UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA
FACULDADE DE ENGENHARIA
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL E SANITÁRIA

Ana Beatriz Fernandes Ferreira

Benefícios ambientais de motocicletas elétricas na frota urbana veicular: Cenários com base no inventário de emissões atmosféricas de 2015

Juiz de Fora
2016

Ana Beatriz Fernandes Ferreira

Benefícios ambientais de motocicletas elétricas na frota urbana veicular: Cenários com base no inventário de emissões atmosféricas de 2015

Trabalho Final de Curso apresentado ao Colegiado de Engenharia Ambiental e Sanitária da Universidade Federal de Juiz de Fora, como requisito parcial a obtenção do título de Engenheira Ambiental e Sanitarista. Área de concentração: Engenharia Ambiental e Sanitária.

Orientadora: Profª. DSc. Aline Sarmento Procópio.

Juiz de Fora

2016

Ana Beatriz Fernandes Ferreira

Benefícios ambientais de motocicletas elétricas na frota urbana veicular: Cenários com base no inventário de emissões atmosféricas de 2015

Trabalho Final de Curso apresentado ao Colegiado de Engenharia Ambiental e Sanitária da Universidade Federal de Juiz de Fora, como requisito parcial a obtenção do título de Engenheira Ambiental e Sanitarista. Área de concentração: Engenharia Ambiental e Sanitária.

Aprovada em 02 de dezembro de 2016

BANCA EXAMINADORA

Prof[a]. DSc. Aline Sarmento Procópio - Orientadora
Universidade Federal de Juiz de Fora

Prof[a]. DSc. Maria Helena Rodrigues Gomes
Universidade Federal de Juiz de Fora

Prof. DSc. Otávio Eurico de Aquino Branco
Universidade Federal de Juiz de Fora

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a Deus, não só pelos diversos caminhos que percorri até chegar aqui, mas também pela oportunidade de terminar este percurso que eu havia começado.

Agradeço aos meus pais, Sylvana e João, que me abriram as portas, me carregaram, me ensinaram a andar e estão, até hoje, sempre a postos para me levantar dos tropeços. Agradeço a minha irmã, Liana, que compartilhou seus caminhos comigo e sempre fez o meu parecer mais fácil de ser percorrido. Agradeço ao meu namorado, Brendo, que se tornou nova companhia na caminhada e que me ajuda a vislumbrar novos horizontes. Agradeço aos meus primos, tios, avós e a todos que caminharam antes destes, que abriram estradas que hoje percorro e deixaram as marcas de seus passos em minhas lembranças.

Agradeço aos amigos, de hoje, de antes e de sempre, na esperança que nossos caminhos nunca se separem. Agradeço a todos os professores – muitos! – que me guiaram com seus ensinamentos até aqui. E, finalmente, agradeço a todos os animais, que estão ainda ao meu lado ou que estão no meu coração, e à Fazenda Cachoeirinha, ponto de partida de qualquer caminho que eu possa vir a percorrer nessa vida e lugar para o qual eu sempre vou voltar.

“A sua estrada é somente sua. Outros podem acompanhá-lo,
mas ninguém pode andar por você.”
(Rumi)

RESUMO

A necessidade de deslocamento e a ineficiência dos sistemas de transporte público impulsionaram o crescimento do número de veículos em circulação nos centros urbanos. Com isso, a parcela de contribuição do setor de transportes nas emissões atmosféricas geradas aumentou, intensificando a degradação da qualidade do ar, afetando negativamente a saúde da população. Neste contexto, a frota de motocicletas também aumentou no país, pelo fato de estes veículos oferecerem agilidade e mobilidade mais satisfatória, além de custos de aquisição, abastecimento e manutenção reduzidos. Logo, é relevante não só a consideração das emissões delas advindas em inventários e ações de controle e monitoramento, como de um maior grau de detalhamento nas metodologias utilizadas. Apresenta-se, no presente trabalho, uma avaliação das emissões atmosféricas provenientes das motocicletas e veículos similares do estado de Minas Gerais, no que se refere às emissões de CO_2, CO, CH_4, NO_X, N_2O, $NMHC_{escap}$ e MP_{comb} no ano base de 2015, segundo a abordagem *bottom-up* da metodologia empregada pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA). A partir do inventário, realizou-se uma análise das emissões evitadas e benefícios ambientais alcançados com as motocicletas *flex fuel* na frota circulante do estado, que em 2015 representou 24,83% dos veículos de duas rodas. O presente trabalho também conta com cenários de projeção para os próximos anos, otimista e pessimista, considerando a inserção gradativa de motocicletas elétricas na frota circulante. Avaliando o impacto sobre as emissões dos poluentes considerados, estimou-se entre US$ 15.316.421,73 e US$ 86.563.475,67 o valor do correspondente custo social do carbono evitado, preço correspondente aos danos causados por cada tonelada de CO_2 emitida, o que demonstrou a magnitude dos benefícios ambientais, sociais e econômicos decorrentes da adoção do modelo elétrico.

Palavras-chave: Poluição Atmosférica. Inventário de Emissões. Motocicletas Elétricas.

ABSTRACT

The need for transportation and the inefficiency of public transport impelled the growth of automobiles in circulation in urban centers. In result, the contribution of the transport sector in atmospheric emissions increased, intensifying the air quality degradation, affecting negatively the population's health. In this context, the number of motorcycles also increased in the country, because of a more satisfactory mobility and agility offered by these vehicles, besides reduced acquisition costs and maintenance. Therefore, it's relevant to not only consider emission resulted from them in inventories, as well as control actions and monitoring, but a bigger degree of detailing in the methodologies used. It is presented in this work an assessment of atmospheric emissions originated from motorcycles and similar vehicles in the state of Minas Gerais, referring to emissions of CO_2, CO, CH_4, NO_X, N_2O, $NMHC_{escap}$ e MP_{comb} in the year of 2015, according to the bottom-up approach in the methodology used by the Environment Ministry (MMA). From the inventory, it was made an analysis of the prevented emissions and environmental benefits reached with flex fuel motorcycles from the fleet circulating in the state, which in 2015 represented 24,83% of two wheeled vehicles. This study also counts on projection scenarios for the next years, optimist and pessimistic, considering the gradual insertion of electric motorcycles in the circulating fleet. Evaluating the impact of the pollutant emissions considered, it is estimated between US$15.316.421,73 and US$ 86.563.475,67 the correspondent social cost of avoided carbon, the correspondent price of damage caused by every ton of CO_2 emitted, which showed the magnitude of environmental, social and economic benefits resulted from the adoption of the electric model.

Keywords: Atmospheric pollution. Emission inventory. Electric motorcycles.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO 1

2. OBJETIVOS 7

2.1 Objetivo Geral 7

2.2 Objetivos Específicos 7

3. METODOLOGIA 8

3.1 Cálculo das emissões de CO, CH_4, NO_X, N_2O, $NMHC_{escap}$ e MP_{comb} 9

3.1.1 Frota circulante 9

3.1.2 Intensidade de uso 15

3.1.3 Fator de emissão 21

3.2 Cálculo das emissões de CO_2 23

3.2.1 Consumo de combustível 24

3.2.2 Fator de emissão de CO_2 24

4. RESULTADOS 26

4.1 Inventário de Emissões de 2015 26

4.2 Cenário – Ausência de motocicletas *flex fuel* na frota mineira em circulação em 2015 29

4.3 Cenários – Inserção gradativa de motocicletas elétricas na frota mineira no período de 2016 a 2020 30

4.4 Avaliação dos benefícios ambientais: Estimativa do Custo Social do Carbono dos cenários 38

5. CONCLUSÕES 41

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 43

ANEXOS 46

ANEXO I 46

ANEXO II 49

ANEXO III 50

ANEXO IV 52

1. INTRODUÇÃO

Na atualidade, verifica-se um vertiginoso aumento do número de veículos em circulação nas ruas dos centros urbanos, impulsionado, dentre outros fatores, pela crescente necessidade de deslocamento e pela ineficiência e saturação dos sistemas de transporte público, que leva as pessoas a buscarem meios de transporte individual. Tal quadro resulta no aumento da parcela de contribuição do setor de transportes nas emissões atmosféricas, causando degradação da qualidade do ar, afetando negativamente a fauna, a flora e a saúde da população.

Destaca-se que a poluição do ar já é apontada como o principal agente de degradação ambiental do planeta, atribuindo-se às emissões atmosférica provenientes das atividades humanas, que ocorrem em escala mundial, a causa das mudanças climáticas notadas nas últimas décadas, de consequências e projeções catastróficas (INEA, 2007).

A frota de motocicletas e veículos similares é relevante no Brasil, devido ao fato desta categoria de veículo oferecer agilidade e mobilidade em meio a congestionamentos, facilidade de estacionamento, e por possuírem custo de aquisição, abastecimento e manutenção menores, quando comparados aos correspondentes gastos com outras categorias. Além disso, tem-se que as motos foram incorporadas aos serviços de entrega, no mercado formal e informal de trabalho, fazendo com que, muitas vezes, percorram distâncias maiores que as percorridas pelos automóveis.

Com o crescimento das vendas e da utilização das motocicletas em atividades do meio urbano, surgiu a preocupação com a poluição advinda delas. O fato de seus fatores de emissão serem maiores que os dos automóveis novos da época, que já seguiam limites de emissão instituídos pelo PROCONVE (Programa de Controle de Poluição do Ar por Veículos Automotores), aumentava tal preocupação. Assim, em 2002, foi instituído pela Resolução CONAMA nº 297, o PROMOT (Programa de Controle da Poluição do Ar por Motociclos e Veículos Similares), baseado em legislações europeias (MMA, 2011).

Os primeiros limites de emissões do PROMOT vigoraram a partir de 2003, configurando a primeira fase do programa. Considerando o estágio tecnológico da indústria nacional da categoria de veículo, e contemplando inovações necessárias às motocicletas e veículos similares para a redução das emissões geradas, seguiram diversas fases do programa com limites cada vez mais restritivos. Já em 2009, o Brasil

se encontrava a uma fase de controle apenas atrás da Europa. A Tabela 1.1 mostra as características de cada uma das fases do PROMOT. Os Quadros 1.1 e 1.2 mostram, respectivamente, os limites máximos de emissão para motocicletas e veículos similares e para ciclomotores.

Tabela 1.1 – Estratégia de implantação do PROMOT (Fases "M")

Fase	Resolução CONAMA	Implantação	Característica/Inovação
M1	297/02	2003-2005	Estabeleceu os limites iniciais máximos de emissão de gases de escapamento para motocicletas e veículos similares
M2	342/03	2006-2008	Iniciou a segunda fase com reduções drásticas dos limites de emissão da primeira fase (redução de 83% em CO; redução de 60% em HC + NO_X)
M3	342/03	2009-2013	Também ocorre uma redução significativa das emissões de poluentes sendo, em alguns casos, superiores a 50% dos limites previstos na fase anterior
M4	432/11 456/13	A partir de 2014	Prevê procedimentos de ensaios mais rigorosos e prevê a introdução dos limites de emissão evaporativa

Fonte: Modificado de MMA, 2014.

Quadro 1.1 – PROMOT: Limites máximos de emissão para motocicletas e similares

Fase	Período	Cilindrada (cm^3)	Velocidade Máxima (km/h)	CO (g/km)	HC (g/km)	NO_X (g/km)	CO-Marcha Lenta (% vol)	Evaporativa (g/teste)	CO_2 (g/km)
M1	2003-2005	Todos		13,0	3,0	0,3	6,0 (2) ou 4,5 (3)		
M2	2005 (1) e 2006 até 2008	<150		5,5	1,2	0,3			
		≥150		5,5	1,0	0,3			
		Veículos de três e quatro rodas		7,0	1,5	0,4			
M3	2009	<150		2,0	0,8	0,15			
		≥150		2,0	0,3	0,15			
M4	2014 (1)		<130	2,0	0,8	0,15			
			≥130	2,0	0,3	0,15			
	2016		<130	2,0	0,56	0,13		1,0	(4)
			≥130	2,0	0,25	0,17			

(1) Apenas para os novos lançamentos.
(2) Para deslocamento volumétrico ≤ 250 centímetros cúbicos.
(3) Para deslocamento volumétrico > 250 centímetros cúbicos.
(4) Fabricante deverá informar o valor obtido no ensaio.

Fonte: Modificado de CETESB, 2015.

Quadro 1.2 – PROMOT: Limites máximos de emissão para ciclomotores

Fase	Período	CO (g/km)	HC (g/km)	HC + NO_X (g/km)	NO_X (g/km)	EVAP. (g/teste)
M1	2003-2005	6,0	n.a.	3,0	n.a.	n.a.
M2	2005 (1) e 2006 até 2013	1,0	n.a.	1,2	n.a.	n.a.
M3	2014	1,0	0,8	n.a.	0,15	n.a.
	2016					1

Notas: n.a – não se aplica.
(1) Apenas para os novos lançamentos.

Fonte: Modificado de CETESB, 2015.

Dessa forma, verifica-se a importância da consideração das emissões atmosféricas provenientes dos veículos de duas rodas em inventários e ações de controle e monitoramento, destacando-se a necessidade de um maior grau de detalhamento para esta categoria nas metodologias empregadas. Dentre os poluentes cujo acompanhamento das emissões lançadas pelas motocicletas é essencial, destacam-se: dióxido de carbono (CO_2), monóxido de carbono (CO), metano (CH_4), óxidos de nitrogênio (NO_X), óxido nitroso (N_2O), hidrocarbonetos não-metano referentes às emissões de escapamento ($NMHC_{escap}$) e material particulado proveniente da queima do combustível (MP_{comb}).

Dessa forma, verifica-se a importância da consideração das emissões atmosféricas provenientes dos veículos de duas rodas em inventários e ações de controle e monitoramento, com um maior grau de detalhamento para esta categoria nas metodologias empregadas. Dentre os poluentes cujo acompanhamento das emissões lançadas pelas motocicletas é essencial, destacam-se: dióxido de carbono (CO_2), monóxido de carbono (CO), metano (CH_4), óxidos de nitrogênio (NO_X), óxido nitroso (N_2O), hidrocarbonetos não-metano referentes às emissões de escapamento ($NMHC_{escap}$) e material particulado proveniente da queima do combustível (MP_{comb}).

Minas Gerais é o estado brasileiro com a 4ª maior extensão territorial do Brasil, 586.521,235 km², com o maior número de municípios, 853, e com o 2º maior número de habitantes, estimado em 20.997.560 no ano de 2016 (IBGE, 2016). Tem-se também que o estado conta com a maior malha rodoviária do país, 269.546 km, o equivalente a 16% de toda a malha brasileira (GOVERNO DE MINAS GERAIS, 2016).

Em decorrência das características descritas, Minas Gerais possui uma frota circulante expressiva que, segundo dados do DENATRAN (2015), correspondeu a 10,89% em relação à frota brasileira e 22,23% em relação à da região Sudeste, onde o estado está inserido. A respeito dos veículos de duas rodas, que englobam os

denominados ciclomotores, motocicletas e motonetas, a parcela do estado é expressiva no contexto brasileiro, sendo o estado com a 2ª maior frota, representando 10,69%, e ainda mais expressiva no contexto da região Sudeste, 28,04%, atrás apenas do estado de São Paulo, em ambos os contextos.

Segundo dados da ABRACICLO (Associação Brasileira dos Fabricantes de Motocicletas, Ciclomotores, Motonetas, Bicicletas e Similares), no ano de 2015, o Brasil contava com 8 habitantes para cada veículo de duas rodas, e 43,89% dos habilitados podiam pilotar motocicletas, indicando o potencial de aumento desta frota. Além disso, os dados mostram que Minas Gerais deteve 6,85% dos habilitados na categoria A do país e possuía uma relação frota por habilitados de 138%, mostrando que a frota de motocicletas é maior que o número de habilitados (ABRACICLO, 2016).

A necessidade de evitar as emissões atmosféricas provenientes dos veículos de combustão interna faz com que os veículos elétricos se apresentem como opção interessante, por não lançarem poluentes. Os motores elétricos, que transformam cerca de 90% da energia elétrica em mecânica, são mais eficientes que os térmicos, que possuem eficiência entre 20 e 30%. Além de possuir rendimento energético no mínimo três vezes superior ao motor térmico, o veículo elétrico é silencioso e ainda se apresenta como única tecnologia veicular comercializada que não produz gás, no caso de funcionar exclusivamente por baterias (PESSANHA *et al*., 2011). A Figura 1.1 mostra as motocicletas elétricas atualmente comercializadas.

Figura 1.1- Motocicletas elétricas.

Fonte: Modificado de JORNAL DO CARRO, 2012.

Fatores como o preço elevado, a autonomia da bateria utilizada e a infraestrutura necessária e imprescindível para que haja comercialização, operação adequada e manutenção dos veículos e de suas peças constituintes, são os grandes desafios à implementação e estabelecimento dos veículos elétricos na frota circulante. Tais desafios não são exclusivos do Brasil. No entanto, em diversos países estes foram enfrentados com políticas públicas e estratégias financeiras, e já há uma tendência crescente e irreversível da inserção de veículos elétricos na frota em circulação (PESSANHA *et al*., 2011).

