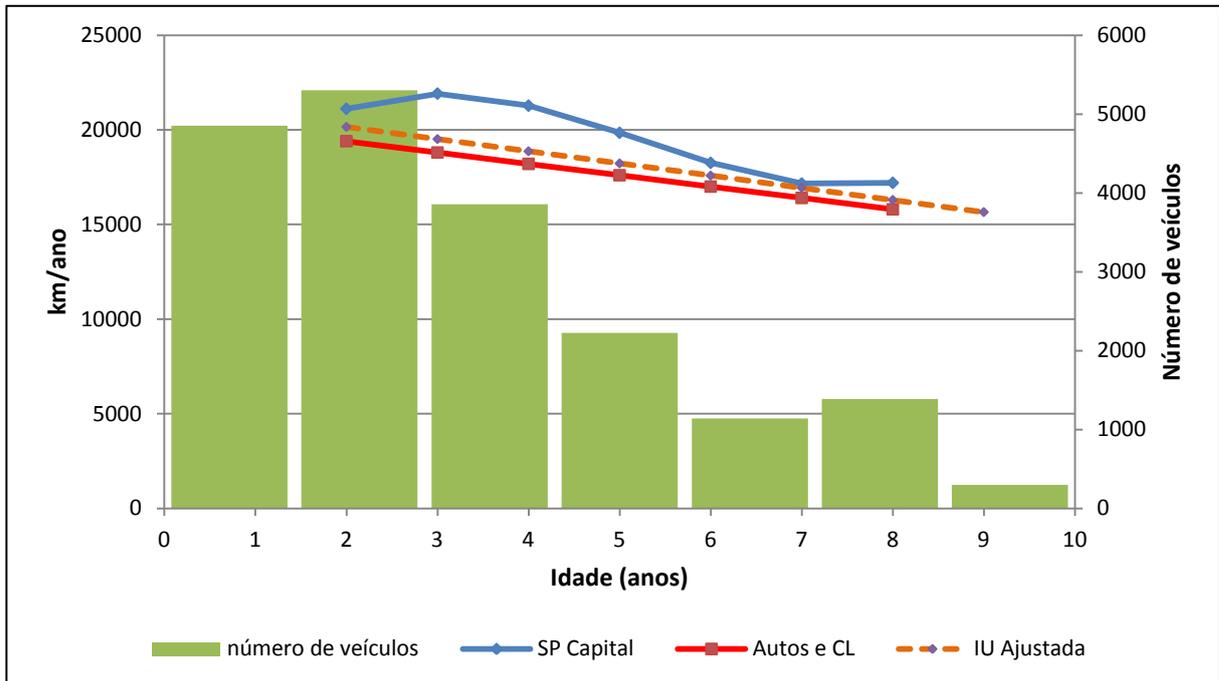
Fonte: São Paulo (2012, adaptado pelos autores)

O coeficiente de explicação foi igual a 84,98% considerando essa amplitude de idades, e a baixa média etária, esse é um valor bastante significativo para o objetivo pretendido.

No Gráfico 18 é apresentada a comparação dessa curva com aquela adotada atualmente no Relatório de Emissões Veiculares no Estado de São Paulo – 2012 (CETESB, 2013). Além das duas curvas, foi incluído o histograma de frequências por idade para avaliação da magnitude do impacto devido às diferenças entre elas. Os resultados apresentados nesse Gráfico 18 fundamentam as recomendações que se seguem para essa frota de utilitários Otto flex.

A curva IU ajustada foi obtida através do ajuste pela quantidade do combustível comercializada no ano.

Gráfico 18 - Comparativo das curvas de intensidade de uso para utilitários Otto flex. São Paulo – SP, 2010-2011



Fonte: São Paulo (2012, adaptado pelos autores)

As curvas de intensidade de uso diferem significativamente e não somente onde há menor quantidade de veículos.

Em termos de inventário, como a quantidade de veículos nessa categoria ainda é pequena, apenas 1,02% do total inspecionado, o impacto não será muito significativo no total das emissões, mas deve-se ter em mente que a tendência é de crescimento dessa frota em relação aos movidos a gasolina.

4.6 Caminhões diesel

A definição utilizada para caminhão diesel é a seguinte: veículo automotor do ciclo diesel destinado ao transporte de carga, com carroçaria e peso bruto total (PBT) superior a 3.856 kg.

Na Tabela 3 é apresentada a distribuição dos caminhões diesel da frota de São Paulo, segundo as faixas de peso bruto total.

A maior parcela dessa frota ficou com os caminhões leves (27,35%), seguido pelos semi-pesados (23,10%) e pesados (22,89%).

Os dados de inspeção da cidade de São Paulo não especificam o porte do caminhão diesel com essa subdivisão, e por esse motivo, não foi possível ajustar uma curva para cada tipo. Os

dados disponíveis possibilitam somente obter um ajuste para a intensidade de uso da frota de caminhões diesel da cidade de São Paulo como um todo.

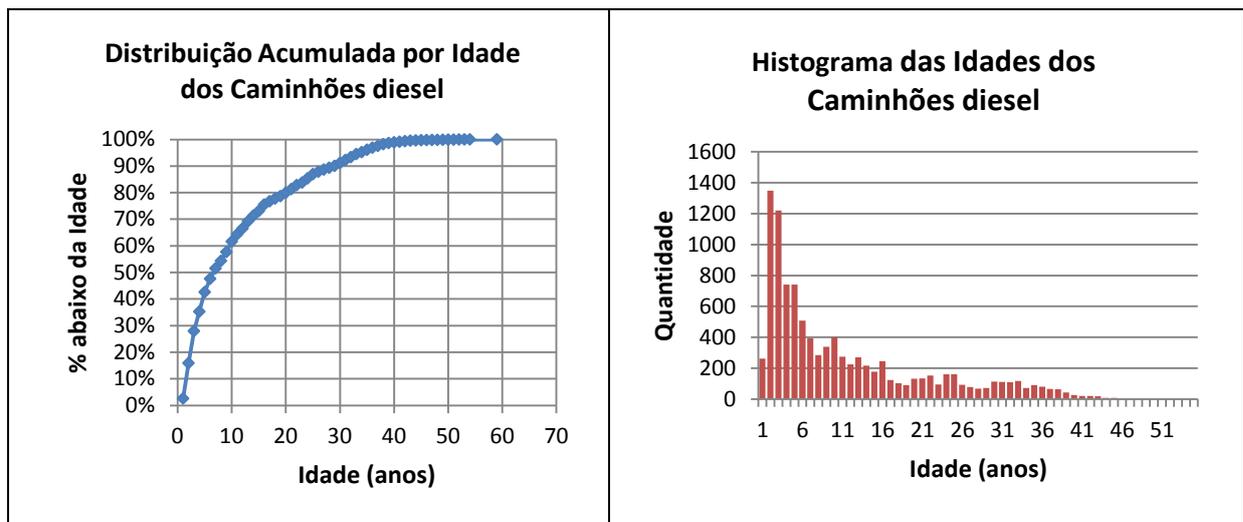
Tabela 3 - Distribuição da frota de caminhões diesel no estado de São Paulo em 2012

Caminhão	Faixa de peso	Quantidade	%
Semi-leve	3,8 t < PBT < 6 t	42928	9,80%
Leve	6 t ≤ PBT < 10 t	119788	27,35%
Médio	10 t ≤ PBT < 15 t	73814	16,86%
Semi-pesado	PBT ≥ 15t e PBTC < 40 t	101147	23,10%
Pesado	PBT ≥ 15t e PBTC ≥ 40 t	100238	22,89%
Total		437915	100,00%

Fonte: CETESB, 2013

A composição dessa frota por idade pode ser observada no Gráfico 19, onde estão apresentados o histograma das idades e a distribuição acumulada de frequências.

Gráfico 19 - Histograma e distribuição acumulada das idades dos caminhões diesel. São Paulo, 2010-2011



Fonte: São Paulo (2012, adaptado pelos autores)

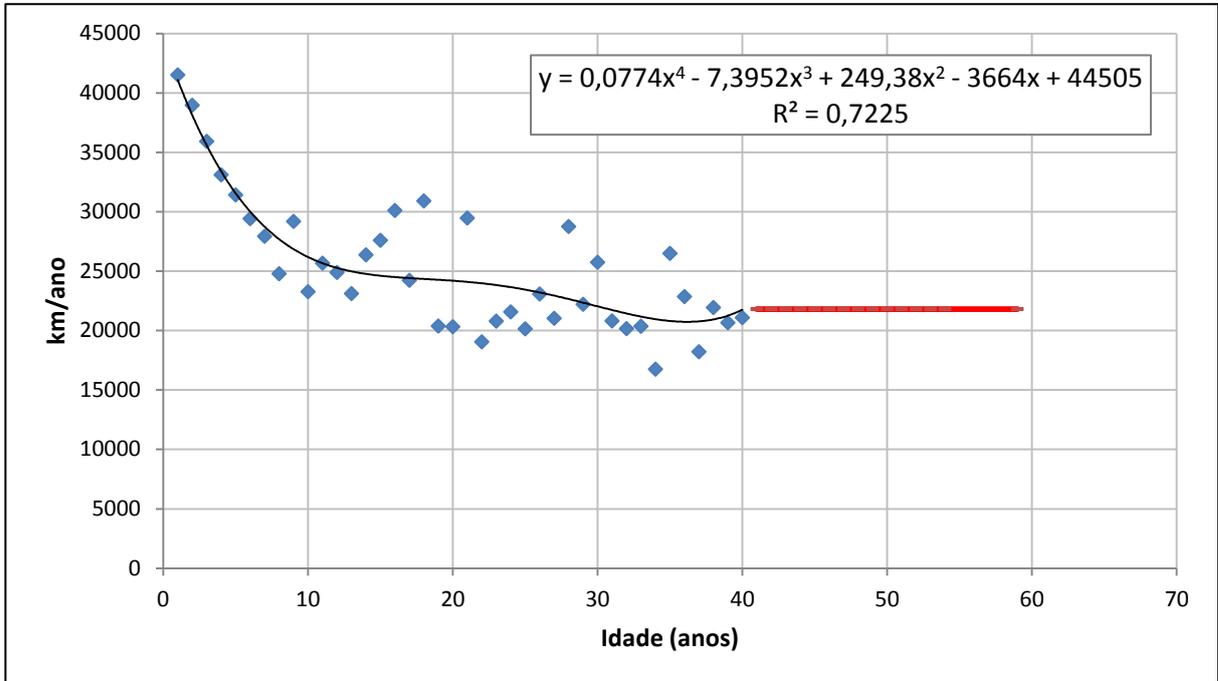
Essa frota de caminhões diesel é antiga, tendo sido observado que 20% dela tem mais de 20 anos de idade e é, portanto uma frota de interesse em termos de emissões.

O intervalo de idades utilizado para o ajuste foi de 1 a 40 anos para os caminhões diesel. Essa amplitude contempla 98,89% do total de caminhões diesel inspecionados.

No Gráfico 20 é apresentado o modelo ajustado através da técnica de regressão linear por mínimos quadrados.

A estimativa feita para veículos com idades superiores a 40 anos foi constante e igual a 21804 km/ano, limitada em 60 anos.

Gráfico 20 - Modelo ajustado para a intensidade de uso dos caminhões diesel (quilometragem média por ano segundo a idade)



Fonte: São Paulo (2012, adaptado pelos autores)

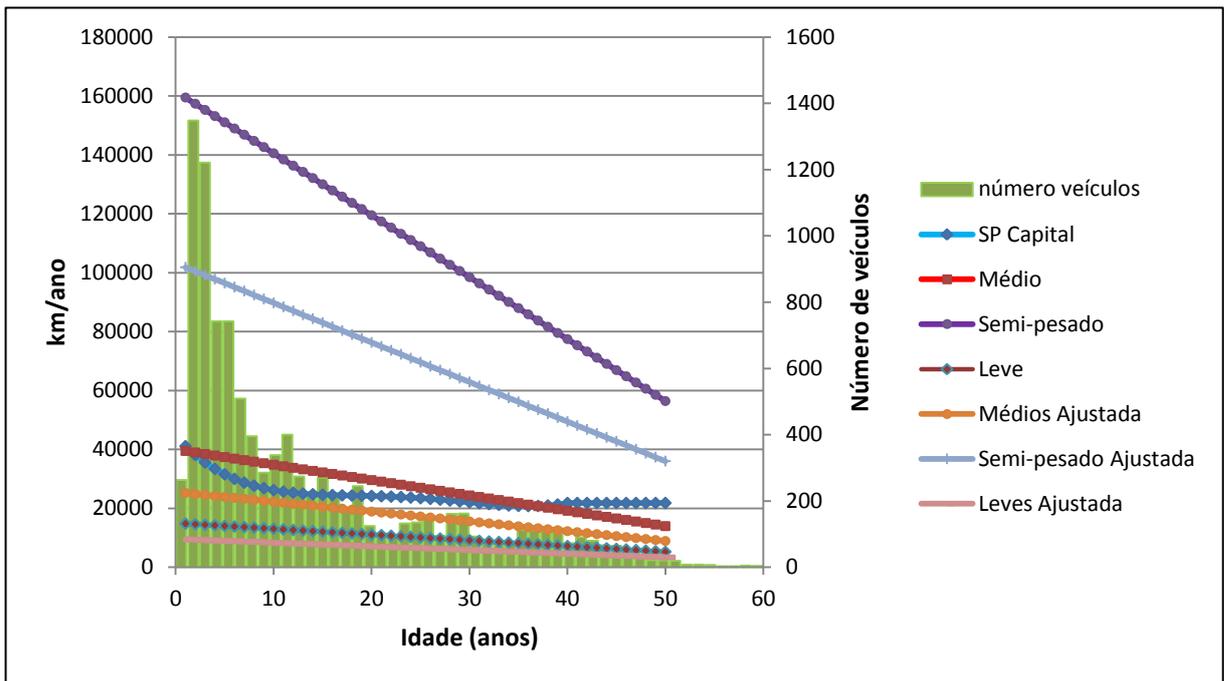
O modelo tem um ajuste muito bom até os dez anos de idade. A explicação global para idades até 40 anos foi de $r^2=72,25\%$, os maiores desvios ocorreram a partir da idade de 16 anos. Considerando somente os caminhões diesel com idade até 15 anos (73,08% do total inspecionado), o coeficiente de explicação do modelo polinomial de ordem 2 seria de $r^2=94,38\%$, ou seja, onde se situam a maioria dos veículos o ajuste é preciso.

