

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO TECNOLÓGICO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

VINICIUS BERMOND

**ANÁLISE DA ECOEFICIÊNCIA DE UM
SISTEMA DE TRANSPORTE PÚBLICO
URBANO DE PASSAGEIROS**

VITÓRIA

2015

VINICIUS BERMOND

ANÁLISE DA ECOEFICIÊNCIA DE UM SISTEMA DE TRANSPORTE PÚBLICO URBANO DE PASSAGEIROS

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil do Centro Tecnológico da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil na área de concentração em Transportes.

Orientador: Prof. Dr. Rodrigo de Alvarenga Rosa.

Vitória

2015

Dados Internacionais de Catalogação-na-publicação (CIP)
(Biblioteca Setorial Tecnológica,
Universidade Federal do Espírito Santo, ES, Brasil)

B516a Bermond, Vinicius, 1989-
Análise da ecoeficiência de um sistema de transporte público urbano de passageiros / Vinicius Bermond. – 2015.
187 f. : il.

Orientador: Rodrigo de Alvarenga Rosa.
Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Espírito Santo, Centro Tecnológico.

1. Poluição atmosférica. 2. Transportes coletivos. 3. Transporte urbano – Avaliação. I. Rosa, Rodrigo de Alvarenga. II. Universidade Federal do Espírito Santo. Centro Tecnológico. III. Título.

CDU: 624

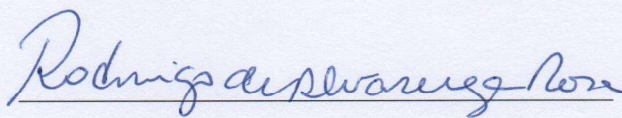
UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO

ANÁLISE DA ECOEFICIÊNCIA DE UM SISTEMA DE TRANSPORTE PÚBLICO URBANO DE PASSAGEIROS

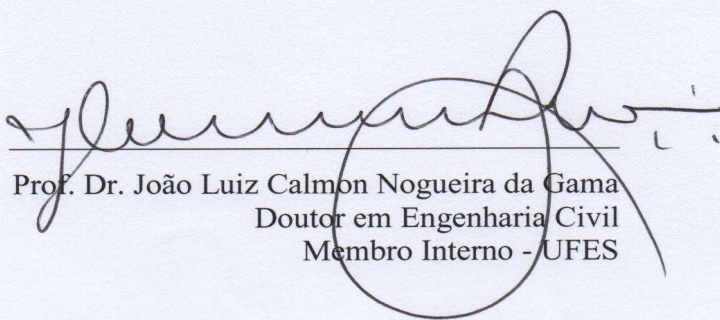
Vinicius Bermond

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado em Engenharia Civil do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Espírito, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil, área de Transportes.

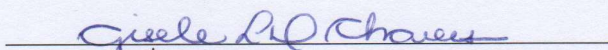
Aprovada no dia **24 de agosto de 2015** por:



Prof. Dr. Rodrigo de Alvarenga Rosa
Doutor em Engenharia Elétrica
Orientador - UFES



Prof. Dr. João Luiz Calmon Nogueira da Gama
Doutor em Engenharia Civil
Membro Interno - UFES



Profa. Dra. Gisele de Lorena Diniz Chaves
Doutora em Engenharia de Produção
Membro Externo - UFES - CEUNES

Dedico este trabalho aos meus pais, Elita e Osvaldo.

“Como um animal selvagem, a verdade é poderosa
demais para ser mantida aprisionada. ”

Veronica Roth

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus por me conduzir durante todo o período do mestrado. Ele me deu força, calma e sabedoria para lidar com as adversidades encontradas durante esse caminho.

Aos meus pais, Elita Rossetto Bermond e Osvaldo Bermond, que sempre me incentivaram a não interromper os estudos, me dando forças para ir sempre à frente. Serei eternamente grato por todo o amor, carinho, atenção e ensinamentos transmitidos, além de sempre me mostrarem que sou capaz de ir além.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Rodrigo de Alvarenga Rosa, pelo apoio e amizade durante toda a jornada do mestrado, o estímulo ao aprendizado de novos conceitos, às cobranças quando essas foram necessárias e à presença sempre quando solicitada para me ajudar.

À amiga da graduação e mestrado, Bianca Passos Arpini, pelos momentos de descontração, pela ajuda durante todo período das disciplinas e desenvolvimento da dissertação e acima de tudo, pela amizade verdadeira. À amiga do mestrado, Thiara Cezana, pelos momentos de descontração e acima de tudo, de apoio durante todo esse período.

Aos meus amigos Juliana, Melina, Elizabeth, Jorge e Henrique, pela compreensão nos momentos de ausência e pelo apoio nos momentos de dificuldade. Além disso, agradeço por estarem presentes para dividir as alegrias e as angústias do estudo e do trabalho.

Aos colegas da Dacasa Financeira, por toda colaboração e incentivo.

Às companheiras da Coppe, Ana e Cintia, pela ajuda na obtenção dos dados e críticas nos artigos produzidos.

Aos membros da banca examinadora, pelo tempo dedicado à leitura, aos comentários, às correções e às sugestões de melhorias.

RESUMO

O sistema brasileiro de transporte público de passageiros transporta mais de 336 milhões de pessoas por dia nas nove principais cidades do país. Por conta disso, é relevante uma análise dos impactos ambientais gerados pelo diesel e os combustíveis alternativos de forma a alcançar padrões ambientais, sempre buscando a melhoria na qualidade de vida. Essa dissertação propõe uma metodologia baseada na metodologia proposta pelo *World Business Council of Sustainable Development* (WBCSD) (WBCSD, 2000) para avaliar a ecoeficiência do transporte público por meio de indicadores de eficiência que utilizam o valor do produto (V), número de quilômetros percorridos, e a influência ambiental (IA) pela equação: $ECO = V / IA$. Esses indicadores podem ser ajustados para calcular o consumo total de energia, o total de emissão de dióxido de carbono, o total de emissão de gases de efeito estufa, o custo total dos combustíveis, entre outros. A metodologia foi aplicada na Região Metropolitana da Grande Vitória (RMGV) que possui um sistema integrado de transporte público chamado Transcol. Esse sistema transportou mais de 190 milhões de passageiros no ano de 2014 por mais de 120 milhões de quilômetros viajados, o qual atende as seis maiores cidades do estado do Espírito Santo: Vitória, Vila Velha, Serra, Cariacica, Viana e Guarapari. O Transcol possui uma frota de ônibus de 1.724 veículos, 15 diferentes modelos e uma capacidade média de 37 assentos. Diferentes cenários foram desenvolvidos de forma a representar combustíveis distintos em relação àqueles originados do petróleo, como os de origem verde (o biodiesel e energia elétrica) além de diferentes tecnologias para os ônibus. Esses cenários foram testados, analisados e avaliados para nove indicadores: emissões de dióxido de carbono (CO₂), monóxido de carbono (CO), óxido de nitrogênio (NO_x), material particulado (MP), hidrocarbonetos (NMHC), consumo de combustível (COC), custo operacional (COP), custo de combustível (CCO) e custo de renovação da frota (CRF). A metodologia mostrou que o uso do biodiesel reduz as emissões de gases de efeito estufa e sulfato, embora possa ser mais caro e careça de uma estrutura de distribuição adequada. Seu uso ao invés do diesel é melhor devido seu menor índice de poluição, embora seu consumo seja maior.

Palavras-chaves: Ecoeficiência, Transporte público de passageiros, Poluição Atmosférica.

ABSTRACT

The Brazilian's public transportation system transports over 336 million people per month in nine main cities within the country. For this reason, it is important to analyze the environmental impact of diesel and alternative fuels use to achieve environmental standards, always looking for life quality improvement. This paper proposes a methodology based on the World Business Council of Sustainable Development (WBCSD) (2000) to evaluate public transportation eco-efficiency by key performance indicators that measure the product value (V) and environmental influence (E) by the equation: $ECO = V/E$. These indicators can be adjusted to calculate the total energy consumption, the total emission of carbon dioxide, the total emission of each greenhouse gas, the total cost of the fuels, among others. The methodology was applied to the Metropolitan Region of Vitória (MRV) that has an integrated public transportation system called *Transcol*. This system transported over 190 million people in 2014 through more than 120 million kilometers travelled and serves six largest cities in the state of Espírito Santo: Vitória, Vila Velha, Serra, Cariacica, Viana and Guarapari. *Transcol* has a bus fleet of 1,724 vehicles, 15 different types of buses with a mean capacity of 37 seats. Different scenarios were developed representing different fuel sources from diesel oil to greener ones, such as biodiesel and electric source and different engine technologies for the buses. These scenarios were tested, analyzed and evaluated by nine indicators: emissions of Carbon dioxide (CO₂), Carbon monoxide (CO), Nitrous oxide (NO_x), Particulate Matter (PM), Hydrocarbons (NMHC), fuel consumption (COC), operating cost (COP), fuel cost (CCO) and cost of fleet renewal (CRF). The methodology showed that the bus fleet can obtain significant savings and lower emissions of CO₂, NO_x the use of biodiesel provides a reduction of greenhouse gases and sulfur emissions, although it can be more expensive and lacks adequate distribution structure. However, the use of biodiesel instead of diesel is better because it pollutes less, even though the consumption is bigger than in others fuels.

Keywords: Eco-efficiency, Passenger Public Transportation, Atmospheric pollution.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - EVOLUÇÃO DA TARIFA MÉDIA PONDERADA PELO NÚMERO DE PASSAGEIROS NAS CAPITALS BRASILEIRAS.....	2
FIGURA 2 - EVOLUÇÃO DO CONSUMO NACIONAL DE DIESEL POR CATEGORIA DE VEÍCULOS.	3
FIGURA 3 - PROCESSO DE REFINO DO PETRÓLEO	28
FIGURA 4 - CONSUMO DOS DERIVADOS DE PETRÓLEO ENTRE OS ANOS 2000 E 2011.	28
FIGURA 5 - COMPORTAMENTO DA DEMANDA POR DIESEL E DO PIB BRASILEIRO.....	29
FIGURA 6 - CRESCIMENTO NAS VENDAS DE DIESEL POR REGIÃO	29
FIGURA 7 - DIFERENÇAS NA PRODUÇÃO DE AÇÚCAR, ETANOL E DIESEL	32
FIGURA 8 - PROCESSO DE COMBUSTÃO PERFEITA EM UM MOTOR DE COMBUSTÃO INTERNA.....	33
FIGURA 9- PROCESSO DE COMBUSTÃO REAL EM UM MOTOR DE COMBUSTÃO INTERNA.....	34
FIGURA 10 - VALORES DE EMISSÕES DE CO NAS FASES DA PROCONVE	42
FIGURA 11 - VALORES DE EMISSÕES DE MP NAS FASES DA PROCONVE	43
FIGURA 12 - FASES DA METODOLOGIA DA PESQUISA	55
FIGURA 13 - REGIÃO ATENDIDA PELO TRANSCOL.....	68
FIGURA 14 - MODELO DE TRANSCOL UTILIZADO A PARTIR DE 2008.....	70
FIGURA 15 - MODELO DE TRANSCOL UTILIZADO PARA AS LINHAS ALIMENTADORAS DOS BAIRROS	70
FIGURA 16 - NOVO MODELO DE ÔNIBUS VOLTADO PARA O FUNCIONAMENTO DO BRT	71
FIGURA 17 - ÔNIBUS ARTICULADO DO NOVO MODELO EURO V.....	71
FIGURA 18 - RESUMO DOS PARÂMETROS REFERENTES À FROTA EM CADA UM DOS AGRUPAMENTOS...	85
FIGURA 19 – RESULTADOS DOS INDICADORES DE EMISSÕES DE CO DO AGRUPAMENTO 1	94
FIGURA 20 – RESULTADOS DOS INDICADORES DE EMISSÕES DE NOX DO AGRUPAMENTO 1	95
FIGURA 21 – RESULTADOS DOS INDICADORES DE EMISSÕES DE NMHC DO AGRUPAMENTO 1	96
FIGURA 22 - RESULTADOS DOS INDICADORES DE EMISSÕES DE MP DO AGRUPAMENTO 1.....	97
FIGURA 23 – RESULTADOS DOS INDICADORES DE EMISSÕES DE CO ₂ DO AGRUPAMENTO 1.....	98
FIGURA 24 – RESULTADOS DOS INDICADORES DE CONSUMO DE COMBUSTÍVEL DO AGRUPAMENTO 1 .	99
FIGURA 25 – RESULTADO DOS INDICADORES DE CUSTO TOTAL DO AGRUPAMENTO 1.....	100
FIGURA 26 – RESULTADOS DOS INDICADORES DE EMISSÃO DE CO DO AGRUPAMENTO 2.....	101
FIGURA 27 – RESULTADO DOS INDICADORES DE EMISSÕES DE NOX DO AGRUPAMENTO 2.....	102
FIGURA 28 – RESULTADO DOS INDICADORES DE EMISSÕES DE NMHC DO AGRUPAMENTO 2	103
FIGURA 29 – RESULTADO DOS INDICADORES DE EMISSÕES DE MP DO AGRUPAMENTO 2.....	104
FIGURA 30 – RESULTADOS DOS INDICADORES DE EMISSÕES DE CO ₂ DO AGRUPAMENTO 2.....	106
FIGURA 31 – RESULTADO DOS INDICADORES DE CONSUMO DE COMBUSTÍVEL DO AGRUPAMENTO 2 .	107
FIGURA 32 – RESULTADO DOS INDICADORES DE CUSTOS DO AGRUPAMENTO 2	108
FIGURA 33 – RESULTADO DOS INDICADORES DE EMISSÕES DE CO DO AGRUPAMENTO 3.....	109
FIGURA 34 – RESULTADO DOS INDICADORES DE EMISSÕES DE NOX DO AGRUPAMENTO 3.....	110
FIGURA 35 – RESULTADO DOS INDICADORES DE EMISSÕES DE NMHC DO AGRUPAMENTO 3	111
FIGURA 36 – RESULTADO DOS INDICADORES DE EMISSÕES DE MP DO AGRUPAMENTO 3.....	113

FIGURA 37 – RESULTADO DOS INDICADORES DE EMISSÕES DE CO ₂ DO AGRUPAMENTO 3	114
FIGURA 38 – RESULTADO DOS INDICADORES DE CONSUMO DE COMBUSTÍVEL DO AGRUPAMENTO 3 .	115
FIGURA 39 – RESULTADO DOS INDICADORES DE CUSTOS DO AGRUPAMENTO 3	115
FIGURA 40 – RESULTADO DOS INDICADORES DE EMISSÕES DE CO DO AGRUPAMENTO 4.....	116
FIGURA 41 – RESULTADO DOS INDICADORES DE EMISSÕES DE NO _x DO AGRUPAMENTO 4.....	117
FIGURA 42 – RESULTADO DOS INDICADORES DE EMISSÕES DE NMHC DO AGRUPAMENTO 4	118
FIGURA 43 – RESULTADO DOS INDICADORES DE EMISSÕES DE MP DO AGRUPAMENTO 4.....	119
FIGURA 44 – RESULTADO DOS INDICADORES DE EMISSÕES DE CO ₂ DO AGRUPAMENTO 4	121
FIGURA 45 – RESULTADO DOS INDICADORES DE CONSUMO DE COMBUSTÍVEL DO AGRUPAMENTO 4 .	122
FIGURA 46 – RESULTADO DOS INDICADORES DE CUSTOS DO AGRUPAMENTO 4	122
FIGURA 47 – RESULTADO DOS INDICADORES DE EMISSÕES DE CO DO AGRUPAMENTO 5.....	123
FIGURA 48 – RESULTADO DOS INDICADORES DE EMISSÕES DE NO _x DO AGRUPAMENTO 5.....	124
FIGURA 49 – RESULTADO DOS INDICADORES DE EMISSÕES DE NMHC DO AGRUPAMENTO 5	125
FIGURA 50 – RESULTADO DOS INDICADORES DE EMISSÕES DE MP DO AGRUPAMENTO 5.....	126
FIGURA 51 – RESULTADO DOS INDICADORES DE EMISSÕES DE CO ₂ DO AGRUPAMENTO 5	128
FIGURA 52 – RESULTADO DOS INDICADORES DE CONSUMO DE COMBUSTÍVEL DO AGRUPAMENTO 5 .	129
FIGURA 53 – RESULTADO DOS INDICADORES DE CUSTOS DO AGRUPAMENTO 5	129

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - EXEMPLOS DE INDICADORES GERAIS.....	13
TABELA 2 - RESUMO DAS DIFERENÇAS ENTRE AS ORGANIZAÇÕES INTERNACIONAIS	18
TABELA 3 - RESUMO DOS CONCEITOS DE ECOEFICIÊNCIA DAS INSTITUIÇÕES INTERNACIONAIS E NACIONAIS.....	22
TABELA 4 - RESUMO DAS APLICAÇÕES EM DIVERSAS EMPRESAS.....	24
TABELA 5 - PORCENTAGEM DE BIODIESEL ADICIONADA AO DIESEL	30
TABELA 6 - CONSUMO DE BIODIESEL NO BRASIL (MILHÕES DE LITROS).....	31
TABELA 7 - DIFERENÇA ENTRE VEÍCULOS LEVES E PESADOS	39
TABELA 8 – SUMARIZAÇÃO DAS FASES DA PROCONVE E AS METAS DE EMISSÕES.....	40
TABELA 9 - CRONOGRAMA DE IMPLANTAÇÃO DOS DIFERENTES TIPOS DE DIESEL NO BRASIL.....	41
TABELA 9 - CRONOGRAMA DE IMPLANTAÇÃO DOS DIFERENTES TIPOS DE DIESEL NO BRASIL.....	42
TABELA 10 - VANTAGENS E DESVANTAGENS DA METODOLOGIA APLICADA POR KOBAYASHI (2005)	46
TABELA 11- INDICADORES DE ECOEFICIÊNCIA CONSIDERADOS	57
TABELA 12- DESCRIÇÃO DOS COMBUSTÍVEIS CONSIDERADOS	57
TABELA 12- DESCRIÇÃO DOS COMBUSTÍVEIS CONSIDERADOS	58
TABELA 13 - INDICADORES DO SISTEMA TRANSOL.	69
TABELA 14 - FROTA DE VEÍCULOS DA CETURB	72
TABELA 14 - FROTA DE VEÍCULOS DA CETURB	73
TABELA 15 - QUILOMETRAGEM PERCORRIDA POR CADA MODELO DE ÔNIBUS	73
TABELA 15 - QUILOMETRAGEM PERCORRIDA POR CADA MODELO DE ÔNIBUS	74
TABELA 16 - VARIAÇÕES NO CONSUMO DE COMBUSTÍVEL.....	75
TABELA 17 - CONSUMO DOS COMBUSTÍVEIS CONSIDERADOS NO ESTUDO.....	75
TABELA 17 - CONSUMO DOS COMBUSTÍVEIS CONSIDERADOS NO ESTUDO.....	76
TABELA 18 - FATORES DE EMISSÃO DO DIESEL S500	77
TABELA 19 - FATORES DE EMISSÃO DO DIESEL S10	77
TABELA 20 - VARIAÇÕES NAS EMISSÕES DE BIODIESEL B20 E B100 COM BASE NO DIESEL S500.....	78
TABELA 21 - FATORES DE EMISSÃO DO BIODIESEL B20	78
TABELA 22 - FATORES DE EMISSÃO DO BIODIESEL B100	78
TABELA 23 - VARIAÇÕES NAS EMISSÕES DE DIESEL DE CANA DE AÇÚCAR AMD30 E AMD100	79
TABELA 24 - FATORES DE EMISSÃO DO DIESEL DE CANA DE AÇÚCAR AMD30.....	79
TABELA 25 - FATORES DE EMISSÃO DO DIESEL DE CANA DE AÇÚCAR AMD100.....	79
TABELA 25 - FATORES DE EMISSÃO DO DIESEL DE CANA DE AÇÚCAR AMD100.....	80
TABELA 26 -VARIAÇÃO E VALOR DO CUSTO OPERACIONAL PARA CADA COMBUSTÍVEL UTILIZADO	81
TABELA 27 - VARIAÇÃO E VALOR DO CUSTO DE COMBUSTÍVEL	81
TABELA 28 - CUSTO DE AQUISIÇÃO DE NOVOS ÔNIBUS PELA CETURB	82
TABELA 29 – METAS DE EMISSÃO POLUENTES POR FASE DO PROGRAMA PROCONVE	82
TABELA 30 - MASSAS ESPECÍFICAS DOS COMBUSTÍVEIS ANALISADOS.....	83