O Brasil conta atualmente com uma política de incentivo aos veículos elétricos ainda tímida e limitada ao nível estadual. Mato Grosso do Sul, São Paulo e Rio de Janeiro possuem alíquota do IPVA (Imposto sobre a Propriedade de Veículos Automotores) diferenciada para veículos elétricos, e Maranhão, Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Pernambuco, Sergipe e Rio Grande do Sul contam com isenção do imposto (ABVE, 2016).

No contexto de necessidade de investimentos em inovações tecnológicas, o Brasil se destacou como o primeiro país do mundo a fabricar motocicletas biocombustíveis em grande escala, as *flex fuel*, em 2009. Além disso, passou a produzir motocicletas com catalizadores e injeção eletrônica, que igualaram os níveis de emissão de poluentes destes veículos com os dos automóveis, e a produzir motocicletas elétricas em solo nacional (ABRACICLO, 2011).

O pioneirismo na produção das motos flexíveis, que, em pouco mais de dois anos, já representava 45% da produção nacional de motocicletas, mostrou o nível de qualidade e competitividade que a indústria brasileira possui. E, neste cenário, fabricantes investem nas *scooters* elétricas, de boa autonomia e baixo custo de aquisição, dentre outros combustíveis alternativos, como células de hidrogênio, por exemplo (ABRACICLO, 2011).

Os veículos elétricos não necessitam de combustíveis fósseis, diminuindo a dependência destes, o que configura outro aspecto positivo, visto que o mercado das fontes fósseis de energia sofre com instabilidades político-administrativas e com pressões socioambientais (PUPO, 2012).

Dessa forma, os veículos elétricos oferecem vantagens nos aspectos referentes à matriz energética, ao consumo no setor automotivo e às mudanças socioculturais, sendo relevante a elaboração de estudos que comprovem e justifiquem os benefícios advindos da categoria para encorajar e impulsionar as medidas de incentivo e implementação.

Neste contexto, os veículos de duas rodas, por serem simples, versáteis e difundidos, se apresentam como importante meio de transporte para iniciar a transição para o modo de propulsão elétrica.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

O objetivo principal do presente trabalho é inventariar as emissões atmosféricas dos poluentes CO_2, CO, CH_4, NO_X, N_2O, $NMHC_{escap}$ e MP_{comb} da frota de motocicletas e veículos similares em circulação no estado de Minas Gerais em 2015. Além disso possui o objetivo de avaliar os benefícios ambientais da inserção gradativa de motocicletas elétricas na frota mineira com cenários de projeção de crescimento no período de 2016 à 2020.

2.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos são:

- Inventariar as emissões provenientes da frota mineira de motocicletas e veículos similares em circulação em 2015;
- Estimar as emissões de poluentes da frota de motocicletas e veículos similares em circulação em Minas Gerais em 2015 em cenário de ausência de veículos *flex fuel*, avaliar os benefícios ambientais advindos e estimar o custo social de carbono evitado;
- Estimar as emissões futuras de poluentes em cenários de inserção gradativa de motocicletas elétricas na frota mineira no período de 2016 a 2020, avaliar os benefícios ambientais advindos e estimar o custo social de carbono evitado.

3. METODOLOGIA

Para inventariar as emissões atmosféricas dos poluentes considerados proveniente da frota mineira de motocicletas, aplicou-se a metodologia *bottom-up* utilizada pelo MMA (Ministério do Meio Ambiente) na elaboração do 1º e do 2º INEAVAR (Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários) (MMA, 2011; MMA, 2014). Tal metodologia identifica as emissões de forma desagregada, tornando possível a quantificação das originárias de motocicletas de forma discriminada daquelas de outros tipos de veículos. Deve-se aplicar a equação 1 para inventariar as emissões atmosféricas dos poluentes (p) considerados – CO, CH_4, NO_X, N_2O, $NMHC_{escap}$ e MP_{comb} –, relacionando a categoria de veículo considerada (v) motocicleta, o ano modelo do veículo (m), no ano calendário (a), para cada combustível utilizado (c).

$$\boldsymbol{E}_{v,a,p} = \sum_{\boldsymbol{m=1}}^{\boldsymbol{M}} \sum_{\boldsymbol{c=1}}^{\boldsymbol{C}} \boldsymbol{Fr}_{v,m,a,c} \times \boldsymbol{Iu}_{v,m,a,c} \times \boldsymbol{Fe}_{a,c,p} \qquad \text{(eq. 1)}$$

Sendo:

E – Taxa anual de emissão do poluente considerado por categoria de veículo (g/ano);

Fr – Frota circulante do veículo do ano modelo considerado (número de veículos);

Iu – Intensidade de uso do veículo do ano modelo considerado (km/ano);

Fe – Fator de emissão do poluente considerado ($g_{poluente}$/km).

Já para inventariar as emissões atmosféricas do CO_2, deve-se aplicar uma equação 2, que é específica para esse poluente.

$$\boldsymbol{E}_{v,a} = \sum_{\boldsymbol{m=1}}^{\boldsymbol{M}} \sum_{\boldsymbol{c=1}}^{\boldsymbol{C}} \boldsymbol{Co}_{v,m,a,c} \times \boldsymbol{Fe}_{a,c} \qquad \text{(eq. 2)}$$

Sendo:

E – Taxa anual de emissão de CO_2 por categoria de veículo (kg/ano);

Co – Consumo de combustível por veículo do ano modelo considerado (L);

Fe – Fator de emissão do CO_2 ($kg_{poluente}$/L).

Conforme afirmam D'Agosto *et al.* (2011), em uma situação ideal, os principais conjuntos de dados necessários ao inventário – Frota circulante, Intensidade de uso, Fator de emissão e Consumo de combustível – deveriam ser dados de origem primária, mas pelo fato de limitações de tempo e recursos serem recorrentes, tal situação torna-se impraticável (MMA, 2011). É importante ressaltar também que a dificuldade desta metodologia se encontra na obtenção dos dados, que, na maioria das vezes, não estão disponíveis de forma organizada, apresentando-se como dispersos, e outras vezes indisponíveis, necessitando de aproximações e de procedimento de estimativa, que são usuais e aceitáveis (D'AGOSTO *et al*., 2011).

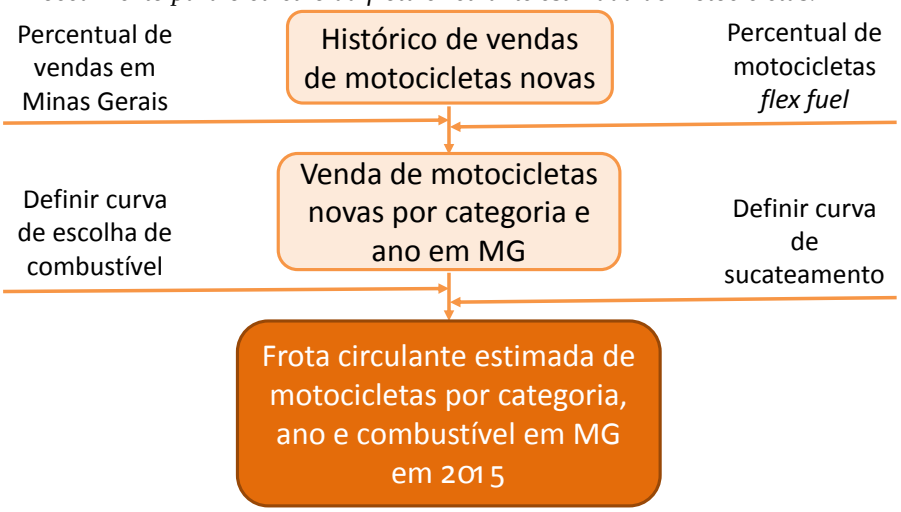
3.1 Cálculo das emissões de CO, CH_4, NO_X, N_2O, $NMHC_{escap}$ e MP_{comb}

A seguir serão descritas as metodologias para a obtenção dos três conjuntos de dados necessários para calcular as emissões de CO, CH_4, NO_X, N_2O, $NMHC_{escap}$ e MP_{comb} que utilizam a equação 1: Frota circulante, Intensidade de uso e Fator de emissão.

3.1.1 Frota circulante

A frota circulante estimada caracteriza a quantidade de motocicletas em circulação em Minas Gerais no ano de 2015, de diferentes idades e utilizando diferentes combustíveis. Deve-se, no caso da categoria de veículo considerada, desagregar a frota por ano, por modelo (dedicada – apenas gasolina C – ou *flex fuel*) e por combustível utilizado – gasolina C ou Álcool Etanol Hidratado Combustível (AEHC) –, uma vez que os fatores de emissão diferem entre si. É importante elucidar que a gasolina C, utilizada pelos veículos dedicados ou flexíveis, resulta da mistura de gasolina A e de etanol anidro, em proporção especificada por lei, podendo ser alterada ao longo dos anos. A Figura 3.1 mostra os principais procedimentos adotados para obter o conjunto de dados frota.

Figura 3.1- Procedimento para o cálculo da frota circulante estimada de motocicletas.

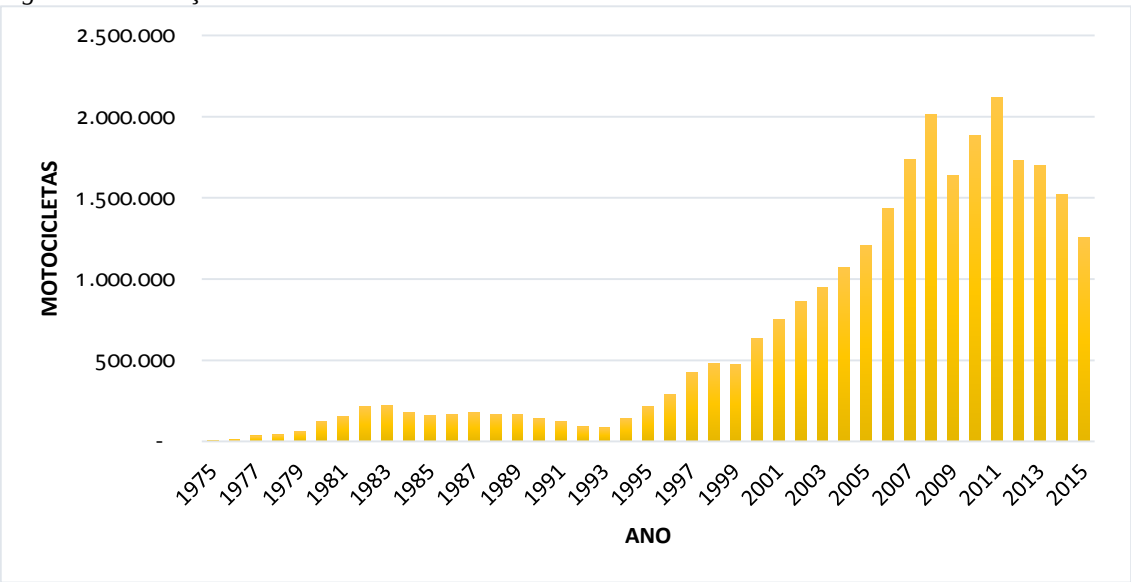


Fonte: Elaboração própria.

3.1.1.1 Histórico de vendas de motocicletas novas

Para determinar o perfil da frota de motocicletas circulante, primeiramente, recorreu-se aos dados referentes às vendas nacionais de veículos disponibilizados pela ABRACICLO (2016), considerando os valores de vendas totais, tanto do mercado interno atacado quanto de exportação. Estes números estavam disponíveis para o período de 1985 a 2015, e para o período anterior, de 1975 a 1985, foram considerados os valores de produção, por falta de registro dos dados de vendas. A Figura 3.2 mostra a evolução das vendas.

Figura 3.2- Evolução das vendas de motocicletas no Brasil.

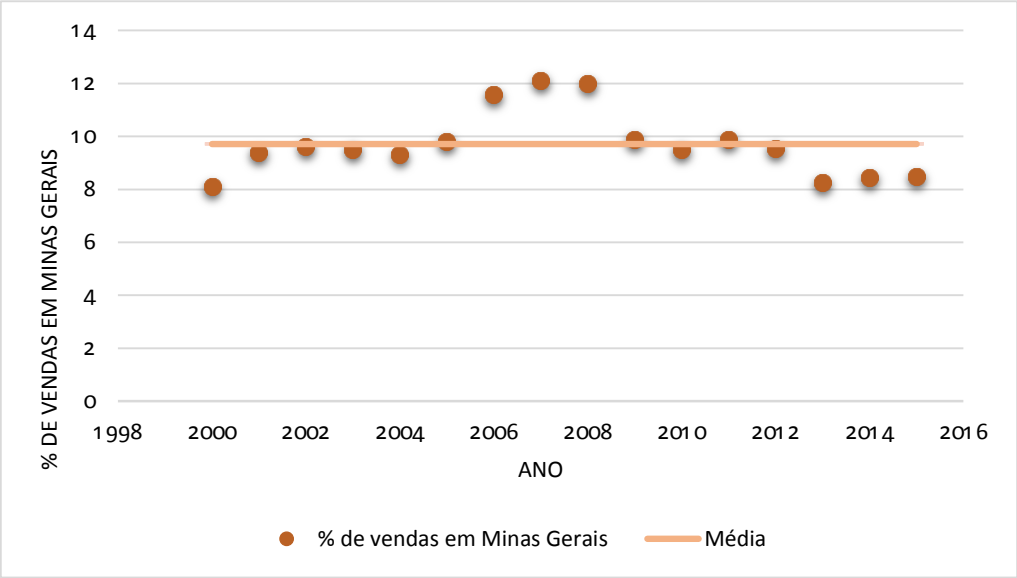


Fonte: ABRACICLO, 2016. Elaboração: própria.

3.1.1.2 Percentual de vendas em Minas Gerais

Para determinar a parcela da frota nacional que compõe a frota circulante no estado, recorreu-se aos percentuais de vendas em Minas Gerais, disponíveis em anuários da ABRACICLO (2011; 2016) para o período de 2000 a 2015. A Figura 3.3 retrata os dados disponíveis. Por se tratar de uma fração em relação ao cenário nacional, pouco oscilante ao longo do tempo, com valor de desvio médio inferior a 1%, considerou-se a média dos percentuais referentes ao período disponível para os anos anteriores a 2000. Tal procedimento, adaptativo ao âmbito estadual do inventário, foi o mesmo adotado por D'Agosto *et al.* (2011). Dessa forma, aplicando a fração de vendas do estado aos valores de venda nacional, obteve-se o número estimado de motocicletas vendidas em Minas Gerais, no período de 1975 a 2015.

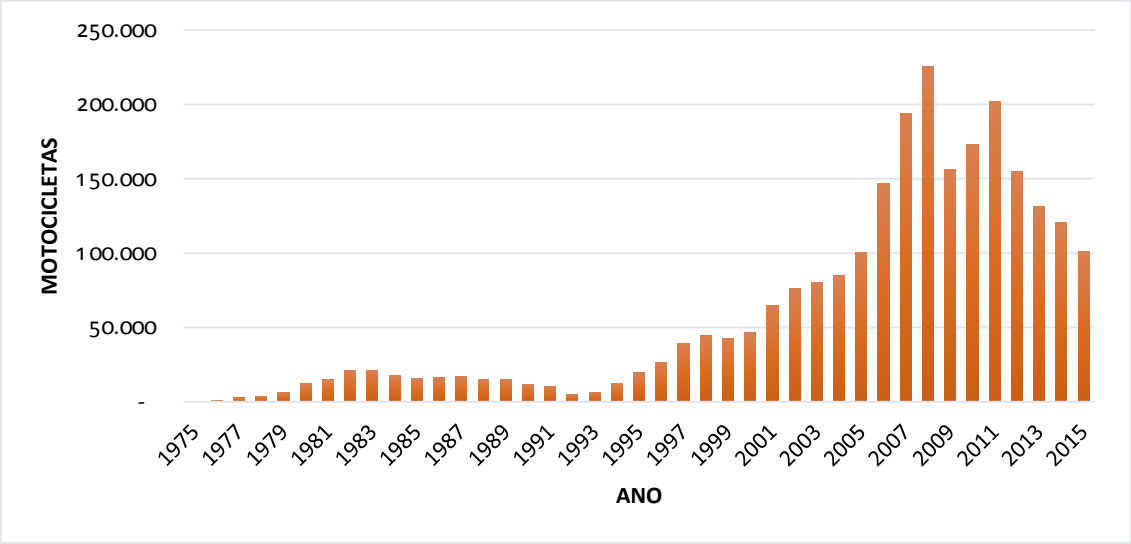
Figura 3.3- Percentual de vendas de motocicletas em Minas Gerais em relação às nacionais.



Fonte: ABRACICLO, 2011; ABRACICLO, 2016. Elaboração: própria.

Dessa forma, foram obtidos os valores das vendas de motocicletas novas por ano, em Minas Gerais, para o período de 1975 a 2015, ilustrados na Figura 3.4.