Considerando essa amplitude de idades e o percentual de caminhões com até 15 anos, esses valores são bastante significativos para o objetivo pretendido.

No Gráfico 21 são apresentadas as curvas de intensidade de uso do Relatório de Emissões Veiculares no Estado de São Paulo – 2012 (CETESB, 2013). Além das curvas, foi incluído o histograma de frequências por idade para avaliação da magnitude do impacto devido às diferenças entre elas.

Esse gráfico se presta somente para apontar a necessidade de avaliação de algumas delas, notadamente as relativas aos caminhões semi-pesados e pesados (possuem a mesma curva) que representam juntos 45,99% da frota do estado de São Paulo.

Gráfico 21 - Curvas de intensidade de uso para os caminhões diesel. São Paulo – SP, 2010-2011



Fonte: São Paulo (2012, adaptado pelos autores)

Observando as curvas de intensidade de uso dos caminhões, se constata que as utilizadas para os caminhões pesados e semi-pesados superestimam a quilometragem média rodada anualmente. Veja que a frota de caminhões de São Paulo possui aproximadamente 46% de caminhões pesados ou semi-pesados e mesmo assim o modelo ajustado ficou mais próximo à curva para os caminhões médios do Ministério do Meio Ambiente (MMA). Os caminhões médios representam apenas 16% da frota dos caminhões inspecionados em São Paulo.

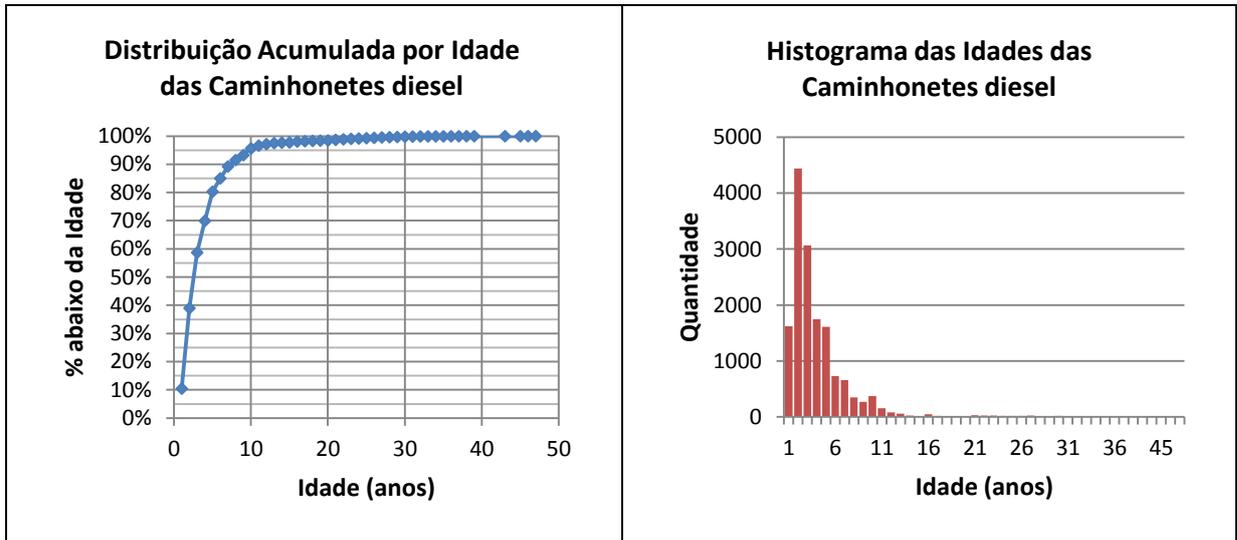
As curvas de IU ajustadas foram obtidas através do ajuste pela quantidade do combustível comercializada no ano.

4.7 Caminhonetes diesel

No caso das caminhonetes diesel, foi considerada a curva dos comerciais leves diesel publicadas pelo MMA, para comparação das curvas de intensidade de uso.

A composição dessa frota por idade pode ser observada no Gráfico 22 onde estão apresentados o histograma das idades e a distribuição acumulada de frequências.

Gráfico 22 - Histograma e distribuição acumulada das idades das caminhonetes diesel. São Paulo, 2010-2011



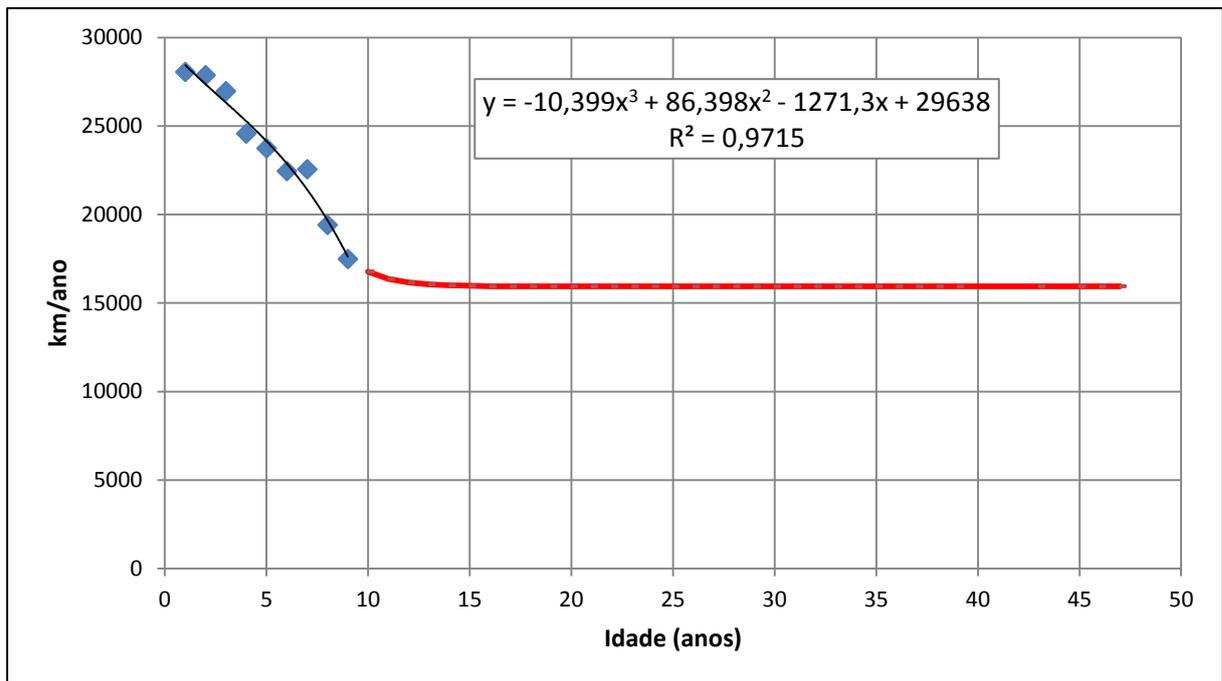
Fonte: São Paulo (2012, adaptado pelos autores)

Essa frota de caminhonetes diesel é nova, tendo sido observado que 95,62% dela tem até dez anos de idade. Constituem a maior parcela dos veículos diesel e é, portanto uma frota de interesse.

O intervalo utilizado de idades para o ajuste foi de até dez anos para as caminhonetes diesel. Essa amplitude contempla 95,62% do total de caminhonetes diesel inspecionadas na cidade de São Paulo.

No Gráfico 23 é apresentado o modelo ajustado através da técnica de regressão linear por mínimos quadrados.

Gráfico 23 - Modelo ajustado para a intensidade de uso das caminhonetes diesel (quilometragem média por ano segundo a idade)



Fonte: São Paulo (2012, adaptado pelos autores)

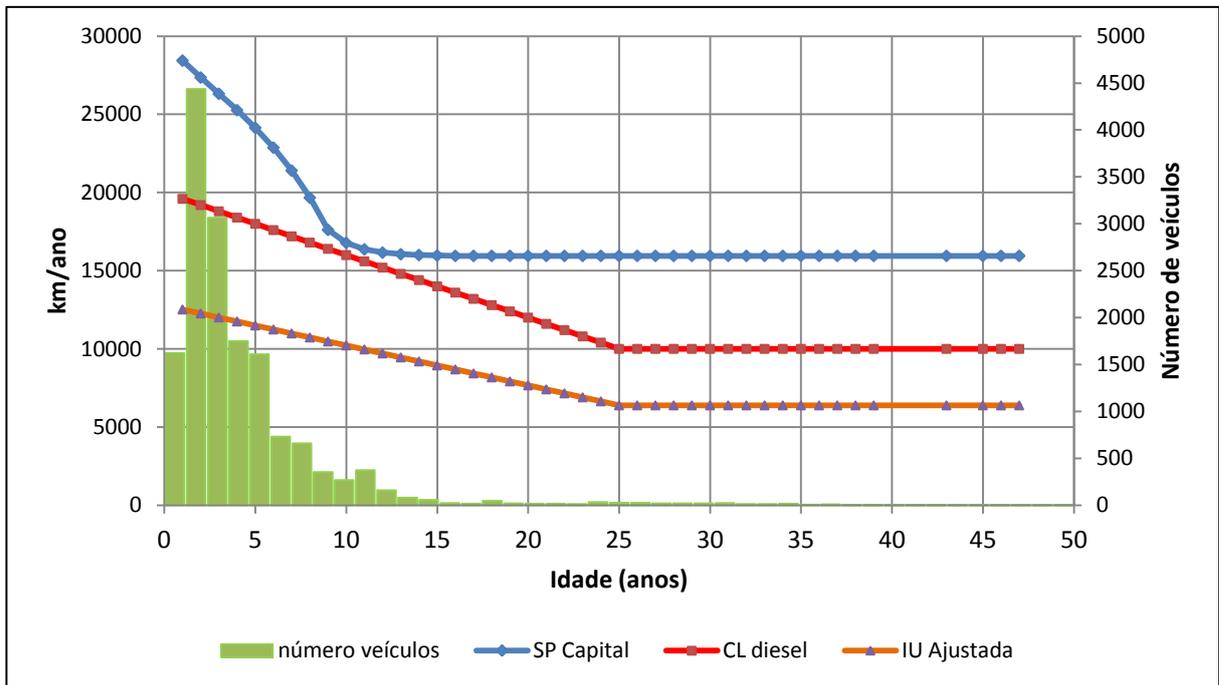
O modelo tem um ajuste bastante bom até os dez anos de idade, a explicação global para essas idades foi de $r^2=97,15\%$.

A extrapolação para veículos com mais de dez anos foi feita através de um comportamento assintótico. A constante assintótica foi igual a 15950 km/ano que é a estimativa para veículos com mais de dez anos.

No Gráfico 24 são apresentadas as curvas de intensidade de uso do Relatório de Emissões Veiculares no Estado de São Paulo – 2012 (CETESB, 2013) para os veículos comerciais leves diesel. Além das curvas, foi incluído o histograma de frequências por idade para avaliação da magnitude do impacto devido às diferenças entre elas.

A curva IU ajustada foi obtida através do ajuste pela quantidade do combustível comercializada no ano.

Gráfico 24 - Comparativo das Curvas de intensidade de uso para as caminhonetes diesel. São Paulo – SP, 2010-2011



Fonte: São Paulo (2012, adaptado pelos autores)

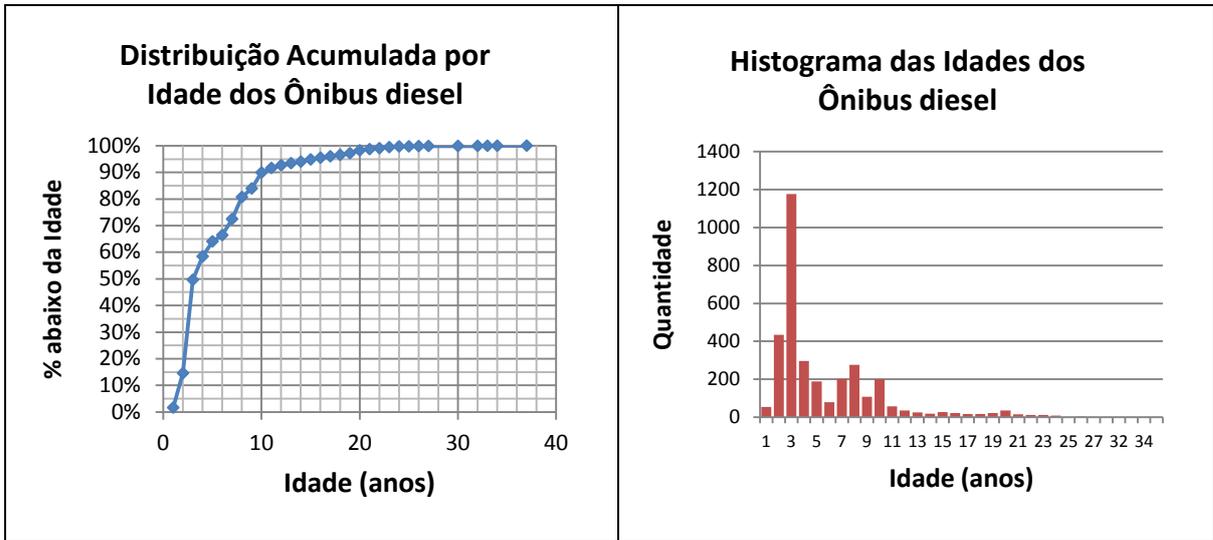
As diferenças entre as curvas são significativas e ocorreram principalmente onde se encontram a maioria das caminhonetes diesel, ou seja, até dez anos de idade. O impacto em termos de inventário é, portanto significativo. Nesse caso, as estimativas de km/ano estão subestimadas.

4.8 Ônibus diesel

Para finalidade de comparação das curvas, no caso dos ônibus diesel, foi considerada a curva do MMA para os ônibus urbanos, pois a maioria da frota da capital se destina ao uso urbano.

A composição dessa frota por idade pode ser observada no Gráfico 25, onde estão apresentados o histograma das idades e a distribuição acumulada de frequências.