TABELA 31 - RESUMO DAS METAS CONSIDERADAS.....	84
TABELA 32 - MODELOS E QUANTIDADE DE ÔNIBUS RETIRADOS DE CIRCULAÇÃO NO AGRUPAMENTO 2.	87
TABELA 33- MODELOS E QUANTIDADE DE ÔNIBUS ADQUIRIDOS NO AGRUPAMENTO 2.....	87
TABELA 34 - MODELOS E QUANTIDADE DE ÔNIBUS RETIRADOS DE CIRCULAÇÃO NO AGRUPAMENTO 3.	88
TABELA 35 - MODELOS E QUANTIDADE DE ÔNIBUS ADQUIRIDOS NO AGRUPAMENTO 3	88
TABELA 36 - MODELOS E QUANTIDADE DE ÔNIBUS RETIRADOS DE CIRCULAÇÃO NO AGRUPAMENTO 4.	89
TABELA 37 - MODELOS E QUANTIDADE DE ÔNIBUS ADQUIRIDOS NO AGRUPAMENTO 4	89
TABELA 38 - MODELOS E QUANTIDADE DE ÔNIBUS RETIRADOS DE CIRCULAÇÃO NO AGRUPAMENTO 5.	90
TABELA 39 - MODELOS E QUANTIDADE DE ÔNIBUS ADQUIRIDOS NO AGRUPAMENTO 5	91
TABELA 40 - RESUMO DOS CENÁRIOS	91
TABELA 40 - RESUMO DOS CENÁRIOS	92
TABELA 41 - CENÁRIOS QUE ATINGIRAM A META DO PROGRAMA PROCONVE P7 PARA EMISSÃO DE CO	130
TABELA 42 - CENÁRIOS QUE ATINGIRAM A META DO PROGRAMA PROCONVE P7 PARA EMISSÃO DE NOx	131
TABELA 43 - CENÁRIOS QUE ATINGIRAM A META DO PROGRAMA PROCONVE P7 PARA EMISSÃO DE NMHC	131
TABELA 44 – CENÁRIOS QUE ATINGIRAM A META DO PROGRAMA PROCONVE P7 PARA EMISSÃO DE MP	132
TABELA 45 – CLASSIFICAÇÃO DOS RESULTADOS REFERENTES ÀS EMISSÕES DE CO, NOx, NMHC, MP E CO ₂	133
TABELA 46 – CLASSIFICAÇÃO DOS RESULTADOS REFERENTES AO CUSTO TOTAL	134

LISTA DE SIGLAS

ABIQUM: Associação Brasileira da Indústria Química

AHP: *Analytic Hierarchy Process*

ANFAVEA: Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores

ANP: Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis

API: *American Petroleum Institute*

BNDES: Banco Nacional do Desenvolvimento Econômico e Social

BRT: *Bus Rapid Transit*

CCPA: *Canadian Chemical Producers Association*

CEBDS: Conselho Empresarial Brasileiro para o Desenvolvimento Sustentável

CETURB: Companhia de Transportes Urbanos da Grande Vitória

CMA: *Chemical Manufacturers Association*

CMA: Comissão de Meio Ambiente

CMMAD: Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente

CSN: Companhia Siderúrgica

CO: monóxido de carbono

CONAMA: Conselho Nacional do Meio Ambiente

CUMAD: Conferência Das Nações Unidas para o Meio Ambiente

DEA: *Data Envelopment Analysis*

DfE: *Design for Environmental*

ECO-92: Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento

EEA: *European Environment Agency*

EEMP: *Eco-efficiency Management Program*

EIA-RIMA: Estudos de Impacto Ambiental e Relatórios de Impacto sobre o Meio Ambiente

EMTU: Empresa Metropolitana de Transportes Urbanos

ETAR: Estação de Tratamento de Águas Residuais

FMC: Fumaça

GEE: Gases de efeito estufa

GLP: Gás Liquefeito de Petróleo

GRI: *Global Reporting Initiative*

HC: hidrocarbonetos

IBAMA: Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis

IPCC: Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas

LCIA: *Life Cycle Impact Assessment*

MKBF: *Mean Kilometer Between Fails*

MP: material particulado

MP_{2,5}: Partículas Inaláveis Finais

NO_x: óxido de nitrogênio

OCDE: *The Organization for Economic Co-operation and Development*

ONG: Organizações Não Governamentais

ONU: Organização das Nações Unidas

PML: Produção Mais Limpa

PTS: Partículas Totais em Suspensão

PROCONVE: Programa de Controle de Poluição do Ar por Veículos Automotores

QAV: Querosene de Aviação

QFD: *Quality Function Deployment*

RMGV: Região Metropolitana da Grande Vitória

RSC: Responsabilidade Social Corporativa

SEBRAE: Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas

STEP: Strategies for Today`s Environmental Partnership

TAC: Termo de Ajustamento de Conduta

TQEM: Administração da Qualidade Ambiental Total

TQM: *Total Quality Management*

UNCTAD: *United Nations Conference on Trade and Development*

UNEP: *United Nations Environment Programme*

WBCSD: *World Business Council of Sustainable Development*

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	1
1.1	Objetivos	4
1.1.1	Objetivo Geral.....	4
1.1.2	Objetivos Específicos	4
1.2	Justificativa.....	4
1.3	Estrutura do trabalho.....	5
2	REFERENCIAL TEÓRICO	6
2.1	Do surgimento da preocupação ambiental à Ecoeficiência.....	6
2.2	Ecoeficiência	8
2.2.1	Conceito e Surgimento	8
2.2.2	Objetivos gerais e princípios fundamentais	10
2.2.3	Princípios dos indicadores de ecoeficiência	10
2.2.4	Cálculo da ecoeficiência	12
2.2.5	Tipos de indicadores.....	13
2.2.6	Categoria, aspecto e indicadores	14
2.2.7	Diferentes visões sobre a Ecoeficiência	15
2.2.8	Perfil de ecoeficiência.....	22
2.2.9	Empresas que utilizaram os conceitos de Ecoeficiência	23
2.3	Combustíveis	27
2.3.1	Diesel.....	27
2.3.2	Biodiesel	30
2.3.3	Diesel de cana de açúcar	32
2.4	Emissões de poluentes	33
2.4.1	Monóxido de carbono (CO)	35
2.4.2	Óxido de nitrogênio (NOx)	35

2.4.3	Material particulado (PM).....	36
2.4.4	Hidrocarbonetos Totais (NMHC).....	36
2.4.5	Gases de efeito estufa (GEE).....	37
2.5	Programa PROCONVE	38
2.6	Revisão da Literatura	43
3	METODOLOGIA	54
3.1	Classificação da metodologia de pesquisa	54
3.2	Etapas da metodologia de pesquisa	54
4	METODOLOGIA PROPOSTA	57
4.1	Método para cálculo dos indicadores.....	58
4.1.1	Cálculo das emissões de CO, NOx, NMHC, MP e CO ₂	58
4.1.2	Cálculo do consumo de combustível	62
4.1.3	Cálculo do custo total	62
4.1.4	Cálculo das metas de emissões	64
5	LEVANTAMENTO DE DADOS E DEFINIÇÃO DE CENÁRIOS	68
5.1	O Sistema Transcol.....	68
5.2	Valor do produto (V).....	71
5.3	Impacto Ambiental (IA).....	72
5.3.1	Modelos e quantidades de ônibus	72
5.3.2	Quilometragem anual percorrida	73
5.3.3	Consumo de combustível	74
5.3.4	Fatores de Emissões	76
5.3.5	Custos	80
5.3.6	Metas de Emissões – Programa PROCONVE	82
5.4	Agrupamentos e Cenários.....	84
5.4.1	Agrupamento 2	86
5.4.2	Agrupamento 3	87

5.4.3	Agrupamento 4	89
5.4.4	Agrupamento 5	90
6	ANÁLISES E RESULTADOS.....	93
6.1	Agrupamento 1.....	93
6.2	Agrupamento 2.....	100
6.3	Agrupamento 3.....	108
6.4	Agrupamento 4.....	116
6.5	Agrupamento 5.....	123
6.6	Análise Geral.....	130
7	CONCLUSÃO	136
	REFERÊNCIAS.....	138
	ANEXO 1 – Quantidade de ônibus por ano de fabricação	149
	ANEXO 2 – Descrição da quantidade ônibus por cada combustível nos cenários propostos	150

1 INTRODUÇÃO

O sistema brasileiro de transporte urbano de passageiros por meio de ônibus é composto por, aproximadamente, 107 mil veículos e mais de 1.800 empresas que operam esse tipo de serviço em 3.311 cidades que possuem um sistema organizado de transporte público urbano. Dessa forma, são gerados 537 mil empregos diretos e mais de 40 milhões de passageiros são transportados diariamente. Além disso, os ônibus são responsáveis por mais de 86% da frota total voltada para esse tipo de serviço (NTU, 2015).

Apesar de sua ampla utilização, o uso do transporte público no Brasil apresentou uma queda de 30% nos últimos vinte anos ocasionada pela falta de investimento em mobilidade urbana e o incentivo para utilização do transporte individual, esse claramente percebido pela redução de impostos para as montadoras como o Imposto Sobre Produtos Industrializados (IPI). Como consequência, o uso de automóveis individuais cresce em torno de 9% nas grandes cidades (IPEA, 2015).

Ao final do ano de 2013, houve uma redução média de 1,4% na quantidade de passageiros transportados em comparação ao ano anterior, consolidando a queda de demanda nas últimas duas décadas. Além disso, houve aumento do valor do óleo diesel em 3,5%, impactando diretamente nos custos operacionais das empresas por se tratar de um insumo essencial para a prestação do serviço (NTU, 2014).

Outro ponto importante a ser considerado é a qualidade do sistema de transporte oferecido para a população. Vale a pena ressaltar que um dos principais motivos que levaram a população em diversas cidades do Brasil às ruas nos anos de 2013 e 2014 foi o transporte público (cerca de 57% das pessoas entrevistadas em entrevista da Rede Globo apontaram esse motivo como fator de descontentamento), seguido da corrupção (49%) e redução da tarifa do transporte (40,5%). O gráfico da Figura 1 apresenta o aumento do valor da passagem médio entre os anos de 2005 a 2012, ocorrendo uma queda a partir de 2013 devido às deduções dos governos estaduais dada a pressão das manifestações (NTU, 2014).

Figura 1 - Evolução da tarifa média ponderada pelo número de passageiros nas capitais brasileiras.



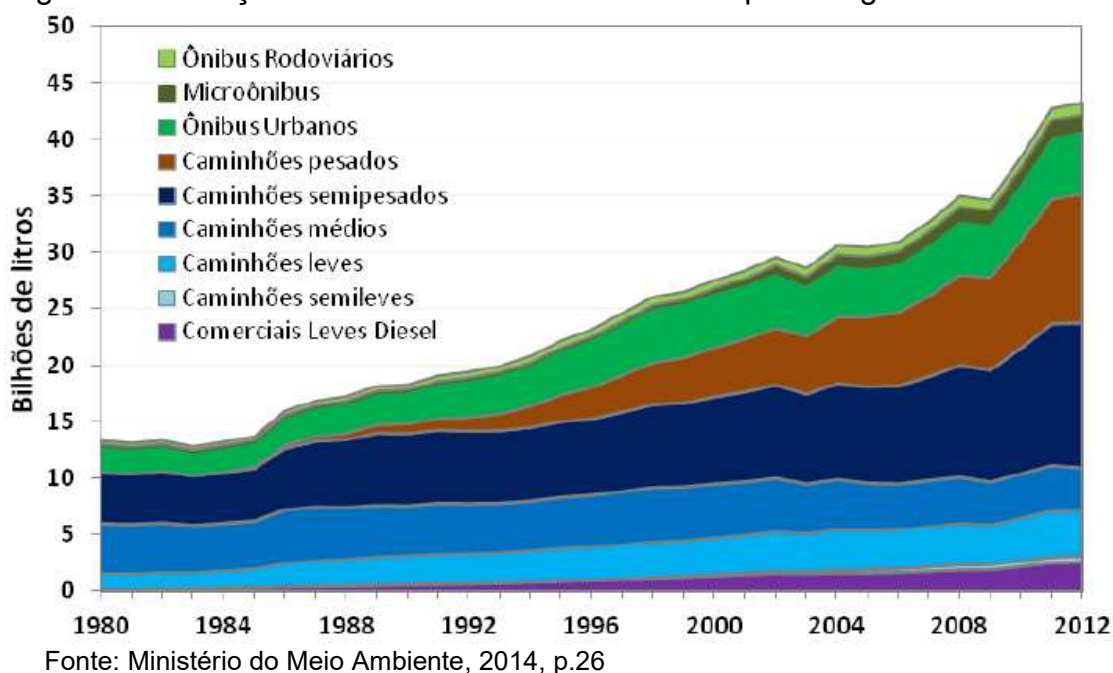
Fonte: NTU, 2014, p. 49

Por se tratar de um sistema de grande uso em todo o país, as emissões de poluentes provenientes desse tipo de transporte geram um grande impacto na vida urbana, sendo de suma importância que o governo crie programas e para mensurar o impacto gerado e possíveis soluções que possam reduzir os índices de poluição (MOTTA *et al.*, 2012).

A partir do ano de 2005, o governo brasileiro estipulou a mistura de 2% biodiesel (B2) junto ao diesel utilizado pelos veículos do país. Dessa forma, estimulou-se o consumo de biocombustíveis com o intuito de diminuir a dependência do petróleo, além de fomentar a produção de combustíveis a base de produtos renováveis plantados no próprio Brasil. O percentual de biodiesel acrescido ao diesel vem crescendo de forma gradativa com o passar dos anos, sendo 7% (B7) a partir de novembro de 2014 (BRIDI *et al.*, 2012).

Indo ao encontro da sustentabilidade nos transportes, a substituição do diesel S50 (concentração de enxofre de 50 mg/Kg) para o diesel S10 (concentração de enxofre de 10 mg/Kg) reduz as emissões provenientes da queima do combustível (PETROBRAS, 2015). A Figura 2 apresenta o gráfico do consumo de diesel por diferentes tipos de veículos, sendo os ônibus urbanos responsáveis pelo terceiro maior consumo nacional, justificando assim a preocupação acerca dos índices de emissões produzidas.

Figura 2 - Evolução do consumo nacional de diesel por categoria de veículos.



Visando a utilização dos recursos ambientais de forma mais eficiente, a *World Business Council for Sustainable Development* (WBCSD) desenvolveu uma ferramenta que auxilia as empresas no estudo dos impactos ambientais gerados por suas atividades, além de agregar os custos ali envolvidos de forma a criar indicadores e parâmetros que possam ser mensurados e facilmente comparados. Com isso, criam-se ferramentas que apoiam a gestão e amparam possíveis mudanças e tomadas de decisão (WBCSD, 2000).

Nesse contexto, este estudo vem colaborar com o projeto que busca a diminuição dos impactos ambientais provenientes da queima de combustíveis fósseis, além de propor alternativas para aqueles já utilizados. O WBCSD (2000) apresentou uma metodologia que permite a estipulação de indicadores de forma a mensurar os impactos nas emissões de poluentes.

O objetivo desse trabalho é propor uma metodologia para quantificação da ecoeficiência que mensure os impactos ambientais gerados pelo sistema de transporte público urbano na região da Grande Vitória, administrado pela CETURB (Companhia de Transportes Urbanos da Grande Vitória) por meio da ferramenta de ecoeficiência criada pela WBCSD, de forma a realizar um estudo logístico sobre as opções de combustíveis e possíveis cenários alternativos.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo Geral

O objetivo desta dissertação é propor uma metodologia para quantificação da ecoeficiência que mensure os impactos ambientais gerados por diferentes combustíveis e aplicá-la ao transporte público urbano da Região Metropolitana da Grande Vitória (RMGV) para avaliar o impacto ambiental das emissões de gases e particulados provenientes deste transporte.

1.1.2 Objetivos Específicos

Os objetivos incluem:

- Realizar um levantamento das emissões de gases e particulados para os diversos tipos de combustíveis e veículos;
- Elaborar um procedimento da metodologia proposta que permita todos os cálculos e análises;
- Realizar um levantamento das diversas tecnologias e combustíveis que poderiam ser utilizados em ônibus urbanos de passageiros;
- Avaliar a ecoeficiência do transporte público da RMGV por meio de cenários propostos.

1.2 Justificativa

O transporte público urbano de passageiros está presente nas principais cidades e capitais brasileiras, transportando 40 milhões de pessoas todos os dias. Além disso, esse tipo de serviço torna-se um dos principais meios de locomoção para os cidadãos que não possuem veículo próprio e necessitam se deslocar seja para trabalho, lazer ou quaisquer outros motivos.

Visando atender a população de forma satisfatória, as empresas responsáveis por esse tipo de transporte possuem frotas de ônibus com uma grande quantidade de veículos. Por conta do tamanho do serviço prestado, é de suma importância que existam estudos visando não somente a mobilidade urbana e pesquisas de qualidade, mas também os impactos ambientais gerados por esse transporte diário.

Devido ao fato desse tipo de serviço envolver muitos veículos que percorrem uma grande distância anual e estar situado em grandes centros urbanos, o estudo das emissões provenientes dos ônibus se torna relevante no que diz respeito à saúde da população, bem como a prevenção e redução da poluição.

O estudo em questão é importante tanto para o campo da pesquisa, por conta de poucos artigos e trabalhos voltados para a mensuração dos impactos ambientais no transporte urbano por meio da ecoeficiência, bem como para o estudo e avaliação do cenário atual da empresa e sugestão de melhorias no que diz respeito aos combustíveis e tipos de ônibus utilizados.

1.3 Estrutura do trabalho

Além do presente capítulo, de caráter introdutório, esta dissertação é composta por cinco capítulos. O Capítulo 2 o referencial teórico, no qual estão os principais conceitos de ecoeficiência e suas particularidades, explicação sobre o programa PROCONVE e as principais emissões causadas pela queima de combustíveis fósseis, bem como seus impactos para saúde humana e natureza. O Capítulo 3 apresenta a metodologia utilizada para execução do trabalho, enquanto Capítulo 4 apresenta a metodologia desenvolvida para o sistema de transporte público urbano de passageiros. O Capítulo 5 apresenta a base de dados utilizada no cálculo dos resultados. O Capítulo 6 apresenta os resultados e análises dos agrupamentos e cenários. Por fim, o Capítulo 7 apresenta as conclusões do trabalho.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Nesse capítulo são apresentados o histórico que levou ao surgimento da ecoeficiência, os conceitos de ecoeficiência, emissão de poluentes e o programa PROCONVE. Posteriormente, uma revisão de literatura será feita sobre os temas em questão.

2.1 Do surgimento da preocupação ambiental à Ecoeficiência

O conceito de sustentabilidade ganhou corpo e importância a partir da década de 1950 quando a poluição nuclear se tornou um risco ambiental evidente e eminente para o planeta. Tal fato alertou a população global de que os problemas ambientais não devem ser tratados de maneira local, mas sim de forma global (MACHADO, 2005).

Além da questão nuclear, a denúncia sobre o uso indevido de pesticidas e inseticidas químicos e a preocupação sobre a chuva ácida nos países nórdicos alertaram os governos e a mídia sobre a necessidade de se ter um controle sobre o aspecto ambiental. Impulsionada por tais fatos, a Suécia realizou uma conferência em 1972 que culminou em um acordo internacional chamado de Conferência de Estocolmo, a qual propôs medidas para a redução dos gases causadores da chuva ácida (NASCIMENTO, 2012).

Dez anos após, a ONU (Organização das Nações Unidas) avaliou o desempenho dos esforços acordados pela Conferência de Estocolmo. O resultado encontrado mostrou que pouco foi feito para a mitigação dos impactos ambientais. Como consequência, foi criada a Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente (CMMAD) com o intuito de gerar o Relatório Brundtland, (também conhecido como *Our common future*) em 1987. O principal objetivo do relatório era estabelecer uma agenda global de mudanças para todas as nações envolvidas no acordo. A partir de tal relatório o conceito de desenvolvimento sustentável foi criado, o qual pode ser descrito como: “o desenvolvimento que satisfaz as necessidades do presente

sem comprometer a capacidade das gerações futuras em satisfazer suas próprias necessidades. " (LE PRESTE, 2000).

A criação e formalização do Relatório Brundtland impulsionou a ONU à aprovar e convocar a Conferência Das Nações Unidas para o Meio Ambiente (CUMAD) para o ano de 1992. Tal evento ficou conhecido como Rio-92. A Rio-92 foi responsável pela formalização do conceito de desenvolvimento sustentável, além dos seguintes temas (NASCIMENTO e VIANNA, 2006):

- Proteção dos solos por meio do combate ao desmatamento, seca e desertificação;
- Proteção da atmosfera, visando o combate às mudanças climáticas;
- Proteção das áreas marítimas e oceânicas;
- Controle sobre a biotecnologia;
- Conservação da biodiversidade;
- Controle no despejo de dejetos químicos e tóxicos;
- Proteção das condições de saúde e;
- Erradicação de agentes patogênicos.