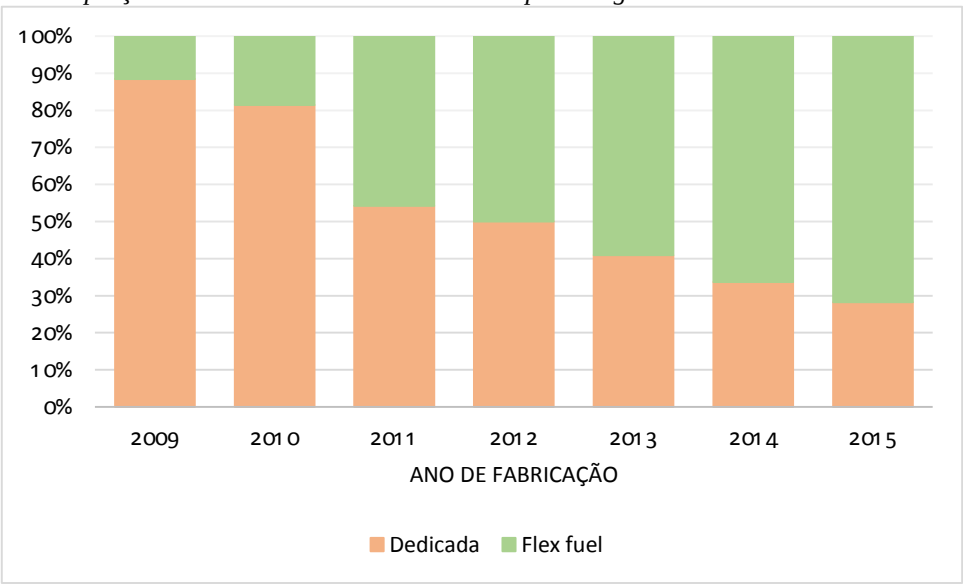
Figura 3.4- Estimativa da evolução de vendas de motocicletas em Minas Gerais.



3.1.1.3 Percentual de motocicletas *flex fuel*

Para uma completa definição da frota, com informações suficientes para inventariar as emissões, é necessário definir, discriminadamente, a frota de motocicletas dedicadas e as *flex fuel*. Para tanto, recorreu-se aos dados disponíveis nos anuários da ABRACICLO (2011-2016) para determinar a proporção de motocicletas dedicadas e *flex fuel*, nas vendas nacionais do período de 2009, ano em que as flexíveis foram inseridas no mercado brasileiro, a 2015. Por falta de dados mais específicos para o estado, foi utilizada a proporção nacional, representada na Figura 3.5.

Figura 3.5- Proporção de vendas motocicletas no Brasil por categoria.

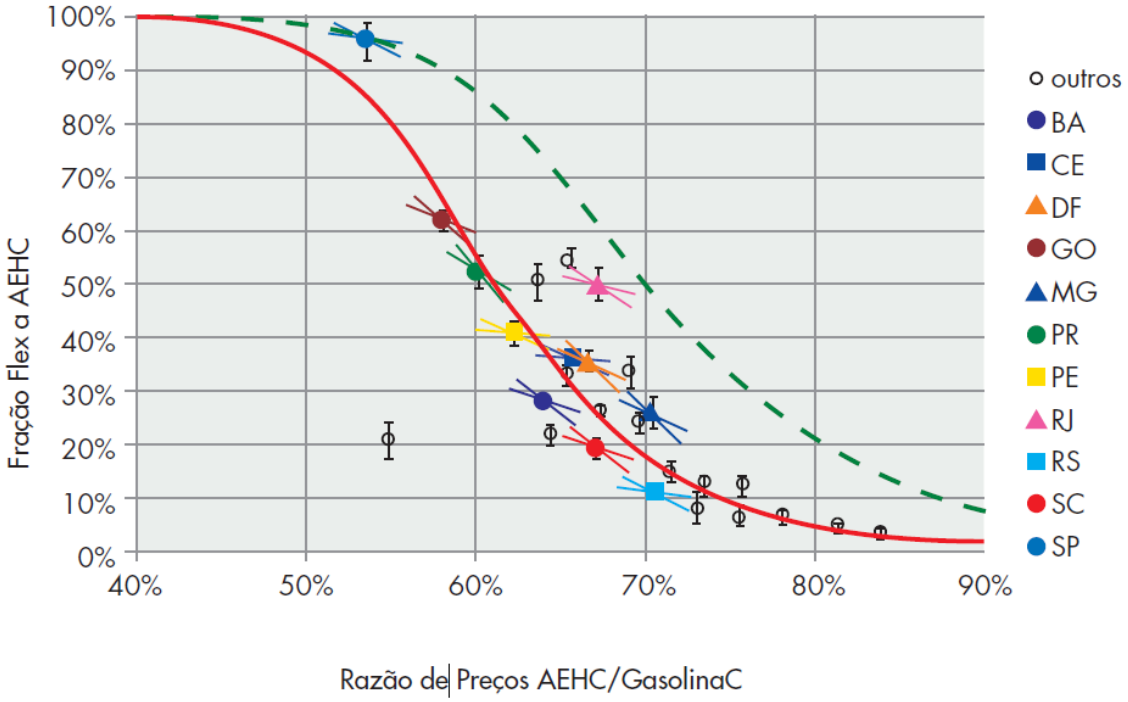


Fonte: ABRACICLO, 2009-2016. Elaboração: própria.

3.1.1.4 Curva de escolha de combustível

A fim de analisar opções para determinar a fração da frota de motocicletas flexíveis operando com AEHC e com gasolina C, a metodologia utilizada por D'Agosto *et al.* (2011) em inventário realizado para o estado do Rio de Janeiro, foi analisada. Com o objetivo de obter maior fidelidade na retratação da escolha de combustível no estado, D'Agosto *et al.* (2011) realizaram uma pesquisa de campo com 232 pessoas. Este procedimento foi adotado porque no gráfico de Goldemberg *et al*. (2008), mostrado na Figura 3.6, que leva em consideração a relação de preço entre os combustíveis, o estado do Rio de Janeiro obteve valor relativamente distante das curvas. A curva representada por uma linha contínua é a que melhor retrata o comportamento nacional, que utiliza AEHC em veículos leves, em resposta aos preços dos combustíveis, e a curva tracejada retrata o comportamento ideal, em que 50% da frota *flex* usa AEHC quando a razão de preços for a de equilíbrio de autonomia, 70% (GOLDEMBERG *et al.*, 2008).

Figura 3.6- Fração da frota de veículos flexíveis operando com AEHC em função da relação de preços entre o AEHC e a gasolina C, nos postos, em cada unidade da Federação.



Fonte: GOLDEMBERG *et al*., 2008.

Para validar o resultado obtido na pesquisa de campo, foi feita uma comparação com o comportamento retratado no gráfico de Goldemberg *et al*. (2008), e o ponto do estado do Rio de Janeiro ficou próximo ao resultado encontrado. Segundo D'Agosto *et al.*

(2011), a metodologia proposta não foi suficiente para elaborar uma curva representativa do comportamento de escolha entre os combustíveis para o estado.

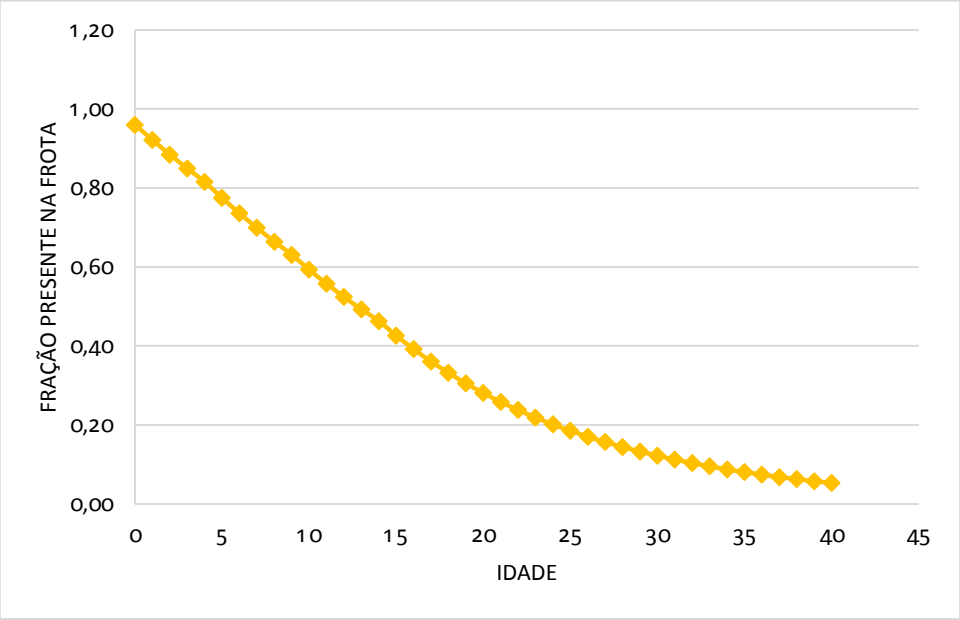
Levando em consideração fatores de disponibilidade de tempo para realização de uma pesquisa de campo, seu grau de dificuldade, e o fato de não ter sido suficiente para eliminar incertezas quanto a determinação da curva de escolha de combustível dos veículos *flex fuel*, o presente estudo optou pela metodologia proposta por Goldemberg *et al.* (2008) e seguida por MMA (2011). Destaca-se também que Minas Gerais, diferentemente do estado do Rio de Janeiro, não possuiu ponto distante da curva de comportamento nacional, o que elimina a motivação que levaram D'Agosto *et al*. (2011) a buscar outras formas de obter o dado. Então, o comportamento de Minas Gerais foi obtido pela curva em vermelho.

Assim, conforme feito por Araujo *et al.* (2013), buscou-se, nos Boletins Mensais de Combustíveis Renováveis (MME, 2015), os valores da razão de preços AEHC/gasolina C para Belo Horizonte, capital do estado e, portanto, sujeita a condições fiscais similares. O valor médio das razões mensais de 2015 foi utilizado no gráfico de Goldemberg *et al.* (2008), demonstrando que 20% das motocicletas flexíveis utilizaram AEHC e 80% gasolina C.

3.1.1.5 Curva de sucateamento

Devem-se aplicar à frota considerada, taxas de sucateamento para considerar a deterioração e consequente saída de veículos da frota em circulação ao longo dos anos. Foi adotada a curva de sucateamento usada pelo SINDIPEÇAS (2008 *apud* MMA, 2011) para motocicletas, ilustrada na Figura 3.7. Assim como foi feito no 1º e no 2º INEAVAR (MMA, 2011; MMA, 2014), devido à falta de informações mais específicas, tais taxas de sucateamento, elaboradas para motor de deslocamento volumétrico de até 200 centímetros cúbicos, foram utilizadas para todas as motocicletas inventariadas. Aplicando a fração da frota ainda em circulação nos valores estimados das vendas no estado, ano a ano, obteve-se a frota sucateada.

Figura 3.7- Curva de sucateamento da frota de motocicletas.

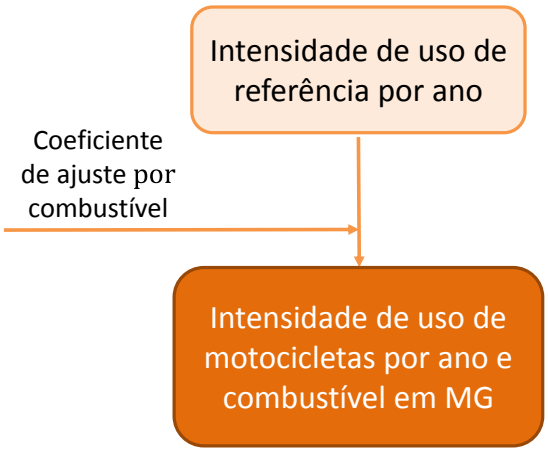


Fonte: SINDIPEÇAS, 2008 *apud* MMA, 2011.

3.1.2 Intensidade de uso

A intensidade de uso constitui outro conjunto de dados necessário para inventariar as emissões atmosféricas advindas de motocicletas em Minas Gerais. Dependente da categoria do veículo considerado, representa a distância média que cada motocicleta que compõe a frota circulante estimada percorre por ano, em função da idade do veículo. A Figura 3.8 mostra os principais procedimentos adotados para obter o conjunto de dados intensidade de uso.

Figura 3.8- Procedimento para o cálculo da intensidade de uso de motocicletas.



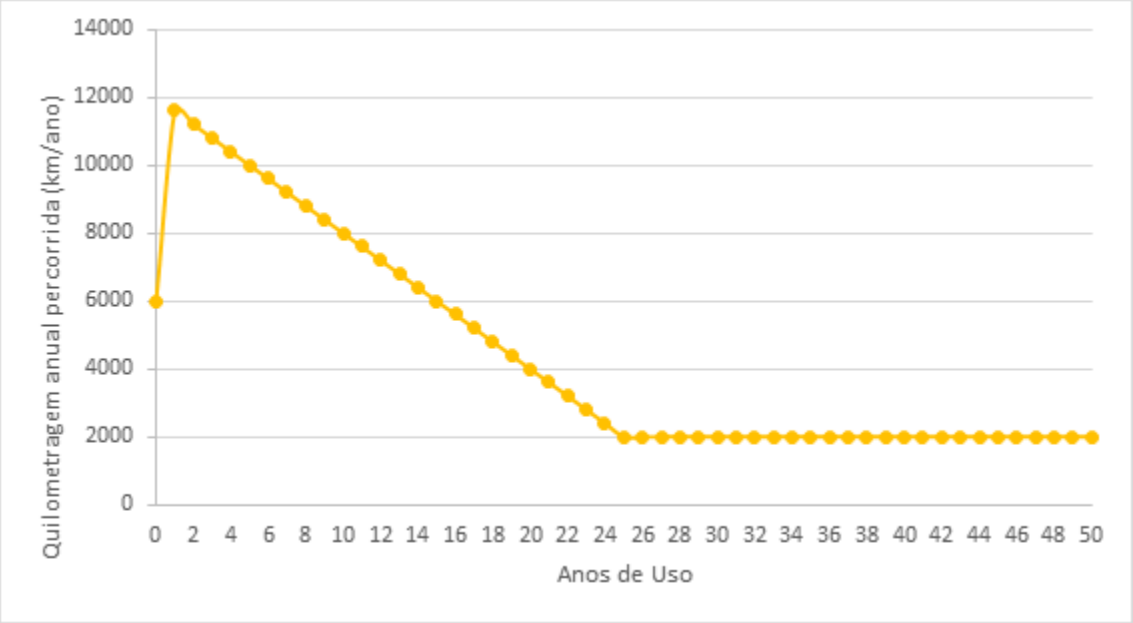
Fonte: Elaboração própria.

3.1.2.1 Intensidade de uso de referência

Para avaliar quais os valores deveriam ser utilizados como os de intensidade de uso de referência para a categoria de veículo inventariada, foram analisados os usados no 1º e no 2º INEAVAR (MMA, 2011; MMA, 2014) e os propostos em Curvas de intensidade de uso por tipo de veículo automotor da frota da cidade de São Paulo (CETESB, 2013), já utilizado no Relatório de Emissões Veiculares no Estado de São Paulo 2014 (CETESB, 2015).

A curva de intensidade de uso de referência usada nas publicações dos INEAVAR infere que quanto mais antigo é o veículo, menos ele se desloca (MMA, 2011). D'Agosto *et al.* (2011) também a utilizou para inventariar as emissões atmosféricas da frota do estado do Rio de Janeiro. A Figura 3.9 mostra o comportamento da curva. Cabe ressaltar que o ano 0 possui valor que corresponde à metade da quilometragem inicial, por considerar que a venda de veículos ocorre ao longo dos meses do ano. Assim sendo, pondera-se o fato de que tanto motocicletas vendidas em janeiro, quanto em dezembro do ano base, são consideradas como de idade 0, mesmo tendo acumulado diferentes rodagens, proporcionais aos meses de uso.

Figura 3.9- Curva de intensidade de uso de referência de motocicletas.



Fonte: MMA, 2011.