Gráfico 25 - Histograma e distribuição acumulada das idades dos ônibus urbanos diesel. São Paulo, 2010-2011



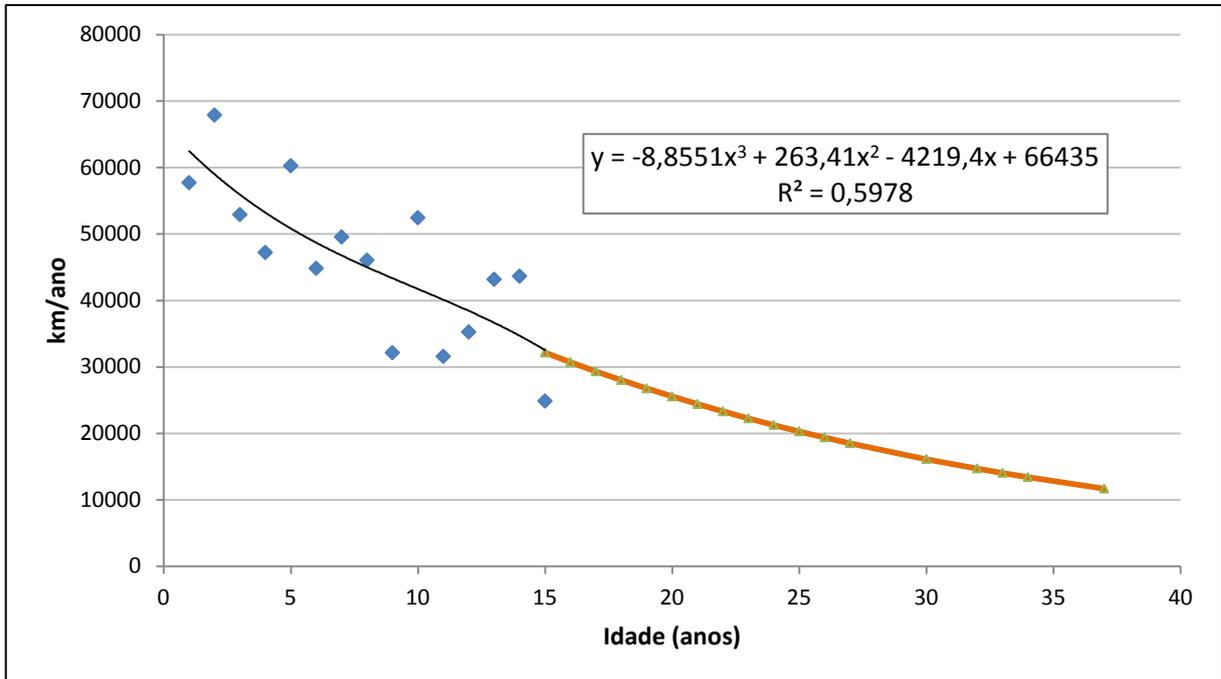
Fonte: São Paulo (2012, adaptado pelos autores)

A frota de ônibus urbanos da cidade de São Paulo tem, claramente, distribuição bimodal, ou seja, uma parcela formada por veículos mais novos, com até cinco anos – moda igual a três anos e outra cuja moda é igual a oito anos de idade, variando de seis a 12 anos.

Como 94,82% dos ônibus urbanos inspecionados tem 15 anos ou menos de idade, esse foi o horizonte de ajuste da curva de intensidade de uso.

No Gráfico 26 é apresentado o modelo ajustado através da técnica de regressão linear por mínimos quadrados.

Gráfico 26 - Modelo ajustado para a intensidade de uso dos ônibus urbanos diesel (quilometragem média por ano segundo a idade)



Fonte: São Paulo (2012, adaptado pelos autores)

Esse modelo foi ajustado por partes, separando em até 15 anos e acima de 15 anos de idade. Para os ônibus com mais de 15 anos o modelo é o da equação abaixo:

$$y = 64108 e^{-0,046x}$$

$$r^2 = 0,5936$$

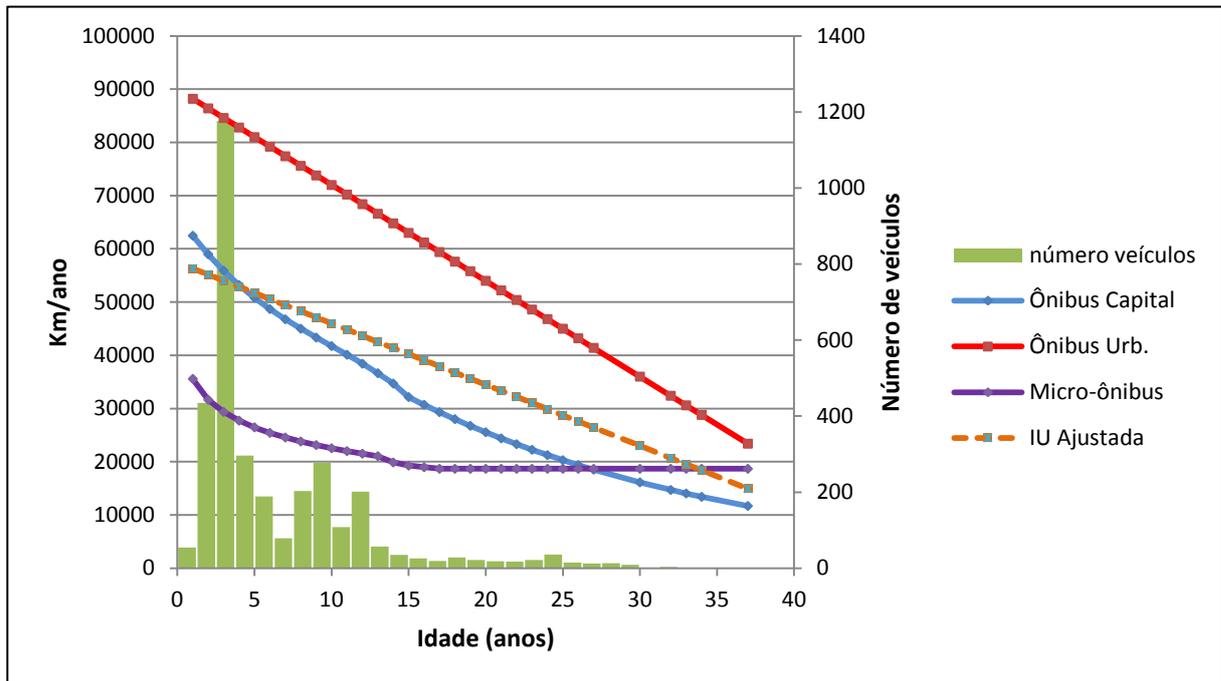
O modelo acima é válido para idades superiores a 15 anos, ou seja, para $x > 15$.

Os coeficientes de explicação dos dois modelos ficaram próximos a k que pode ser considerada a explicação global para idades de até 36 anos.

No Gráfico 27 são apresentadas as curvas de intensidade de uso do Relatório de Emissões Veiculares no Estado de São Paulo – 2012 (CETESB, 2013), para os ônibus urbanos diesel. Além das curvas, foi incluído o histograma de frequências por idade para avaliação da magnitude do impacto devido às diferenças entre elas.

Essas curvas podem ser comparadas diretamente, pois ambas são para a mesma categoria de veículos diesel.

Gráfico 27 - Comparativo das Curvas de intensidade de uso para os ônibus urbanos. São Paulo – SP, 2010-2011



Fonte: São Paulo (2012, adaptado pelos autores)

As diferenças entre as curvas são bastante significativas e ocorrem em todas as idades, a curva do MMA superestima a intensidade de uso dos ônibus urbanos diesel. O impacto nos cálculos do inventário é, portanto significativo.

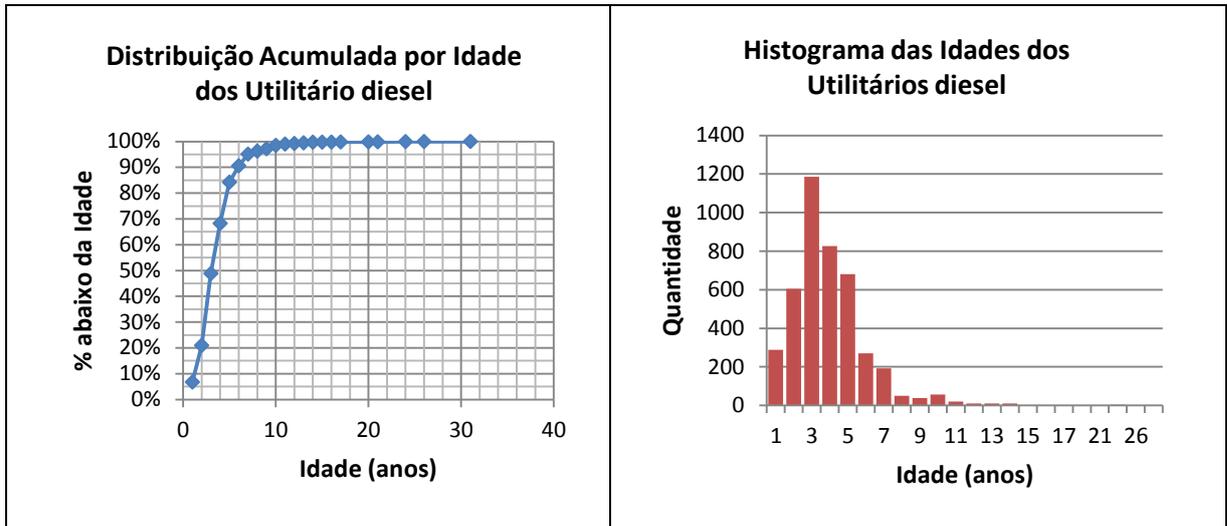
A curva IU ajustada foi obtida através do ajuste pela quantidade do combustível comercializada no ano.

4.9 Utilitários diesel

Para os utilitários diesel, para finalidade de comparação das curvas de Intensidade de uso, foi considerada a curva do MMA para os comerciais Leves diesel.

A composição dessa frota por idade pode ser observada no Gráfico 28 onde estão apresentados o histograma das idades e a distribuição acumulada de frequências.

Gráfico 28 - Histograma e distribuição acumulada das idades dos utilitários leves diesel. São Paulo, 2010-2011

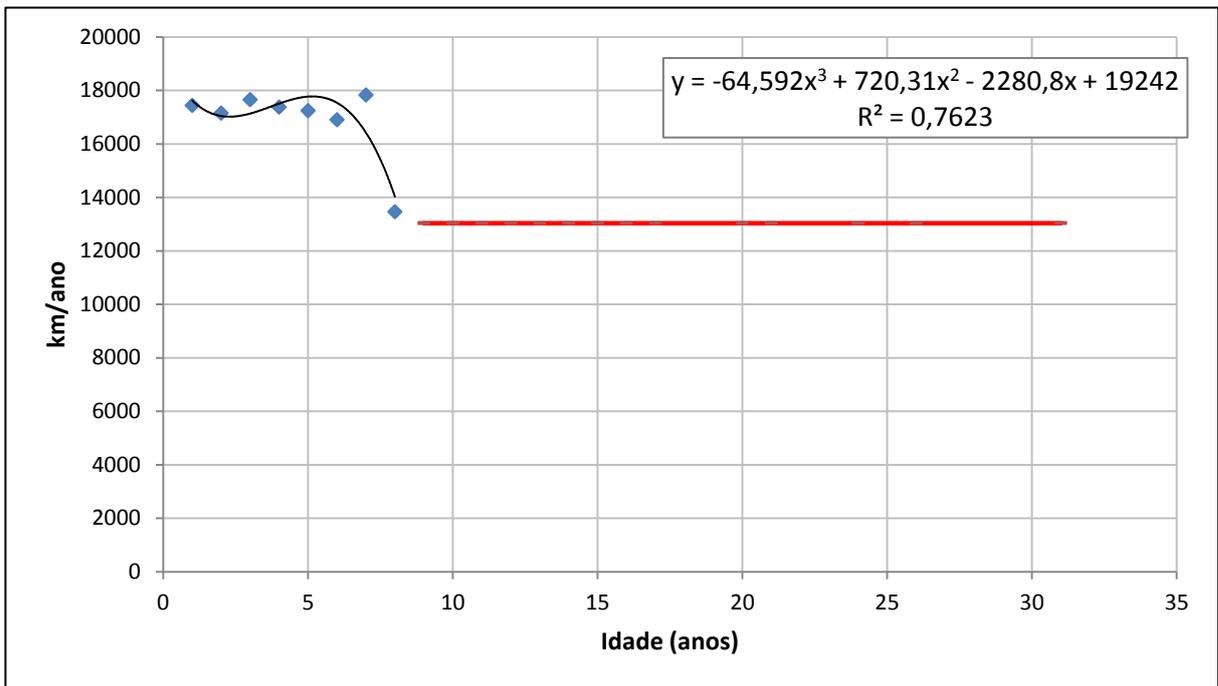


Fonte: São Paulo (2012, adaptado pelos autores)

A frota de utilitários leves diesel da cidade de São Paulo tem distribuição concentrada em até dez anos de idade. Foi constatado que 96,26% dos veículos dessa categoria, inspecionados em São Paulo, tem até oito anos de idade. São veículos mais novos em relação às outras categorias diesel.

No Gráfico 29 é apresentado o modelo ajustado através da técnica de regressão linear por mínimos quadrados. Como essa frota é relativamente nova, essa curva de intensidade de uso deve ser reavaliada periodicamente.