Um dos efeitos mais visíveis da Rio-92 foi a Agenda 21, a qual consiste em um documento com intenções e compromissos voltados para a preservação e melhoria da gestão realizada sobre os aspectos ambientais. Para se alcançar tais compromissos, foram criadas ações econômicas e sociais voltadas para a gestão dos recursos naturais e seus meios de implementação. Entretanto, críticas foram feitas sobre a Agenda 21 de maneira a criticar a posição conservacionista do documento, à abordagem pouco efetiva no que diz respeito ao consumo e a grande quantidade de recurso necessário para que sua implantação fosse mundial (PECCATIELLO, 2011).

Apesar dos pontos negativos, a Agenda 21 apresentou alguns programas que são considerados fundamentais para a discussão e elaboração de políticas públicas voltadas para as questões ambientais. Tendo como base a Agenda 21 e a Rio-92, os conceitos da ecoeficiência surgiram visando alcançar o desenvolvimento sustentável de forma prática e hábil (PECCATIELLO, 2011).

2.2 Ecoeficiência

2.2.1 Conceito e Surgimento

A avaliação de desempenho sob o enfoque tradicional privilegia aspectos econômicos financeiros em detrimento aos socioambientais, criando a cultura de que as questões ambientais aumentam os custos e, assim, prejudicam o desempenho econômico das empresas. O conceito da ecoeficiência surgiu para desmistificar esse fato, de forma a expor que é possível unir as ideias antagônicas de desempenho econômico-financeiro e de redução de impactos ambientais (LEAL JUNIOR, 2010).

Os conceitos e questões referentes à ecoeficiência surgiram a partir de uma proposta empresarial de atuação na área ambiental na Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento (ECO-92), ocorrida na cidade do Rio de Janeiro em 1992 (LEAL JUNIOR e GUIMARÃES, 2013).

Na época, um concurso foi promovido para descobrir qual seria a melhor ideia que implantasse o desenvolvimento sustentável nas empresas, de forma a converter esses conceitos em algo prático e imediato. Assim sendo, a ideia ganhadora foi a ecoeficiência. Vale a pena ressaltar que a necessidade de se produzir mais com menos recursos, menos desperdícios e menos poluição já existia, porém, a metodologia proposta pela WBCSD (*World Business Council of Sustainable Development*) (WBCSD, 2000) referia-se a ecologia, economia e eficiência de maneira inovadora até então (HOLLIDAY *et al.*, 2002).

A WBCSD é um conjunto de 130 empresas internacionais que compartilham de um mesmo compromisso: o desenvolvimento sustentável. A rede de membros que compõem a coligação possui mais de 30 países envolvidos e 20 setores fundamentais da indústria mundial em busca do mesmo objetivo: atuar como gerador de mudanças e estimular a cooperação entre a administração pública, o setor privado e as demais organizações preocupadas com o desenvolvimento sustentável. As principais áreas que recebem atenção pela metodologia são (WBCSD, 2000):

- Comunicação da sustentabilidade;
- Sustentabilidade através do mercado;
- Inovação e desenvolvimento de novas tecnologias;
- Estudos sobre clima e energia;
- Preservação dos recursos naturais.

A ecoeficiência, de acordo com a WBCSD (2000), pode ser definida como a entrega de bem e serviços a preços competitivos e que ao mesmo tempo satisfaçam às necessidades humanas, resultem em uma melhor qualidade de vida e reduzam de forma gradativa as influências ambientais e a intensidade do uso dos recursos em todas as etapas do ciclo de produção de um bem ou serviço.

Outra definição é dada por Salgado (2007), em que a ecoeficiência pode ser considerada uma filosofia voltada para gestão e que estimula as empresas a buscarem melhorias ambientais que potenciem benefícios econômicos. Além disso, a ecoeficiência permite novas oportunidades de negócio, tornar as empresas mais lucrativas e desenvolver o lado ambiental de maneira mais responsável. Um ponto chave nas vantagens citadas é fomentar inovações e, por conseguinte, o crescimento e a competitividade.

De forma geral, as empresas e indústrias existem para satisfazer as necessidades e desejos do homem e, assim, serem recompensados com os lucros gerados pela venda. Os negócios com visão responsável sobre o meio ambiente consideram a melhoria na qualidade de vida como um dos fatores chave que os levaram a ser mais sustentáveis. Entretanto, apenas essa visão dentro do mundo empresarial não garante a redução do consumo de insumos e dos impactos ambientais. Essa meta apenas será atingida quando o mundo empresarial começar a trabalhar de maneira conjunta com o governo e as demais partes interessadas (fornecedores, clientes e organizações não governamentais (ONG's)) (WBCSD, 2000).

As ações que levam à melhora do nível de ecoeficiência vão desde atitudes simples até as mais complexas, as quais podem ser: optar por formar alternativas de combustíveis; substituir lâmpadas convencionais por aquelas de baixo consumo; fazer compostagem de lixo orgânico; políticas de reflorestamento;

substituir equipamentos convencionais por produtos com fechamento automático; implantar sistema de iluminação automático; entre outros (LEAL JUNIOR e GUIMARÃES, 2013).

2.2.2 Objetivos gerais e princípios fundamentais

A metodologia da ecoeficiência apresentada pela WBCSD determina três principais objetivos (MOREIRA, 2009):

- Redução do consumo de insumos naturais: diminuição do uso dos recursos naturais de cunho material e energético, além da preocupação sobre a reciclagem e a durabilidade dos produtos;
- Redução dos fatores que impactam negativamente o meio ambiente: redução da emissão de gases poluentes, descargas líquidas e propagação de possíveis substâncias tóxicas;
- Aumento do valor do produto ou serviço: criação de novos serviços que tenham o intuito de agregar valor ao produto e assim beneficiar os clientes.

Schaffel (2010) assinalou sete principais componentes indicados pela WBCSD como aqueles que contribuem para melhorar os índices de ecoeficiência:

- Redução do consumo de energia com bens e serviços (minimização da intensidade energética de bens e serviços);
- Redução do consumo de materiais (minimização da intensidade de materiais de bens e serviços);
- Redução da dispersão de substâncias tóxicas;
- Aumento da reciclabilidade dos materiais;
- Maximização do uso sustentável de recursos renováveis;
- Prolongamento do ciclo de vida e durabilidade dos produtos;
- Agregação de valor aos bens e serviços.

2.2.3 Princípios dos indicadores de ecoeficiência

Os indicadores selecionados pela empresa devem seguir os seguintes princípios (WBCSD, 2000):

- Ser relevante na proteção do meio ambiental, na saúde dos seres humanos e na melhoria da qualidade de vida: os indicadores devem garantir que as empresas e as partes interessadas concentrem seus esforços nas áreas prioritárias tanto no aspecto ambiental quanto na agregação de valor ao produto;
- Fornecer informações aos órgãos de decisão de forma a melhorar o desempenho da organização: a função primordial dos indicadores é de ajudar a gestão a tomar decisões no que diz respeito às modificações nos processos produtivos, fazendo com o que a utilização de recursos seja reduzida e/ou o aumento do valor do produto. Em último caso, também servem para a análise do desempenho da empresa;
- Reconhecer a diversidade presente em cada negócio: devem-se levar em consideração as diferenças existentes em cada tipo de negócio para assim selecionar indicadores que sejam importantes e significativos, de forma a conseguir retratar a realidade;
- Apoiar o *benchmarking* e monitorar a evolução: é imprescindível que a gestão use indicadores os quais suas evoluções possam ser medidas de forma histórica. Com o intuito de maximizar o poder de monitoramento, os indicadores devem ser calculados visando minimizar a influência de fatores externos que afetem tanto o impacto ambiental quanto o valor do produto. Além disso, os indicadores obrigatoriamente devem se basear em sistemas de medição sólidos, atemporais e reproduzíveis;
- Serem claramente definidos, mensuráveis, transparentes e verificáveis: com o propósito de servir como apoiadores na tomada de decisão, os indicadores devem ser claros e calculados de maneira precisa ou por estimativas confiáveis. Assim sendo, todo o processo de cálculo, as fronteiras e as considerações feitas devem ser documentadas e disponíveis para os colaboradores;
- Serem compreensíveis e significativos para as diversas partes interessadas: os indicadores devem ser simples e claros, de forma a facilitar seu uso tanto para a empresa quanto para as demais partes interessadas. É importante

ressaltar que qualquer agregação de dados deve ser feita de forma clara e cuidadosa, deixando evidentes quais as limitações foram encontradas;

- Basear-se numa avaliação geral da atividade da empresa (produtos e/ou serviços), sobretudo concentrando-se naquelas áreas controladas diretamente pela gestão: a empresa deve examinar toda a empresa em busca do conhecimento amplo, de forma a priorizar a criação de indicadores para aquelas áreas nas quais a gestão possui controle direto e pode influenciar de maneira mais assídua;
- Levar em consideração questões relevantes e significativas, relacionadas com as atividades da empresa a montante (fornecedores) e a jusante (os clientes): a gestão não deve deixar de lado as áreas da empresa as quais não possui controle total (por exemplo, produção de matérias primas), porém o tratamento deve ser diferenciado daqueles indicadores controlados totalmente pela gestão.

2.2.4 Cálculo da ecoeficiência

A mensuração da ecoeficiência propicia às empresas o monitoramento de suas atividades, bem como o controle e estabelecimento de metas de curto e longo prazo. O controle sobre isso deve ser feito por todos os colaboradores envolvidos, da mesma maneira que a divulgação deve ser ampla e feita de forma clara e simples de forma a envolver todo o negócio (PEREIRA, 2001).

A Equação proposta pela WBCSD para quantificar a ecoeficiência é:

$$Ecoeficiência = \frac{\text{Valor do produto ou serviço (V)}}{\text{Influência Ambiental (IA)}} \quad (1)$$

Não existe uma fórmula que indique quais devem ser os numeradores e denominadores da Equação (1) (a WBCSD sugere alguns indicadores com base em estudos já realizados em empresas de várias partes do mundo), possibilitando uma grande variedade de possibilidades dentro das necessidades do negócio e de seus *stakeholders* (PEREIRA, 2001).

2.2.5 Tipos de indicadores

Existem dois tipos de indicadores: aqueles de aplicação geral e aqueles específicos ao negócio. Os indicadores do primeiro tipo (exemplificados na Tabela 1) são aqueles que podem ser utilizados em praticamente qualquer tipo de empresa, indústria e/ou organização de forma a focarem em uma determinada preocupação ambiental ou valor do negócio (WBCSD, 2000).

Tabela 1 - Exemplos de indicadores gerais

Tipo	Indicador	Descrição
Valor de produto/serviço	Quantidade de produto produzido	Responsável pela mensuração da quantidade de produto fabricado dentro de um horizonte de tempo
	Quantidade de serviços prestados	Responsável pela mensuração da quantidade de serviço prestado dentro de um horizonte de tempo
	Vendas líquidas	Valor total das vendas líquidas (sem os custos)
Tipo	Indicador	Descrição
Influência Ambiental	Consumo de energia	Mensuração do consumo das diversas fontes de energia
	Consumo de matéria prima	Mensuração do consumo das diversas matérias primas necessárias
	Consumo de água	Mensuração do consumo das diversas matérias primas
	Emissões de Gases de Efeito Estufa	Mensuração dos gases produzidos em cada produto
	Emissões de substâncias deterioradoras da camada de ozônio (SDCO)	Mensuração dos gases produzidos em cada produto

Fonte: Adaptado de WBCSD (2000)

Já os indicadores do segundo tipo são aqueles voltados para especificidade de cada empresa e assim sendo limitados por sua abrangência. Vale a pena ressaltar que esse tipo não é necessariamente menos importante que os do

primeiro tipo, cabendo aos responsáveis realizar essa análise. Nem todos os indicadores são aplicáveis a todas as empresas, de forma que cada uma deve avaliar seu negócio e apontar quais indicadores gerais e específicos podem e devem ser estudados. O WBCSD orienta a consulta da ISO 14031, relativa à Avaliação de Desempenho Ambiental, na escolha dos indicadores específicos. A norma em questão define procedimentos para a seleção de indicadores ambientais por meio da coleta e análise dos dados e posterior comunicação dos resultados aos responsáveis (WBCSD, 2000).

2.2.6 Categoria, aspecto e indicadores

De forma a criar uma metodologia de criação e medição de indicadores universais para todos os tipos de negócios, não excluindo as particularidades de cada setor, a WBCSD (2000) determinou uma metodologia condizente com aquelas utilizadas na série ISSO 14000 e na *Global Reporting Initiative* (GRI), englobando três níveis organizacionais:

- Categorias: são as áreas nas quais há influência ambiental (tanto na criação quanto na utilização dos bens ou serviços) e no valor do negócio;
- Aspectos: cada categoria possui certa quantidade de aspectos que estão relacionados entre si, com o objetivo de descrever o que será medido;
- Indicadores: são responsáveis pela mensuração de algum aspecto individual, o qual possui diversos indicadores.

De forma resumida, os principais aspectos identificados dentro de cada categoria são (WBCSD, 2000):

- Valor do produto ou serviço:
 - ✓ Volume/massa;
 - ✓ Valor monetário;
 - ✓ Função.
- Influência ambiental na criação do produto ou serviço:
 - ✓ Consumo de energia;
 - ✓ Consumo de materiais;

- ✓ Consumo de recursos naturais;
- ✓ Saídas não relacionadas com o produto;
- ✓ Acontecimentos imprevistos.
- Influência ambiental na utilização do produto ou serviço:
 - ✓ Características do produto ou serviço;
 - ✓ Resíduos de embalagem;
 - ✓ Consumo de energia;
 - ✓ Emissões durante a utilização/emissão.

2.2.7 Diferentes visões sobre a Ecoeficiência

A WBCSD não é a única organização que contribui para a difusão dos conceitos de ecoeficiência. No âmbito internacional, apresentam-se as seguintes instituições: WBCSD, Organização para Cooperação e Desenvolvimento Económico (OCDE – *The Organization for Economic Co-operation and Development*), Conferência das Nações Unidas sobre o Comércio e Desenvolvimento (UNCTAD – *United Nations Conference on Trade and Development*), Agência Europeia para o Meio Ambiente (EEA – *European Environment Agency*) e Programa Ambiental das Nações Unidas (UNEP – *United Nations Environment Programme*) (SCHAFFEL e LA ROVERE, 2010).

Já no âmbito nacional, tem-se: o Conselho Empresarial Brasileiro para o Desenvolvimento Sustentável (CEBDS), o Banco Nacional do Desenvolvimento Económico e Social (BNDES) e o Instituto Ethos de Empresas e Responsabilidade Social.

Nas seções a seguir são apresentadas as instituições internacionais e brasileiras responsáveis pela fomentação dos conceitos e metodologias da ecoeficiência, as quais são aquelas citadas no parágrafo acima.

2.2.7.1 OCDE

No ano de 1995, a OCDE organizou um evento na Noruega com o intuito de discutir e esclarecer diversos conceitos sobre a produção e o consumo sustentável, no qual o mais importante foi a ecoeficiência (de acordo com a definição do WBCSD). Em um relatório exclusivo ao tema, a OCDE definiu a ecoeficiência como “a eficiência com a qual os recursos ambientais são utilizados para atender às necessidades humanas” (OCDE, 1998).

O conceito da ecoeficiência está diretamente voltado à inclusão de práticas tecnológicas que tenham como objetivos a redução dos custos, melhorias no processo de produção e aumento dos lucros, sem excluir o amparo à mudança de comportamento sobre os padrões de consumo da sociedade. O cálculo do indicador é feito a partir da Equação (2) (OCDE, 1998):

$$Ecoeficiência = \frac{Razão\ de\ Saída\ (output)}{Razão\ de\ Entrada\ (input)} \quad (2)$$

Na qual a Razão de Saída representa o valor dos produtos e serviços de uma empresa, setor ou economia e a Razão de Entrada os insumos necessários para a produção do bem ou serviço.

A OCDE (1998) alerta para a criação e acompanhamento de metas bem como o monitoramento dos indicadores considerados pelas empresas, de forma a fomentar novas tecnologias, mudanças na organização e maneiras inovadoras de pensamento sobre essas mudanças. Vale a pena ressaltar que os governos têm papel fundamental no encorajamento das iniciativas e ajudar a desenvolver estratégias que facilitem a aplicação da ecoeficiência.

Por fim, Schaffel e La Rovere (2010) identificaram quatro áreas a serem estudadas de forma a desenvolver políticas e estimular a divulgação dos conceitos e práticas de ecoeficiência:

- Estudos setoriais sobre os efeitos sociais e econômicos das políticas de ecoeficiência;
- Incluir os indicadores de ecoeficiência nos de sustentabilidade de forma a ampliar seu uso no mundo;
- Troca de experiência entre os países que compõe a OCDE com o intuito de disseminar melhores práticas e tecnologias inovadoras;

- Estudo dos consumos ambientais atuais e futuros, visando o estabelecimento de mudanças comportamentais e tecnológicas que diminuam a poluição e a utilização de recursos naturais.

2.2.7.2 UNCTAD

Em 2004, a UNCTAD publicou um manual voltado para os usuários e elaboradores dos indicadores de ecoeficiência de forma a expor uma metodologia que ampare as empresas a encontrar, calcular, medir e divulgar os indicadores voltados à cinco questões ambientais genéricas: consumo de água, consumo de energia, contribuição para o aquecimento global, utilização de substâncias que contribuem para a destruição da camada de ozônio e geração de resíduos sólidos. Além disso, o manual sugere os seguintes indicadores: consumo de água por valor líquido adicionado, contribuição para o aquecimento global por valor líquido adicionado, demanda de energia por unidade de valor líquido adicionado, dependência de substâncias que contribuem para a depleção da camada de ozônio por valor líquido adicionado e resíduos sólidos gerados por unidade de valor líquido adicionado (UNCTAD, 2004).

O manual estimula que as organizações desenvolvam indicadores adicionais que representem características da região ou de um setor específico, levando em consideração a adaptação de novas questões de cunho ambiental e as antigas, de forma a serem atualizadas. O cálculo de um indicador de ecoeficiência é feita pela Equação (3) (UNCTAD, 2004):

$$Ecoeficiência = \frac{Influência\ Ambiental}{Valor\ do\ produto\ ou\ serviço} \quad (3)$$

Percebe-se que a diferença entre o cálculo da UNCTAD e o da WBCSD é a inversão da ordem dos fatores na divisão. Entretanto, a primeira adota o mesmo conceito de ecoeficiência da segunda sendo a diferença apontada anteriormente.

Uma das falhas encontradas na aplicação da metodologia da UNCTAD é falta de regras na consolidação das informações ambientais de forma a serem usadas de forma conjunta com as informações financeiras. Dessa forma, o objetivo da

UNCTAD é a padronização contábil visando oferecer orientação sobre a definição, reconhecimento, mensuração e divulgação das informações, além de propor uma padronização no que diz respeito à divulgação dos resultados, permitindo a comparação de resultados entre diferentes empresas (SCHAFFEL e LA ROVERE, 2010).

De forma resumida, a Tabela 2 mostra as diferenças de abordagem entre as três principais organizações internacionais além do racional de cálculo para cada um.

Tabela 2 - Resumo das diferenças entre as organizações internacionais

Organização	Conceito de Ecoeficiência	Representação do Indicador
WBCSD	Alcançada por meio da oferta de bens e serviços a preço competitivos que satisfaçam as necessidades da sociedade e contribuam para a melhoria na qualidade de vida, de forma a reduzir gradativamente os impactos ambientais e intensidade da utilização dos recursos durante o ciclo de vida até o ponto de atingirem um nível que respeite a capacidade de sustentação da Terra.	<u>Valor do produto ou serviço</u> Influência Ambiental
OCDE	Eficiência na qual os recursos provenientes do meio ambiente são utilizados para suprir as necessidades da sociedade.	<u>Razão de saída (output)</u> Razão de entrada (input)
UNCTAD	Impacto Ambiental por unidade de valor econômico.	<u>Influência Ambiental</u> Valor do produto ou serviço

Fonte: Adaptado de Schaffel (2010)

2.2.7.3 Agência Europeia para o Meio Ambiente – EEA

A EEA foi fundada no ano de 1990 pela União Europeia com o intuito de atuar em conjunto com a Rede Europeia de Informação e Observação Ambiental (EIONET – *European Environment Information and Observation Network*). Para

a Agência, o conceito de ecoeficiência é: “mais bem-estar para todos com menos uso da natureza” (EEA, 1999).