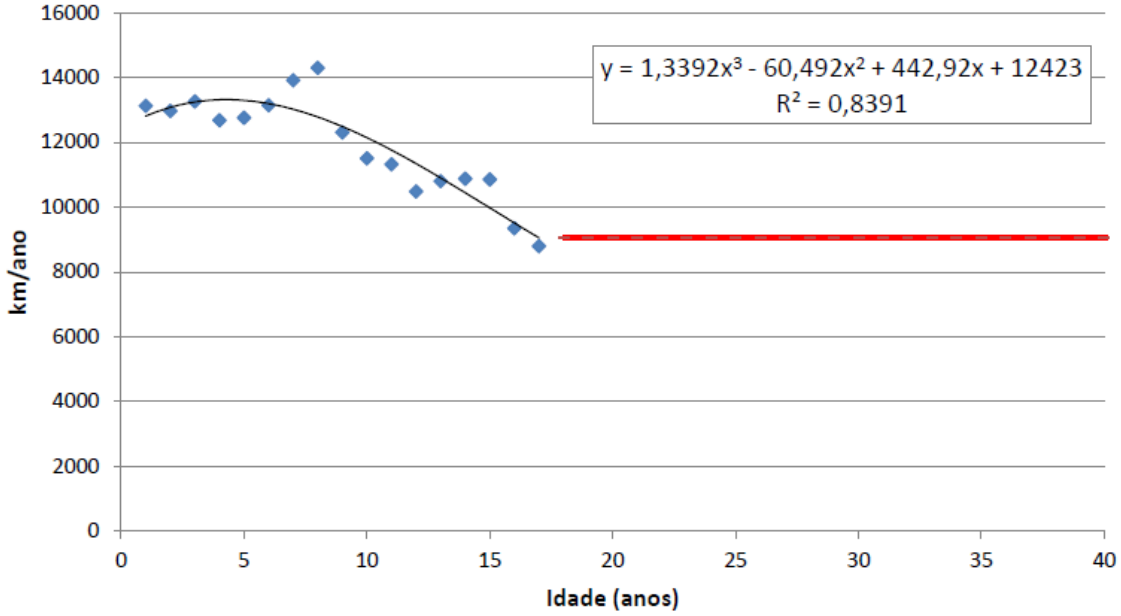
Um estudo realizado pela CETESB (2013) atualizou os valores de intensidade de uso de referência empregados até então, recomendando, inclusive, a avaliação da

possibilidade do Grupo de Trabalho do MMA passar a utilizá-los, por apresentar-se como mais adequada estimativa. A demanda por pesquisas para levantar dados mais realistas já havia sido citada pelo MMA nos INEAVAR, como recomendação (MMA, 2011; MMA, 2014). Sendo assim, em 2012, a CETESB solicitou à Secretaria de Meio Ambiente da capital a elaboração de um banco de dados, incluindo leitura de hodômetros de veículos inspecionados, para emprego em análises estatísticas.

Diferentemente da curva única utilizada nas publicações dos INEAVAR, empregada para todas as motocicletas e veículos similares, a CETESB elaborou curvas de intensidade de uso de referência diferentes para motociclos e motonetas – essas últimas englobando *scooters*, *lambrettas* e *vespas* –, sob pretexto de possuírem diferentes características de uso (CETESB, 2013).

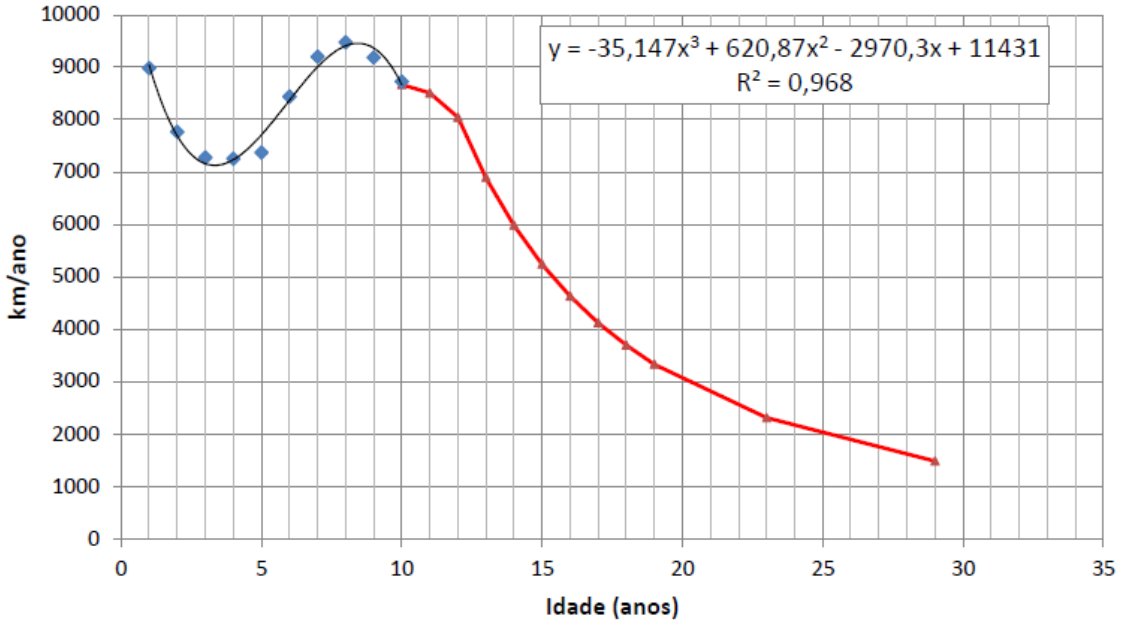
Foram repassados à CETESB dados de quilometragem percorrida por ano obtidos através do Programa de Inspeção e Manutenção da Secretaria do Verde e do Meio Ambiente da cidade de São Paulo de 2010 e 2011. Tais dados foram utilizados em modelo de ajuste pela técnica de regressão linear por mínimos quadrados, e, por interpolação, obteve-se funções polinomiais para descrever o comportamento assintótico da curva de intensidade de uso em função da idade do veículo obtida (CETESB, 2013). As Figuras 3.10 e 3.11 retratam o comportamento relativo aos motociclos e às motonetas, respectivamente. A curva em vermelho foi a obtida por extrapolação para os veículos mais antigos. Nota-se que a curva adotada pelo MMA subestima a intensidade de uso dos motociclos, o que impacta significativamente os cálculos de inventário.

Figura 3.10- Curva de intensidade de uso de referência de motociclos.



Fonte: CETESB, 2013.

Figura 3.11- Curva de intensidade de uso de referência de motonetas.



Fonte: CETESB, 2013.

Optou-se por adotar a intensidade de uso de referência mais atual. Como a proporção de motonetas é pequena em relação à frota total de veículos de Minas Gerais, aproximadamente 2,61% (DENATRAN, 2015), e menor que a proporção de motociclos em relação à frota de veículos duas rodas no estado, 9,92% de motonetas contra 88,80% de motociclos (DENATRAN, 2015), foi adotada a curva de intensidade de uso de referência dos motociclos como curva única para as motocicletas e similares.

3.1.2.2 Coeficiente de ajuste por combustível

Como o conjunto de dados Intensidade de uso possui baixa representatividade, composto de valores com maior incerteza, segundo D'Agosto *et al.* (2011), justificada pelo número reduzido de pesquisas e estudos, é necessário realizar um ajuste com base no consumo de combustível. A equação 3 mostra como obter o valor de intensidade de uso ajustada para o ano modelo do veículo (m) motocicleta no ano calendário (a) e para cada combustível utilizado (c), considerando cada categoria de veículo (v).

$$\boldsymbol{Iu}_{v,m,a,c} = \boldsymbol{Iu\ Ref}_{v,m,a} \times \frac{\boldsymbol{Con\ observado}_{a,c}}{\sum_{\boldsymbol{v=1}}^{\boldsymbol{V}} Con\ estimado_{v,a,c}} \qquad \text{(eq. 3)}$$

Sendo:

Iu – Intensidade de uso da categoria de veículo do ano modelo e combustível considerado (km/ano);

Iu Ref – Intensidade de uso de referência da categoria de veículo do ano modelo considerado (km/ano);

Con observado – Volume total do combustível considerado consumido (L);

Con estimado – Volume estimado do combustível considerado consumido por categoria de veículo (L).

Dessa forma, é necessário obter os valores de consumo total observado e consumo total estimado, por meio do somatório, para correlacioná-los, obtendo assim o fator de correção de cada combustível. O consumo observado é discriminado somente por tipo de combustível, sem qualquer divisão quanto à categoria de veículo que o consumiu, referindo-se àquele reportado nos dados do setor como de consumo rodoviário. Já o consumo estimado refere-se ao obtido por meio de dados de inventário, havendo divisão quanto à categoria de veículo que o consumiu.

Como o consumo total estimado de cada combustível é a soma das parcelas estimadas para cada categoria de veículo que o utiliza, ao realizar um inventário de emissões de uma categoria apenas, é verificado um obstáculo. Enquanto o consumo observado pode ser obtido por meio de dados presentes em publicações de balanços energéticos, como Araujo *et al*. (2013) procederam, o consumo estimado passível de cálculo no presente trabalho, restringe-se apenas à categoria motocicleta. Dessa forma, não se pode obter os fatores de correção pretendidos, por não possuir os outros termos

que devem compor o somatório, correspondente ao consumo estimado das outras categorias de veículo.

Por não ser possível obter fator de correção próprio dos combustíveis necessários – gasolina e etanol hidratado –, recorreu-se à alternativa de utilizar os fatores obtidos por estudo realizado em Juiz de Fora, Minas Gerais, por Araujo *et al.* (2013), que englobou todas as categorias de veículo e, portanto, obteve o consumo estimado total.

Dessa forma, tornou-se possível calcular os valores de intensidade de uso ajustada de motocicletas por ano e combustível em Minas Gerais. As Figuras 3.12 e 3.13 mostram as curvas referentes às motocicletas à gasolina C e à AEHC, respectivamente.

Figura 3.12- Intensidade de uso ajustada para motocicletas à gasolina C.

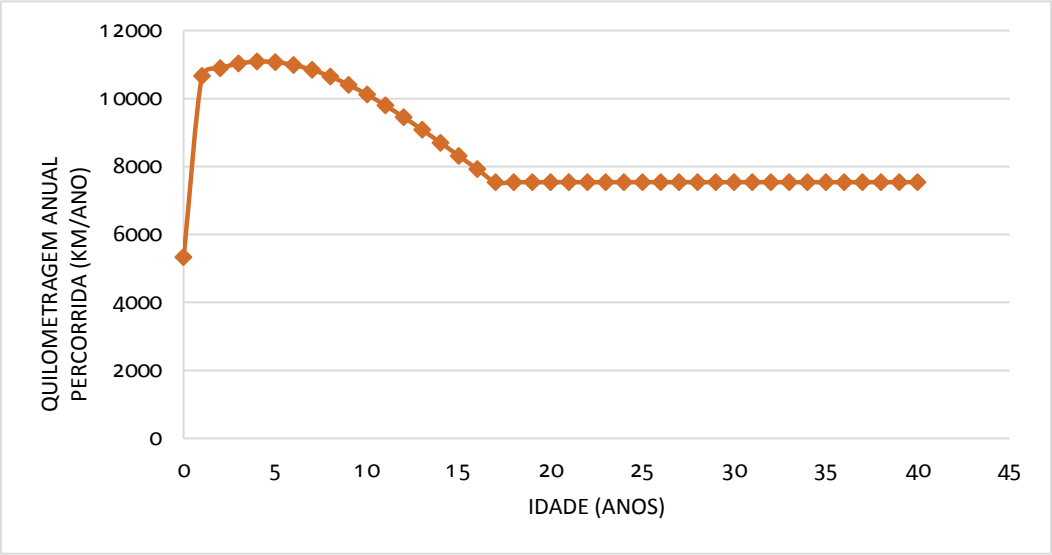
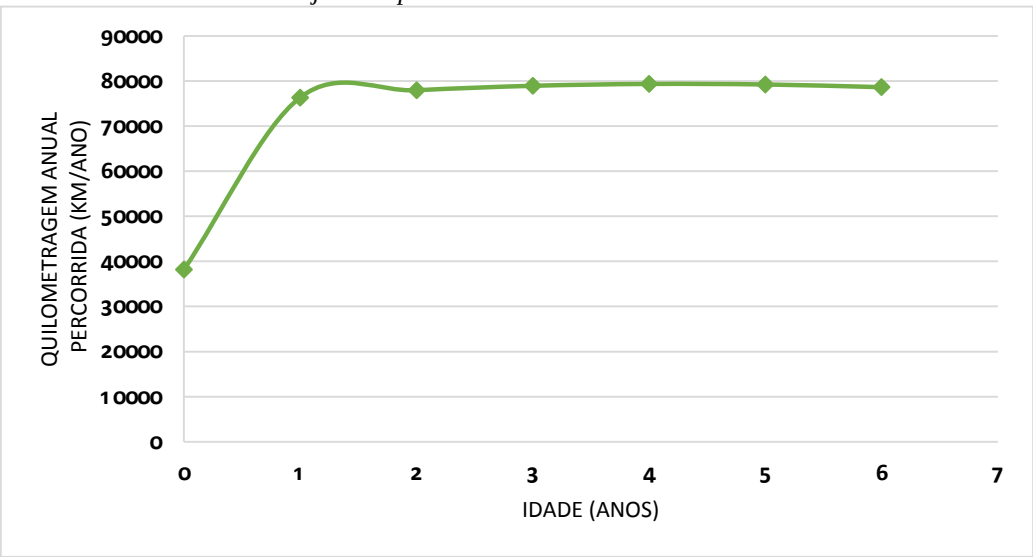


Figura 3.13- Intensidade de uso ajustada para motocicletas à AEHC.



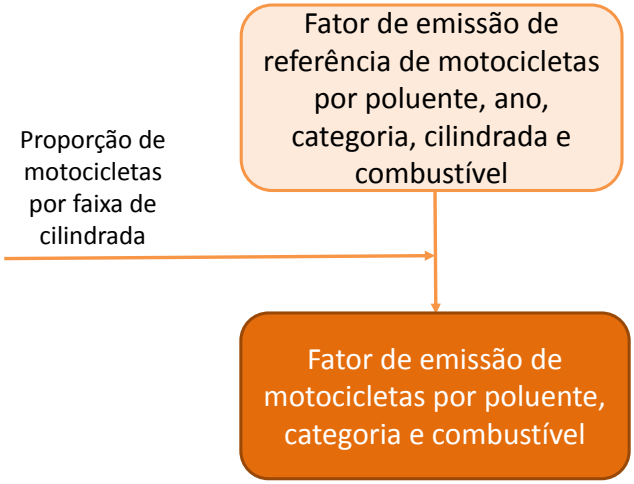
3.1.3 Fator de emissão

Os fatores de emissão de poluentes atmosféricos dependem do poluente analisado, da categoria, do ano modelo do veículo e do tipo de combustível consumido. Os adotados no presente estudo são aqueles utilizados pelo MMA no 2º INEAVAR (MMA, 2014). Porém, como neste inventário estão disponibilizados os valores até o ano de 2012, recorreu-se a procedimentos e aproximações para se obter os valores correspondentes ao período de 2013 a 2015.

Em relação aos poluentes N_2O, $NMHC_{escap}$ e MP_{comb} para os anos de 2013 a 2015 foram utilizados os fatores de emissão de 2012, uma vez que possuem variações mínimas em relação aos últimos anos, quanto ao $NMHC_{escap}$, e valores constantes, quanto ao N_2O e ao MP_{comb}.

Em relação aos poluentes CO, NO_X e CH_4 para os anos complementares, recorreu-se ao mesmo procedimento usado pelo MMA na determinação dos fatores de emissão dos anos anteriores, conforme ilustrado na Figura 3.14.

Figura 3.14- Procedimento para o cálculo dos fatores de emissão.



Fonte: Elaboração própria.

Destaca-se que o fator de emissão de referência para se obter o fator de emissão de CH_4 é o do HC. Utiliza-se da razão CH_4/HC = 15% para tal (MMA, 2014).

3.1.3.1 Fator de emissão de referência

Como fatores de emissão de referência para os poluentes CO, NO_X e CH_4 inventariados, recorreu-se aos disponibilizados no Relatório de Emissões Veiculares no

Estado de São Paulo 2014, para os anos 2013 e 2014, obtidos a partir dos Relatórios de Valores de Emissão da Produção (RVEP) e ponderados pelos Relatórios de Vendas anuais (CETESB, 2015). Para 2015, foram considerados os mesmos valores de 2014, por não dispor de valores mais atuais. Os fatores de emissão médios são apresentados por ano modelo, combustível utilizado e por faixa de cilindrada, no formato como é mostrado na Quadro 1.3. As letras utilizadas nos campos ano e fator de emissão são exemplos hipotéticos para ilustrar.

Quadro 1.3 – Formato de apresentação dos fatores de emissão de referência

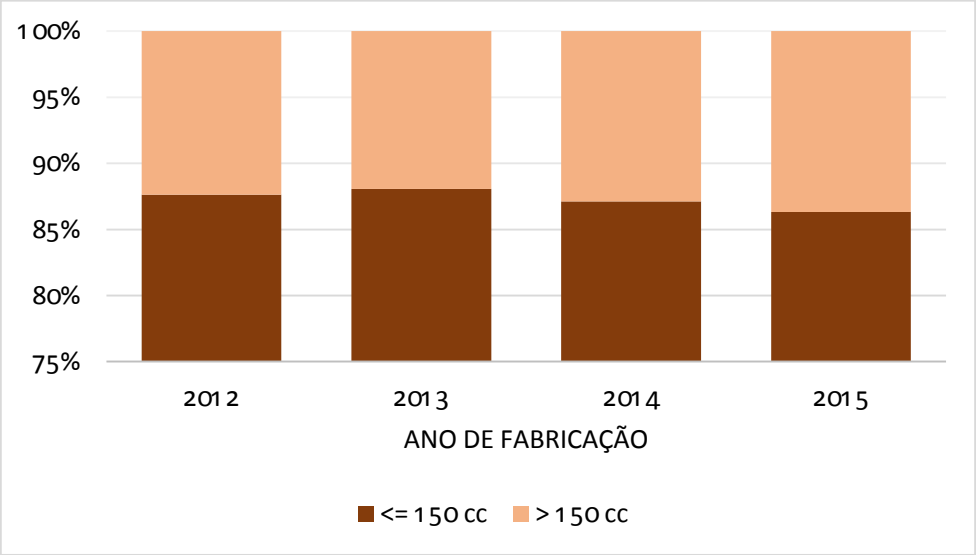
Ano	**Motor**	**Combustível**	**Fator de emissão (g/km)**
XXXX	≤ 150 cc	Gasolina C	H
	> 150 cc		Y
	≤ 150 cc	Flex – Gasolina C	Z
	> 150 cc		W
	≤ 150 cc	Flex – AEHC	Q
	> 150 cc		V

Fonte: Elaboração própria.