Gráfico 29 - Modelo ajustado para a intensidade de uso dos utilitários leves diesel (quilometragem média por ano segundo a idade)



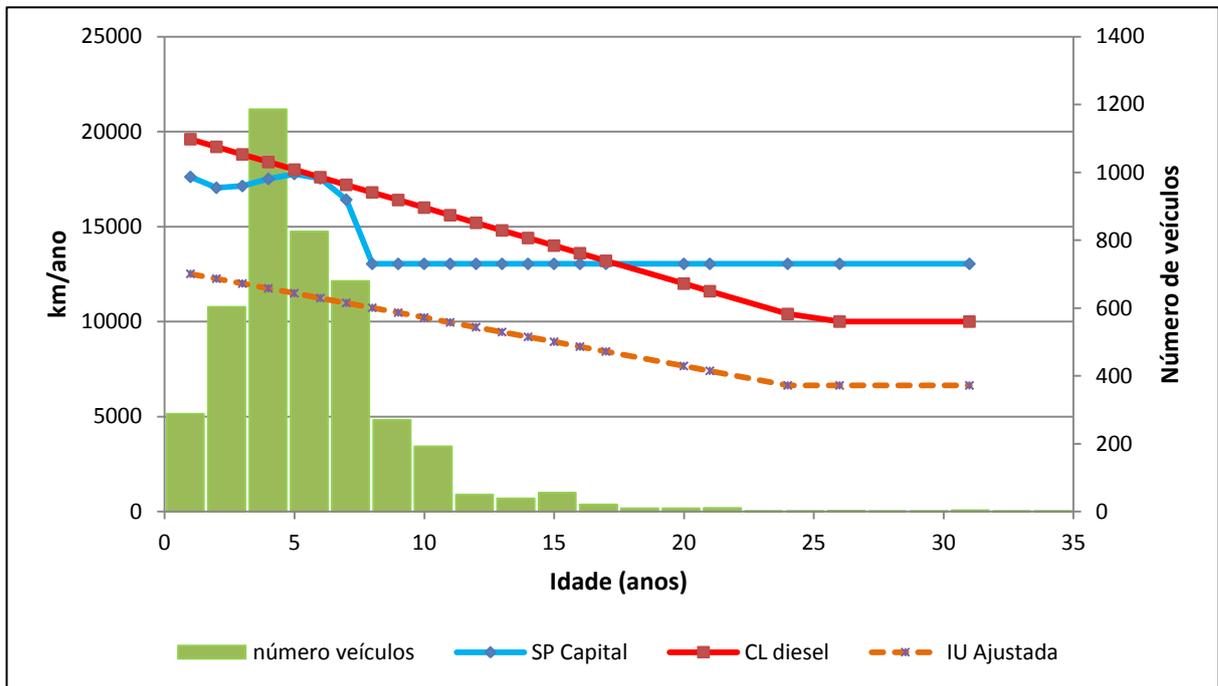
Fonte: São Paulo (2012, adaptado pelos autores)

Esse modelo foi ajustado para veículos com até oito anos. Uma constante deve ser utilizada para idades superiores a essa idade. A constante é igual a 13040 km/ano. O coeficiente de explicação do modelo foi igual a $r^2=76,23\%$.

No Gráfico 30 é apresentada a curva de intensidade de uso do Relatório de Emissões Veiculares no estado de São Paulo – 2012 (CETESB, 2013), para os comerciais leves diesel e a curva obtida com os dados da cidade de São Paulo. Além das curvas, foi o histograma de frequências por idade para avaliação da magnitude do impacto devido às diferenças entre elas.

A curva IU ajustada foi obtida através do ajuste pela quantidade do combustível comercializada no ano.

Gráfico 30 - Comparativo das Curvas de intensidade de uso para os utilitários leves diesel. São Paulo, 2010-2011



Fonte: São Paulo (2012, adaptado pelos autores)

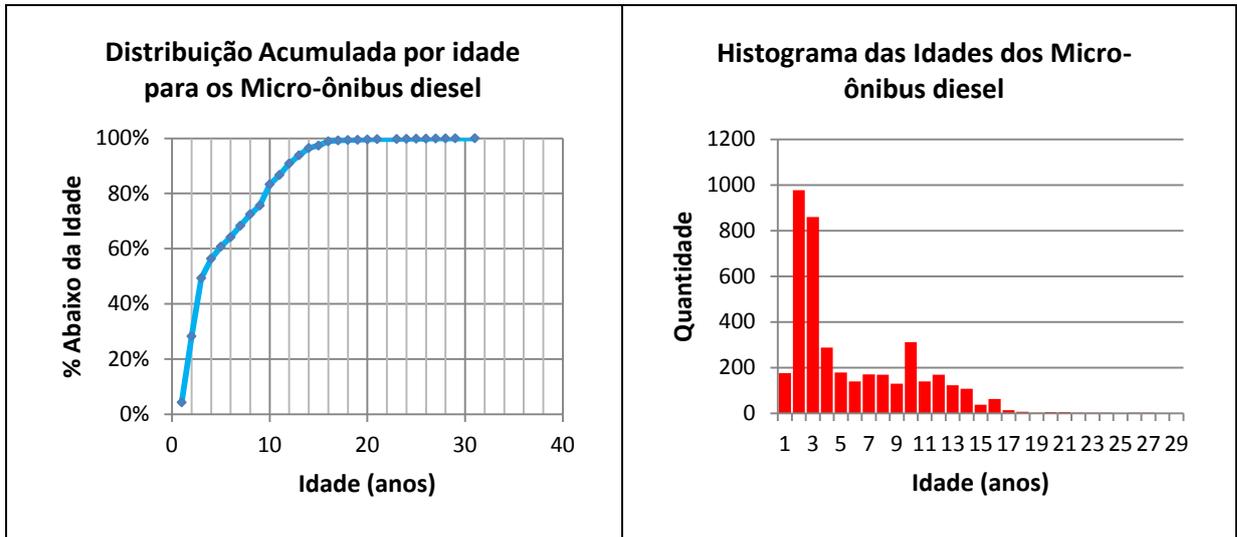
A diferença mais acentuada aconteceu com os veículos de oito anos de idade. O impacto das diferenças no inventário não deve ser significativo, pois o tamanho dessa frota não é elevado, ela representa apenas 12,8% dos veículos diesel, e as curvas são próximas para as idades mais frequentes. Essas curvas precisam ser reavaliadas futuramente garantindo a correta intensidade de uso dessa categoria, inclusive com o aumento de sua longevidade.

4.10 Micro-ônibus diesel

No caso dos micro-ônibus diesel, para finalidade de comparação das curvas de Intensidade de uso, foi considerada a curva do MMA para os ônibus urbanos diesel tal como é feito no inventário.

A composição dessa frota por idade pode ser observada no Gráfico 31 onde estão apresentados o histograma das idades e a distribuição acumulada de frequências.

Gráfico 31 - Histograma e distribuição acumulada das idades dos micro-ônibus diesel. São Paulo, 2010-2011



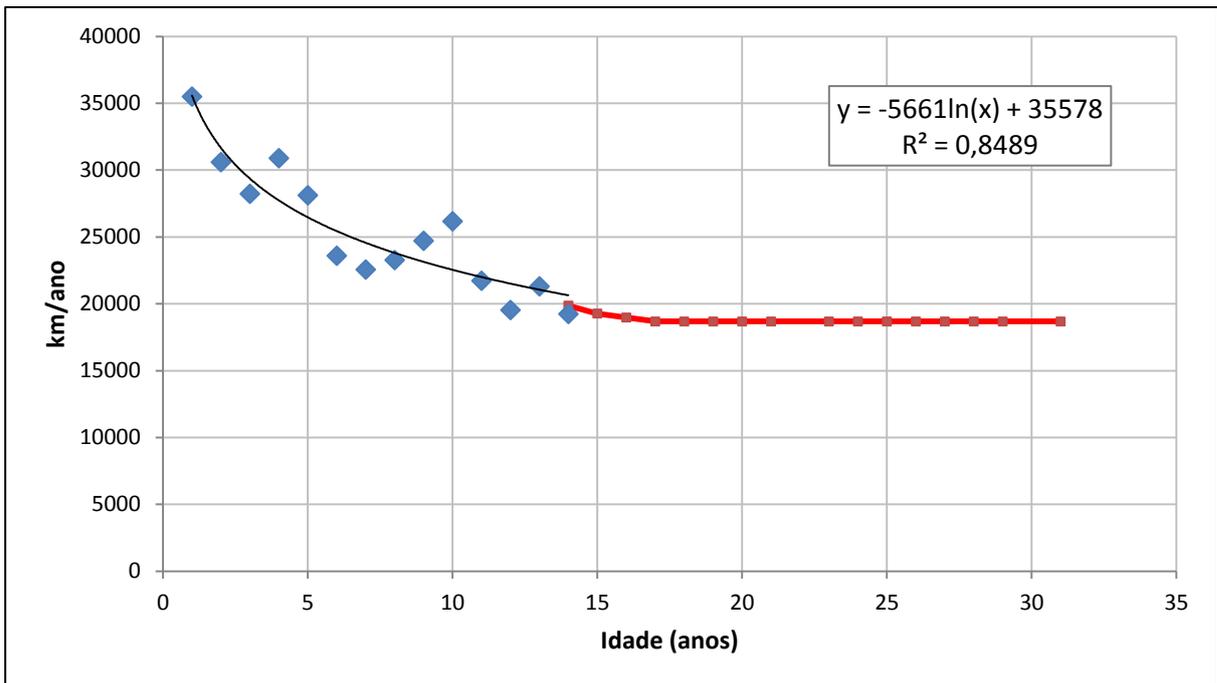
Fonte: São Paulo (2012, adaptado pelos autores)

A frota de micro-ônibus diesel da cidade de São Paulo tem distribuição bimodal sendo a maior em dois anos de idade e a maior em dez anos. Esse comportamento também foi observado nos ônibus urbanos da cidade de São Paulo.

Constatou-se que 96,45% dos veículos dessa categoria, inspecionados em São Paulo, tem até 14 anos de idade. A maioria é de veículos mais novos, 49,33% tem até três anos de idade.

No Gráfico 32 está apresentado o modelo ajustado através da técnica de regressão linear por mínimos quadrados. Para idades superiores a 14 anos uma constante igual a 18680 km/ano deve ser utilizada para extrapolação.

Gráfico 32 - Modelo ajustado para a intensidade de uso dos micro-ônibus diesel



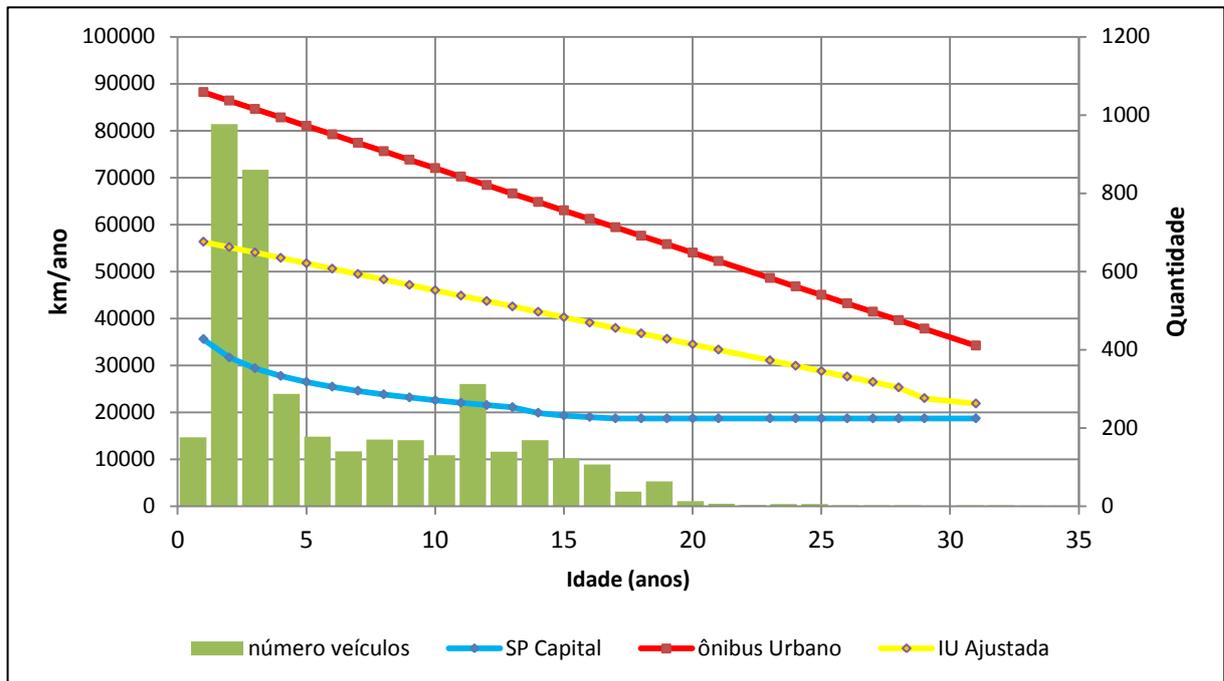
Fonte: São Paulo (2012, adaptado pelos autores)

A amplitude de idades utilizada para finalidade de ajuste do modelo foi de até 14 anos, o modelo que melhor descreveu o comportamento da intensidade de uso dos micro-ônibus foi o logaritmo, com coeficiente de explicação de 84,89%.

No Gráfico 33 é apresentada a curva de intensidade de uso do Relatório de Emissões Veiculares no Estado de São Paulo – 2012 (CETESB, 2013), para os ônibus urbanos diesel (utilizada no inventário para essa categoria) e aquela obtida com base nos dados da cidade de São Paulo. Além das curvas, foi incluído o histograma de frequências por idade para avaliação da magnitude do impacto devido às diferenças entre elas.

A curva IU ajustada foi obtida através do ajuste pela quantidade do combustível comercializada no ano.

Gráfico 33 - Comparativo das curvas de intensidade de uso para os micro-ônibus diesel. São Paulo – SP, 2010-2011



Fonte: São Paulo (2012, adaptado pelos autores)

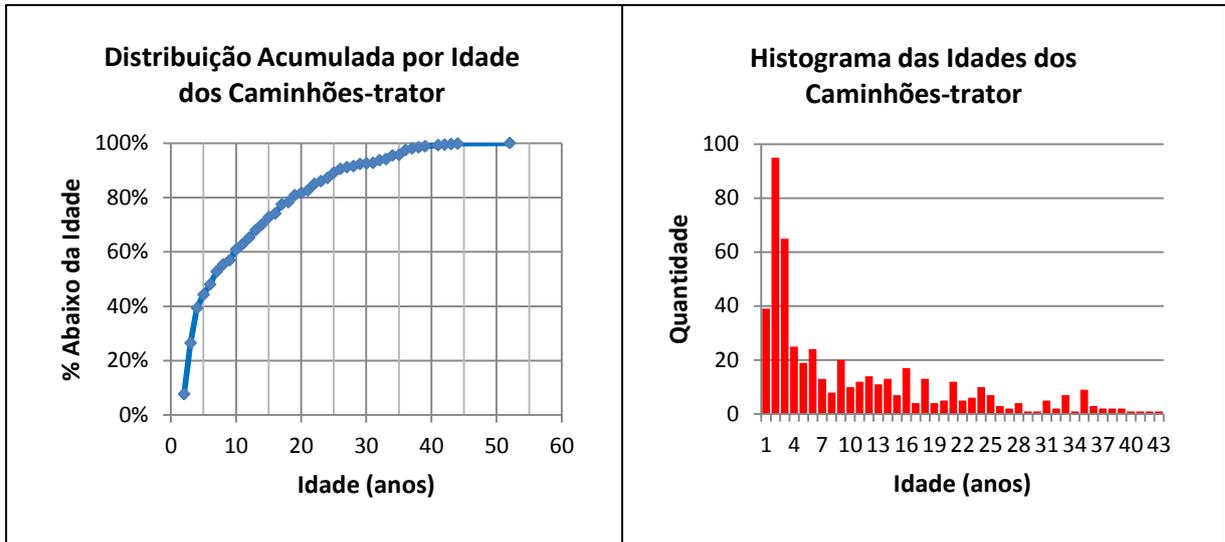
A curva empregada pelo MMA para estimar a intensidade de uso dos ônibus urbanos superestima os valores efetivamente observados da frota de micro-ônibus na cidade de São Paulo. Isso ocorre para todas as idades de veículo. O ajuste feito pela quantidade total comercializada de combustível igualmente aponta para a superestimação das quilometragens, procurando reduzir os valores básicos.