A organização propôs indicadores de ecoeficiência para os países pertencentes ao bloco com o objetivo de mensurar e comparar os resultados entre os setores econômicos. A abordagem adotada enfatiza a integração e quantificação das questões ambientais diretamente nas políticas públicas, nas quais os preceitos da ecoeficiência podem facilitar o fornecimento de informações de forma a integrar atividades econômicas às políticas ambientais, orientando o país rumo ao desenvolvimento sustentável. Além disso, propõe-se o uso de dois indicadores: eco-intensidade (relaciona o uso dos recursos naturais com o bem-estar da sociedade) e a produtividade dos recursos (expresso pela relação entre o bem-estar da sociedade e o uso dos recursos naturais) (EEA, 1999).

2.2.7.4 Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente – UNEP

A UNEP tem propagado conceitos semelhantes àqueles expostos pela WBCSD (Produção Mais Limpa e Ecoeficiência). O conceito de Produção Mais Limpa (PML) foi apresentado pela organização em 1989 como:

“[...] a aplicação contínua de uma estratégia técnica, econômica e ambiental integrada aos processos, produtos e serviços, a fim de aumentar a eficiência no uso de matérias-primas, água e energia, pela não geração, minimização ou reciclagem de resíduos e emissões, com benefícios ambientais, de saúde ocupacional e econômica” (WBCSD-UNEP, 1996, p.17).

Um conceito fundamental da PML é a redução ou eliminação dos fatores poluentes durante o processo produtivo e não apenas no final do ciclo de vida, de forma a considerar que a matéria prima mal utilizada e todos os resíduos que precisam de tratamento são de responsabilidade da empresa e serão considerados poluição (SEBRAE, 2003).

Existem alguns pontos convergentes entre os conceitos da PML e ecoeficiência, como a busca por uma íntima relação entre a excelência ambiental e corporativa, ou seja, crescimento econômico com a redução dos impactos ambientais. Além disso, ambos fomentam o uso consciente e eficiente das matérias primas,

redução dos recursos provindos da natureza, reciclagem e reuso, minimização da geração de resíduos, entre outros. A diferença entre as metodologias está no fato que na PML as melhorias ambientais são responsáveis pelos ganhos econômicos, enquanto na ecoeficiência as melhorias econômicas e tecnológicas são responsáveis pelos ganhos ambientais (WBCSD-UNEP, 1996).

2.2.7.5 Conselho Empresarial Brasileiro para o Desenvolvimento Sustentável – CEBDS

Fundado em 1997 com o propósito de ser um representante do WBCSD no Brasil, o CEBDS é uma junção dos maiores grupos empresariais brasileiros, os quais possuem um faturamento aproximado de 40% do PIB nacional. O conselho faz parte de uma rede mundial de mais de 50 conselhos com o intuito de disseminar uma maneira inovadora de fazer negócios. O CEBDS está alinhado com a WBCSD no que diz respeito à definição e objetivos de ecoeficiência, buscando a combinação entre os desempenhos ambiental e econômico com objetivo de reduzir os impactos ambientais (CEBDS, 2009).

Segundo CEBDS (2005), é de suma importância que o setor empresarial brasileiro dissemine e consolide a cultura da ecoeficiência não somente nas empresas de grande porte, mas também naquelas consideradas microempresas, pequenas e médias, as quais representam mais de 90% do total presente no país. Com a parceria do SEBRAE (Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas), no ano de 1999 foi criada a Rede Brasileira de Produção Mais Limpa visando a disseminação não somente dos conceitos de ecoeficiência, mas também do PML.

2.2.7.6 Instituto Ethos de Empresas e Responsabilidade Social

Em sua publicação acerca do tema, o Instituto destaca o fato de que a ecoeficiência deve contemplar as externalidades socioambientais nos orçamentos das empresas e consumidores, precificando produtos e serviços

pelo custo total. Além disso, uma carta foi escrita para as empresas já participantes e aquelas que desejam participar do movimento de responsabilidade ambiental com diversas recomendações, entre elas a adoção e divulgação da ecoeficiência (GONÇALVES, 2005).

2.2.7.7 Banco Nacional do Desenvolvimento Econômico e Social – BNDES

A Política Ambiental do BNDES tem como primeira diretriz o estímulo ao uso dos conceitos da ecoeficiência, o qual promove a utilização de tal metodologia por meio do incentivo à utilização de tecnologias mais limpas, ao uso de recursos renováveis, ao controle da poluição, à redução no despejo de dejetos e às operações que busquem o ordenamento urbano (BNDES, 2007).

Os programas desenvolvidos pelo BNDES são feitos por meio de linhas, programas e fundos. A linha responsável pelo meio ambiente promove o desenvolvimento sustentável e a eficiência energética no país e vem apoiando diversos projetos, entre eles: Recuperação e Conservação de Ecossistemas e Biodiversidade, Planejamento e Gestão e Recuperação de Passivos Ambientais e Ecoeficiência: Racionalização do Uso de Recursos Naturais (BNDES, 2007). Dentre os principais pontos presentes no último programa citado, tem-se: aumento da reciclagem interna e externa, substituição de combustíveis de origem fóssil (óleo diesel e gasolina) por fontes renováveis (biodiesel, etanol, energia hídrica, elétrica e eólica), redução do consumo de energia na produção de bens e serviços, redução do uso de recursos hídricos (tratamento, reuso e fechamento de circuitos) e utilização voluntária de tecnologias mais limpas (sistemas de prevenção, redução, controle e tratamento de resíduos industriais, efluentes e emissões de poluentes).

A Tabela 3 mostra um resumo das visões das instituições internacionais e nacionais sobre a ecoeficiência.

Tabela 3 - Resumo dos conceitos de ecoeficiência das instituições internacionais e nacionais.

Instituição	Definição de Ecoeficiência
WBCSD	O sucesso na aplicação da ecoeficiência se dá pela oferta de bens e serviços a preços competitivos que satisfaçam as necessidades humanas e aumentem a qualidade de vida. A oferta deve respeitar o limite da capacidade de sustentação estimada da Terra (WBCSD, 2000).
OCDE	A eficiência na qual os recursos naturais são utilizados para atender às necessidades humanas; visa à mudança nos padrões de consumo (OCDE, 1998).
UNCTAD	Mesmo conceito que o WBCSD, só que o indicador é calculado pela divisão da influência ambiental pelo valor econômico (UNCTAD, 2004).
EEA	Estratégia que possibilita a redução do uso dos recursos naturais para atender às necessidades humanas, de forma a permitir o uso equitativo do meio ambiente pela geração atual e futura; mais bem-estar com o menor uso da natureza (EEA, 1999).
UNEP	Mesmo conceito da WBCSD (WBCSD-UNEP, 1996).
CEBDS	Combinação dos desempenhos econômico e ambiental, reduzindo impactos na natureza. Usar de forma mais racional as matérias primas e energia. Reduzir riscos de acidentes e melhorar a realização da organização com as partes interessadas (CEBDS, 2009).
ETHOS	Gestão capaz de relacionar o desempenho econômico com o ambiental, criando processos mais eficientes e produtos e serviços melhores ao mesmo tempo que reduz o uso de recursos, geração resíduos e poluição em toda a cadeia produtiva (ETHOS, 2005).
BNDES	Envolve o conceito com a utilização de tecnologias mais limpas, redução de resíduos, recuperação dos recursos naturais, eficiência energética, entre outros (BNDES, 2009).

Fonte: Adaptado de Schaffel (2010).

2.2.8 Perfil de ecoeficiência

Ao final de todo o estudo acerca da ecoeficiência, o WBCSD sugere que seja elaborado um perfil contendo o resumo de todos os resultados encontrados, permitindo seu uso em futuros processos de auditoria internas e externas, além de comparações posteriores de novos cálculos. Dessa forma, os elementos a

seguir são imprescindíveis para propiciar a clareza da informação (WBCSD, 2000):

- Perfil da organização: informações gerais da empresa como nome, número de colaboradores, endereço eletrônico e físico, ano de exercício, principais produtos e quaisquer alterações relevantes na estrutura da empresa;
- Perfil do valor: indicadores voltados para a parte do “valor” segundo abordagem da WBCSD, podendo conter vendas líquidas, margem bruta, quantidade de produtos, indicadores funcionais para certo produto, entre outros;
- Perfil Ambiental: possui indicadores genéricos sobre a influência ambiental, além daqueles específicos da empresa no que diz respeito à utilização e fabricação do produto/serviço;
- Indicadores de ecoeficiência: além de apresentar nos itens anteriores o numerador e denominador dos coeficientes, a empresa pode também expor alguns dos cálculos realizados considerados mais relevantes e significativos dentro do estudo;
- Informações sobre metodologia: expõe quais os critérios adotados na seleção de indicadores e também na coleta dos dados necessários, além das limitações encontradas.

2.2.9 Empresas que utilizaram os conceitos de Ecoeficiência

A Tabela 4 mostra um resumo de algumas empresas que utilizaram a metodologia da WBCSD, apresentando em quais áreas foram aplicadas, bem como as soluções encontradas e os principais resultados.

Tabela 4 - Resumo das aplicações em diversas empresas.

(continua)

Empresa	Iniciativa de Ecoeficiência	Problema	Solução Encontrada	Resultados Encontrados pela empresa
General Motors (México)	Conservação de água	Aumento da demanda por quantidade e qualidade de água em região de escassez	Mudança na abordagem do gerenciamento de água (redução do consumo e reuso de água, utilização de técnicas simples e de alta tecnologia, entre outros)	Redução da retirada anual de água de poço pela metade no período de quatro anos; Redução da necessidade média de água de poço para produzir um veículo de 32 m ³ para 2,2 m ³ ; Aumento da produção em sete vezes (em volume de carros); Aumento da produção em 50% da quantidade de motores.
Grupo Minetti	Transformação de resíduos industriais em combustíveis	Fábrica de cimento constitui uma empresa de seu grupo par gerenciar seus resíduos sólidos	Desenvolvimento de tecnologia para utilizar resíduos como combustível em kilns de cimento	Economia de 49.350 m ³ de combustíveis fósseis num período de cinco anos; evitado o lançamento de 122.500 toneladas de resíduos industriais em aterros sanitários num período de cinco anos
Norsk Hydro	Reciclagem de alumínio	A produção de alumínio não é a maneira mais eficiente sob o ponto de vista energético, de forma a atender o crescimento da demanda	Utilização da abordagem de avaliação do ciclo de vida; Desenvolvimento de reciclagem e refundição para o alumínio; Ampliação da capacidade de refundição.	Reciclagem do alumínio economiza até 95% da energia consumida pela produção primária; Montagem de uma rede de refundição minimizando custos e maximizando ganhos em eficiência.

Tabela 4 - Resumo das aplicações em diversas empresas.

(continuação)

Empresa	Iniciativa de Ecoeficiência	Problema	Solução Encontrada	Resultados Encontrados pela empresa
BASF	Ferramenta de ecoeficiência	Falta de ferramentas para introduzir a ecoeficiência na gestão	Desenvolvimento de metodologia para medir a ecoeficiência de produtos e serviços com base em: consumo de matérias primas, consumo de energia, emissões, toxicidade de materiais, riscos potenciais, uso do solo	O resultado permite apoiar decisões estratégicas (Ex: decisão sobre forma mais ecoeficiente de transportar carga perigosa); Melhoria de produtos e processos, demonstrando aonde as melhorias poderiam beneficiar mais ao meio ambiente e suas consequências financeiras.
The Warehouse Group	Software para eficiência energética	Gasto em energia nas 75 lojas e 32 estabelecimentos do grupo	Desenvolvimento de software para controle automático da iluminação, aquecimento e ar condicionado.	No período de sete anos o consumo médio de energia caiu pela metade; Redução de custo
CH2M HILL e Nike	Controle da cadeia de fornecimento dentro do Programa de sustentabilidade Nike	Necessidade de controlar 750 fornecedores diretos	Trabalho junto aos fornecedores desenvolvendo bancos de dados e relatórios padronizados; Redução da geração de resíduos sólidos, produtos químicos perigosos, preservação e conservação de água, coleta e validação de indicadores ambientais	Definição de padrões referentes à geração de resíduos sólidos em 45 fábricas de calçados na Ásia; Documentação de reduções no volume de resíduos sólidos e na quantidade de resíduos sólidos reciclados

Tabela 4 - Resumo das aplicações em diversas empresas.

(conclusão)				
Empresa	Iniciativa de Ecoeficiência	Problema	Solução Encontrada	Resultados Encontrados pela empresa
Cemento de El Salvador	Programa de ecoeficiência	Fabricação de cimento utilizando fornos ineficientes no uso de combustível e energia	Instalação de nova linha de produção com tecnologia mais limpa (consumo de energia menor)	Redução do consumo de eletricidade, emissões de CO2 e de particulados de óxido nitroso
Fundación Entorno	Software Eco-Efficiency Toolkit 1.0	Como demonstrar a viabilidade de produtos, processos e serviços desenvolvidos por meio de conceitos de ecoeficiência	Desenvolvimento de software para apoiar o planejamento do consumo de materiais, transporte, uso e descarte de produtos, identificação de ineficiências e compilação de dados de custos ambientais	Redução do consumo de energia; Ampliação da vida útil das principais máquinas; Redução do custo do produto final; Economia de dinheiro
Tokyo Electric Power Company	Energia eficiente	Necessidade de reduzir as emissões de CO2 (no lado da oferta e da demanda)	Expansão do uso de fontes de energia não-fósseis (nuclear e renováveis); Estímulo a iniciativas de conservação de energia de clientes (Fundo de Energia Verde, doação mensal para promoção de eólica e solar)	Redução das emissões de CO2; Redução dos índices de perdas na transmissão e distribuição; Redução de custos de combustível; Redução do consumo de recursos

Fonte: Adaptado de Schaffel (2010).

2.3 Combustíveis

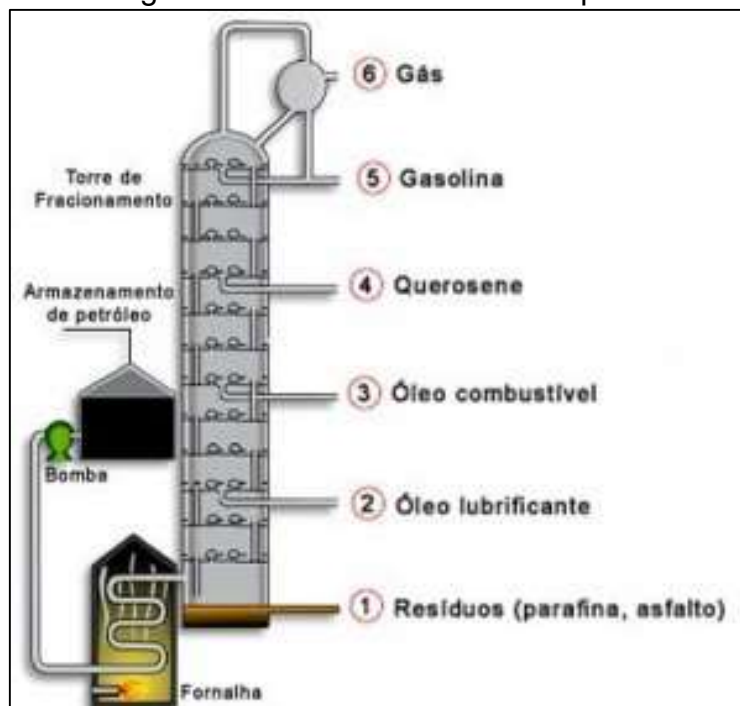
Na seção a seguir, serão apresentadas as características do diesel, biodiesel e diesel de cana de açúcar.

2.3.1 Diesel

O óleo diesel é um combustível derivado do petróleo formado majoritariamente por hidrocarbonetos (ou seja, carbono e hidrogênio) e em baixas concentrações de enxofre, oxigênio e nitrogênio. Sua produção se dá pelo processo de destilação fracionada do petróleo, a qual ocorre segundo as seguintes etapas apresentadas de forma resumida na Figura 3 (PETROBRÁS, 2015):

- 1) Primeiramente, o petróleo é aquecido por meio de vapor a uma temperatura entre 550°C e 650°C;
- 2) A maior parte do petróleo evapora, sendo encaminhado para o fundo de estrutura chamada de coluna de destilação fracionada, a qual possui diversos níveis com bandejas;
- 3) Essa estrutura possui diversos orifícios com o intuito de permitir a passagem do vapor entre os níveis. Além disso, as bandejas são responsáveis pelo aumento do tempo de contato entre o vapor e os líquidos presentes na coluna;
- 4) Cada nível da coluna de destilação possui uma diferente temperatura (o topo é o nível mais frio e a base mais quente);
- 5) O vapor sobe pela coluna e assim o vapor vai sendo resfriado conforme passa por cada um dos níveis, de forma a condensar quando sua temperatura é igual ao do nível no qual se encontra;
- 6) Dessa forma, as bandejas recolhem o material condensado e em seguida esses materiais podem ser condensados mais uma vez de forma a atingir certa temperatura e serem armazenados ou seguirem para outros locais para passar por outros processos. O diesel é resultado da bandeja indicada como Óleo Combustível (3).

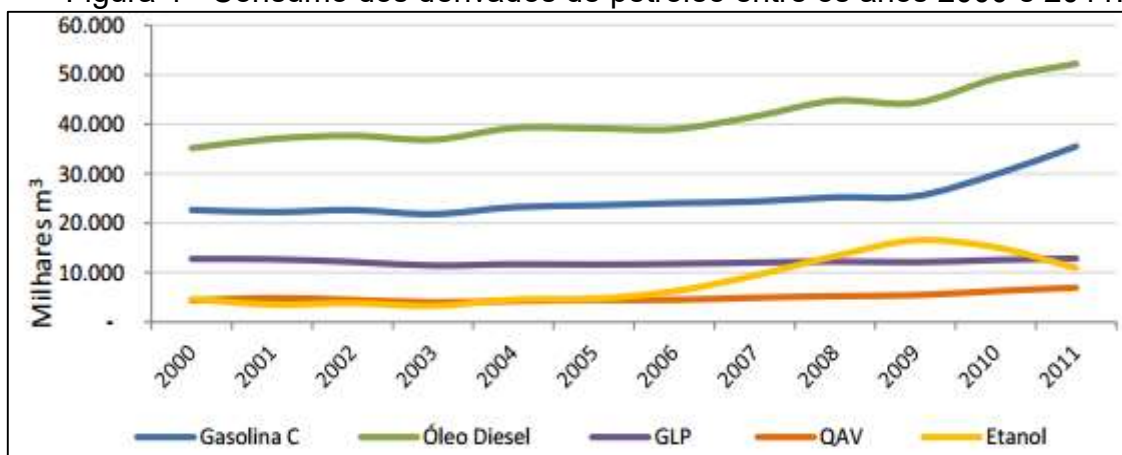
Figura 3 - Processo de refino do petróleo



Fonte: Petrobras, 2015, p. 3

Dentre o período dos anos 2000 e 2011 o consumo dos derivados o petróleo apresentou crescimento conforme a Figura 4. O percentual de crescimento do consumo dos produtos segue, na maioria dos casos, o crescimento do PIB brasileiro (ANP, 2013).

Figura 4 - Consumo dos derivados de petróleo entre os anos 2000 e 2011.

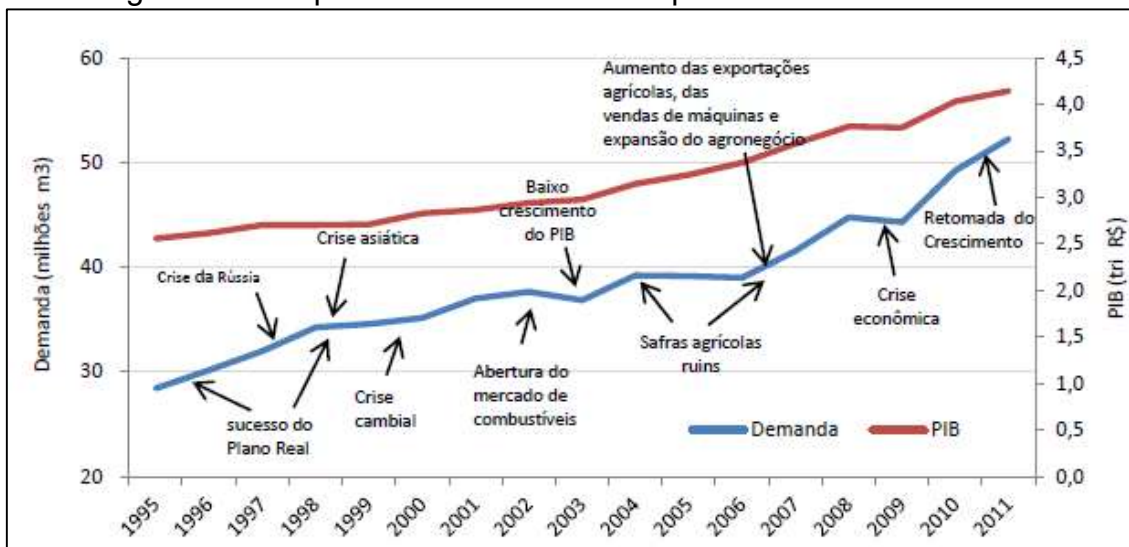


Fonte: Anp, 2013, p.3

Pela análise da Figura 5, percebe-se que a demanda por diesel a longo prazo acompanha as variações do PIB, porém no curto prazo os dois parâmetros podem se distanciar. No início da década de 2000, o valor da demanda cresceu até o ano de 2003, ano no qual o país apresentou um crescimento modesto. Apesar da recuperação, houve uma estagnação entre os anos de 2005 e 2006

pelo mau desempenho no setor agrícola. Em 2007 a demanda voltou a crescer devido à retomada do ritmo de crescimento e do bom desempenho do agronegócio.