3.1.3.2 Proporção de motocicletas por faixa de cilindradas

Para se obter fatores de emissão únicos, no formato dos disponibilizados pelo MMA até 2012, é necessária a caracterização da frota de motocicletas em termos das cilindradas para os demais anos considerados. Recorreu-se aos dados nacionais de vendas no atacado em centímetros cúbicos, disponibilizados pela ABRACICLO, na falta de detalhamento a nível estadual, como mostrado na Figura 3.15 (ABRACICLO, 2016).

Figura 3.15- Proporção de vendas nacionais de motocicletas quanto à cilindrada.



Fonte: ABRACICLO, 2016. Elaboração: própria.

Por falta de discriminação simultânea quanto ao modelo e ao combustível utilizado, foi utilizada a mesma fração quanto à cilindrada para as três opções possíveis – gasolina C, flexíveis à gasolina C e flexíveis à AEHC. Assim, foi possível ponderar os fatores de emissão pela participação das faixas de cilindradas nas vendas anuais, obtendo fator único para cada ano modelo, combustível e poluente, no formato mostrado no Quadro 1.4. Novamente, as letras utilizadas nos campos ano e fator de emissão são exemplos hipotéticos.

Quadro 1.4 – Formato de apresentação dos fatores de emissão únicos

Ano	Combustível	Fator de emissão (g/km)
XXXX	Gasolina C	R
	Flex – Gasolina C	T
	Flex – AEHC	S

Fonte: Elaboração própria.

3.2 Cálculo das emissões de CO_2

A seguir, serão descritas as metodologias para a obtenção dos dois conjuntos de dados necessários para o cálculo das emissões de CO_2 que utilizam a equação 2: Consumo de combustível e Fator de emissão.

3.2.1 Consumo de combustível

Para calcular o consumo de combustível ajustado para a categoria de veículo motocicleta, utiliza-se a equação 4.

$$\boldsymbol{Co}_{v,a,c} = \sum_{c=1}^{C} \frac{\boldsymbol{Fr}_{v,m,a,c} \times \boldsymbol{Iu}_{v,m,a,c}}{\boldsymbol{R}_{v,m,a,c}} \qquad \text{(eq. 4)}$$

Sendo:

Co – Volume do combustível considerado consumido ajustado (L);

Fr – Frota circulante do veículo do ano modelo considerado (número de veículos);

Iu – Intensidade de uso ajustada do ano modelo e combustível considerado (km/ano);

R – Rendimento do ano modelo e combustível considerado (km/L).

Os conjuntos de dados da frota circulante estimada de motocicletas por categoria, ano e combustível em Minas Gerais em 2015 e da intensidade de uso de motocicletas por ano e combustível em Minas Gerais são os mesmos obtidos e utilizados nos cálculos de emissões dos demais poluentes já demonstrados.

Os valores de rendimento adotados foram aqueles reportados no 2º INEAVAR (MMA, 2014), separados por ano, modelo e combustível utilizado. Para se obter valores discriminados apenas por modelo e combustível – dedicadas, *flex fuel* à gasolina e *flex fuel* à etanol hidratado –, simplificando os cálculos, utilizou-se o valor médio dos disponíveis ao longo dos anos.

Destaca-se que no cálculo do consumo, deve-se considerar que a gasolina C é proveniente da mistura de gasolina A e de etanol anidro. No ano considerado, 2015, essa mistura continha 27% de etanol anidro na gasolina C (CETESB, 2015).

Dessa forma, calculou-se o consumo dos combustíveis gasolina A, etanol anidro e etanol hidratado por motocicleta por categoria e ano.

3.2.2 Fator de emissão de CO_2

Os fatores de emissão do poluente CO_2, diferentemente dos demais poluentes, dependem dos combustíveis consumidos. Os adotados no presente estudo são aqueles utilizados pelo MMA no 2º INEAVAR (MMA, 2014). Neste inventário estão

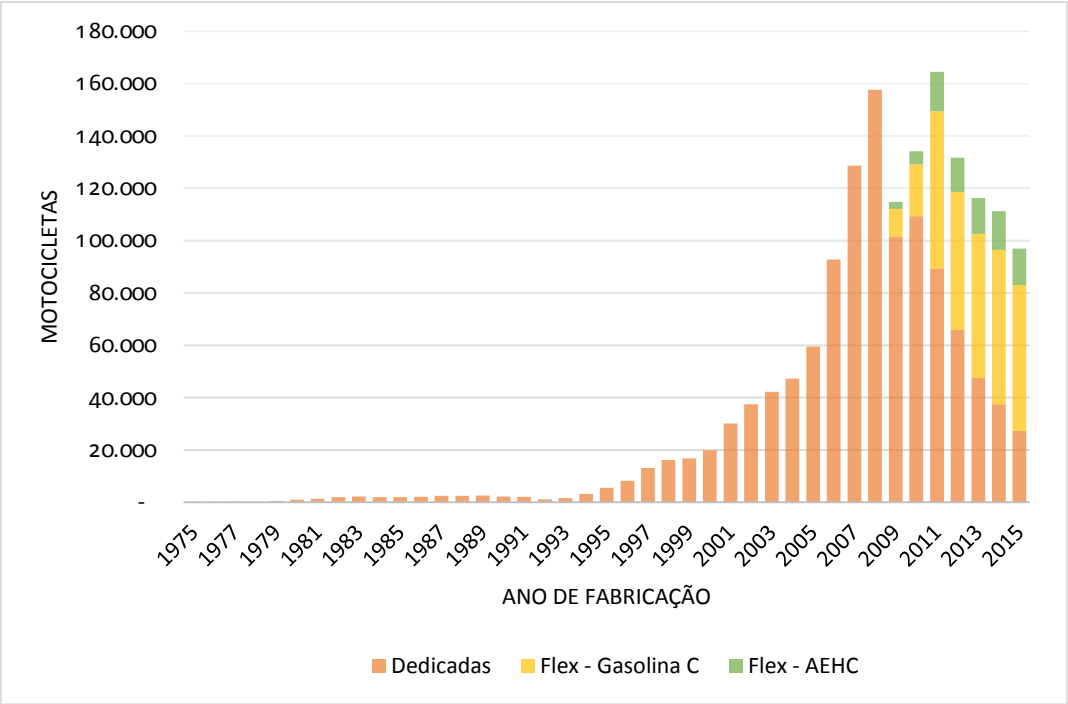
disponibilizados os valores até o ano de 2012. Dessa forma, para o período de 2013 a 2015, foram considerados os mesmos valores dos anos anteriores, que não sofriam alteração desde 2001.

4. RESULTADOS

4.1 Inventário de Emissões de 2015

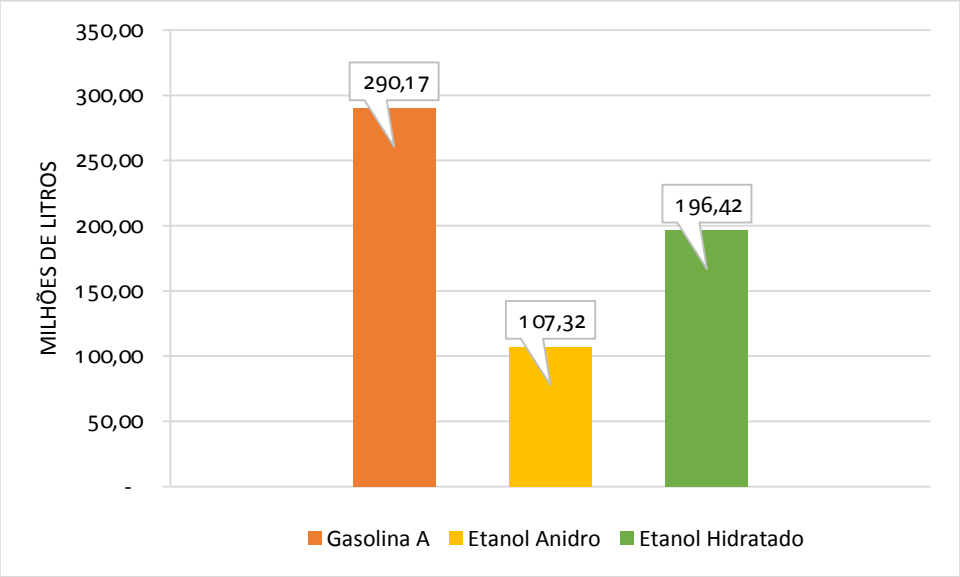
Aplicando a metodologia descrita no item 3.1.1, estimou-se a frota circulante de motocicletas em Minas Gerais no ano de 2015, por ano de fabricação, por modelo (flexível ou dedicada) e por combustível utilizado, de composição indicada na Figura 4.1. Destaca-se que os modelos flexíveis obtiveram expressiva aceitação pelo mercado consumidor, representando 71,78% do total de motocicletas novas vendidas em 2015 (ABRACICLO, 2016).

Figura 4.1- Frota circulante de motocicletas em Minas Gerais em 2015.



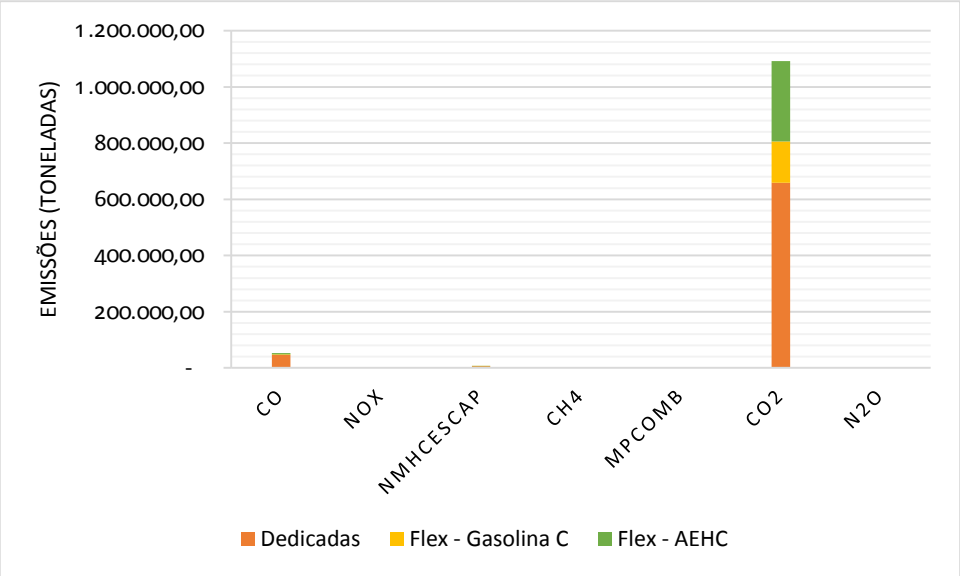
O consumo dos combustíveis gasolina A, etanol anidro e etanol hidratado por motocicletas circulantes em Minas Gerais em 2015, obtido a partir da equação 4, é mostrado na Figura 4.2.

Figura 4.2- Consumo ajustado por motocicletas em Minas Gerais em 2015.



Assim, estimou-se as emissões dos poluentes considerados provenientes da frota mineira de duas rodas em circulação em 2015, utilizando as equações 1 e 2. A Figura 4.3 demonstra que as emissões de CO_2 são as mais relevantes, destacando-se em relação às demais.

Figura 4.3- Emissões provenientes da frota circulante de motocicletas e veículos similares de Minas Gerais em 2015.



A Tabela 4.1 mostra em números, discriminadamente, a parcela de cada modelo nas emissões. A maior parcela é proveniente das dedicadas, que compõe a maior parcela da frota de motos que circularam no estado em 2015, e a gasolina C é o combustível

responsável pela maior contribuição nas emissões em relação a todos os poluentes considerados. Destaca-se que as motocicletas flexíveis, quando utilizam etanol hidratado, não contribuem com emissões de MP_{comb} e N_2O, devido ao fator de emissão nulo destes poluentes para o combustível.

Tabela 4.1 – Emissões de motocicletas e veículos similares em Minas Gerais em 2015

Emissões (toneladas/ano)	**CO**	**NO_X**	**$NMHC_{escap}$**	**CH_4**	**MP_{comb}**	**CO_2**	**N_2O**
Dedicadas	45.960,52	1.395,62	5.822,03	1.026,78	88,05	659.281,53	24,14
***Flex* – Gasolina C**	2.218,51	162,26	376,79	62,02	10,89	146.912,56	6,22
***Flex* – AEHC**	4.296,84	264,60	779,12	115,01	-	286.186,56	-
Total	52.475,87	1.822,48	6.977,93	1.203,82	98,94	1.092.380,65	30,37

Com a finalidade de verificar a coerência dos resultados obtidos, comparou-se os valores estimados com as emissões de poluentes atmosféricos provenientes das motocicletas no Brasil no ano de 2012, reportadas no mais recente INEAVAR (MMA, 2014). A frota estimada de veículos de duas rodas em circulação em Minas Gerais em 2015 corresponde a 11,81% da frota brasileira de motocicletas em 2012. A Tabela 4.2 retrata as razões entre os poluentes emitidos pela frota mineira de motocicletas em relação à nacional.

Tabela 4.2 – Razões entre emissões de motocicletas e veículos similares em Minas Gerais em 2015 e nacional em 2012

Poluente	**CO**	**NO_X**	**$NMHC_{escap}$**	**CH_4**	**MP_{comb}**	**CO_2**	**N_2O**
Razão	12,43%	12,62%	12,91%	12,62%	11,72%	5,03%	11,91%

Observando-se a razão entre as frotas – 11,81% – e as razões entre as emissões dos poluentes, exceto o CO_2, – de 11,72% a 12,91% –, percebe-se a coerência dos resultados obtidos para o estado de Minas Gerais.

A razão encontrada para o CO_2, único poluente calculado diretamente pelo consumo de combustível, conforme indica a equação 2, levou a uma porcentagem menor, como o esperado. O consumo de combustíveis foi impactado pela participação crescente dos

modelos flexíveis na frota – em 2012, 49,99% das motocicletas vendidas no Brasil foram *flex fuel*, já em 2015 essa porcentagem foi 71,78% (ABRACICLO, 2013; ABRACICLO, 2016). Dessa forma, o aumento da proporção de veículos duas rodas que utilizaram AEHC, que possui fator de emissão menor que o da gasolina – 1,457 kg CO_2/L de AEHC contra 2,212 kg CO_2/L de gasolina A (MMA, 2014) –, levou à diminuição das emissões de CO_2.

4.2 Cenário – Ausência de motocicletas *flex fuel* na frota mineira em circulação em 2015

Foram estimadas as emissões provenientes da frota circulante de motocicletas e veículos similares de Minas Gerais em 2015, considerando o caso de a frota ser exclusivamente dedicada, para avaliar os ganhos decorrentes da parcela flexível.

Devido ao fato dos coeficientes que ajustam a intensidade de uso dos veículos – relação entre consumo observado e estimado –, utilizados na equação 3, possuírem expressiva diferença dependendo do combustível utilizado, simplesmente adotar o coeficiente referente à gasolina para toda a frota não retrata as condições de consumo de combustível e distância percorrida pela frota. Assim, para elaborar o cenário foi utilizado um coeficiente de ajuste ponderado entre os valores referentes a cada combustível e a parcela real de motos que as utilizaram em 2015. Dessa forma, foram obtidos valores que traduzem melhor a hipótese de a frota ser exclusivamente dedicada.

A Tabela 4.3 demonstra a comparação das emissões dos poluentes avaliados, provenientes das motos que circularam no estado em 2015, entre os valores estimados no inventário e a hipótese de não haver veículos flexíveis.

Tabela 4.3 – Emissões do cenário com frota de motocicletas e veículos similares em Minas Gerais em 2015 exclusivamente de dedicadas

Emissões (toneladas/ano)	**CO**	**NO_X**	**$NMHC_{escap}$**	**CH_4**	**MP_{comb}**	**CO_2**	**N_2O**
Cenário Sem *flex fuel*	63.104,83	2.181,87	8.392,11	1.470,75	132,74	1.137.921,51	41,68
Inventário Com *flex fuel*	52.475,87	1.822,48	6.977,93	1.203,82	98,94	1.092.380,65	30,37

Como foi demonstrado, a parcela *flex fuel* na frota faz com que as taxas de emissão de todos os poluentes considerados sejam menores.