As diferenças são grandes em magnitude e levam a impactos significativos no inventário das emissões dessa categoria de veículos diesel.

4.11 Caminhão trator

A composição dessa frota por idade pode ser observada no Gráfico 34 onde estão apresentados o histograma das idades e a distribuição acumulada de frequências.

Gráfico 34 - Histograma e distribuição acumulada das idades dos caminhões-trator. São Paulo, 2010-2011



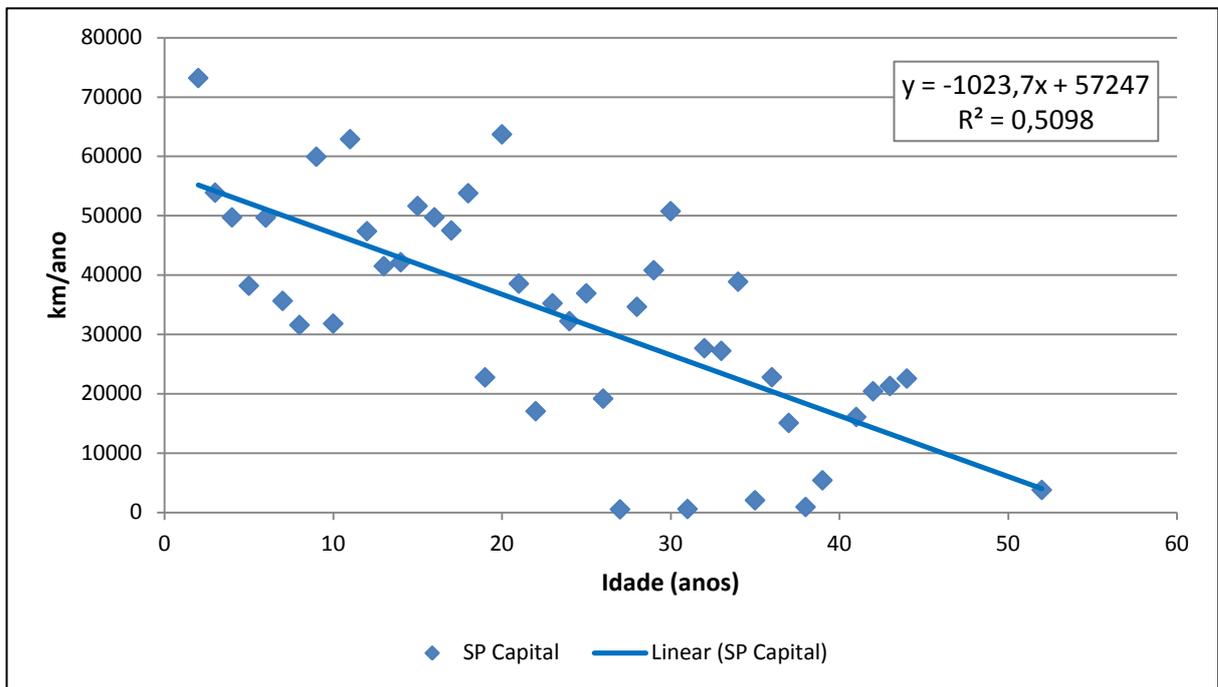
Fonte: São Paulo (2012, adaptado pelos autores)

A frota de caminhões-trator da cidade de São Paulo tem distribuição etária bastante assimétrica, indicando a presença de veículos com idades elevadas.

Constatou-se que apenas 39,1% têm até 10 anos de idade dentre os inspecionados em São Paulo. A maioria é de veículos mais antigos, dentre os inspecionados, 18,38% tinham mais de 20 anos de idade.

No Gráfico 35 é apresentado o modelo ajustado através da técnica de regressão linear por mínimos quadrados.

Gráfico 35 - Modelo ajustado para a intensidade de uso dos caminhões-trator (quilometragem média por ano segundo a idade)



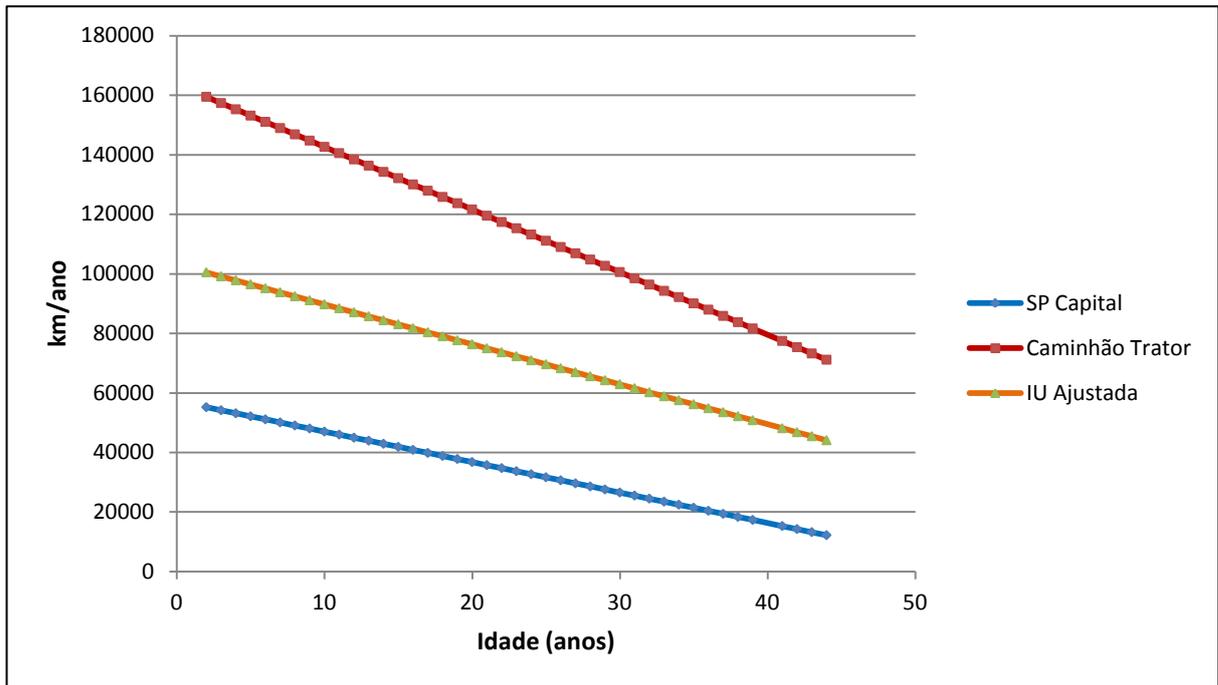
Fonte: São Paulo (2012, adaptado pelos autores)

A amplitude de idades utilizada para finalidade de ajuste do modelo foi até 52 anos de idade. O modelo que melhor descreveu o comportamento da intensidade de uso dos caminhões-trator foi o linear (reta), com coeficiente de explicação de 50,98%. Deve-se observar que o número de caminhões para cada idade foi bastante reduzido, fato que eleva a variabilidade das médias, o que refletiu no baixo coeficiente de explicação do modelo. Esse modelo se presta então para finalidade de situar os valores de km/ano rodados pelos caminhões-trator da cidade de São Paulo em relação aos adotados pelo MMA no seu inventário.

No Gráfico 36 é apresentada a curva de intensidade de uso do Relatório de Emissões Veiculares no estado de São Paulo – 2012 (CETESB, 2013), para os caminhões pesados utilizada no inventário e aquela obtida com base nos dados da cidade de São Paulo sob a denominação “Caminhão-trator”, cuja capacidade de carga é equivalente à primeira. Além das curvas, foi o histograma de frequências por idade para avaliação da magnitude do impacto devido às diferenças entre elas.

A curva IU ajustada foi obtida através do ajuste pela quantidade do combustível comercializada no ano.

Gráfico 36 - Comparativo das curvas de intensidade de uso para os caminhões-trator. São Paulo – SP, 2010-2011



Fonte: São Paulo (2012, adaptado pelos autores)

A curva empregada pelo MMA para estimar a intensidade de uso dos caminhões-trator superestima os valores efetivamente observados na cidade de São Paulo. Isso ocorre para todas as idades dos veículos. Os ajustes da intensidade de uso pelo consumo total observado evidencia essa superestimação da curva adotada pelo MMA.

As diferenças são grandes em magnitude e levam a impactos significativos no inventário das emissões dessa categoria de veículos diesel.

4.12 Motociclos

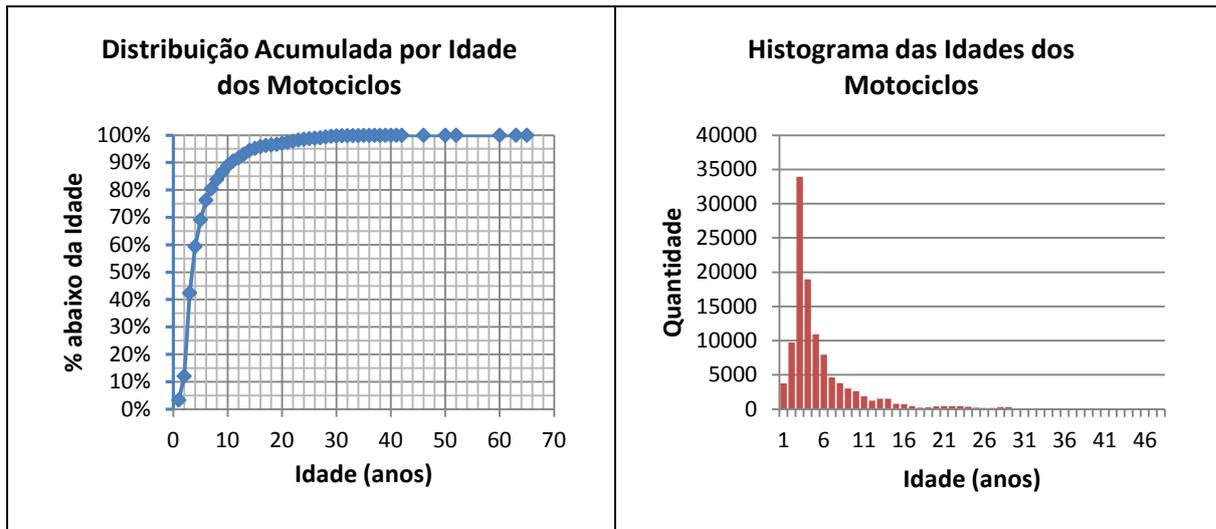
O MMA levantou somente uma curva de intensidade de uso para todas as motocicletas e similares. Essa curva é empregada atualmente tanto para os motociclos de menor cilindrada (até 250cc), quanto para aqueles de maior cilindrada/potência (acima de 250cc), muito embora as características de uso sejam bem diversas, as menores são utilizadas, preferencialmente, para trabalho/transporte/motofrete enquanto as maiores são utilizadas para lazer/viagens.

A situação ideal seria a de ajuste de curvas de intensidade de uso separando essas duas faixas de cilindrada dos motociclos, o que refletiria melhor suas características de uso e respectivas intensidades de uso. As motonetas aparecem como outra categoria com característica de uso diferente dos motociclos.

Como os dados fornecidos são separados em duas categorias de veículos de duas rodas: motocicletas e motonetas, as curvas foram ajustadas segundo essas categorias e a comparação foi efetuada com a curva única adotada pelo MMA.

No Gráfico 37 é apresentada a composição dessa frota por idade, através da distribuição acumulada de frequências e o histograma das idades.

Gráfico 37 - Histograma e distribuição acumulada das idades dos motocicletas – São Paulo – 2010/2011



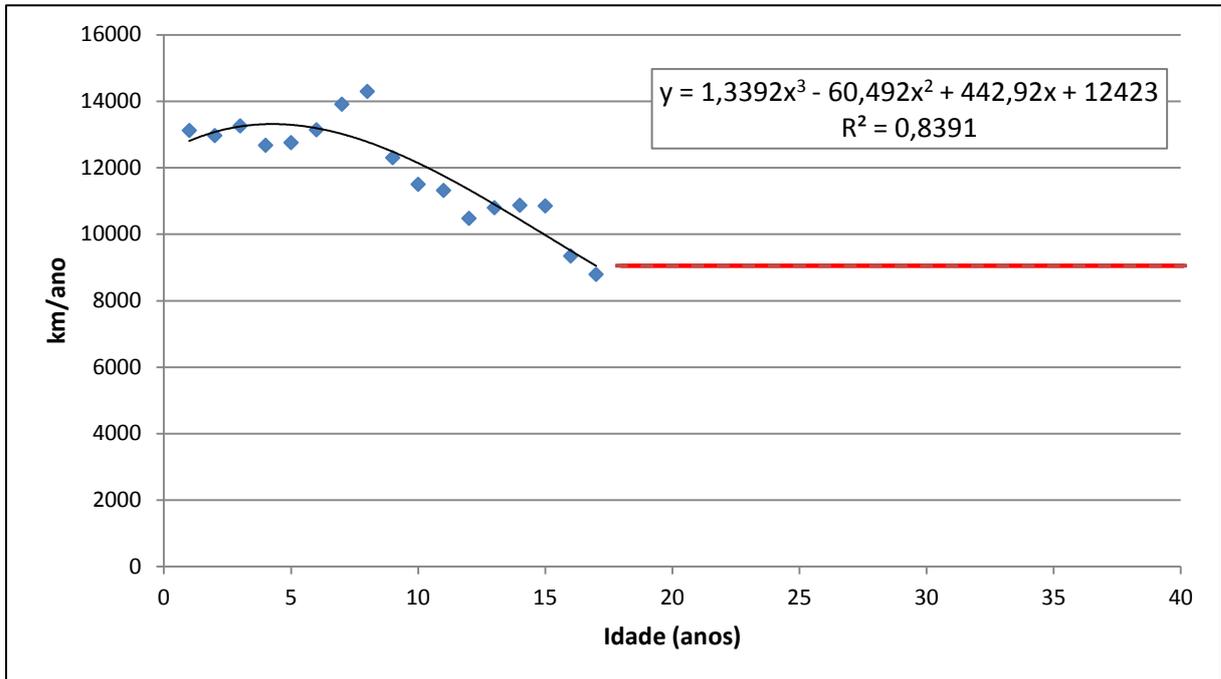
Fonte: São Paulo (2012, adaptado pelos autores)

A frota dos motocicletas inspecionados na cidade de São Paulo tem distribuição concentrada em até dez anos de idade, a mediana ficou em 3,6 anos. Verifica-se que 96,27% dos veículos dessa categoria têm até 17 anos de idade.