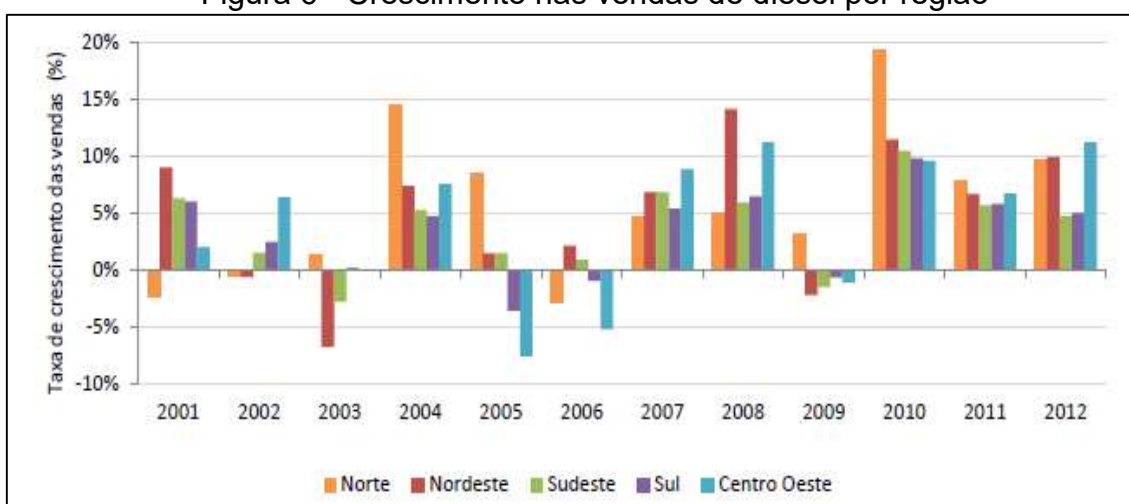
Figura 5 - Comportamento da demanda por diesel e do PIB brasileiro.



Fonte: Anp, 2013, p. 6

No que diz respeito às vendas por região, a Figura 6 expõe que o consumo de diesel varia significativamente em função da participação dos segmentos agropecuário, de transporte e a geração de energia elétrica em cada uma das regiões. Entretanto, o consumo do derivado no ano de 2012 apresentou uma forte correlação com a atividade varejista (ANP, 2013).

Figura 6 - Crescimento nas vendas de diesel por região



Fonte: Anp, 2013, p. 8

2.3.2 Biodiesel

O biodiesel é um combustível de queima limpa, derivado de fontes naturais e renováveis como os vegetais. Tal qual o diesel derivado de petróleo, o biodiesel opera em motores de ignição-combustão. O uso do biodiesel em motores convencionais a diesel resulta na redução substancial de hidrocarbonetos, monóxido de carbono e matéria particulada (LOBO *et al.*, 2009).

Entre suas vantagens, é um combustível simples de ser usado, biodegradável, não tóxico e essencialmente livre de compostos sulfurados e aromáticos. A Tabela 5 mostra porcentagem de biodiesel utilizado no Brasil ao longo dos anos. A nomenclatura adotada é formada da seguinte forma: a letra B indica a presença de biodiesel e o número precedente a porcentagem desse combustível na mistura, ou seja, B6 indica 6% de biodiesel e 94% de diesel (OLIVEIRA *et al.*, 2013).

Tabela 5 - Porcentagem de biodiesel adicionada ao diesel

Evolução do Biodiesel no Brasil	
Ano	Porcentagem de biodiesel misturada ao diesel
2005 a Junho/2008	2%
Julho/2008 a Junho/2009	3%
Julho/2009 a Dezembro/2009	4%
2010 a Junho/2014	5%
Junho/2014 a Outubro/2014	6%
Novembro/2014 até hoje	7%

Fonte: Adaptado de Petrobras (2015).

Podem-se citar as seguintes vantagens na utilização do biodiesel (OLIVEIRA *et al.*, 2013):

- Trata-se de uma fonte de energia renovável;
- É constituído de carbono neutro, sendo neutralizado pelas plantas;

- Contribui para geração de empregos no setor primário da economia, de forma a fomentar o desenvolvimento do governo brasileiro;
- Grande parte dos veículos utilizados na indústria de transpor e agricultura utilizam o diesel, podendo assim ocorrer a substituição pelo biodiesel;
- Ganho ambiental para todo o planeta com a redução dos gases poluentes;
- A viabilidade do uso direto foi comprovada na avaliação dos componentes do motor, que não apresentou qualquer tipo de resíduo que comprometesse o desempenho;
- É uma fonte de energia limpa e renovável.

O Brasil faz uso de menos de um terço da sua área agricultável desenvolvendo assim uma barreira para expansão agrícola no mundo. O potencial para o plantio é de aproximadamente 150 milhões de hectares, sendo 90 milhões referentes às novas fronteiras e 60 milhões que podem ser exploradas com o intuito agrícola em curto prazo. O Programa Biodiesel visa à utilização apenas de terras inadequadas para o plantio de gêneros alimentícios (BIODIESEL, 2015). No Brasil há uma grande diversidade de opções para a produção do biodiesel, tais como a palma, o babuçu, a soja, o girassol, o amendoim, a mamona e o dendê (BIODIESEL, 2015). Conforme visto na Tabela 6, o consumo de biodiesel vem crescendo com passar dos anos, justificando assim o crescimento na produção.

Tabela 6 - Consumo de biodiesel no Brasil (milhões de litros).

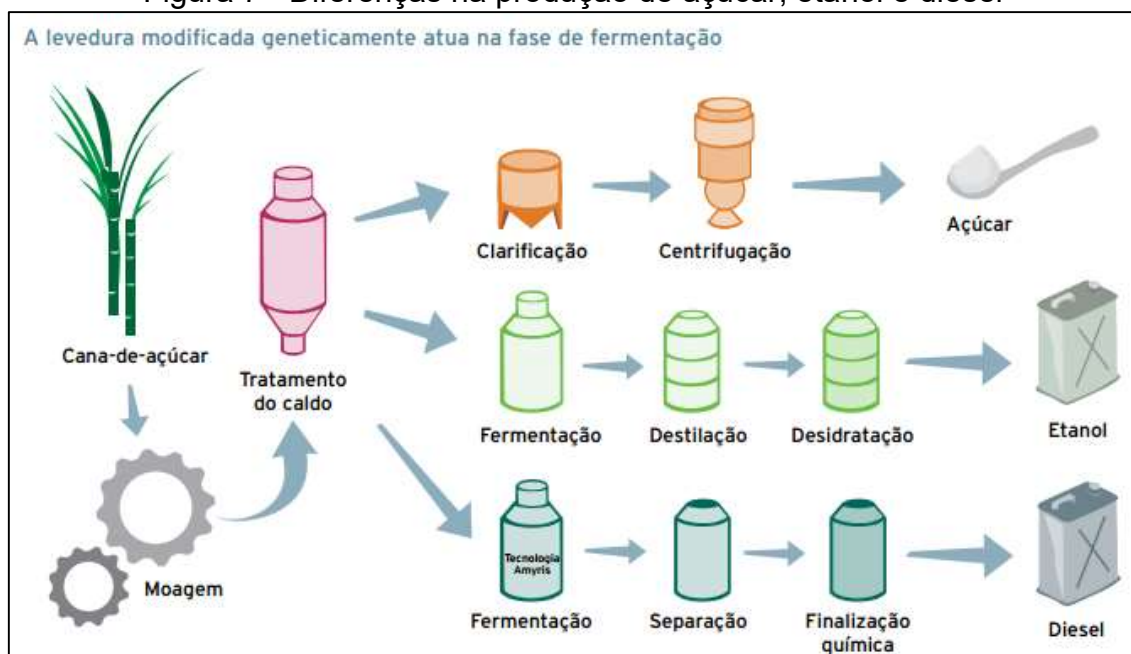
	Ano	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Biodiesel	Comerciais Leves	0	4	21	47	64	90	92	83
	Ônibus Urbanos	0	10	56	120	165	244	267	269
	Micro-Ônibus	0	2	13	29	41	62	68	66
	Ônibus Rodoviário	0	2	11	23	31	45	49	49
	Caminhões Semileves	0	1	4	10	15	22	24	24
	Caminhões Leves	0	8	44	91	124	182	196	194
	Caminhões Médios	0	9	49	99	130	184	190	179
	Caminhões Semipesados	0	19	111	243	344	529	599	613
	Caminhões Pesados	0	14	86	196	286	452	526	543

Fonte: Adaptado de Biodiesel (2015).

2.3.3 Diesel de cana de açúcar

Uma das novas alternativas para a substituição dos combustíveis derivados do petróleo é a produção do diesel de cana de açúcar. De forma simplificada, a Figura 7 mostra três dos produtos resultantes do processamento dessa matéria prima: o açúcar, o etanol e o diesel. A grande diferença entre a produção dos dois combustíveis está no tipo de levedura utilizado em cada um dos processos. No caso do diesel, o microrganismo é responsável por secretar uma substância chamada de farneseno (ao invés do etanol), a qual pode ser utilizada em qualquer motor diesel (ALVARES, 2014).

Figura 7 - Diferenças na produção de açúcar, etanol e diesel



Fonte: Adaptado de Alvares (2014).

O diesel de cana-de-açúcar apresenta como principais vantagens a ausência de enxofre em sua composição e as plantações de cana, as quais fazem fotossíntese para crescer e assim absorvem dióxido de carbono para novamente produzir a sacarose, matéria prima na produção do diesel (OLIVEIRA, 2015),

No estado do Rio de Janeiro existe um projeto chamado “Projeto Diesel de Cana – Rumo a 2016”, o qual analisou durante doze meses (janeiro de 2012 a janeiro de 2013) o desempenho de uma frota de ônibus composta por 20 veículos utilizando uma mistura composta de 65% de óleo diesel de petróleo, 5% de

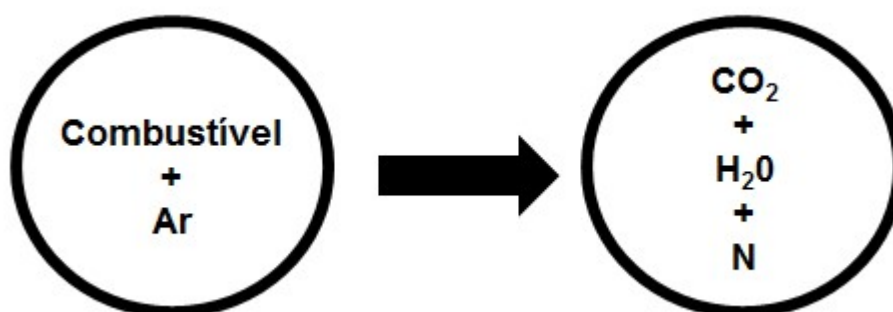
biodiesel e 30% de diesel de cana-de-açúcar (AMD30) e outra frota similar utilizando uma mistura de 95% de óleo diesel de petróleo e 5% de biodiesel B5. Por fim, conclui-se que o uso do AMD30 mostrou resultados similares ao uso de B5 no que se refere ao rendimento energético (consumo de combustível por litro), além de nenhuma adaptação ser necessário e nenhuma mudança percebida pelos motoristas (FRANCA e D'AGOSTO, 2013).

De acordo com Alvares (2014), em relação ao diesel S10 (o mais limpo produzido atualmente) o diesel de cana tem 40% menos poluentes, principalmente aqueles responsáveis por causar doenças respiratórias. A cidade de São Paulo possui a maior frota de teste do país, com aproximadamente 300 ônibus circulando a base do novo combustível.

2.4 Emissões de poluentes

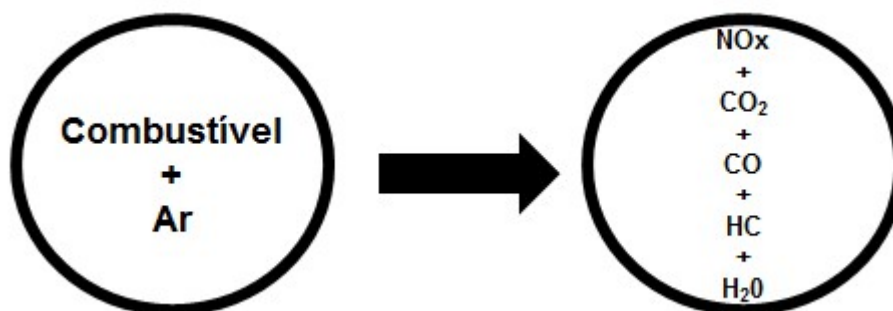
A poluição de qualquer tipo de veículo é advinda do processo de combustão inerente à queima de diversos combustíveis. Aqueles que são subprodutos do petróleo têm na sua composição uma mistura de hidrocarbonetos (compostos de átomos de carbono) (BARANESCU E CHALLEN, 2003). Em um motor perfeito, o oxigênio presente no ar converteria o hidrogênio do combustível em água e o carbono em dióxido de carbono, conforme a Figura 8. Entretanto, o processo em questão não é perfeito acarretando na emissão de diversos poluentes (Figura 9) (MARTINS, 2006).

Figura 8 - Processo de combustão perfeita em um motor de combustão interna



Fonte: Adaptado de Martins (2006).

Figura 9- Processo de combustão real em um motor de combustão interna



Fonte: Adaptado de Martins (2006).

A partir da década de 70, os governos de diversos países se mostram preocupados com respeito à emissão de poluentes provenientes da queima de combustíveis fósseis. Dentre as tecnologias adotadas na indústria, pode-se citar sistemas destinados a recolha dos vapores de hidrocarbonetos (HC) e sistemas de válvulas voltadas para recirculação dos gases de escape com o intuito de reduzir os níveis de NO_x (óxido de nitrogênio) (MARTINS, 2006).

Apesar de todo o desenvolvimento das empresas, a quantidade de veículos e a distância percorrida ao longo dos anos cresceram drasticamente e mesmo com as mudanças no setor, o processo de redução das emissões não foi controlada de forma eficaz. Como resultado, o nível de redução de diversos poluentes foi modesto com exceção do chumbo (em torno de 95%), devido ao fato do componente ser banido da composição dos combustíveis no final do século passado (MOREIRA, 2012).

Os níveis de emissões de NO_x, HC, material particulado (MP ou PM: *particulate matter*), gases de efeito estufa (GEE) e monóxido de carbono (CO) seguem regulamentações em diversos países e blocos econômicos para a maior parte dos veículos incluindo automóveis, caminhões, tratores, entre outros. Vale a pena ressaltar que cada categoria citada anteriormente segue limites distintos dos demais, de forma a adequar as emissões com a realidade de cada setor (MOREIRA, 2012).

As seções seguintes explicam cada um dos poluentes citados anteriormente, bem como a forma na qual são produzidos e os danos para a natureza e para a saúde humana.

2.4.1 Monóxido de carbono (CO)

O CO é um gás inodoro e incolor, formado tanto no processo de queima de combustíveis, sistemas de aquecimento, usinas termoeletricas a carvão, queima de biomassa e tabaco quanto em fontes naturais como atividade vulcânica, descargas elétricas e emissão de gás natural (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2014).

A principal via de exposição ao monóxido de carbono é a respiratória, de forma que intoxicações agudas podem ser fatais à espécie humana. Quando inalado, o gás é rapidamente absorvido pelos pulmões e já no sistema circulatório liga-se com a hemoglobina de forma estável. Assim, impede o transporte do oxigênio causando hipóxia tecidual. Em baixa concentração, pode causar fadiga e dores no peito (CETESB, 2014a).

2.4.2 Óxido de nitrogênio (NOx)

O NOx é um gás poluente altamente oxidante e também de extrema importância na formação do ozônio troposférico (situado na troposfera, camada na qual todo planeta Terra se encontra). Além dos efeitos sobre a saúde humana, esse tipo de poluente também exerce influência nas mudanças climáticas globais (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2014).

No que diz respeito à saúde humana, os efeitos adversos da exposição em altos níveis são dificuldade respiratória, alteração na defesa dos pulmões e agravamento de doenças respiratórias e cardiovasculares. Além disso, aumenta a sensibilidade à asma e bronquite principalmente em crianças, idosos e grupos de risco (CETESB, 2015b).

No meio ambiente, ao ser oxidado na atmosfera o óxido de nitrogênio produz o ácido nítrico (HNO_3) responsável pela elevação do grau de acidez na chuva. A chuva ácida ao incidir na superfície altera a composição química do solo e das águas, atinge as cadeias alimentares, destrói florestas e lavouras, corrói estruturas metálicas, entre outros (ECYCLE, 2015b).

Dentre as fontes do NO_x, pode-se citar os veículos automotores, motores de combustão interna, usinas termoeletricas e siderurgicas. Já as fontes naturais incluem incêndios florestais, calor gerado por relâmpagos e atividade microbiana nos solos (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2014).

2.4.3 Material particulado (PM)

O PM pode ser definido como um conjunto complexo de poluentes de diâmetro reduzido constituído de fumaças, poeiras e qualquer tipo de material sólido e líquido que se encontra suspenso na atmosfera por conta do seu tamanho reduzido (CETESB, 2014c).

A emissão em questão pode ser classificada como (ECYCLE, 2015a):

- Partículas Totais em Suspensão (PTS): são as partículas cujos diâmetros aerodinâmicos são menores que 50 µm, de forma que uma parte desse material pode ser inalado e gerar problemas a saúde, enquanto outra parte afeta desfavoravelmente a qualidade de vida da população;
- Partículas Inaláveis Finais (MP_{2,5}): são aquelas de diâmetro aerodinâmico menor que 2,5 µm. Devido seu tamanho reduzido, podem penetrar profundamente no sistema respiratório, atingindo principalmente os alvéolos pulmonares;
- Fumaça (FMC): relacionada diretamente com o processo de combustão de combustíveis fósseis.

As principais fontes desse tipo de poluentes são a queima de combustíveis fósseis, queima de biomassa vegetal, emissões de amônia na agricultura, emissões decorrentes de obras e pavimentação de vias (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2014).

2.4.4 Hidrocarbonetos Totais (NMHC)

Os NMHC's também são conhecidos como hidrocarbonetos não queimados, esse tipo de poluente possui um cheiro penetrante facilmente reconhecido. Esses compostos são formados de carbono e hidrogênio e se apresentam na forma de gotas, partículas finas ou gases (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2014).

As principais fontes do poluente são os diversos processos industriais e naturais, além da queima e evaporação de combustíveis fósseis por carros, ônibus e caminhões nos grandes centros urbanos. Um dos principais efeitos para o meio ambiente é a formação do ozônio troposférico e agravante do efeito estufa. Para a população, causam irritação nos olhos, pele e no sistema respiratório (PORTAL MEIO AMBIENTE MG, 2014).

2.4.5 Gases de efeito estufa (GEE)

Os GEE são de grande importância para o equilíbrio do clima no planeta, permitindo a permanência e manutenção da sobrevivência da fauna e flora da Terra. Entretanto, com um desbalanceamento do nível desses gases ocorre o efeito estufa, acarretando o aumento da temperatura média no planeta e assim afetando toda a vida aqui existente (BORSARI e DE ABRANTES, 2009).

As duas principais fontes responsáveis pela emissão de GEE são a queima de combustíveis fósseis e o desmatamento das regiões de florestas tropicais (por exemplo, a Amazônia). Com o aumento da frota de veículos e a depredação das áreas verdes ao redor do mundo, a situação vem se agravando ao passar dos últimos séculos e exigindo o controle dos governos (BORSARI, 2013).