A Figura 4.4 mostra o percentual de emissões evitadas em função da inserção das motocicletas e similares na frota circulante em Minas Gerais, no ano de 2015. As maiores contribuições ocorrem em relação a diminuição das emissões de MP_{comb} e N_2O, uma vez que estes poluentes não são produzidos na queima do etanol hidratado, possuindo fatores de emissão nulos.

Figura 4.4- Percentual de emissões evitadas pela parcela flexível da frota circulante de motocicletas e veículos similares de Minas Gerais em 2015 em ralação ao cenário de frota exclusivamente dedicada.

4.3 Cenários – Inserção gradativa de motocicletas elétricas na frota mineira no período de 2016 a 2020

Com a finalidade de elaborar os cenários de inserção de veículos elétricos de duas rodas na frota circulante mineira, foram elaborados cenários de emissões provenientes das motocicletas e similares no estado para os anos de 2016 a 2020.

Para projetar a frota total dos próximos cinco anos, usou-se como taxa de crescimento o valor médio do percentual de crescimento da frota mineira dos últimos dez anos inventariados, de 2005 a 2015, correspondente a 0,03%. Tal procedimento foi adotado devido às atuais incertezas do setor de fabricantes. No final de 2015, a ABRACICLO (2015b) fazia projeções de crescimento de aproximadamente 0,80% nas vendas no mercado interno para o próximo ano. Já no primeiro trimestre de 2016, em

entrevista, o presidente da ABRACICLO estimou retração de 9,7% e 10,1% para o ano, refletindo a crise que o país atravessa (SOUZA, 2016). Portanto, o discreto crescimento adotado pretende contrabalançar as possíveis retrações dos anos iniciais com os posteriores de recuperação.

Quanto à proporção de motocicletas flexíveis, foi utilizado o percentual médio de crescimento de tal proporção dos últimos quatro anos, de 2012 a 2015, pois os anos anteriores foram considerados de adaptação do modelo ao mercado. A curva de escolha de combustível, os fatores de emissão e a composição da mistura da gasolina C comercializada foram os mesmos utilizados no inventário de emissões de 2015 elaborado, por ausência de iminências de mudanças futuras.

Para estabelecer os cenários de inserção de motocicletas elétricas na frota, foram estudadas algumas projeções. O primeiro cenário adotado utiliza como percentual de inserção de motos elétricas nas vendas, os mesmos de inserção das motocicletas *flex fuel*, nos primeiros cinco anos de venda do modelo no Brasil. Tal hipótese leva a uma proporção de motocicletas elétricas na frota total circulante em 2020 de 11,31%, valor próximo a 10%, que foi adotado como projeção otimista para veículos elétricos na frota em 2020 em estudo realizado por Pessanha *et al.* (2011). Dessa forma, tal cenário foi adotado como otimista. A Tabela 4.4 retrata o percentual de inserção de motocicletas elétricas nas vendas, ano a ano, e a respectiva proporção na frota total circulante resultante.

Tabela 4.4 – Cenário otimista

Ano	Inserção	Proporção na frota circulante
2016	11,61%	0,73%
2017	18,53%	1,87%
2018	45,77%	4,73%
2019	49,99%	7,77%
2020	59,06%	11,31%

O segundo cenário elaborado tem 2,00% de motos elétricas na frota total de veículos de duas rodas circulante em Minas, mesmo valor que foi considerado como projeção conservadora para 2020 por Pessanha *et al.*(2011). Este, adotado como cenário pessimista, possui a mesma taxa de crescimento anual de inserção que teve a inserção

das motos flexíveis. A Tabela 4.5 mostra os percentuais de inserção anual nas vendas e de proporção na frota total de motos em circulação nos anos.

Tabela 4.5 – Cenário pessimista

Ano	Inserção	Proporção na frota circulante
2016	2,08%	0,13%
2017	3,25%	0,33%
2018	8,15%	0,84%
2019	8,73%	1,37%
2020	10,51%	2,00%

A elaboração dos três cenários – sem inserção de motocicletas elétricas, com inserção em cenário otimista e com inserção em cenário pessimista – possibilitou comparar as emissões ao longo dos cinco anos projetados. As Figuras 4.5, 4.6, 4.7, 4.8, 4.9, 4.10 e 4.11 ilustram tal comparação para os poluentes CO, NO_X, $NMHC_{escap}$, CH_4, MP_{comb}, CO_2 e N_2O, respectivamente. Todas refletem a crescente expressividade do impacto da inserção de motos elétricas na redução das emissões ao longo dos anos, destacando-se a redução das emissões de CO_2, devido ao consumo de combustível evitado.

Figura 4.5- Comparação entre cenários de emissões de CO provenientes da frota circulante de motocicletas e veículos similares de Minas Gerais ao longo dos anos.

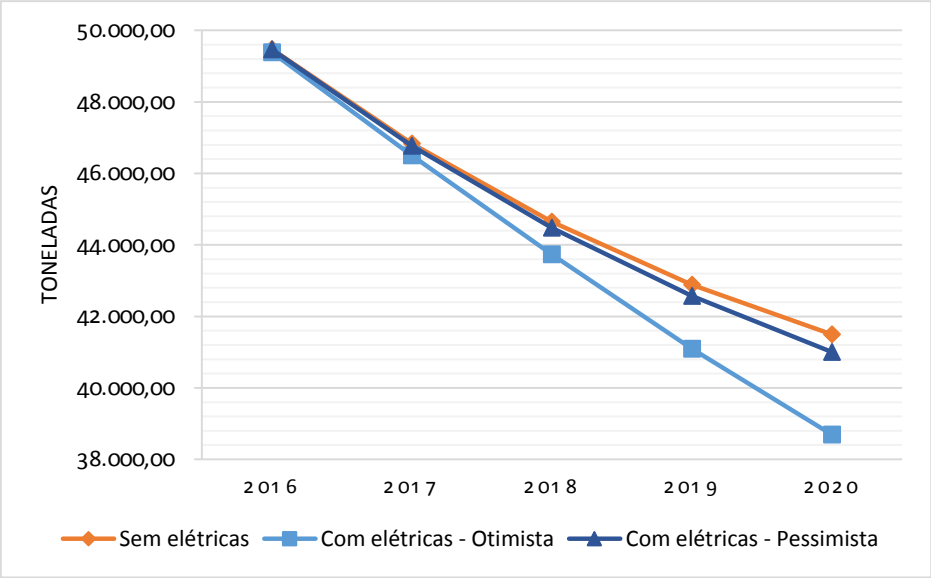


Figura 4.6- Comparação entre cenários de emissões de NO_X provenientes da frota circulante de motocicletas e veículos similares de Minas Gerais ao longo dos anos.

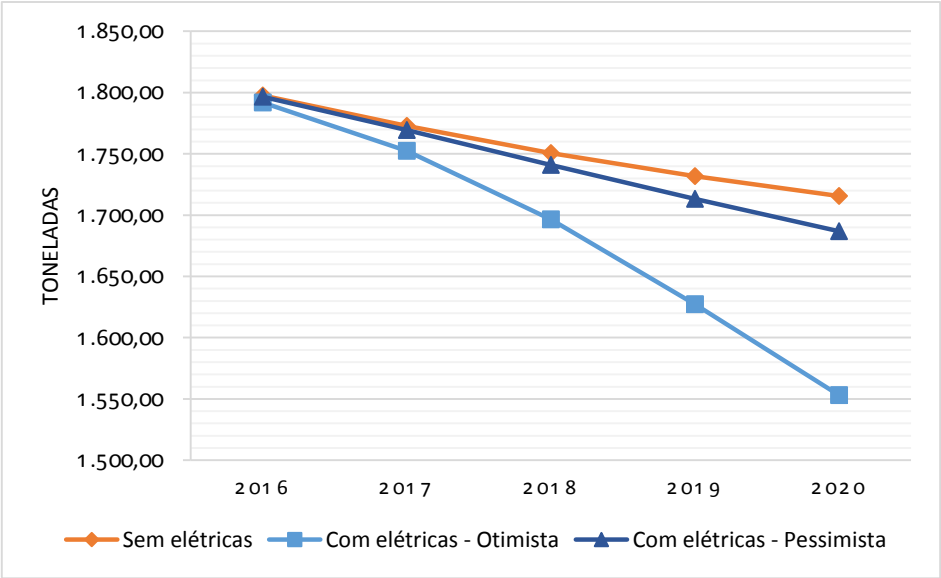


Figura 4.7- Comparação entre cenários de emissões de $NMHC_{escap}$ provenientes da frota circulante de motocicletas e veículos similares de Minas Gerais ao longo dos anos.

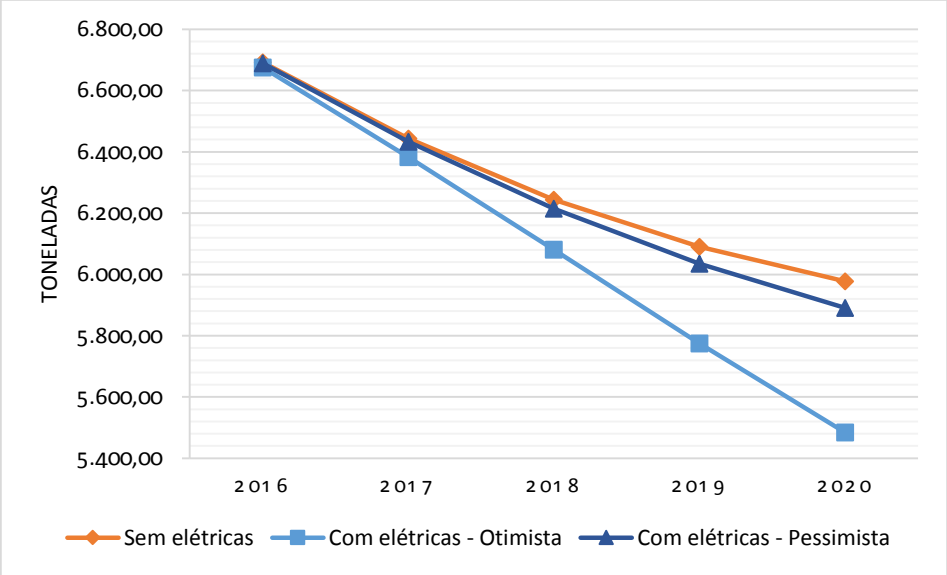


Figura 4.8- Comparação entre cenários de emissões de CH_4 provenientes da frota circulante de motocicletas e veículos similares de Minas Gerais ao longo dos anos.

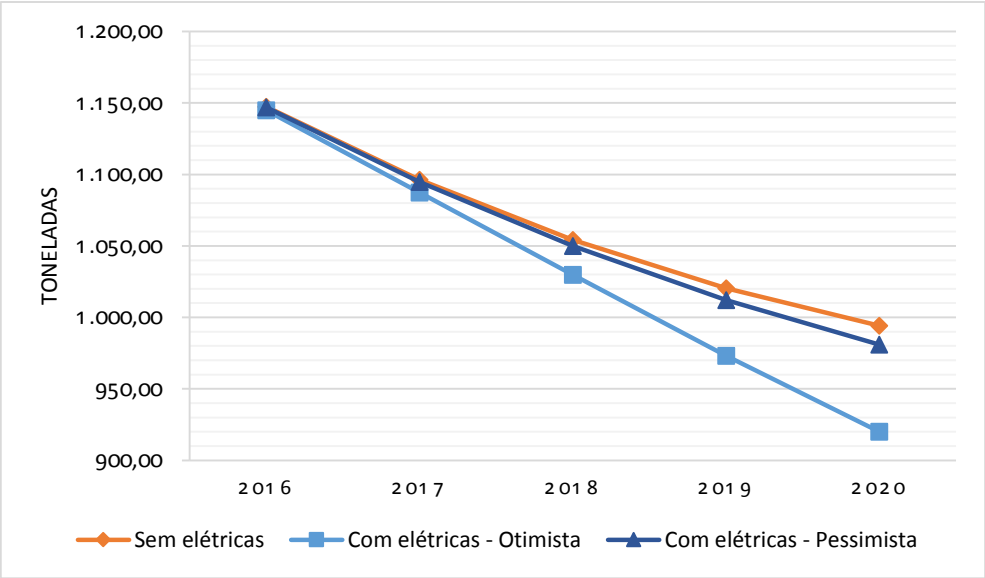


Figura 4.9- Comparação entre cenários de emissões de MP_{comb} provenientes da frota circulante de motocicletas e veículos similares de Minas Gerais ao longo dos anos.

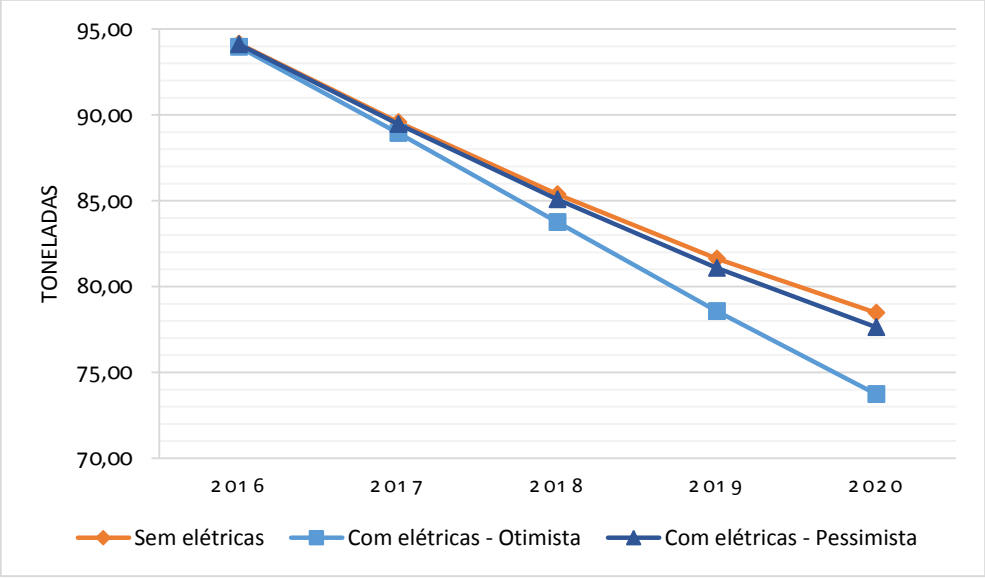


Figura 4.10- Comparação entre cenários de emissões de CO_2 provenientes da frota circulante de motocicletas e veículos similares de Minas Gerais ao longo dos anos.

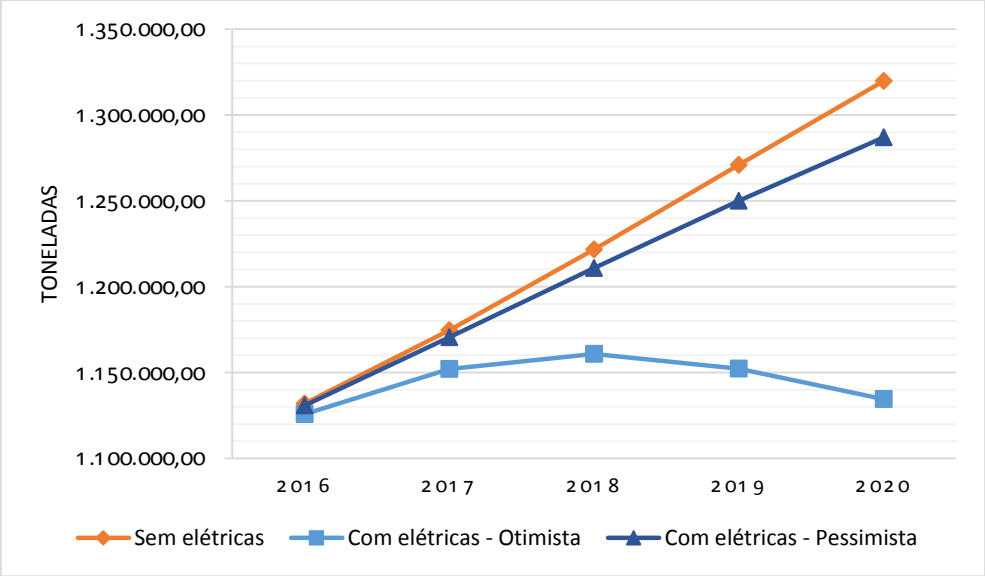
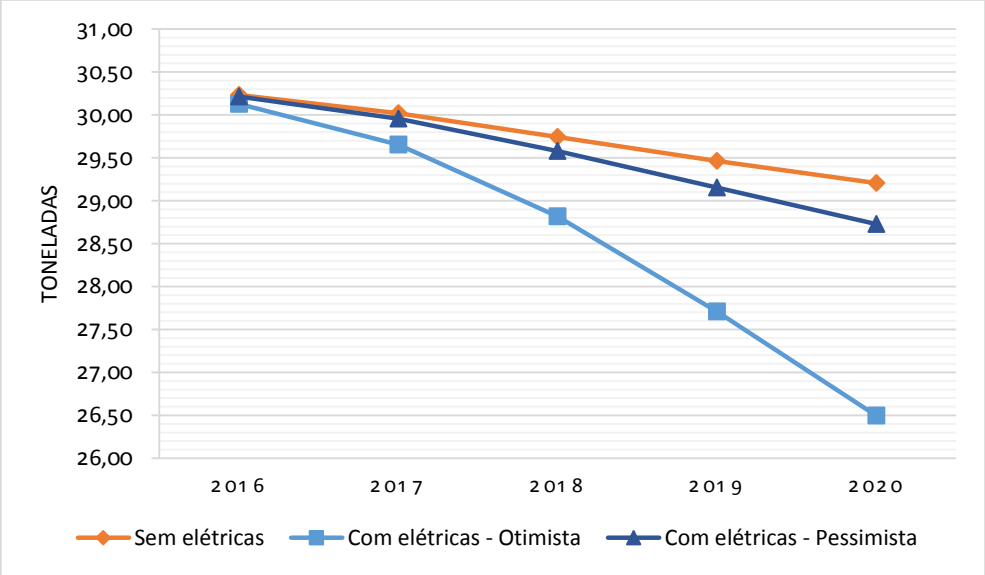


Figura 4.11- Comparação entre cenários de emissões de N_2O provenientes da frota circulante de motocicletas e veículos similares de Minas Gerais ao longo dos anos.