No Gráfico 38 é apresentado o modelo ajustado através da técnica de regressão linear por mínimos quadrados.

Como essa frota contém motos de todas as cilindradas, nossa recomendação é que seja oportunamente subdividida em duas faixas de cilindrada: até 250cc e acima de 250cc, pois suas características de uso são distintas.

Gráfico 38 - Modelo ajustado para a intensidade de uso de motocicletas (quilometragem média segundo a idade)



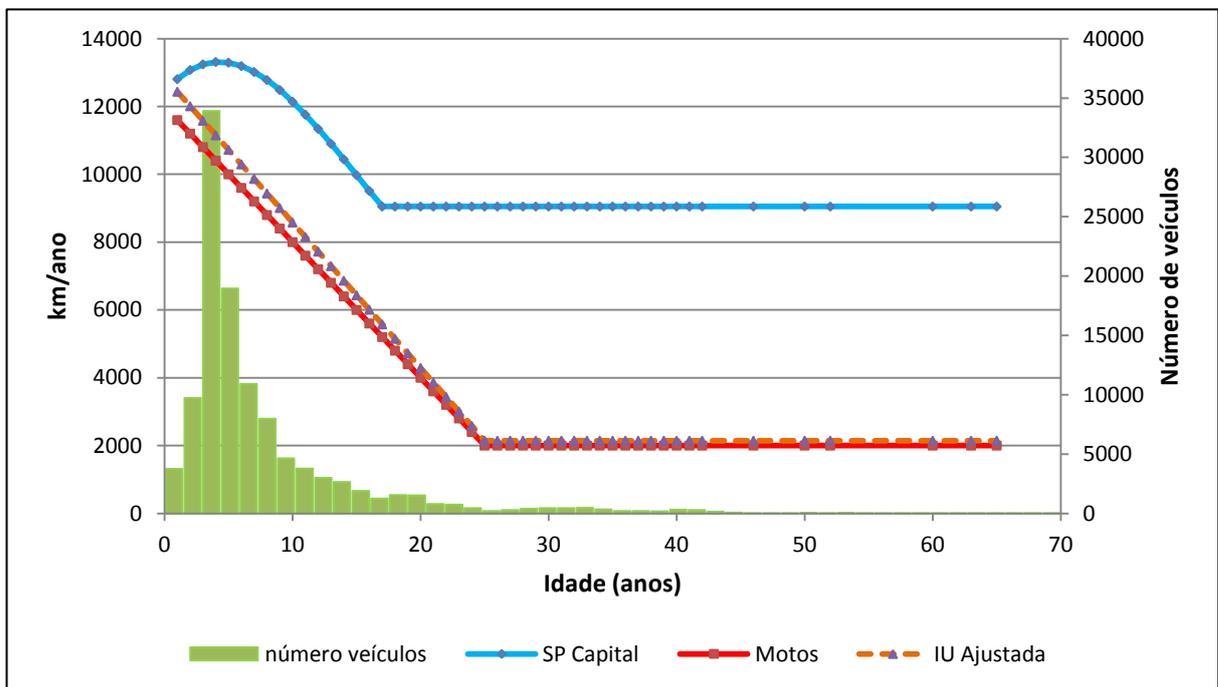
Fonte: São Paulo (2012, adaptado pelos autores)

Esse modelo foi ajustado para motocicletas com até 17 anos de idade. Uma constante deve ser utilizada para idades superiores a essa. A constante é igual a 9050 km/ano. O coeficiente de explicação do modelo foi igual a $r^2=83,91\%$.

No Gráfico 39 é apresentada a curva de intensidade de uso do Relatório de Emissões Veiculares no Estado de São Paulo – 2012 (CETESB, 2013), para motocicletas e a curva obtida com os dados da cidade de São Paulo. Além das curvas, foi incluído o histograma de frequências por idade para avaliação da magnitude do impacto devido às diferenças entre elas.

A curva IU ajustada foi obtida através do ajuste pela quantidade do combustível comercializada no ano.

Gráfico 39 - Comparativo das curvas de intensidade de uso para motocicletas. São Paulo – SP, 2010-2011



Fonte: São Paulo (2012, adaptado pelos autores)

A curva ajustada para os motocicletas diferiu significativamente daquela adotada pelo MMA para as motocicletas de maneira geral. As diferenças são marcantes para todas as idades. A curva do MMA subestima a quilometragem média anual rodada pelos motociclistas. O impacto nos cálculos do inventário dessa categoria é seguramente significativo.

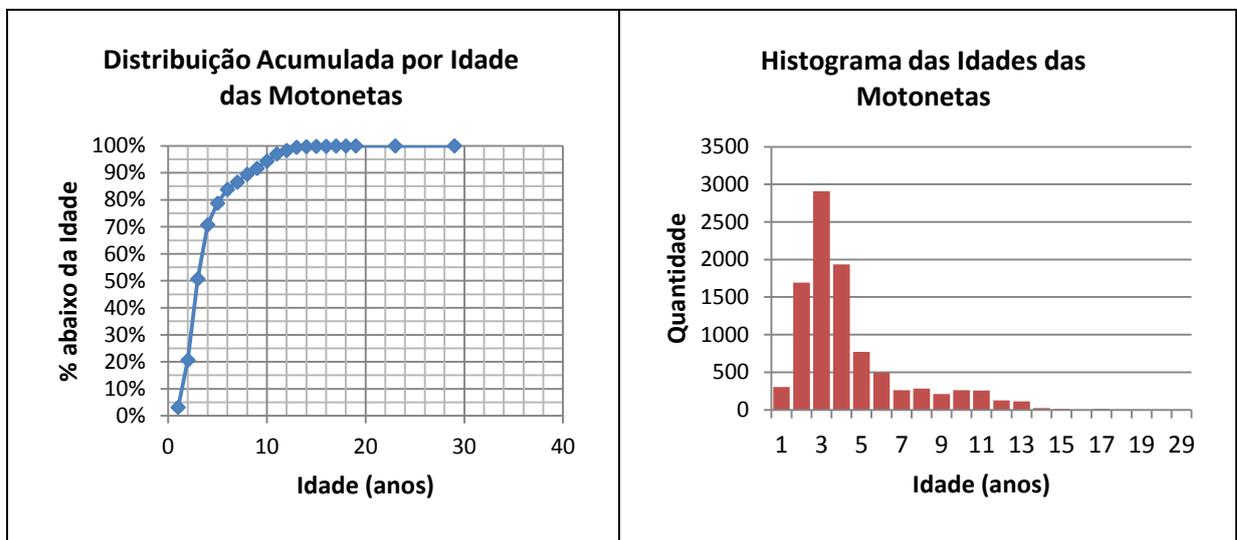
4.13 Motonetas

Essa categoria de veículo de duas rodas engloba os scooters, as lambrettas e as vespas. A maioria possui baixa cilindrada e tem característica de uso diferente das motocicletas de baixa cilindrada (até 150cc), utilizadas pelos motofretes. Elas são destinadas para ir/vir do trabalho e/ou escola como meio de transporte. Não são utilizadas para viagens.

Como o MMA utiliza somente uma curva para todos os tipos de veículo de duas rodas, a comparação da curva de intensidade de uso das motonetas será feita contra a curva de motocicletas.

No Gráfico 40 é apresentada a composição dessa frota por idade, através da distribuição acumulada de frequências e o histograma das idades.

Gráfico 40 - Histograma e distribuição acumulada das idades das motonetas. São Paulo, 2010-2011

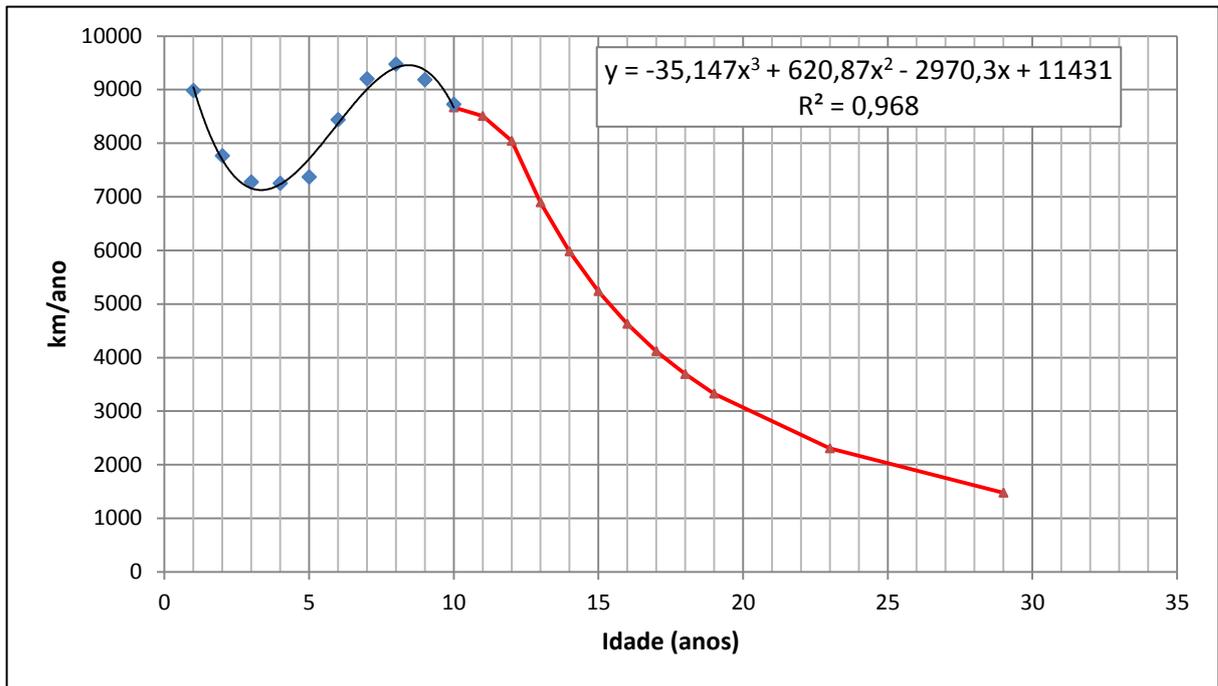


Fonte: São Paulo (2012, adaptado pelos autores)

A frota de motonetas inspecionados na cidade de São Paulo tem distribuição concentrada em até dez anos de idade, a mediana foi de três anos. Foi constatado que 94,35% dos veículos dessa categoria têm idade até 10 anos.

No Gráfico 41 é apresentado o modelo ajustado através da técnica de regressão linear por mínimos quadrados.

Gráfico 41 - Modelo ajustado para a intensidade de uso de motonetas (quilometragem média por ano segundo a idade)



Fonte: São Paulo (2012, adaptado pelos autores)

Esse modelo foi ajustado por partes, até dez anos e acima de dez anos de idade. Para as motonetas com mais de dez anos o modelo é o da equação abaixo:

$$y = 951491,4958 x^{-1,9209}$$

$$R^2 = 0,6204$$

O valor de Y é a estimativa de km/ano para a idade x.

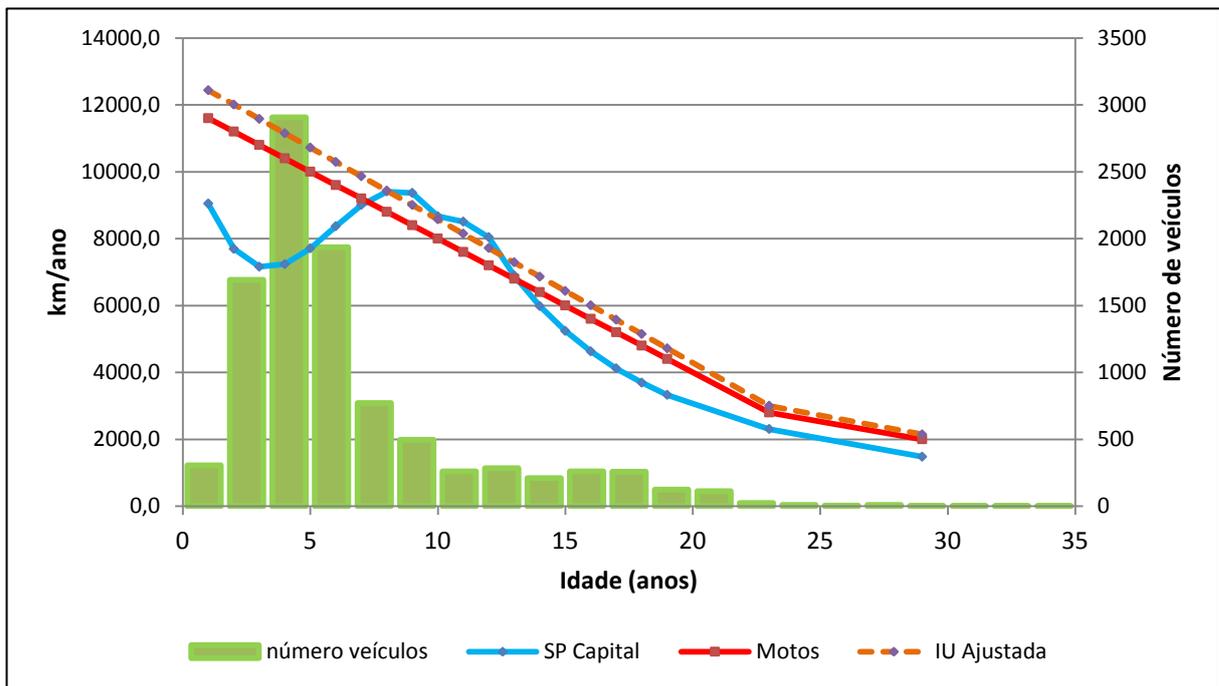
O coeficiente de explicação do primeiro modelo foi de $r^2=96,8\%$, que é onde se encontram a maioria das motonetas. A calda do modelo, para descrever o comportamento das 5,65% que tem mais de dez anos, teve explicação igual a 62,04%.