Os principais gases de efeito estufa são (IPAM, 2014):

- Dióxido de carbono: sua permanência na atmosfera é de pelo menos cem anos e suas principais fontes de emissão são: queima de combustíveis fósseis, queimadas e desmatamentos (responsáveis pela extinção da absorção de CO₂ no ar pelas plantas);
- Metano (CH₄): componente primário do gás natural, o qual também é gerado pelo aparelho digestivo do gado, aterros sanitários, mineração, entre outros;

- Óxido nitroso (N_2O): gás liberado por microrganismos presentes no solo (durante o processo de nitrificação) e em crescente aumento de liberação para o ar devido a crescente utilização de fertilizantes;
- Clorofluorcarbonos (CFC`s): amplamente utilizados em ar condicionados, aparelhos de isolamento térmico, geladeiras. Espumas. Estão diretamente ligados com a redução da camada de ozônio por reagirem com o ozônio na estratosfera;

Os principais impactos dos GEE`s são: retenção de mais raios solares, ocasionando o aumento da temperatura global, derretimento das calotas polares, aumento do nível da água do mar, aceleração do processo de desertificação, desequilíbrio de ecossistemas ocasionando a extinção de espécies animais e vegetais; alteração no curso das correntes marítimas, entre outros (MOTTA *et al.*, 2011).

2.5 Programa PROCONVE

De forma a minimizar os impactos ambientais e melhorar a qualidade do ar nos centros urbanos, o Conselho Nacional do Meio Ambiente (Conama) criou em 1986 o Programa de Controle de Poluição do Ar por Veículos Automotores (PROCONVE). O programa tem como objetivo a redução das emissões de veículos novos, por meio da implantação gradual de fases que obrigam a indústria automobilística a reduzir as emissões nos veículos que serão lançados no mercado.

O PROCONVE trata de forma separada os veículos leves e pesados no que diz respeito as metas de emissão. A Tabela 7 mostra de forma resumida as principais diferenças entre eles, bem como os tipos distintos de motores (CNT, 2012).

Tabela 7 - Diferença entre veículos leves e pesados

Tipo	Descrição
Veículo Leve	Veículo rodoviário automotor de passageiros, de carga ou de uso misto, com capacidade para transportar até doze passageiros ou com massa total máxima igual ou inferior a 2.800 quilogramas. No Brasil, normalmente os veículos leves são equipados com motores do ciclo Otto.
Veículo Pesado	Veículo rodoviário automotor de passageiros, de carga ou de uso misto, com capacidade para transportar mais que doze passageiros ou com massa total máxima superior a 2.800 quilogramas. No Brasil, normalmente os veículos pesados são equipados com motores do ciclo Diesel.

Fonte: Adaptado de CNT (2012)

A definição das fases tem diferentes nomenclaturas para os tipos de veículos: aqueles leves apresentam as fases com a letra “L”, enquanto os pesados apresentam a letra “P”.

Atualmente, o Brasil está na fase P7 dos veículos pesados desde janeiro de 2012, sendo que a fase P6 não entrou em vigor por diversos fatores que impossibilitaram os produtores do diesel atender as metas estipuladas pela legislação. Na fase seguinte (P7), tais metas emissões são equivalentes às metas europeias do Euro 5 já em vigor desde o ano de 2009. A Tabela 8 sumariza as metas de emissão de poluentes em cada uma das fases, bem como o ano que entraram em vigor e seu término (ANFAVEA, 2009).

Tabela 8 – Sumarização das fases da PROCONVE e as metas de emissões

PROCONVE	Euro	CO (g/kW.h)	HC (g/kW.h)	NOx (g/kW.h)	MP (g/kW.h)	Norma (Conama)	Vigência	Teor de enxofre (S)
Fase P1	-	14,00	3,50	18,00	-	Res. 18/85	1989 a 1993	-
Fase P2	Euro 0	11,20	2,45	14,40	0,60	Res. 08/93	1994 a 1995	3.000 a 10.000 ppm
Fase P3	Euro 1	4,90	1,23	9,00	0,40 ou 0,70	Res. 08/93	1996 a 1999	3.000 a 10.000 ppm
Fase P4	Euro 2	4,00	1,10	7,00	0,15	Res. 08/93	2000 a 2005	3.000 a 10.000 ppm
Fase P5	Euro 3	2,10	0,66	5,00	0,10 ou 0,13	Res. 315/02	2006 a 2008	500 a 2.000 ppm
Fase P6	Euro 4	1,50	0,46	3,50	0,02	Res. 315/02	2009 a 2012	50 ppm
Fase P7	Euro 5	1,50	0,46	2,00	0,02	Res. 403/08	A partir de 2012	10 ppm

Fonte: Adaptado de CNT (2012).

Apesar de todos os esforços para implantar a fase P6 e distribuir o novo diesel S50, as empresas e órgãos do governo responsáveis pela especificação e produção do combustível não conseguiram atender a tempo o cronograma estipulado. Dessa forma, a produção de veículos que atenderiam a fase P6 ficou comprometida (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2014).

De forma a minimizar os impactos do não cumprimento da nova fase, o Ministério Público Federal firmou um Termo de Ajustamento de Conduta (TAC) entre o Estado de São Paulo, o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA), a Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), a Petrobras e a Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores (ANFAVEA) com ações para diminuir a quantidade de emissões produzidas. Além disso, o TAC propôs a aceleração da entrada da fase P7, além do cronograma para que o processo ocorresse (ANFAVEA, 2012).

A Tabela 9 expõe o cronograma estipulado pelo TAC no que diz respeito à oferta dos tipos de diesel para o mercado nacional.

Tabela 9 - Cronograma de implantação dos diferentes tipos de diesel no Brasil
(continua)

2009	2010	2011
1º de Janeiro	1º de Janeiro	1º de Janeiro
Diesel interior passa de S2000 para S1800	Diesel S50 para frotas cativas de ônibus urbanos de Porto Alegre, Belo Horizonte, Salvador e região metropolitana de São Paulo	Diesel S50 para frotas cativas de ônibus urbanos das regiões metropolitanas da Baixada Santista, Campinas, São José dos Campos e Rio de Janeiro
Diesel S50 para frotas cativas de ônibus urbanos das cidades de São Paulo e Rio de Janeiro	Substituição de 11% do diesel interior S1800 pelo diesel S500	Substituição de 19% do diesel interior S1800 pelo diesel interior S500
1º de Maio		
Diesel S50 para as regiões metropolitanas de Belém, Recife e Fortaleza		
1º de Agosto		
Diesel S50 para as frotas cativas de ônibus urbanos de Curitiba		

Tabela 9 - Cronograma de implantação dos diferentes tipos de diesel no Brasil

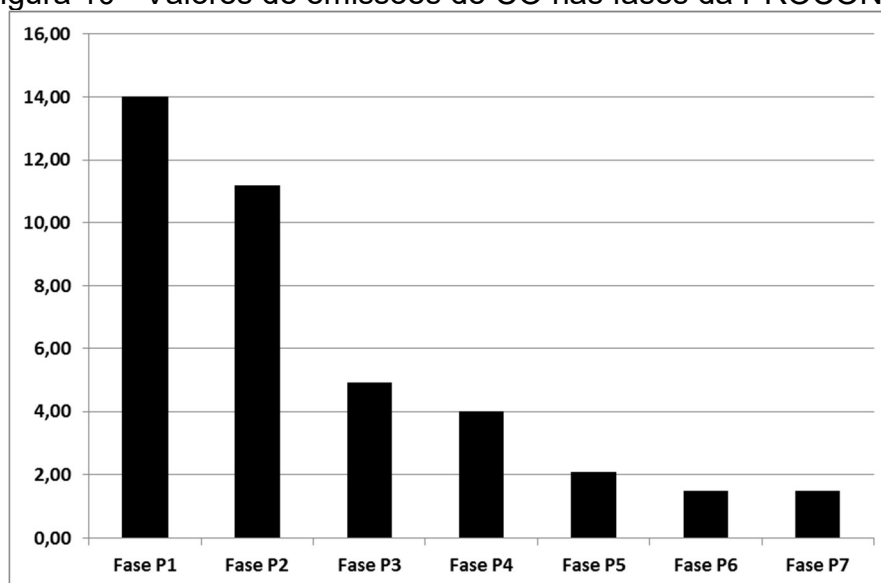
(conclusão)		
2012	2013	2014
1º de Janeiro	1º de Janeiro	1º de Janeiro
Substituição de 45% do diesel interior S1800 pelo diesel interior S500	Substituição de 59% do diesel interior S1800 pelo diesel interior S500	Diesel off road S1800 (diesel ferroviário, agropecuário, industrial e para geração de energia)
Distribuição do diesel S50 para atender veículos da fase P7	Distribuição do diesel S10 para atender veículos da fase P7	Substituição de 100% do diesel interior S1800 pelo diesel interior S500

Fonte: Adaptado de CNT (2012)

De forma a atender as metas estipuladas, a indústria automobilística se esforça para lançar novas tecnologias e métodos. Um exemplo disso é o desenvolvimento de um catalisador responsável pelo pós-tratamento dos gases e os sistemas de injeção eletrônica, que atuam melhorando o processo de queima do combustível e assim reduzindo a emissão dos gases (CNT, 2012).

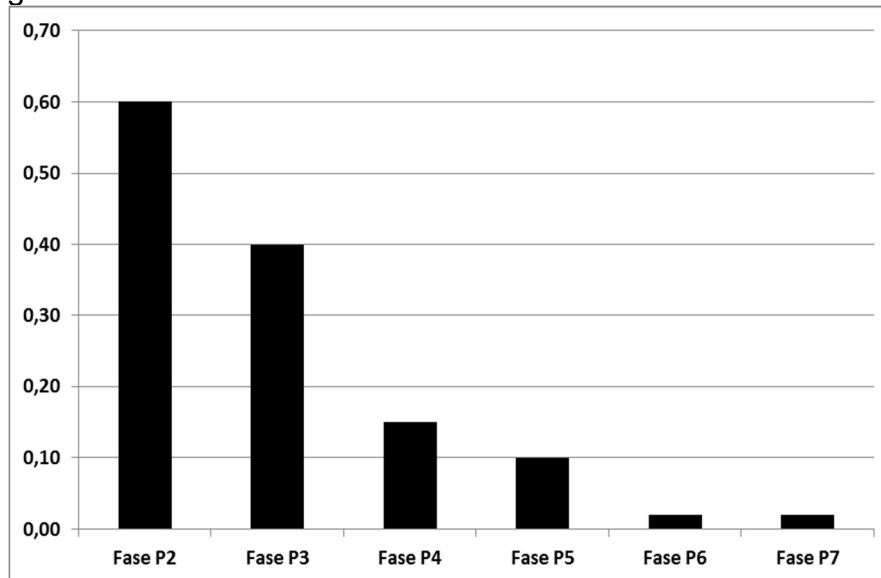
No que diz respeito as metas emissões, as fases do Programa PROCONVE buscam a redução gradativa dos valores conforme as etapas vão evoluindo. As emissões de CO e MP, por exemplo, reduziram entre a fase P1 e a P7 em aproximadamente 87% e 95%, conforme as Figura 10 e Figura 11 (ANFAVEA, 2009).

Figura 10 - Valores de emissões de CO nas fases da PROCONVE



Fonte: Adaptado de CNT (2012)

Figura 11 - Valores de emissões de MP nas fases da PROCONVE



Fonte: Adaptado de CNT (2012)

2.6 Revisão da Literatura

D'Agosto e Ribeiro (2004) apresentam um Programa de Gestão de Ecoeficiência (EEMP – *Eco-efficiency Management Program*) voltado para a minimização dos custos envolvidos no consumo de combustível pelos veículos do Aeroporto Internacional do Rio de Janeiro. Além dos custos, a metodologia também considera o impacto ambiental da emissão do dióxido de carbono, gases de efeito estufa e material particulado.

Neste estudo foram considerados dezoito tipos distintos de veículos, quatro combustíveis (diesel, gasolina, etanol e gás veicular) e os custos envolvidos na adaptação dos equipamentos para os novos combustíveis. Por fim, comprovou-se que a ferramenta é flexível quanto à variedade dos veículos e dos combustíveis apurados, além de permitir o uso em outros ambientes como ferrovias e portos.

D'Agosto *et al.* (2013) realizaram um estudo sobre as tecnologias de propulsão dos ônibus voltados para o transporte urbano da cidade do Rio de Janeiro, bem como as opções de combustíveis disponíveis no mercado e aqueles em estudo e desenvolvimento no Brasil. Os impactos ambientais e os custos envolvidos nas

adaptações dos veículos consideraram o uso de diesel, biodiesel, tecnologia híbrida, etanol e diesel de cana de açúcar.

Para o cenário brasileiro, o uso do biodiesel e do conjunto diesel – gás natural apresentaram os melhores resultados no que diz respeito à redução das emissões de CO₂, consumo de energia e custo operacional. Os ônibus híbridos apresentaram um custo de implementação inicial menor que aquele encontrado na literatura internacional acarretando na redução de custos operacionais. Entretanto, essa opção permanece improvável dada a prática operacional encontrada no país.

Song (2014) apresentou o inventário das emissões de dióxido de carbono, metano, óxido nitroso, material particulado, dióxido de enxofre, monóxido de carbono e hidrocarboneto do porto de Yangshan localizado na cidade de Shanghai. Além do inventário, o autor também estimou o custo social (representa o impacto das emissões para a saúde humana, o meio ambiente o clima para a comunidade residente no entorno do porto) e estipulou indicadores de ecoeficiência.

No que diz respeito aos indicadores voltados para mensuração da ecoeficiência, três foram criados: custo social de cada poluente por contêiner (conjunto de mil contêineres), custo social de cada poluente por navio utilizado e custo social de cada poluente por receita (em bilhões). Por fim, conclui-se que o óxido nitroso, o material particulado e o óxido de enxofre são responsáveis por mais de 80% da soma dos custos sociais por poluente dos navios (SONG, 2014).

Leal Junior *et al.* (2012) propuseram o uso da análise envoltória de dados (DEA – *Data Envelopment Analysis*) como uma ferramenta de suporte na escolha do modo de transporte para o etanol, de forma a considerar diversos indicadores de ecoeficiência. Dessa forma, foram criados atributos para cada modo considerado e em seguida quantificados de acordo com a realidade do transporte no Brasil.

Pela revisão dos autores, a combinação do DEA com os conceitos de ecoeficiência é inédita na literatura. Pelos resultados encontrados, o modo de maior capacidade de transporte e menor impacto ambiental é por meio de oleodutos. Em contraste com o resultado, o modo menos eficiente no ponto de vista ambiental é o rodoviário, aquele de maior uso no país. Esse resultado pode

servir de alerta para as empresas e governos repensarem suas redes e projetos de transportes, de forma a propor melhorias e alternativas para o serviço em questão.

Guabiroba *et al.* (2014) estruturam um procedimento de dez passos responsável pela divisão das regiões nas quais devem ocorrer a coleta seletiva de resíduos pelo sistema “porta a porta” em áreas, de forma a considerar tanto os aspectos operacionais quanto os impactos financeiros e ambientais das propostas dos autores. Toda metodologia foi aplicada no estado do Rio de Janeiro.

O oitavo e nono passos do procedimento adotado são responsáveis por mensurar a Medida de Desempenho Ambiental (EPM – *Environmental Performance Measure*) e a Medida de Desempenho Financeiro (FPM – *Financial Performance Measure*). No último passo, o cálculo da ecoeficiência é efetuado e assim o índice é avaliado. Vale a pena ressaltar que nem toda a mudança no tratamento dos resíduos sólidos realmente diminui os impactos e riscos ambientais de forma a tornar a avaliação supracitada um passo importante perante todo o processo (GUABIROBA *et al.*, 2014).

Yang *et al.* (2014) utilizaram os conceitos e metodologia da ecoeficiência no sistema municipal de coleta de resíduos sólidos de Beijing, pertencente ao tipo de serviço que é responsável pela geração de 3% a 5% do total mundial de emissões dos gases de efeito estufa. Além disso, os líquidos e gases gerados pelo tratamento dos resíduos também causam impactos ambientais, como a contribuição das mudanças climáticas e a precipitação de chuva ácida. O principal objetivo de trabalho é maximizar o ganho ambiental por quantidade de investimento feito durante o processo do ciclo de vida.

Kobayashi *et al.* (2005) propuseram uma metodologia diferente para cálculo da ecoeficiência daquela proposta pela WBCSD, adaptando a mensuração do valor do produto por meio da utilização do QFD e sua matriz de atributos, a qual foca no desenvolvimento do produto seguindo as preferências dos clientes. Já os impactos ambientais foram mensurados por meio do LCIA (*Life Cycle Impact Assessment*).

A metodologia supracitada foi adotada em uma empresa responsável pela produção de aspiradores de pó. Dois modelos diferentes foram comparados: um

produzido em 1990 e outro em 2003 de forma a comparar as mudanças nos impactos ambientais e de agregação de valor ao produto. A Tabela 10 expõe as vantagens e desvantagens desse tipo de aplicação.

Tabela 10 - Vantagens e desvantagens da metodologia aplicada por Kobayashi (2005)

	Valor do produto	Impacto ambiental
Vantagens	Várias funções podem ser consideradas	Varios impactos ambientais podem ser agregados ao estudo
	Os desejos dos clientes são considerados	O LCIA é simples e de fácil entendimento
	Novas funções podem ser avaliadas	
Desvatagens	Apenas um número limitado de características do produto podem ser incluídas	Difícil comparação entre produtos de outras marcas
	Difícil comparação entre produtos de outras marcas	Fonte de dados pode ser incerta e não confiável
	Os desejos dos clientes dependem de cada região	Alguns modelos de LCIA não são aceitos com facilidade

Fonte: Adaptado de Kobayashi (2005)

Yin *et al.* (2014) utilizaram a Análise Envoltória de Dados (DEA) para calcular a ecoeficiência de 30 cidades da China, usando como base dados os índices de poluição e seu recente processo de urbanização. Além disso, outro modelo foi criado de forma a criar um ranking dos níveis da ecoeficiência para as cidades de acordo com os parâmetros estipulados pelos autores.

A criação de um modelo mais apurado foi necessária, pois a DEA apenas consegue listar quais os fatores são ou não ecoeficientes, deixando de medir a intensidade do impacto de cada um deles. Para essa classificação, foram criadas unidades de tomada de decisão (MDU – *making decision unit*) ligadas com os pontos impactantes no cálculo da ecoeficiência. Por fim, conclui-se que as cidades com os melhores índices foram aquelas mais desenvolvidas economicamente, que buscam desenvolver métodos de produção mais limpos e redução de emissões.

Schaffel (2010) desenvolveu o conceito da Eco-Sócio Eficiência, incorporando assim o âmbito social ao conceito da ecoeficiência em uma empresa responsável pela produção de biodiesel. Além disso, são expostas as lacunas presentes na teoria possibilitando a criação dessa nova metodologia.

A autora propõe o seguinte conceito para a Eco-Sócio Eficiência:

[...] a criação de valor compartilhado para as empresas e sociedade, reduzindo progressivamente os riscos e impactos negativos e aumentando progressivamente as oportunidades e impactos positivos sobre o meio ambiente e suas partes interessadas, em busca do desenvolvimento sustentável (SCHAFFEL, 2010, p. 21).

Para tanto, a metodologia proposta segue nove passos: seleção da estratégia da Eco-Sócio Eficiência, seleção e contextualização de um caso, levantamento das partes interessadas, consultas às partes interessadas para levantar os fatores críticos, elaboração da Matriz de Riscos e Matriz de Oportunidades Compartilhadas para empresa e parte interessada estratégica, cruzamento dos fatores críticos com os princípios e requisitos correspondentes em iniciativas de RSC (Responsabilidade Social Corporativa) e Sustentabilidade, levantamento de questões para pesquisa, proposta do contexto de Eco-Sócio Eficiência do caso e proposta de critérios e ações pertinentes.

Pereira (2001) aplicou a metodologia criada e disseminada pela WBCSD numa indústria na cidade de Vila Nova de Gaia (Portugal). Pelo fato da unidade fabril ser responsável pela produção de vários produtos, o autor decidiu focar na produção de apenas um produto do mix presente na empresa.

Na fase de determinação dos indicadores, foram escolhidos:

- Valor: quantidade de produto (número de viaturas e vendas líquidas (em euros));
- Influência Ambiental: consumo de energia (em mega Joules) e consumo de água (em metros cúbicos).

Já nos Indicadores Específicos, foram selecionados: emissão de resíduos (em quilogramas), emissão de águas residuais (em metros cúbicos) e emissões de poluentes atmosféricos.

Por fim, concluiu-se que a fase da pintura afeta de forma mais impactante os indicadores criados, demandando atenção no aspecto ambiental e no desenvolvimento e aplicação de novas tecnologias que se adeque nas metas da empresa.

Moreira (2009) implementou uma estratégia de ecoeficiência em uma ETAR (Estação de Tratamento de Águas Residuais) numa empresa de Portugal, visando facilitar os processos de identificação de oportunidades de melhorias e diminuição dos custos envolvidos.

A grande dificuldade encontrada pelo autor foi a de não haver na literatura outro trabalho semelhante aplicado a alguma ETAR, tornando possíveis comparações inviáveis. Apesar disso, o estudo calcula vários racionais de ecoeficiência de forma a propor mudanças e/ou melhorias nas diversas fases da captação, tratamento e distribuição do efluente, bem como a recolha, o tratamento e rejeição das águas residuais.