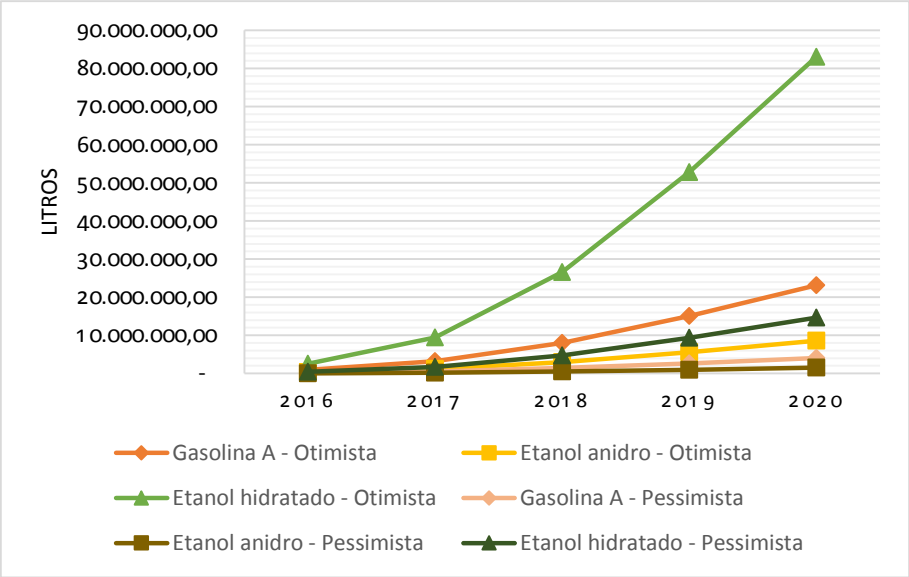


Devido aos menores fatores de emissão dos poluentes ao longo dos anos (CETESB, 2015) resultante de inovações tecnológicas, os três cenários refletem diminuição das taxas de emissão, mesmo sem inserção dos veículos elétricos. Apenas no caso do CO_2 essa situação é diferente. Como a emissão deste poluente é a única diretamente proporcional ao consumo do combustível utilizado pela frota, e esta teve projeção de crescimento nos anos considerados, as emissões sem veículos elétricos são crescentes. A inserção das motos elétricas faz com que, com o mesmo número de veículos na frota

total, o número de motocicletas de motor térmico decresça ao longo dos anos. Esta situação diminui o consumo de combustíveis e, por consequência, as emissões de CO_2, fazendo a curva de emissão ter aspecto de parábola. No cenário otimista, com maior taxa de inserção, em cinco anos já foi possível alcançar a etapa decrescente da parábola.

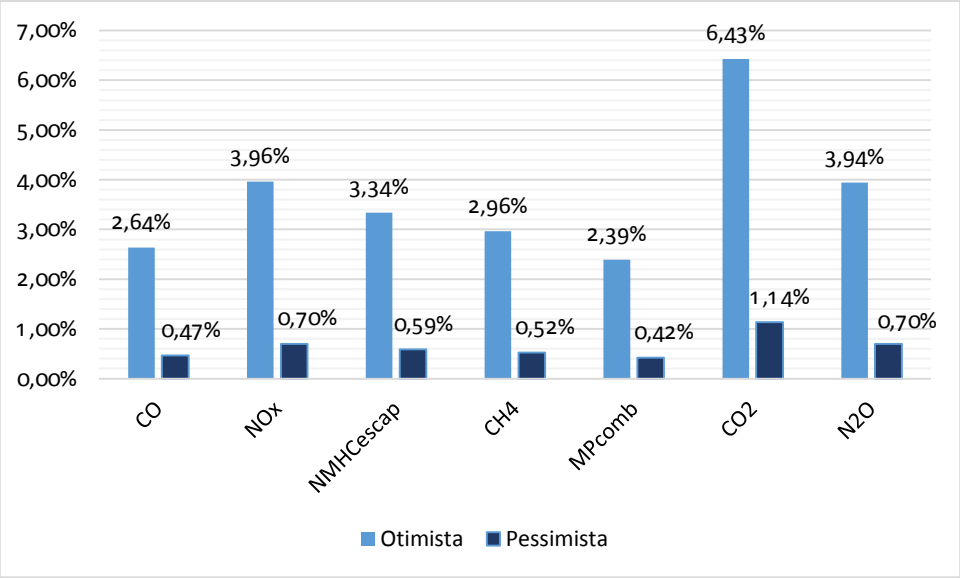
A Figura 4.12 mostra a dimensão do volume de combustível evitado na situação de inserção proposta pelo cenário otimista e pelo cenário pessimista, impactando diretamente na emissão de CO_2, que, como foi dito, é o único poluente estimado no presente estudo que depende do consumo e tem fator de emissão em função de cada um dos tipos.

Figura 4.12- Consumo de combustível evitado com inserção de veículos elétricos na frota circulante de motocicletas e veículos similares de Minas Gerais ao longo dos anos.



Na análise dos cinco anos projetados, encontram-se resultados acumulados expressivos de emissões e de consumo de combustível evitados com a inserção das elétricas na frota, mesmo sendo um prazo curto. A Figura 4.13 mostra o percentual de redução das emissões de poluentes, para o período de 2016 a 2020, em cada cenário. Além do CO_2, destacou o percentual de emissões evitadas de NO_X e N_2O.

Figura 4.13- Comparação entre o percentual de emissões evitadas acumuladas de 2016 a 2020 com cenários de inserção de veículos elétricos na frota circulante de motocicletas e veículos similares de Minas Gerais.



A Tabela 4.6 mostra em números, discriminadamente, a parcela de cada modelo nas emissões estimadas para o cenário que considera inserção de veículos elétricos na frota mineira de motocicletas em circulação em Minas Gerais, acumuladas no período de 2016 a 2020.

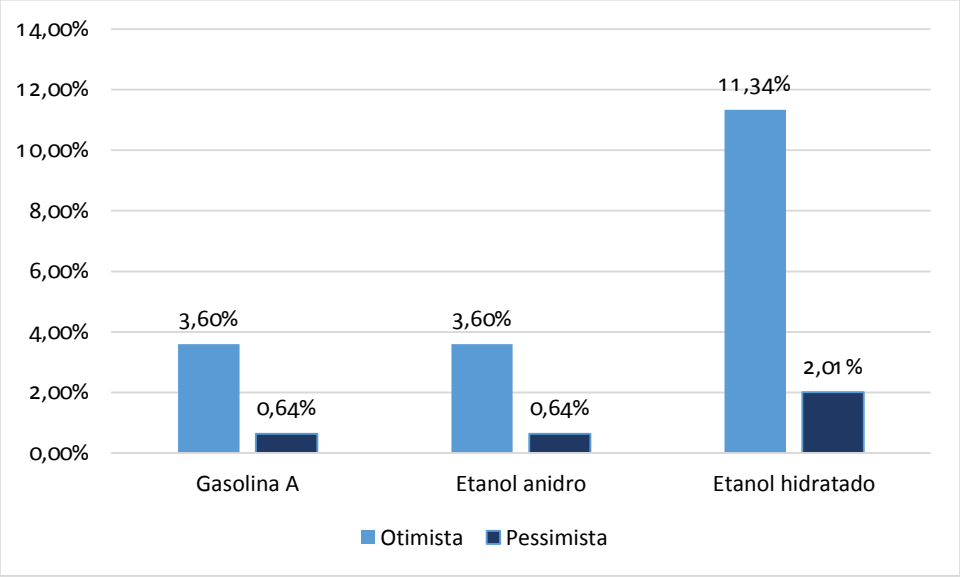
Tabela 4.6 – Emissões do cenário que considera inserção de veículos elétricos na frota mineira de motocicletas em circulação em Minas Gerais, acumuladas no período de 2016 a 2020

Emissões (toneladas/ano)		**CO**	**NO_X**	**$NMHC_{escap}$**	**CH_4**	**MP_{comb}**	**CO_2**	**N_2O**
Sem elétricas		225.332,68	8.768,31	31.449,33	5.312,51	429,19	6.118.810,30	148,66
Com elétricas	**Cenário pessimista**	224.281,64	8.706,87	31.263,61	5.284,67	427,38	6.049.190,20	147,63
	Cenário otimista	219.392,32	8.421,13	30.399,75	5.155,16	418,94	5.725.339,95	142,80

Em relação ao consumo de combustíveis, a Figura 4.14 demonstra o percentual de consumo evitado para os anos projetados. Destaca-se a preponderância do percentual quanto ao etanol hidratado, uma vez que, sem as elétricas, projeta-se aumento do

consumo deste combustível nos próximos anos pela parcela crescente de motos flexíveis em circulação.

Figura 4.14- Comparação entre percentual de consumo evitado acumulado de combustível de 2016 a 2020 com cenários de inserção de veículos elétricos na frota circulante de motocicletas e veículos similares de Minas Gerais.



4.4 Avaliação dos benefícios ambientais: Estimativa do Custo Social do Carbono dos cenários

Dentre os fatores causadores das mudanças climáticas globais, a variação da concentração de CO_2 na atmosfera é um dos que mais se destacam. No período entre os anos de 1750 e 2005, esta aumentou em 40%, sendo que 63% das emissões do poluente são advindas do uso de combustíveis fósseis (MACEDO, 2014).

A inserção dos veículos elétricos, como já foi dito, demanda investimentos para implementar a infraestrutura necessária para seu funcionamento e abastecimento, além de incentivos para que sejam mais acessíveis à população, com preços mais competitivos. Limitando a esse ponto de vista, pode-se concluir erroneamente que a inserção da parcela elétrica na frota apenas geraria ônus financeiros, mesmo possuindo o inquestionável ganho ambiental com a redução de emissões de poluentes e consumo de combustíveis fósseis. Porém, é preciso internalizar gastos externos para que se possa avaliar o bônus financeiro que é gerado com essa inserção.

O Custo Social do Carbono (SCC, da sigla em inglês *Social Cost of Carbon*) é um índice que a EPA (Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos) e outras

agências federais utilizam para estimar prejuízos econômicos, alcançados ou evitados, associados ao lançamento de uma tonelada de CO_2 na atmosfera. Apesar de possuir limitações, por não incluir os efeitos de todos os danos conhecidos, o índice é utilizado para internalizar custos sociais globais advindos dos danos causados pelas mudanças climáticas, tais como mudanças na produtividade agrícola, danos à saúde humana e às propriedades, diminuição da produtividade dos trabalhadores, aumento dos riscos de inundações, e mudanças nos custos do sistema de energia, decorrentes do aumento dos custos com ar condicionado, por exemplo (EPA, 2016).

O SCC é utilizado para guiar regulamentos, estratégias econômicas e políticas de incentivo fiscal, ao considerar aspectos que podem alterar a situação de um investimento de inviável e oneroso para viável e lucrativo.

O mais recente estudo do governo americano concluiu que uma tonelada adicional de CO_2 emitido em 2015 causaria danos sociais que equivalem a US$ 37. Porém, estudo publicado na revista *Nature Climate Change* estima que o valor adequado corresponde a US$ 220 por tonelada. (MOORE; DIAZ, 2015). O co-autor do estudo, Delavane Diaz, salienta o impacto negativo que a incorreta estimativa do valor pode causar, na medida em que se o SCC é maior, até mesmo meios caros de redução das emissões passariam a ser viáveis economicamente (THAN, 2015).

Os benefícios ambientais advindos das emissões evitadas de CO_2, no que tange aos impactos sobre as mudanças climáticas, durante os cinco primeiros anos de inserção de motocicletas elétricas na frota de Minas Gerais, foram calculados utilizando o valor de US$ 220. Também foi estimado o valor do SCC que a parcela flexível da frota mineira de duas rodas evitou em 2015.

A Tabela 4.7 mostra os valores que seriam economizados de 2016 a 2020 para os cenários pessimista e otimista de inserção de motos elétricas, correspondendo a valores expressivos, que já apontam para os benefícios das mudanças propostas na frota de veículos duas rodas, justificando medidas incentivadoras para tais.

Tabela 4.7 – Custo Social do Carbono evitado com a inserção de veículos elétricos na frota mineira de motocicletas em Minas Gerais no período de 2016 a 2020

	SCC (US$)
Cenário pessimista	15.316.421,73
Cenário otimista	86.563.475,67

Já o valor economizado em 2015, correspondente ao custo social do carbono, pela parcela *flex* de veículos duas rodas que circulou no estado, aproximadamente 24,83% da frota de motocicletas, foi de US$ 10.018.989,41. Este valor demostra a magnitude dos benefícios econômicos decorrentes da adoção do modelo flexível sobre o dedicado no decorrer de um único ano, quando a parcela do modelo na frota circulante é expressiva.

5. CONCLUSÕES

O presente trabalho mostrou que a frota de motocicletas e veículos similares que circulou em Minas Gerais no ano de 2015 possuía aproximadamente 24,83% de participação dos modelos flexíveis, parcela que vem crescendo desde 2009, ano em que começaram a ser comercializados no Brasil. A partir do inventário elaborado, conclui-se que o poluente com a maior taxa de emissão pela frota considerada foi o CO_2, seguido do CO e do $NMHC_{escap}$, e os menos emitidos foram o N_2O e o MP_{comb}, uma vez que, além de possuírem os menores fatores de emissão dentre os poluentes considerados, não são emitidos pela parcela *flex fuel* que utilizou como combustível o etanol hidratado.

O cenário avaliado que considerou que a frota mineira de veículos de duas rodas em circulação em 2015 como exclusivamente dedicada, ou seja, em que as motocicletas flexíveis que compunham a frota fossem também dedicadas, levou ao aumento das emissões de todos os poluentes considerados no estudo. Dessa forma, concluiu-se que a parcela flexível da frota reduz a emissão de todos os poluentes inventariados, especialmente o N_2O e o MP_{comb}, não emitidos na queima de AEHC. Além disso, verifica-se que o poluente que possui o menor percentual de redução com a utilização dos veículos flexíveis é o CO_2, uma vez que sua emissão está associada ao consumo de combustível, fazendo com que a diferença entre o impacto de usar gasolina – quando flexível ou dedicada – ou AEHC – exclusivamente quando flexível – venha apenas da diferença entre os valores dos fatores de emissão entre os combustíveis. Dessa forma, é explicado o impacto menor da redução da emissão deste poluente pela parcela de motos *flex*.

A avaliação dos cenários elaborados considerando a inserção gradativa de motocicletas elétricas na frota em circulação de Minas Gerais, ao longo dos anos de 2016 a 2020, apresentou redução significativa das emissões de todos os poluentes, quando comparadas com as emissões projetadas para o período no caso de não haver tal inserção. Tanto no cenário otimista, quanto no pessimista, os maiores percentuais de emissões evitadas pelos modelos elétricos foram os referentes aos poluentes CO_2, NO_X e N_2O. Além disso, tem-se que o consumo de todos os combustíveis irá diminuir, e que o etanol hidratado é o combustível que sofrerá maior redução, uma vez que, na ausência das elétricas, projeta-se um aumento de seu consumo graças ao aumento da parcela flexível na frota de motocicletas em circulação.

Ao longo dos cinco anos projetados para os três cenários – sem inserção de elétricas, com inserção de elétricas em cenário otimista e com inserção de elétricas em cenário pessimista – há a tendência de diminuição das emissões de todos os poluentes, quanto maior a parcela de inserção de veículos elétricos na frota, e consequente também dos menores fatores de emissão dos veículos mais novos. Porém, tal situação não ocorre em relação ao CO_2, em que, sem a inserção das motocicletas elétricas, as emissões crescem ao longo dos anos, acompanhando o aumento da frota e do consumo de combustíveis. Em contrapartida, a inserção das elétricas faz com que o número de motos de motor à combustão interna decresça ao longo dos anos, diminuindo a taxa de crescimento das emissões, até que, como já seria possível no caso do cenário otimista, a emissão do poluente diminua com os anos.