O modelo para descrever o comportamento da intensidade de uso das motonetas teve, portanto ajuste significativo.

No Gráfico 42 é apresentada a curva de intensidade de uso do Relatório de Emissões Veiculares no Estado de São Paulo – 2012 (CETESB, 2013), para motocicletas em geral e a obtida com base nos dados da cidade de São Paulo. Além das curvas, foi incluído o histograma de frequências por idade para avaliação da magnitude do impacto devido às diferenças entre elas.

A curva IU ajustada foi obtida através do ajuste pela quantidade do combustível comercializada no ano.

Gráfico 42 - Comparativo das curvas de intensidade de uso para motonetas. São Paulo – SP, 2010-2011



Fonte: São Paulo (2012, adaptado pelos autores)

Conforme podemos observar no Gráfico 42, as maiores diferenças entre as curvas aconteceram para idades de até seis anos, faixa que contempla a maioria da frota de motonetas – 83,86%.

O impacto nos cálculos do inventário é, portanto significativo para essa categoria de veículos de duas rodas. Em termos globais (toda a frota) o impacto é pequeno, pois a quantidade desse tipo de veículos relativamente aos demais é pequena, apenas 8% da frota de veículos de duas rodas e 0,52% em relação a toda a frota de veículos.

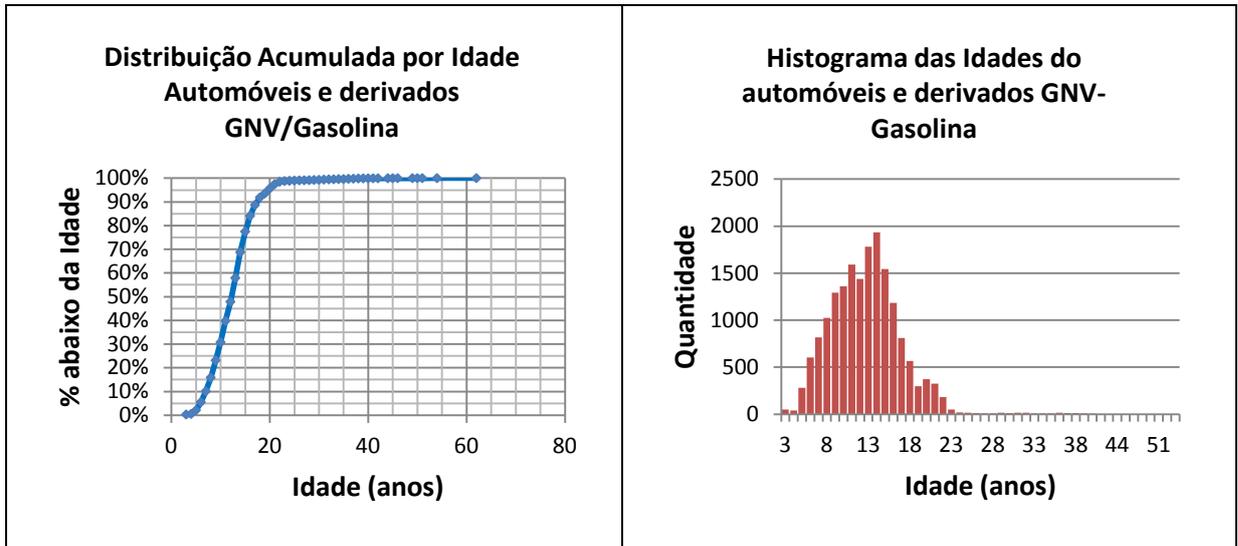
Há tendência de crescimento dessa categoria, pois um novo tipo de usuário está se consolidando no país (MAIO, [2012?]).

4.14 Automóveis e derivados a gasolina convertidos para Gás Natural Veicular (GNV)

Essa categoria de veículos possui tendência de decréscimo de sua participação na frota de veículos automotores de São Paulo. Ela possui característica diferenciada em relação aos similares a gasolina, seja pelo perfil etário, seja pela intensidade de uso.

No Gráfico 43 é apresentada a distribuição acumulada de frequência por idades e respectivo histograma dos automóveis e derivados a gasolina e convertidos para GNV.

Gráfico 43 - Histograma e distribuição acumulada das idades dos automóveis a gasolina convertidos para GNV. São Paulo, 2010-2011

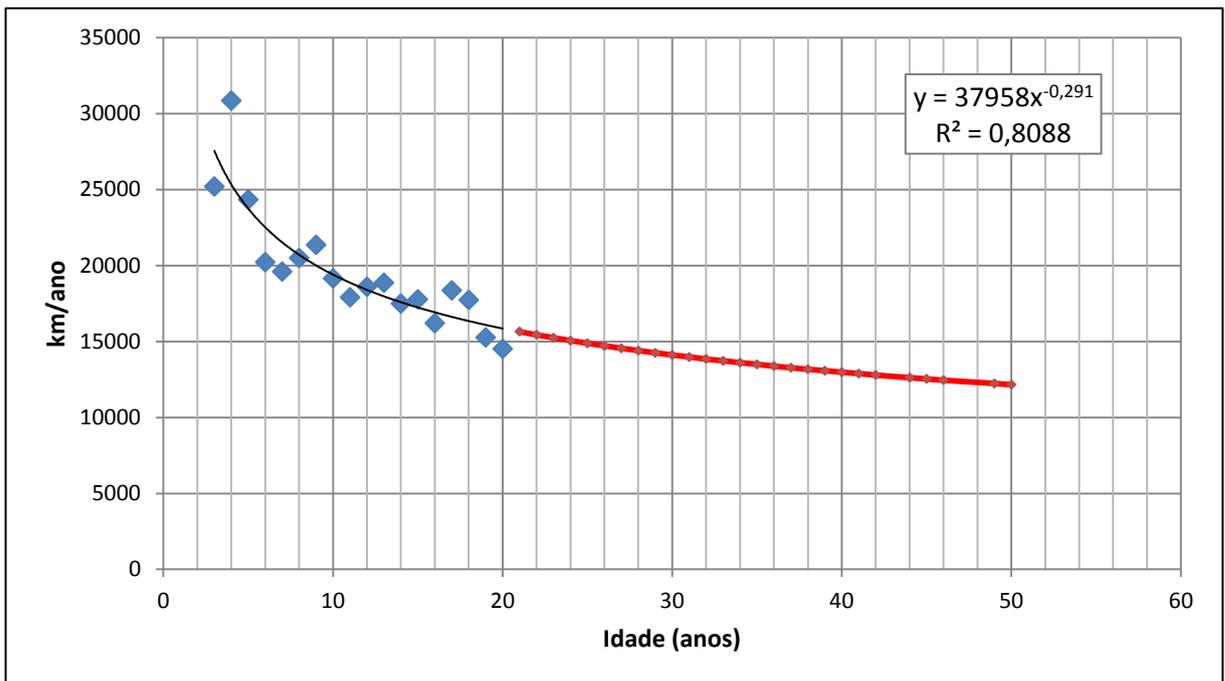


Fonte: São Paulo (2012, adaptado pelos autores)

A frota dos automóveis a gasolina convertidos para o GNV inspecionados na cidade de São Paulo tem distribuição concentrada entre cinco e 22 anos de idade, a idade mais frequente foi de 14 anos.

No Gráfico 44 é apresentado o modelo ajustado através da técnica de regressão linear por mínimos quadrados.

Gráfico 44 - Modelo ajustado para a intensidade de uso dos automóveis a gasolina/GNV (quilometragem média por ano segundo a idade)

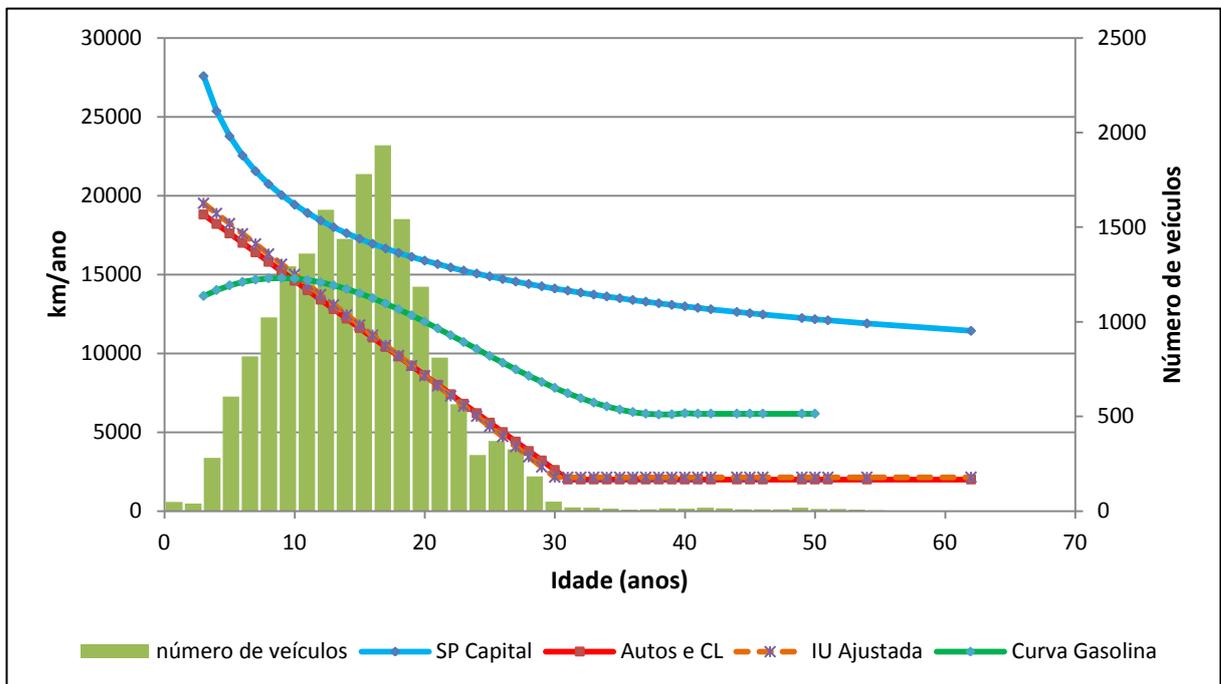


Fonte: São Paulo (2012, adaptado pelos autores)

O modelo para descrever o comportamento da intensidade de uso dos automóveis e derivados a gasolina convertidos para GNV teve, portanto ajuste significativo. O modelo ajustado foi uma curva de potência, para a faixa de idades de três a 20 anos. Ele pode ser utilizado para extrapolação para os veículos com mais de 20 anos de idade.

No Gráfico 45 é apresentada a curva de intensidade de uso do Relatório de Emissões Veiculares no Estado de São Paulo – 2012 (CETESB, 2013), para os automóveis e comerciais leves e a obtida com base nos dados da cidade de São Paulo. Além das curvas, foi incluído o histograma de frequências por idade para avaliação da magnitude do impacto devido às diferenças entre elas.

Gráfico 45 - Comparativo das curvas de intensidade de uso para automóveis a gasolina/GNV. São Paulo – SP, 2010-2011



Fonte: São Paulo (2012, adaptado pelos autores)

Essa frota de veículos tem uma intensidade de uso mais intensa (a maioria dos táxis está nesse grupo) e, portanto a curva do MMA para os automóveis e comerciais leves a subestima.

Foi incluída no Gráfico 45 a curva observada para os automóveis a gasolina, para evidenciar o comportamento diferenciado em relação também a eles.

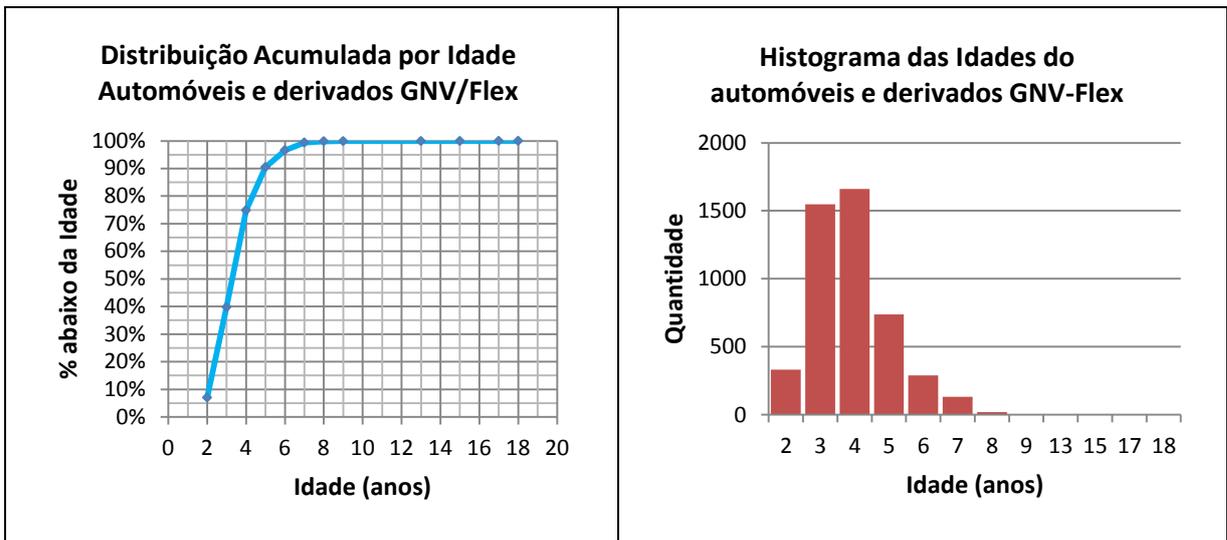
A curva IU ajustada foi obtida através do ajuste pela quantidade do combustível comercializada no ano.