Oliveira *et al.* (2014) analisam o transporte rodoviário realizado pela Companhia Siderúrgica Nacional (CSN) de forma a expor um conjunto de alternativas baseadas no conceito da ecoeficiência com o intuito de obter reduções nos impactos ambientais (redução da emissão de CO₂ e consumo de óleo diesel).

Para chegar ao objetivo do estudo, os autores seguiram os seguintes passos: cálculo do consumo de energia, cálculo das emissões de CO₂, cálculo do custo referente ao consumo de energia, proposta das ações ecoeficientes, cálculo das reduções obtidas com aplicação das ações e por fim uso do método de auxílio a decisão por múltiplos critérios AHP (*Analytic Hierarchy Process*). Por fim, os autores concluíram que as melhores soluções para a área em estudo estavam direcionadas para a gestão do transporte reduzindo assim as emissões de CO₂ e energia.

Leal Junior e Guimarães (2013) aplicaram os conceitos da ecoeficiência nos terminais portuários de Santos, Rio Grande, Suape, Belém e Paranaguá/Antonina em conjunto com a técnica de auxílio multicritério à decisão conhecida como Análise Relacional Grey.

No cálculo da ecoeficiência os autores utilizaram a quantidade de carga movimentada (em toneladas) como a variável de valor de serviço, pois essa informação estava disponível para consulta no site dos respectivos portos. Já no denominador (influência ambiental) foram utilizados os seguintes indicadores: salinidade da água, sedimentos com metais pesados, hidrocarbonetos em

sedimentos, emissão de CO e não atendimento às normas referentes a resíduos sólidos.

A análise mostrou que o porto de Santos possui o melhor desempenho em relação aos demais por conta da maior quantidade de carga movimentada e melhores indicadores ambientais. Entretanto, os autores relatam a falta de dados para tratar os aspectos, além de impedir que o estudo abrangesse uma quantidade maior de portos.

Andrade e Santos (2009) realizaram a mensuração das emissões de gases de efeito estufa provenientes do serviço de transporte público da cidade de Natal (Rio Grande do Norte) durante o período de 2006 a 2008 com o uso do diesel derivado do petróleo, além da possível substituição desse combustível pelo GNV (Gás Natural Veicular).

Tal mensuração foi elaborada por meio da metodologia divulgada pelo Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC), a qual calcula as emissões de CO₂ pela multiplicação do trabalho realizado pelo combustível pelo índice de emissão de GEE fornecidos pelo IPCC. Os dados apresentados pelos autores seguiram a métrica do CO₂ equivalente, demonstrando que o possível uso do GNV acarretaria numa diminuição média de 49% nos GEE's em relação ao diesel. Entretanto, todos os ônibus da cidade de Natal deverão passar por mudanças em seus sistemas, incorrendo em custos que não foram considerados no estudo.

Oliveira *et al.* (2014) mensuraram o impacto do sistema BRT adotado na cidade do Rio de Janeiro e seu impacto na emissão de GEE. Uma das dificuldades encontradas pelos autores foi a carência na literatura acadêmica sobre as emissões e avaliações no BRT voltadas para a realidade brasileira.

O estudo dos autores contou com uma pesquisa de campo com os usuários do BRT para obter dados sobre qual modo de transportes os usuários utilizam dentro do sistema. Após essa coleta, fez-se uma estipulação dos percentuais de utilização para carro, motocicleta, táxi, ônibus, van de passageiros e BRT, além do aumento esperando para cada um deles nos anos de 2012 e 2031. Por fim, estimou-se a tecnologia de cada um dos modos e seus fatores de emissão. Os

resultados mostraram que o corredor rápido tem o poder de diminuir em até 50% o volume das emissões de GEE's, sendo o BRT o modo que menos polui.

Oliveira *et al.* (2012) avaliaram o impacto nas emissões de GEE's na Região Metropolitana de São Paulo provenientes da frota de ônibus urbanos da Empresa Metropolitana de Transportes Urbanos (EMTU), com o uso do diesel de petróleo e a possível troca para o etanol. Foram estipulados dois cenários: um com o ano de 2011(retrata a realidade do serviço prestado) e outro com o ano de 2014, o qual leva em consideração a expansão nas linhas da frota.

A metodologia utilizada para mensuração das emissões de CO₂ provenientes da queima dos combustíveis foi a do IPCC, no qual primeiramente é calculado o consumo de energia de cada um dos combustíveis e em seguida as emissões por meio de fatores de emissão. Os autores concluíram que o consumo de etanol foi 64% maior em relação ao diesel, porém o poder calorífico do etanol é 70% menor que o diesel. No que diz respeito às emissões, o etanol apresentou índices menores que o diesel em todos os corredores estudados em torno de 40%. Por fim, conclui-se que a troca de combustível trará benefícios para o meio ambiente e a população, pela redução das emissões, além de ganhos econômicos no mercado de carbono.

Emiliano *et al.* (2014) analisaram a substituição do uso do diesel de petróleo pelo biodiesel B100 (100% de biodiesel) nas empresas voltadas para o transporte urbano na região de Joinville (Santa Catarina), por meio da coleta de dados nas empresas responsáveis pelo serviço e a quantificação das emissões de poluentes, além do investimento que deverá ser feito.

Os autores criaram três cenários nos quais foram utilizados os seguintes combustíveis: diesel de petróleo, biodiesel e 50% diesel mais 50% biodiesel. Para cada um dos cenários, foram calculados os consumos de combustíveis, custos provenientes do consumo e da troca dos combustíveis e emissões de poluentes. Por fim, conclui-se que o uso exclusivo do biodiesel B100 reduziria em 63% as emissões de poluentes, entretanto o consumo e custo do biodiesel se mostraram maiores em relação ao diesel de petróleo. Devido ao custo elevado, a utilização do biodiesel encontra barreiras que necessitem do auxílio do governo para que seu uso seja iniciado.

Rodrigues e Kalinovski (2011) analisaram as emissões gasosas da frota de ônibus de uma das empresas responsáveis pelo transporte público urbano da cidade de Curitiba, de forma a medir as emissões de monóxido de nitrogênio (NO), dióxido de nitrogênio (NO₂), CO e CO₂ em diferentes modelos de ônibus. Além disso, buscou-se comprar as emissões provenientes da queima do diesel de petróleo e do biodiesel.

Os autores coletaram os dados referentes às emissões de poluentes de cada um dos tipos de veículos por meio de um equipamento específico para medição, nas quais foram consideradas três valores de rotações do motor. Por fim, os resultados mostraram que os ônibus com sistema de injeção eletrônica emitiram menos poluentes que aqueles com sistema de injeção mecânica, além do uso do biodiesel representar significativas reduções nos níveis de emissões.

Villalba e Gamechu (2011) estimaram as emissões de GEE's provenientes das atividades do porto de Barcelona, de forma a oferecer ao porto um estudo que possibilite a manutenção de suas políticas de emissões, bem como o incentivo para o investimento em melhorias tecnológicas visando a mitigação dos danos causados ao meio ambiente.

As emissões provenientes do porto foram divididas em duas categorias: aquelas originadas da movimentação dos navios (chegada, saída e manobras) e aquelas originadas das atividades realizadas no pátio (consumo de energia elétrica, transporte de cargas e uso de combustíveis). A mensuração dos GEE's foi feita de acordo com a metodologia apresentada por World Ports Climate Initiative (2009), a qual leva em consideração o tempo de uso do motor e qual atividade está sendo executada por ele (manobra, atracação ou saída). Por fim, os autores concluíram que os maiores responsáveis pelas emissões são os navios de passageiros, seguidos pelos navios que transportam contêineres e os veículos responsáveis pelo transporte dos contêineres nos portos.

Bouscaren *et al.* (1992) desenvolveram uma metodologia voltada para mensuração das emissões de CO, NO_x, NMHC, material particulado e consumo de combustível para diversas áreas de concentração nos Estados Unidos.

No que diz respeito ao tráfego rodoviário, a metodologia busca a mensuração dos chamados fatores de emissão (em gramas de emissão por quilometro

rodado), para em seguida ser feito o inventário da frota a ser considerada em cada estudo. A frota foi dividida em veículos leves, semi-pesados e pesados, sendo que cada um deles possui categorias internas visando uma avaliação mais concisa. Uma falha da metodologia se encontra no uso de dados desatualizados, pois o estudo foi feito na década de 90 e não sofreu nenhuma atualização desde então.

Kennedy *et al.* (2010) descreveram uma metodologia voltada para a mensuração dos índices de emissão de GEE's, considerando as seguintes áreas: consumo de energia elétrica, consumo de combustível na área industrial, transporte por meio de rodovias, atividades marítimas e aéreas, processos industriais e uso de combustível pela coleta de resíduos sólidos.

Janssen *et al.* (2010) apresentaram um estudo feito na cidade de São Paulo acerca do uso de ônibus de transporte de passageiros urbanos que utilizam como combustível o etanol, de forma a avaliar os impactos gerados por meio da emissão de poluentes atmosféricos.

Os autores colheram os dados referentes ao consumo de combustível da frota durante o período de Novembro/2008 a Setembro/2009. Após isso, percebeu-se que o consumo de etanol apresenta um aumento considerável em relação ao uso do diesel, além dos custos operacionais apresentarem um aumento na ordem de 40% em relação ao diesel. As principais barreiras encontradas para a implementação do etanol para os ônibus foram: alto custo dos veículos adaptados e da manutenção dos mesmos, desempenho do etanol e apoio do governo para que o etanol seja reconhecido como opção para os ônibus.

Arioli (2014) quantificou as emissões de gases de efeito estufa proveniente de uma frota de ônibus voltados para o transporte público urbano, além de propor um mecanismo para a mitigação na emissão de GEE. De forma a criar uma base para o estudo, a autora apresentou em sua revisão de literatura quais os combustíveis utilizados no Brasil, bem como quais as possíveis alternativas.

O estudo considerou as emissões de CO, NOx, MP, NMHC e CO₂, de forma que os resultados mostraram que uma única alternativa não seria capaz de reduzir os níveis de emissões de todos os poluentes. A criação de um programa nacional de estímulo à renovação da frota foi apontada como uma das principais ações

voltadas para a mitigação das emissões, de forma a gerar impacto em todo o país.

Santos (2011) apresentou um estudo sobre a viabilidade da substituição do diesel pelo etanol numa frota de ônibus voltados para o transporte público urbano de passageiros, de forma a considerar aspectos técnicos, socioeconômicos e político-ambientais, além de avaliar as emissões de aldeídos nos veículos abastecidos com diesel.

O Projeto BEST – BioEtanol para o Transporte Sustentável foi idealizado no Brasil, além de receber o apoio da União Europeia. Os resultados encontrados com o uso de um modelo de ônibus produzido pela Scania, o qual utiliza como combustível o etanol, mostraram que as metas estipuladas pelo Programa PROCONVE seriam alcançadas. Entretanto, é necessário que o governo estimule a produção e reduza custos, de forma que o uso do etanol seja competitivo em relação ao diesel (SANTOS, 2011).

Paladino (2013) apresentou um estudo de viabilidade ambiental, econômica e tecnológica acerca da produção de hidrogênio eletrolítico voltado para o uso em uma frota de ônibus na cidade de São Paulo, a qual será substituída para novos modelos preparados para utilizar o hidrogênio como combustível.

Em seu estudo, a autora concluiu que o uso do hidrogênio na frota de ônibus é viável para a cidade de São Paulo, uma vez que os custos ambientais para a produção de hidrogênio são nulos. Além disso, a vida útil dos ônibus movidos a esse combustível é superior à dos ônibus que utilizam o diesel. Os custos para início de operação são caros, porém justificável dado os ganhos ambientais. Por fim, tais ônibus são mais silenciosos e possuem ar condicionado, fatores que podem estimular mais usuários a utilizar o transporte público e, assim, melhorar o trânsito urbano.

Percebe-se que nenhum dos trabalhos citados utilizam os conceitos de ecoeficiência aplicados ao sistema de transporte público urbano de passageiros. Dessa forma, essa dissertação vem contribuir para a literatura com um estudo inovador que busca suprir uma lacuna não preenchida nas aplicações da metodologia de ecoeficiência.

3 METODOLOGIA

Como visto na revisão bibliográfica, esse trabalho insere-se nos problemas de ecoeficiência, tendo como foco os fatores ambientais voltados para os índices de emissão de gases poluentes e material particulado, visando à quantificação do impacto gerado pela atividade estudada para o meio ambiente e a sociedade.

3.1 Classificação da metodologia de pesquisa

A metodologia de pesquisa adotada para o trabalho pode ser classificada como uma pesquisa explicativa que se utiliza da pesquisa bibliográfica e da abordagem quantitativa como procedimento técnico (VERGARA, 2005).

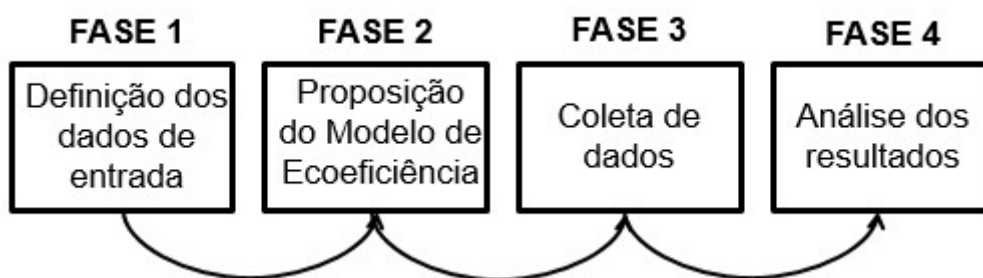
A pesquisa é classificada como pesquisa explicativa, pois consegue gerar conhecimentos voltados para a aplicação prática dos problemas de impactos ambientais de empresas pertencentes a diferentes setores da economia, e ainda é dirigida à solução de problemas específicos. No que diz respeito à abordagem, pode-se considerar que possui enfoque quantitativo, na qual as informações são transformadas em números permitindo análises e comparações (VERGARA, 2005).

Por fim, a pesquisa bibliográfica foi feita em materiais já publicados em artigos científicos, cartilhas e manuais de órgãos nacionais e internacionais.

3.2 Etapas da metodologia de pesquisa

Com o intuito de atingir o objetivo da pesquisa, faz-se necessário seguir uma metodologia de pesquisa com os passos bem definidos e claros. Dessa forma, a metodologia está dividida em quatro fases apresentadas na Figura 12 e o total de 17 etapas.

Figura 12 - Fases da metodologia da pesquisa



Fonte: Adaptado de Mapa (2007).

As etapas da FASE 1 (Definição dos dados de entrada) são as seguintes:

- 1) Visita à empresa com o intuito de conhecer e entender como é gerenciado o sistema de transporte público;
- 2) Conhecer a frota de veículos utilizada;
- 3) Conhecer qual (is) combustível (is) são usados;

As etapas da FASE 2 (Proposição do Modelo de Ecoeficiência) são:

- 1) Estudar as metodologias expostas pela WBCSD (2000) e D`agosto (2004) acerca da ecoeficiência;
- 2) Propor metodologia voltada para o transporte público urbano de passageiros;

As etapas da FASE 3 (Coleta de dados) são:

- 1) Definir qual amostra dos veículos será englobado no estudo;
- 2) Definir quais combustíveis serão adotados nos cenários;
- 3) Definir quais as emissões gasosas serão adotadas no estudo;
- 4) Coletar os dados na empresa sobre quais os veículos foram utilizados e seus combustíveis, qual a frota total por tipo, os possíveis estudos de emissões já realizados e futuros planos de compra de novos ônibus;
- 5) Pesquisar sobre os combustíveis utilizados na literatura, bem como aqueles presentes no país;
- 6) Pesquisar programas nacionais de apoio e incentivo ao uso de biocombustíveis, bem como os órgãos responsáveis pela regulamentação das mudanças nas emissões dos gases poluentes;
- 7) Definição dos agrupamentos e cenários considerados no estudo;
- 8) Desenvolver as planilhas responsáveis pelos cálculos das emissões dos gases poluentes;

9) Preparar os dados de forma a serem inseridos nas planilhas.

As etapas da FASE 4 (Análise dos resultados) são:

- 1) Inserir os dados já tratados nas planilhas;
- 2) Acertar possíveis erros e recalcular os resultados caso seja necessário;
- 3) Analisar os resultados gerados em cada um dos cenários de forma quantitativa e qualitativa;
- 4) Reavaliar os cenários e propor melhorias caso seja necessário, além de possíveis inclusões e exclusões se a análise mostrar que um determinado cenário não seja viável ao estudo.

4 METODOLOGIA PROPOSTA

Como dito anteriormente, a ecoeficiência busca a entrega de produtos e serviços que satisfaçam as necessidades humanas e melhorem a qualidade de vida, ao mesmo tempo que reduzam os impactos ambientais e o consumo de matérias primas (WBCSD, 2000).

Para a mensuração dos indicadores de ecoeficiência e indicadores das metas de emissões, será utilizada a Equação (1) apresentada na Seção 2.2.4, de forma a considerar o valor do serviço (V) representado pela quilometragem total do sistema de transporte público urbano referente ao ano de 2014 e os indicadores propostos para a avaliação do sistema de transporte público urbano de passageiros estão descritos na Tabela 11, além da descrição dos combustíveis utilizados na Tabela 12.

Tabela 11- Indicadores de ecoeficiência considerados

Indicadores de Ecoeficiência	Cálculo do Indicador	Objetivo do Indicador
Emissão de CO	V/TCO	Avaliar a emissão de monóxido de carbono
Emissão de NOx	V/TNOx	Avaliar a emissão de óxido de nitrogênio
Emissão de NMHC	V/THC	Avaliar a emissão de hidrocarbonetos
Emissão de MP	V/TMP	Avaliar a emissão de material particulado
Emissão de CO ₂	V/TCO ₂	Avaliar a emissão de dióxido de carbono
Consumo de combustível	V/COC	Avaliar o consumo de combustível
Custo Total	V/CT	Avaliar os custos totais

Tabela 12- Descrição dos combustíveis considerados

(continua)

Combustível	Sigla	Descrição
Diesel	S500	95% de diesel de petróleo S500 + 5% de biodiesel
	S10	93% de diesel de petróleo S10 + 7% de biodiesel

Tabela 12 - Descrição dos combustíveis considerados

(conclusão)		
Combustível	Sigla	Descrição
Biodiesel	B20	80% de diesel de petróleo + 20% de biodiesel
	B100	100% de biodiesel
Diesel de cana de açúcar	AMD30	65% de diesel de petróleo + 5% de biodiesel + 30% de diesel de cana de açúcar
	AMD100	100% de diesel de cana de açúcar

4.1 Método para cálculo dos indicadores

A primeira parte do cálculo dos indicadores é composta pelo cálculo das emissões de CO, NOx, NMHC, MP e CO₂. A segunda parte dos indicadores é voltada para o cálculo do consumo de combustível e dos custos operacionais, de combustível, de renovação da frota, além das metas de emissões por cenário.