Neste trabalho, conclui-se que são expressivos os benefícios ambientais advindos da diminuição do consumo de combustíveis e das emissões de poluentes atmosféricos produzidos pelos veículos de duas rodas, causadas pelas tecnologias *flex fuel* e de propulsão elétrica, reduzindo, inclusive, os gastos sociais decorrentes das mudanças climáticas. Dessa forma, a renovação constante da frota e a inserção de veículos com tecnologias menos poluidoras, através de estratégias econômicas e políticas de incentivo, apresentam-se como forma de evitar impactos negativos à saúde da população, à fauna e à flora, que geram, também, gastos financeiros. Assim sendo, destaca-se a importância da elaboração de inventários e cenários para avaliar ganhos ambientais advindos de ações pretéritas ou futuras, embasando medidas que visem à melhora da qualidade do ar e minimize impactos negativos causados ao meio ambiente.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRACICLO (Associação Brasileira dos Fabricantes de Motocicletas, Ciclomotores, Motonetas, Bicicletas e Similares). *Vendas no atacado – 2009*, 2009.

ABRACICLO (Associação Brasileira dos Fabricantes de Motocicletas, Ciclomotores, Motonetas, Bicicletas e Similares). *Vendas no atacado – 2010*, 2010.

ABRACICLO (Associação Brasileira dos Fabricantes de Motocicletas, Ciclomotores, Motonetas, Bicicletas e Similares). *Anuário da Indústria Brasileira de Motociclos – 2011*, 2011.

ABRACICLO (Associação Brasileira dos Fabricantes de Motocicletas, Ciclomotores, Motonetas, Bicicletas e Similares). *Anuário da Indústria Brasileira de Motociclos – 2012*, 2012.

ABRACICLO (Associação Brasileira dos Fabricantes de Motocicletas, Ciclomotores, Motonetas, Bicicletas e Similares). *Anuário da Indústria Brasileira de Motociclos – 2013*, 2013.

ABRACICLO (Associação Brasileira dos Fabricantes de Motocicletas, Ciclomotores, Motonetas, Bicicletas e Similares). *Anuário da Indústria Brasileira de Motociclos – 2014*, 2014.

ABRACICLO (Associação Brasileira dos Fabricantes de Motocicletas, Ciclomotores, Motonetas, Bicicletas e Similares). *Anuário da Indústria Brasileira de Motociclos – 2015*, 2015a.

ABRACICLO (Associação Brasileira dos Fabricantes de Motocicletas, Ciclomotores, Motonetas, Bicicletas e Similares). *Mercado de motos vê 2016 com otimismo*. Publicado em: 10/01/2015. 2015b. Disponível em: <http://www.abraciclo.com.br/noticias/clipping/919-mercado-de-motos-ve-2016-com-otimismo>. Acesso em: 15/09/2016.

ABRACICLO (Associação Brasileira dos Fabricantes de Motocicletas, Ciclomotores, Motonetas, Bicicletas e Similares). *Anuário da Indústria Brasileira de Motociclos – 2016*, 2016.

ABVE (Associação Brasileira do Veículo Elétrico). *Legislação: IPVA - Imposto sobre a Propriedade de Veículos Automotores para veículos elétricos.* 2016. Disponível em: <http://www.abve.org.br/diversos/15/legislacao>. Acesso em: 18/09/2016.

ARAUJO, C. de S. *et al*. Inventário de Fontes Móveis Emissoras de Poluentes Atmosféricos na Região Central da Cidade de Juiz de Fora. *Principia*, Juiz de Fora, v. 17, p. 81-89, jan./dez. 2013.

CETESB (Companhia Ambiental do Estado de São Paulo). *Curvas de intensidade de uso por tipo de veículo automotor da frota da cidade de São Paulo*. São Paulo, 2013.

CETESB (Companhia Ambiental do Estado de São Paulo). *Relatório de Emissões Veiculares no Estado de São Paulo 2014*. São Paulo, 2015.

D'AGOSTO, M. de A. *et al*. *Inventário de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores do Estado do Rio de Janeiro: Relatório Final*. Fundação COPPETEC, Rio de Janeiro, RJ, 2011.

DENATRAN (Departamento Nacional de Trânsito). *Frota nacional (Dezembro de 2015)*, 2015.

EPA (U. S. Environment Protection Agency). *The Social Cost of Carbon*. 2016. Disponível em: <https://www3.epa.gov/climatechange/EPAactivities/economics/scc.html>. Acesso em: 18/09/2016.

GOLDEMBERG, J. *et al*. *Bioenergia no Estado de São Paulo: situação atual, perspectivas, barreiras e propostas*. São Paulo: Imprensa Oficial do Estado de São Paulo, 2008.

GOVERNO DE MINAS GERAIS. *Conheça Minas: Rodovias*. Disponível em: <https://www.mg.gov.br/governomg/portal/m/governomg/conheca-minas/5662-rodovias/5146/5044>. Acesso em: 12/09/2016.

IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). *Estados: Minas Gerais*. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/estadosat/perfil.php?sigla=mg>. Acesso em: 12/09/2016.

INEA (Instituto Estadual do Ambiente). *Relatório da Qualidade do Ar do Estado do Rio de Janeiro - 2007*. Rio de Janeiro: 2007.

JORNAL DO CARRO. *Motos elétricas da Zero em promoção.* 2012. Disponível em: <http://www.estadao.com.br/jornal-do-carro/noticias/motos,motos-eletricas-da-zero-em-promocao,10059,0.htm >. Acesso em: 23/02/2016.

MACEDO, I. de C. Quantificação da redução de danos climáticos decorrente de processos para mitigação das emissões de GEE, como subsídio para a avaliação de políticas públicas. *Núcleo Interdisciplinar de Planejamento Energético – UNICAMP*. Campinas, 2014.

MMA (Ministério do Meio Ambiente). *1º Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários: Sumário Executivo*. Brasília, 2011.

MMA (Ministério do Meio Ambiente). *2º Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários: Sumário Executivo*. Brasília, 2014.

MME (Ministério de Minas e Energia). *Boletim Mensal de Combustíveis Renováveis*. Edições nº 84 a 95, 2015.

MOORE, F. C.; DIAZ, D. B. Temperature impacts on economic growth warrant stringent mitigation policy. *Nature Climate Change*, v. 5, p. 127-131, fev. 2015.

PESSANHA, J. F. M. *et al*. Cenários para o mercado de veículos elétricos na cidade do Rio de Janeiro. In: *Congresso Brasileiro de Eficiência Energética*, 4, 2011, Juiz de Fora.

PUPO, A. S. Análise de possibilidades para a introdução de veículos elétricos no tráfego urbano da cidade de São Paulo: uma abordagem por meio da análise morfológica. *Future Studies Research Journal*, São Paulo, v. 4, p. 03-20, jul./dez. 2012.

SINDIPEÇAS (Sindicato Nacional de Indústria de Componentes para Veículos Automotores). *Estudo da frota circulante brasileira*. São Paulo: SINDIPEÇAS, 2008 *apud* MMA (Ministério do Meio Ambiente). *1º Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários: Sumário Executivo*. Brasília, 2011.

SOUZA, A. de.Venda de motos segue em queda livre. *Motonline*. Publicado em: 11/04/16. Disponível em: <http://www.motonline.com.br/noticia/venda-de-motos-segue-em-queda-livre/>. Acesso em: 15/09/2016.

THAN, K. Estimated social cost of climate change not accurate, Stanford scientists say. *Standford News*. Publicado em: 12/01/2015. Disponível em: <http://news.stanford.edu/2015/01/12/emissions-social-costs-011215/>. Acesso em: 18/09/2016.

ANEXOS

ANEXO I

Tabela I.1: Produção e vendas de motocicletas e veículos similares no Brasil e vendas estimadas no estado de Minas Gerais.

ANO	PRODUÇÃO	VENDAS TOTAIS			VENDAS MINAS GERAIS
		MERCADO INTERNO ATACADO	EXPORTAÇÃO	TOTAL	
1975	5.220			5.220	507
1976	12.800			12.800	1.243
1977	32.791			32.791	3.184
1978	41.492			41.492	4.029
1979	63.636			63.636	6.179
1980	125.000			125.000	12.138
1981	155.572			155.572	15.107
1982	215.767			215.767	20.952
1983	219.000			219.000	21.266
1984	180.000			180.000	17.479
1985	161.378			161.378	15.671
1986	166.994	166.160		166.160	16.135
1987	181.500	175.613		175.613	17.053
1988	166.961	158.671	10.117	168.788	15.408
1989	167.431	153.617	12.327	165.944	14.917
1990	146.735	123.169	15.460	138.629	11.960
1991	116.321	109.168	13.191	122.359	10.601
1992	86.194	53.450	35.596	89.046	5.190
1993	83.458	67.997	15.805	83.802	6.603
1994	141.140	127.395	14.334	141.729	12.371
1995	217.327	200.592	12.930	213.522	19.479
1996	288.073	275.668	14.913	290.581	26.769
1997	426.547	407.430	16.415	423.845	39.564
1998	475.725	460.122	20.374	480.496	44.681
1999	473.802	441.536	32.607	474.143	42.876
2000	634.984	574.149	60.260	634.409	46.506
2001	753.159	692.096	60.190	752.286	65.057
2002	861.469	792.429	68.050	860.479	76.073
2003	954.620	848.377	100.440	948.817	80.596
2004	1.057.333	911.717	157.400	1.069.117	84.790
2005	1.213.517	1.024.203	184.592	1.208.795	100.372
2006	1.413.062	1.268.041	163.379	1.431.420	146.966
2007	1.734.349	1.600.157	139.880	1.740.037	193.619
2008	2.140.907	1.879.695	131.720	2.011.415	225.563
2009	1.539.473	1.579.197	60.516	1.639.713	156.025

2010	1.830.614	1.818.181	69.209	1.887.390	173.091
2011	2.136.891	2.044.532	73.372	2.117.904	201.795
2012	1.690.187	1.625.446	105.187	1.730.633	155.068
2013	1.673.477	1.592.677	105.819	1.698.496	131.396
2014	1.517.662	1.430.393	88.056	1.518.449	120.725
2015	1.262.708	1.189.933	69.123	1.259.056	100.906

Fonte: ABRACICLO, 2016.

Tabela I.2: Percentual de vendas de motocicletas e veículos similares no estado de Minas Gerais em relação ao Brasil.

ANO	**% DE VENDAS EM MINAS GERAIS**
Anterior a 2000	9,71
2000	8,10
2001	9,40
2002	9,60
2003	9,50
2004	9,30
2005	9,80
2006	11,59
2007	12,10
2008	12,00
2009	9,88
2010	9,52
2011	9,87
2012	9,54
2013	8,25
2014	8,44
2015	8,48

Fonte: ABRACICLO, 2011; ABRACICLO, 2016.

Tabela I.3: Distribuição de vendas de motocicletas no Brasil quanto ao modelo.

Ano	**Dedicadas**	***Flex fuel***
2009	88,39%	11,61%
2010	81,47%	18,53%
2011	54,23%	45,77%
2012	50,01%	49,99%
2013	40,94%	59,06%
2014	33,66%	66,34%
2015	28,22%	71,78%

Fonte: ABRACICLO, 2009-2010; ABRACICLO, 2012-2016.

Tabela I.4: Razão de preços entre combustíveis comercializados no Brasil em 2015.

Mês	Razão de preços AEHC/Gasolina C
Janeiro	0,733
Fevereiro	0,706
Março	0,69
Abril	0,685
Maio	0,681
Junho	0,668
Julho	0,653
Agosto	0,645
Setembro	0,648
Outubro	0,692
Novembro	0,746
Dezembro	0,734

Fonte: MME, 2015.

Tabela I.5: Constantes da curva de sucateamento de motocicletas.

Período	Idade	Intervalo	Percentual ao ano
Primeiros 5 anos	0 a 4	2011-2015	4%
6º ao 10º ano	5 a 9	2006-2010	5%
11º ao 15º ano	10 a 14	2001-2005	6%
16º ano em diante	15 ou mais	1975-2000	8%

Fonte: SINDIPEÇAS, 2008 *apud* MMA, 2011.

ANEXO II

Tabela II.1: Intensidade de uso de referência de motociclos adotada neste estudo.

Ano	Intensidade de uso de referência (km/ano)
1975	9050
1976	9050
1977	9050
1978	9050
1979	9050
1980	9050
1981	9050
1982	9050
1983	9050
1984	9050
1985	9050
1986	9050
1987	9050
1988	9050
1989	9050
1990	9050
1991	9050
1992	9050
1993	9050
1994	9050
1995	9050
1996	9050
1997	9050
1998	9050
1999	9509
2000	9976
2001	10442
2002	10900
2003	11341
2004	11758
2005	12142
2006	12486
2007	12781
2008	13019
2009	13192
2010	13293
2011	13313
2012	13243
2013	13078
2014	12807
2015	6403

Fonte: Adaptado de CETESB, 2013.

ANEXO III

Tabela III.1: Fatores de emissão dos poluentes CO, NO_X, $NMHC_{escap}$, CH_4, MP_{comb} e N_2O para motocicletas e veículos similares.

Ano	Combustível	CO (g/km)	NOx (g/km)	NMHCescap (g/km)	CH4 (g/km)	MPcomb (g/km)	N2O (g/km)
Até 2002	Gasolina C	19,7	0,1	2,21	0,39	0,0287	0,002
2003	Gasolina C	5,03	0,15	0,65	0,12	0,014	0,002
2004	Gasolina C	6,17	0,18	0,72	0,13	0,014	0,002
2005	Gasolina C	2,65	0,16	0,4	0,07	0,0035	0,002
2006	Gasolina C	2,18	0,18	0,29	0,05	0,0035	0,002
2007	Gasolina C	1,82	0,17	0,28	0,05	0,0035	0,002
2008	Gasolina C	1,4	0,12	0,2	0,04	0,0035	0,002
2009	Gasolina C	1,09	0,1	0,14	0,02	0,0035	0,002
	Flex - Gasolina C	0,75	0,05	0,13	0,02	0,0035	0,002
	Flex – AEHC	0,58	0,07	0,14	0,02	-	-
2010	Gasolina C	0,74	0,07	0,14	0,02	0,0035	0,002
	Flex - Gasolina C	0,75	0,05	0,13	0,02	0,0035	0,002
	Flex – AEHC	0,58	0,07	0,14	0,02	-	-
2011	Gasolina C	0,7	0,08	0,15	0,03	0,0035	0,002
	Flex - Gasolina C	0,76	0,06	0,12	0,02	0,0035	0,002
	Flex – AEHC	0,68	0,06	0,14	0,02	-	-
2012	Gasolina C	0,57	0,08	0,16	0,03	0,0035	0,002
	Flex - Gasolina C	0,74	0,04	0,12	0,02	0,0035	0,002
	Flex – AEHC	0,9	0,04	0,14	0,02	-	-
2013	Gasolina C	0,53	0,06	0,16	0,02	0,0035	0,002
	Flex - Gasolina C	0,67	0,05	0,12	0,02	0,0035	0,002
	Flex – AEHC	0,81	0,04	0,14	0,02	-	-
2014	Gasolina C	0,53	0,06	0,16	0,02	0,0035	0,002
	Flex - Gasolina C	0,67	0,05	0,12	0,02	0,0035	0,002
	Flex – AEHC	0,81	0,04	0,14	0,02	-	-
2015	Gasolina C	0,54	0,06	0,16	0,02	0,0035	0,002
	Flex - Gasolina C	0,67	0,05	0,12	0,02	0,0035	0,002
	Flex – AEHC	0,81	0,04	0,14	0,02	-	-

Fonte: Adaptado de MMA, 2014 e CETESB, 2015.

Tabela III.2: Fatores de emissão de CO_2.

Fatores de emissão de CO_2 (kg/L)			
Ano	**Gasolina A**	**Etanol Hidratado**	**Etanol Anidro**
Até 1980	2,209	1,457	1,526
1981	2,209		
1982	2,212		
1983	2,261		
1984	2,258		
1985	2,278		
1986	2,275		
1987	2,261		
1988	2,281		
1989	2,266		
1990	2,261		
1991 – 1997	2,261		
1998	2,243		
1999	2,232		
2000	2,22		
2001 – 2004	2,212		
2005 – 2012	2,212		
2013 – 2015	2,212		

Fonte: Adaptado de MMA, 2014.

ANEXO IV

Tabela IV.1: Rendimento das motocicletas.

Rendimento (km/L)			
Ano de fabricação	**Dedicadas**	***Flex fuel* à Gasolina C**	***Flex fuel* à AEHC**
Até 2003	37,38	-	-
2004	37,45	-	-
2005	37,45	-	-
2006	37,2	-	-
2007	37,09	-	-
2008	37,2	-	-
2009	37,27	42,84	28,01
2010	37,04	42,84	28,01
2011	36,14	42,84	28,01
2012	37,19	43,2	29,3
Média	**37,14**	**42,93**	**28,33**

Fonte: Adaptado de MMA, 2014.