4.15 Automóveis e derivados a GNV/Flex

Essa categoria de veículos possui tendência de crescimento da sua participação na frota de veículos automotores convertidos de São Paulo. Ela possui característica diferenciada em relação aos similares flex pela sua intensidade de uso.

No Gráfico 46 é apresentada a distribuição acumulada de frequência por idades e respectivo histograma dos automóveis e derivados flex convertidos para GNV.

Gráfico 46 - Histograma e distribuição acumulada das idades dos automóveis flex convertidos para GNV. São Paulo, 2010-2011

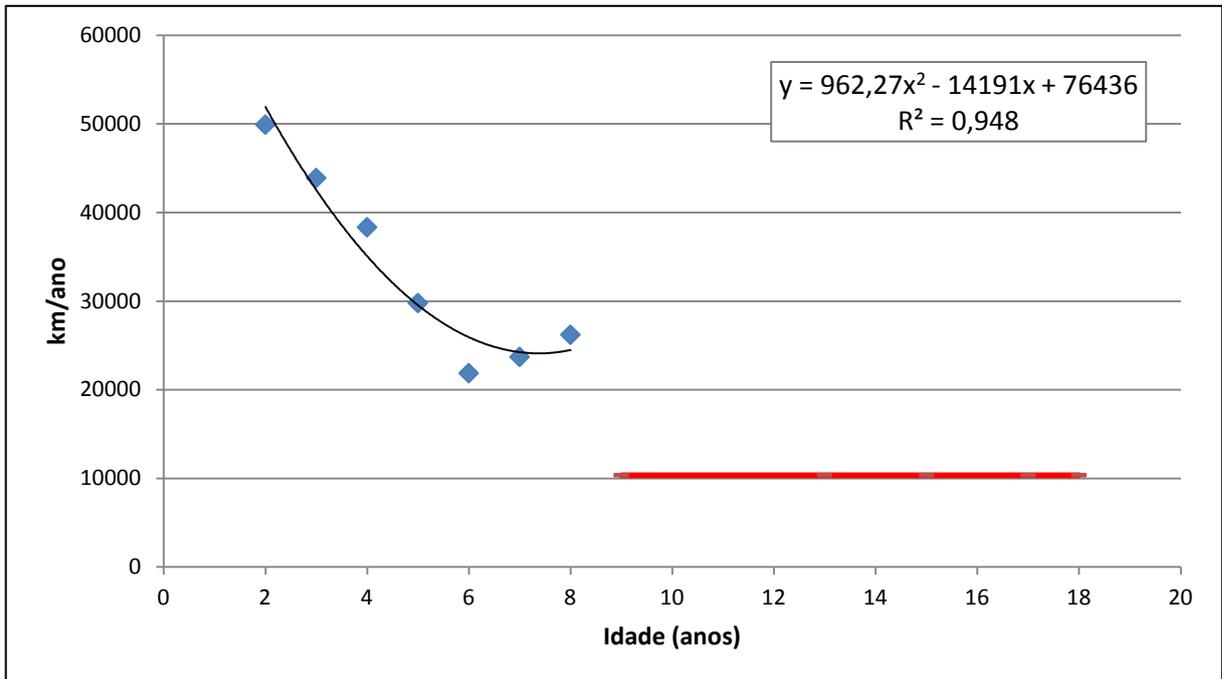


Fonte: São Paulo (2012, adaptado pelos autores)

A frota dos automóveis flex convertidos para o GNV inspecionados na cidade de São Paulo tem distribuição concentrada entre um e oito anos de idade, a idade mais frequente foi de quatro anos.

No Gráfico 47 é apresentado o modelo ajustado através da técnica de regressão linear por mínimos quadrados.

Gráfico 47 - Modelo ajustado para a intensidade de uso dos automóveis Flex/GNV (quilometragem média por ano segundo a idade)

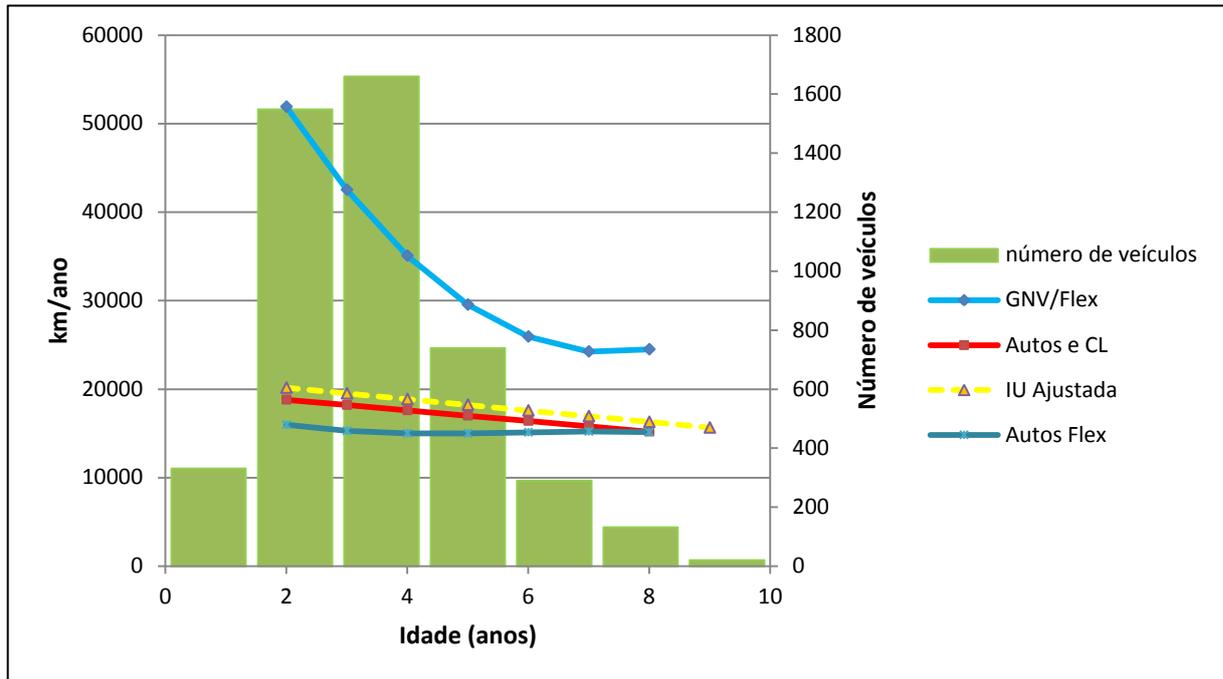


Fonte: São Paulo (2012, adaptado pelos autores)

O modelo para descrever o comportamento da intensidade de uso dos automóveis e derivados flex convertidos para GNV teve, portanto ajuste significativo. A explicação foi de 94,8%, válido para idade até oito anos, após essa idade uma constante igual a 10370 km/ano deve ser utilizada.

No Gráfico 48 é apresentada a curva de intensidade de uso do Relatório de Emissões Veiculares no Estado de São Paulo – 2012, para os automóveis e comerciais leves e a obtida com base nos dados da cidade de São Paulo para os automóveis flex/GNV. Além das curvas, foi incluído o histograma de frequências por idade para avaliação da magnitude do impacto devido às diferenças entre elas e a curva dos automóveis flex não convertidos realçando a intensificação do uso desse tipo de automóvel.

Gráfico 48 - Comparativo das Curvas de intensidade de uso para automóveis flex/GNV. São Paulo – SP, 2010-2011



Fonte: São Paulo (2012, adaptado pelos autores)

Essa frota de veículos tem uma intensidade de uso mais intensa (os táxis estão nesse grupo) e, portanto a curva do MMA para os automóveis e comerciais leves a subestima. Foi incluída no Gráfico 48 a curva observada para os automóveis flex, para evidenciar o comportamento diferenciado em relação também a eles.

A curva IU ajustada foi obtida através do ajuste pela quantidade do combustível comercializada no ano.

5 CONCLUSÕES

- A curva para a intensidade de uso dos automóveis e derivados movidos a gasolina teve ajuste significativo;
- A curva para a intensidade de uso dos automóveis e derivados movidos a álcool teve ajuste significativo;
- A curva para a intensidade de uso dos automóveis e derivados flex teve ajuste significativo;
- A curva para a Intensidade de uso dos utilitários Otto a gasolina teve ajuste significativo;
- A curva para a Intensidade de uso dos utilitários Otto flex teve ajuste significativo;
- A curva de intensidade de uso dos caminhões diesel feita com base nos dados de São Paulo, teve ajuste significativo, principalmente para os veículos com até 15 anos de idade. Ela não pode ser comparada diretamente com as utilizadas para as diversas faixas de PBT, mas aponta para a necessidade de verificação das mesmas, principalmente daquelas usadas para os caminhões pesados e semi-pesados;
- A curva de intensidade de uso das *caminhonetes diesel* teve ajuste significativo e diferiu significativamente da curva de comerciais leves diesel empregada pelo MMA;
- A curva de Intensidade de uso dos ônibus urbano obtida com os dados de São Paulo teve ajuste significativo e diferiu significativamente daquela adotada pelo MMA que superestima a quilometragem rodada por ano pelos ônibus urbanos;
- Foi significativo o ajuste da curva de intensidade de uso dos utilitários leves diesel. Foram detectadas diferenças entre a curva ajustada com base nos dados de São Paulo daquela usada pelo MMA;
- A curva de Intensidade de uso dos micro-ônibus obtida com os dados de São Paulo teve ajuste significativo e diferiu significativamente daquela adotada pelo MMA que superestima a quilometragem rodada por ano pelos micro-ônibus;
- A curva de Intensidade de uso dos caminhões-trator obtida com os dados de São Paulo, apesar de não ter tido ajuste representativo, diferiu significativamente daquela adotada pelo MMA que superestima a quilometragem rodada por ano por esse tipo de caminhão;
- Foi significativo o ajuste da curva de intensidade de uso dos motocicletas. Foram detectadas diferenças significativas em relação à curva do MMA para todas as idades, sendo que esta subestima a quilometragem média rodada anualmente. O impacto dessa diferença no inventário certamente é significativo;
- Foi significativo o ajuste da curva de intensidade de uso das motonetas. Foram detectadas diferenças significativas em relação à curva do MMA (para motocicletas) para idades de até 6 anos, sendo que esta superestima a quilometragem média rodada anualmente. O impacto dessa diferença no inventário dessa categoria certamente é significativo;

- Foi constatado comportamento diferenciado para a frota de veículos convertido para GNV (gasolina ou flex), o uso é muito mais intenso que os respectivos não convertidos.

6 RECOMENDAÇÕES

- Utilizar a curva de intensidade de uso obtida com base nos dados da frota da cidade de São Paulo, para a frota de automóveis e derivados movidos à gasolina para finalidade de estimativas do Inventário de emissões do estado;
- Utilizar a curva de intensidade de uso obtida com base nos dados da frota da cidade de São Paulo, para a frota de automóveis e derivados movidos a álcool para finalidade de estimativas do Inventário de emissões do estado;
- Utilizar a curva de intensidade de uso obtida com base nos dados da frota da cidade de São Paulo, para a frota de automóveis e derivados flex, para finalidade de estimativas do Inventário de emissões do estado. O comportamento da frota de automóveis flex diferiu significativamente da frota movida a gasolina;
- Utilizar a curva de intensidade de uso obtida com base nos dados da cidade de São Paulo, para a frota de utilitários Otto a gasolina, para finalidade de Inventário de emissões;
- Utilizar a curva de intensidade de uso obtida com base nos dados da cidade de São Paulo, para a frota de utilitários Otto flex, para finalidade de Inventário de emissões;
- Solicitar que o MMA reveja as curvas de Intensidade de uso dos caminhões, pois há indícios de que superestimem a quilometragem média rodada anualmente;
- Solicitar ao MMA que reveja a curva de intensidade de uso dos comerciais leves diesel, pois a mesma diferiu significativamente da curva das caminhonetes diesel obtida a partir dos veículos inspecionados em São Paulo;
- Solicitar ao MMA que reveja a curva de Intensidade de uso dos ônibus urbanos, pois ela diferiu significativamente da curva com os dados das inspeções de São Paulo;
- Solicitar ao MMA que reveja a curva de intensidade de uso das motocicletas, principalmente separando em duas faixas de cilindrada (até 250cc e acima de 250cc) os motociclos e separando as motonetas, criando assim três categorias para os veículos de duas rodas;
- Os ajustes das curvas de intensidade de uso pela quantidade total de combustível precisarão igualmente ser efetuados nas curvas obtidas a partir dos dados da cidade de São Paulo, caso sejam adotadas;
- Avaliar a possibilidade de separar a frota dos veículos convertidos para GNV, pois a sua intensidade de uso difere fortemente na curva do MMA para os automóveis e comerciais leves e também das curvas obtidas para os similares não convertidos.

REFERÊNCIAS

- CETESB. **Relatório emissões veiculares no estado de São Paulo 2012/CETESB**. São Paulo, SP, 2013. 90p. (Série Relatórios).
- DRAPER, N. R.; SMITH, H. **Applied regression analysis**. 3.rd. New York: John Wiley & Sons, 1998. 706p.
- FELLER, W. **An Introduction to Probability Theory and its applications**. 3.rd. New York: John Wiley & Sons, 1968. p. 179.
- IBM. **SPSS Statistics for Windows**. Version 21.0. Armonk, NY: IBM, 2012.
- MAIO, M. Ao sabor dos ventos: com mais de 100 anos de história, a scooter conquista o gosto e o mercado brasileiro. **Revista ZAZ**, Maringá, v. 50, p. 61-66, [2012?]. Disponível em: <http://www.scooterclube.com.br/download/ao_sabor_dos_ventos_revista_zaz_ed_50.pdf>. Acesso em: 19 nov. 2013.
- SÃO PAULO (cidade). Secretaria do Verde e Meio Ambiente. **Quilometragem anual por combustível.xls**. 2012. 132 kb. Formato XLS. CD-ROM.