4.1.1 Cálculo das emissões de CO, NOx, NMHC, MP e CO₂

O cálculo da emissão de CO pelo serviço de transporte público leva em consideração a quantidade de ônibus de cada modelo da frota, a quilometragem percorrida pelos ônibus de cada modelo utilizando os combustíveis considerados e é expressa em quilômetros e o fator de emissão de CO de cada tipo de combustível é expresso em gramas por quilômetros percorridos. A ausência do consumo de combustível de cada modelo de combustível não é considerada no cálculo devido o fator de emissão do CO ser expresso em g/Km, fazendo com que a fórmula fosse ajustada e fornecesse o valor final em gramas de CO produzidas. Desta forma, pode-se calcular a emissão para cada cenário conforme a Equação (4), considerando as seguintes variáveis e parâmetros:

- TCO*: total de emissão de CO de toda a frota de ônibus rodando com todos os combustíveis;
N: conjunto dos modelos de ônibus;
i: representa cada modelo de ônibus da frota;

- C:** conjunto de tipos de combustíveis;
j: representa cada tipo de combustível;
M: conjunto das fases do Programa PROCONVE;
k: representa cada fase do Programa PROCONVE;
 FCO_{jk} : emissão média dos ônibus pertencentes a fase k do Programa PROCONVE que utilizam o combustível j ;
 NV_{ijk} : quantidade de ônibus do modelo i que pertence a fase k do Programa PROCONVE que utilizam o combustível j ;
 KM_{ijk} : quilometragem média percorrida por um ônibus do modelo i que pertence a fase k do Programa PROCONVE que utilizam o combustível j .

$$TCO = \sum_{k \in M} \left(\sum_{j \in C} FCO_{jk} \left(\sum_{i \in N} NV_{ijk} KM_{ijk} \right) \right) \quad (4)$$

O cálculo da emissão de NOx pelo serviço de transporte público leva em consideração a quantidade de ônibus de cada modelo da frota, a quilometragem percorrida pelos ônibus de cada modelo utilizando os combustíveis considerados e é expressa em quilômetros e o fator de emissão de NOx de cada tipo de combustível é expresso em gramas por quilômetros percorridos. A ausência do consumo de combustível de cada modelo de combustível não é considerada no cálculo devido o fator de emissão do MP ser expresso em g/Km, fazendo com que a fórmula fosse ajustada e fornecesse o valor final em gramas de NOx produzido. Desta forma, pode-se calcular a emissão para cada cenário conforme a Equação (5), considerando as seguintes variáveis e parâmetros:

- $TNOX$:** total de emissão de NOx de toda a frota de ônibus rodando com todos os combustíveis;
N: conjunto dos modelos de ônibus;
i: representa cada modelo de ônibus da frota;
C: conjunto de tipos de combustíveis;
j: representa cada tipo de combustível;
M: conjunto das fases do Programa PROCONVE;
k: representa cada fase do Programa PROCONVE;
 $FNOX_{jk}$: emissão média dos ônibus pertencentes a fase k do Programa PROCONVE que utilizam o combustível j ;
 NV_{ijk} : quantidade de ônibus do modelo i que pertence a fase k do Programa PROCONVE que utilizam o combustível j ;
 KM_{ijk} : quilometragem média percorrida por um ônibus do modelo i que pertence a fase k do Programa PROCONVE que utilizam o combustível j .

$$TNOX = \sum_{k \in M} \left(\sum_{j \in C} FNOX_{jk} \left(\sum_{i \in N} NV_{ijk} KM_{ijk} \right) \right) \quad (5)$$

O cálculo da emissão de NMHC pelo serviço de transporte público leva em consideração a quantidade de ônibus de cada modelo da frota, a quilometragem percorrida pelos ônibus de cada modelo utilizando os combustíveis considerados e é expressa em quilômetros e o fator de emissão de NMHC de cada tipo de combustível é expresso em gramas por quilômetros percorridos. A ausência do consumo de combustível de cada modelo de combustível não é considerada no cálculo devido o fator de emissão do NMHC ser expresso em g/Km, fazendo com que a fórmula fosse ajustada e fornecesse o valor final em gramas de NMHC produzido. Desta forma, pode-se calcular a emissão para cada cenário conforme a Equação (6), considerando as seguintes variáveis e parâmetros:

- THC*: total de emissão de NMHC de toda a frota de ônibus rodando com todos os combustíveis;
N: conjunto dos modelos de ônibus;
i: representa cada modelo de ônibus da frota;
C: conjunto de tipos de combustíveis;
j: representa cada tipo de combustível;
M: conjunto das fases do Programa PROCONVE;
k: representa cada fase do Programa PROCONVE;
FHC_{jk}: emissão média dos ônibus pertencentes a fase *k* do Programa PROCONVE que utilizam o combustível *j* ;
NV_{ijk}: quantidade de ônibus do modelo *i* que pertence a fase *k* do Programa PROCONVE que utilizam o combustível *j*;
KM_{ijk}: quilometragem média percorrida por um ônibus do modelo *i* que pertence a fase *k* do Programa PROCONVE que utilizam o combustível *j*.

$$THC = \sum_{k \in M} \left(\sum_{j \in C} FHC_{jk} \left(\sum_{i \in N} NV_{ijk} KM_{ijk} \right) \right) \quad (6)$$

O cálculo da emissão de MP pelo serviço de transporte público leva em consideração a quantidade de ônibus de cada modelo da frota, a quilometragem percorrida pelos ônibus de cada modelo utilizando os combustíveis considerados e é expressa em quilômetros e o fator de emissão de MP de cada tipo de combustível é expresso em gramas por quilômetros percorridos. A ausência do consumo de combustível de cada modelo de combustível não é considerada no cálculo devido o fator de emissão do MP ser expresso em g/Km, fazendo com

que a fórmula fosse ajustada e fornecesse o valor final em gramas de MP produzido. Desta forma, pode-se calcular a emissão para cada cenário conforme a Equação (7), considerando as seguintes variáveis e parâmetros:

TMP :	total de emissão de MP de toda a frota de ônibus rodando com todos os combustíveis;
N :	conjunto dos modelos de ônibus;
i :	representa cada modelo de ônibus da frota;
C :	conjunto de tipos de combustíveis;
j :	representa cada tipo de combustível;
M :	conjunto das fases do Programa PROCONVE;
k :	representa cada fase do Programa PROCONVE;
FMP_{jk} :	emissão média dos ônibus pertencentes a fase k do Programa PROCONVE que utilizam o combustível j ;
NV_{ijk} :	quantidade de ônibus do modelo i que pertence a fase k do Programa PROCONVE que utilizam o combustível j;
KM_{ijk} :	quilometragem média percorrida por um ônibus do modelo i que pertence a fase k do Programa PROCONVE que utilizam o combustível j.

$$TMP = \sum_{k \in M} \left(\sum_{j \in C} FMP_{jk} \left(\sum_{i \in N} NV_{ijk} KM_{ijk} \right) \right) \quad (7)$$

O cálculo da emissão de CO₂ pelo serviço de transporte público leva em consideração a quantidade de ônibus de cada modelo da frota, a quilometragem percorrida por pelos ônibus de cada modelo utilizando os combustíveis considerados e é expressa em quilômetros, o consumo de combustível de cada modelo de ônibus por tipo de combustível é expresso em litros por quilômetros e o fator de emissão de CO₂ de cada tipo de combustível é expresso em quilogramas por litros de combustível. Desta forma, pode-se calcular a emissão de CO₂ para cada cenário conforme a Equação (8), considerando as seguintes variáveis e parâmetros:

TCO_2 :	total de emissão de CO ₂ de toda a frota de ônibus rodando com todos os combustíveis;
N :	conjunto dos modelos de ônibus;
i :	representa cada modelo de ônibus da frota;
C :	conjunto de tipos de combustíveis;
j :	representa cada tipo de combustível;
FCO_{2j} :	emissão média do combustível j independente do modelo de ônibus (Kg/L);
NV_{ij} :	quantidade de ônibus do modelo i utilizando o combustível j;

CC_{ij} : consumo médio de combustível j de um ônibus do modelo i ;
 KM_{ij} : quilometragem média percorrida por um ônibus do modelo i utilizando o combustível j .

$$TCO2 = \sum_{j \in C} FC02_j \left(\sum_{i \in N} NV_{ij} CC_{ij} KM_{ij} \right) \quad (8)$$

4.1.2 Cálculo do consumo de combustível

O cálculo do consumo total de combustível pelo serviço de transporte público por cenário leva em consideração a quantidade de ônibus de cada modelo da frota, o consumo médio de combustível de cada modelo de ônibus por tipo de combustível expresso em litros por quilômetros e a quilometragem percorrida pelos ônibus de cada modelo utilizando os combustíveis considerados expressa em quilômetros. Desta forma, pode-se calcular o consumo de cada combustível conforme a Equação (9), considerando as seguintes variáveis e parâmetros:

COC : consumo de combustível total do cenário;
 N : conjunto dos modelos de ônibus;
 i : representa cada modelo de ônibus da frota;
 C : conjunto de tipos de combustíveis;
 j : representa cada tipo de combustível;
 CC_{ij} : consumo médio de combustível j de um ônibus do modelo i ;
 NV_{ij} : quantidade de ônibus do modelo i utilizando o combustível j ;
 KM_{ij} : quilometragem média percorrida por um ônibus do modelo i utilizando o combustível j .

$$COC = \sum_{j \in C} \sum_{i \in N} NV_{ij} CC_{ij} KM_{ij} \quad (9)$$

4.1.3 Cálculo do custo total

O cálculo do custo total de cada cenário leva em consideração o custo operacional pelo uso de cada combustível do cenário, o custo pelo uso de cada

combustível do cenário e o custo de renovação da frota. Dessa forma, pode-se calcular o custo total de cada cenário conforme a Equação (10), considerando as seguintes variáveis e parâmetros:

- CT*: custo total em cada cenário;
COP: custo operacional do cenário;
CCO: custo de combustível do cenário;
CRF: custo de renovação da frota do cenário;

$$CT = COP + CCO + CRF \quad (10)$$

O cálculo do custo operacional de cada cenário leva em consideração o fator custo operacional do uso de cada tipo de combustível expresso em reais por quilômetros, a quantidade de ônibus de cada modelo da frota e a quilometragem percorrida pelos ônibus de cada modelo utilizando os combustíveis considerados expressa em quilômetros. Desta forma, pode-se calcular o custo operacional de cada combustível com conforme a Equação (11), considerando as seguintes variáveis e parâmetros:

- COP*: custo operacional total pelo uso dos combustíveis utilizados no cenário;
N: conjunto dos modelos de ônibus;
i: representa cada modelo de ônibus da frota;
C: conjunto de tipos de combustíveis;
j: representa cada tipo de combustível;
NV_{ij}: quantidade de ônibus do modelo *i* utilizando o combustível *j*;
KM_{ij}: quilometragem média percorrida por um ônibus do modelo *i* utilizando o combustível *j*;
FCOP_j: fator de custo operacional pelo uso do combustível *j*.

$$COP = \sum_{j \in C} FCOP_j \left(\sum_{i \in N} NV_{ij} KM_{ij} \right) \quad (11)$$

O cálculo do custo total de combustível de cada cenário leva em consideração o fator de custo do uso de cada tipo de combustível expresso em reais por quilômetros, a quantidade de ônibus de cada modelo da frota e a quilometragem percorrida por pelos ônibus de cada modelo utilizando os combustíveis considerados expressa em quilômetros. Desta forma, pode-se calcular o custo total de combustível conforme a Equação (12), considerando as seguintes variáveis e parâmetros:

- CCO*: custo do uso dos combustíveis considerados no cenário;
N: conjunto dos modelos de ônibus;
i: representa cada modelo de ônibus da frota;
C: conjunto de tipos de combustíveis;
j: representa cada tipo de combustível;
NV_{ij}: quantidade de ônibus do modelo *i* utilizando o combustível *j*;
KM_{ij}: quilometragem média percorrida por um ônibus do modelo *i* utilizando o combustível *j*;
FCCO_j: fator do custo de combustível pelo uso do combustível *j*.

$$CCO = \sum_{j \in C} FCCO_j \left(\sum_{i \in N} NV_{ij} KM_{ij} \right) \quad (12)$$

O cálculo do custo de renovação da frota leva em consideração a quantidade de ônibus destinados para renovação e o preço de cada ônibus. Desta forma, pode-se calcular o custo de renovação da frota conforme a Equação (13), considerando as seguintes variáveis e parâmetros:

- CRF*: custo de renovação da frota;
O: conjunto dos modelos de ônibus destinado à renovação da frota;
l: representa cada modelo de ônibus para renovação da frota;
QO_l: quantidade de ônibus do modelo *l*;
PR_l: preço de cada ônibus do modelo *l*.

$$CRF = \sum_{l \in O} QO_l \times PR_l \quad (13)$$

4.1.4 Cálculo das metas de emissões

As metas de emissões serão calculadas e em seguida, serão criados indicadores de metas de emissões com a mesma equação de ecoeficiência ($ECO = V/IA$) utilizada para o cálculo dos demais indicadores.

São levados em consideração três itens para calcular o valor da meta de emissão de CO: 1) um fator estabelecido pelo Programa PROCONVE para emissão de CO, medido em quilogramas de CO por quilômetro percorrido, 2) a quantidade de ônibus de cada modelo da frota que utilizam cada um dos combustíveis e 3)

a quilometragem percorrida pelos ônibus de cada modelo utilizando os combustíveis considerados expressa em quilômetros. Desta forma, pode-se calcular tal meta conforme a Equação (14), considerando as seguintes variáveis e parâmetros:

- MCO*: meta de emissão de CO do cenário em quilogramas;
N: conjunto dos modelos de ônibus;
i: representa cada modelo de ônibus da frota;
C: conjunto de tipos de combustíveis;
j: representa cada tipo de combustível;
FMCO: fator PROCONVE de emissão de CO independente do tipo de combustível utilizado;
NV_{ij}: quantidade de ônibus do modelo *i* utilizando o combustível *j*;
KM_{ij}: quilometragem média percorrida por um ônibus do modelo *i* utilizando o combustível *j*.

$$MCO = FMCO \left(\sum_{i \in N} \sum_{j \in C} NV_{ij} KM_{ij} \right) \quad (14)$$

São levados em consideração três itens para calcular o valor da meta de emissão de NOx: 1) um fator estabelecido pelo Programa PROCONVE para emissão de NOx, medido em quilogramas de NOx por quilômetro percorrido, 2) a quantidade de ônibus de cada modelo da frota que utilizam cada um dos combustíveis e 3) a quilometragem percorrida pelos ônibus de cada modelo utilizando os combustíveis considerados expressa em quilômetros. Desta forma, pode-se calcular tal meta conforme a Equação (15), considerando as seguintes variáveis e parâmetros:

- MNOX*: meta de emissão de NOx do cenário em quilogramas;
N: conjunto dos modelos de ônibus;
i: representa cada modelo de ônibus da frota;
C: conjunto de tipos de combustíveis;
j: representa cada tipo de combustível;
FMNOX: fator PROCONVE de emissão de NOx independente do tipo de combustível utilizado;
NV_{ij}: quantidade de ônibus do modelo *i* utilizando o combustível *j*;
KM_{ij}: quilometragem média percorrida por um ônibus do modelo *i* utilizando o combustível *j*.

$$MNOX = FMNOX \left(\sum_{i \in N} \sum_{j \in C} NV_{ij} KM_{ij} \right) \quad (15)$$

São levados em consideração três itens para calcular o valor da meta de emissão de NMHC: 1) um fator estabelecido pelo Programa PROCONVE para emissão de NMHC, medido em quilogramas de NMHC por quilômetro percorrido, 2) a quantidade de ônibus de cada modelo da frota que utilizam cada um dos combustíveis e 3) a quilometragem percorrida pelos ônibus de cada modelo utilizando os combustíveis considerados expressa em quilômetros. Desta forma, pode-se calcular tal meta conforme a Equação (16), considerando as seguintes variáveis e parâmetros:

- MHC*: meta de emissão de NMHC do cenário em quilogramas;
- N*: conjunto dos modelos de ônibus;
- i*: representa cada modelo de ônibus da frota;
- C*: conjunto de tipos de combustíveis;
- j*: representa cada tipo de combustível;
- FMHC*: fator PROCONVE de emissão de NMHC independente do tipo de combustível utilizado;
- NV_{ij}*: quantidade de ônibus do modelo *i* utilizando o combustível *j*;
- KM_{ij}*: quilometragem média percorrida por um ônibus do modelo *i* utilizando o combustível *j*.

$$MHC = FMHC \left(\sum_{i \in N} \sum_{j \in C} NV_{ij} KM_{ij} \right) \quad (16)$$

São levados em consideração três itens para calcular o valor da meta de emissão de MP: 1) um fator estabelecido pelo Programa PROCONVE para emissão de MP, medido em quilogramas de MP por quilômetro percorrido, 2) a quantidade de ônibus de cada modelo da frota que utilizam cada um dos combustíveis e 3) a quilometragem percorrida pelos ônibus de cada modelo utilizando os combustíveis considerados expressa em quilômetros. Desta forma, pode-se calcular tal meta conforme a Equação (17), considerando as seguintes variáveis e parâmetros:

- MMP*: meta de emissão de MP do cenário em quilogramas;
- N*: conjunto dos modelos de ônibus;
- i*: representa cada modelo de ônibus da frota;
- C*: conjunto de tipos de combustíveis;

- j : representa cada tipo de combustível;
 $FMMP$: fator PROCONVE de emissão de MP independente do tipo de combustível utilizado;
 NV_{ij} : quantidade de ônibus do modelo i utilizando o combustível j ;
 KM_{ij} : quilometragem média percorrida por um ônibus do modelo i utilizando o combustível j .

$$MMP = FMMP \left(\sum_{i \in N} \sum_{j \in C} NV_{ij} KM_{ij} \right) \quad (17)$$

Por fim, são levados em consideração três itens para calcular o valor da meta de emissão de CO₂: 1) um fator considerado para emissão de CO₂, medido em quilogramas de CO₂ por quilômetro percorrido, 2) a quantidade de ônibus de cada modelo da frota que utilizam cada um dos combustíveis e 3) a quilometragem percorrida pelos ônibus de cada modelo utilizando os combustíveis considerados expressa em quilômetros. Desta forma, pode-se calcular tal meta conforme a Equação (18), considerando as seguintes variáveis e parâmetros:

- MCO_2 : meta de emissão de CO₂ do cenário em quilogramas;
 N : conjunto dos modelos de ônibus;
 i : representa cada modelo de ônibus da frota;
 C : conjunto de tipos de combustíveis;
 j : representa cada tipo de combustível;
 FMC_2 : fator de emissão de CO₂ considerado independente do tipo de combustível utilizado;
 NV_{ij} : quantidade de ônibus do modelo i utilizando o combustível j ;
 KM_{ij} : quilometragem média percorrida por um ônibus do modelo i utilizando o combustível j .

$$MCO_2 = FMC_2 \left(\sum_{i \in N} \sum_{j \in C} NV_{ij} KM_{ij} \right) \quad (18)$$

5 LEVANTAMENTO DE DADOS E DEFINIÇÃO DE CENÁRIOS

A Seção a seguir apresenta o sistema de transporte público estudado (o Transcol). Além disso, são apresentados os dados utilizados para o cálculo dos indicadores de ecoeficiência apresentados no Capítulo 4. Todos os dados referentes à quilometragem percorrida durante o ano de 2014, à frota de ônibus (modelos e quantidades) e ao consumo de diesel S500 e S10 foram disponibilizados pela CETURB (2015).

5.1 O Sistema Transcol

O sistema de ônibus voltado para o transporte público urbano na RMGV é controlado pela CETURB, porém o serviço em si é designado a duas empresas (Atlântico Sul e Sudoeste), as quais dividem as mais de 150 linhas que percorrem a região demarcada na Figura 13. O projeto Transcol foi criado na década de 80 visando à reestruturação e reformulação do serviço de transporte coletivo, buscando modernizar o sistema já existente pelo tronco-alimentador e ligar os cinco municípios que formavam a região metropolitana.

Figura 13 - Região atendida pelo Transcol



Fonte: Adaptado de GazetaOnline (2015)

Dessa forma, todas as empresas responsáveis pelo serviço devem seguir as normas ditas pela CETURB, responsável pelo gerenciamento do sistema. A quantidade média de passageiros totais (considerando os pagantes e todos os

tipos de gratuidades e descontos) transportados por ano usando como base os anos de 2009 a 2013 (CETURB, 2015). Como consequência do volume de passageiros, a distância média percorrida no período acima é de mais de 108 milhões de quilômetros. A Tabela 13 mostra alguns dados sobre o sistema.

Tabela 13 - Indicadores do sistema Transcol.

	2009	2010	2011	2012	2013
Passageiros (em milhões)	183,44	184,72	193,55	195,86	196,05
Passageiros Pagantes (em milhões)	177,16	177,97	186,60	189,10	187,46
Passageiros Gratuidades (em milhões)	6,28	6,75	6,96	6,76	8,59
Distância percorrida (em milhões)	107,17	105,66	111,63	111,24	112,41
IPK médio	1,71	1,77	1,75	1,77	1,77
Passageiros/viagem	49,81	49,14	48,61	49,16	47,95
Viagens remuneradas (em milhões)	3,69	3,80	4,01	4,02	4,09
Receita anual (em milhões)	355,32	392,93	437,26	471,81	485,49
Preço passagem	R\$2,00	R\$2,15	R\$ 2,30	R\$ 2,45	R\$ 2,50

Fonte: Adaptado de Ceturb (2015)

O sistema possui dez terminais situados na região metropolitana: quatro em Vila Velha (Centro, Ibes, Itaparica e São Torquato), três em Cariacica (Itacibá, Campo Grande e Jardim América) e três na Serra (Carapina, Laranjeiras e Jacaraípe). Vale a pena ressaltar que as cidades de Fundão e Guarapari são atendidas com apenas uma viagem para cada.

Quanto às tarifas, essas podem ser divididas em dois tipos: as viagens remuneradas e aquelas gratuitas. As remuneradas são divididas em dois tipos: a passagem completa e aquela de estudante com direito a desconto de metade do valor. Essa facilidade é oferecida a todos os estudantes das redes públicas e privada de ensino fundamental, médio e superior. No que diz respeito às gratuidades, essas são divididas em: estudante gratuito, deficiente gratuito, idoso gratuito e passe livre (CETURB, 2015).

O ano de 2008 foi marcado pela implantação do projeto de renovação da frota de ônibus utilizada pelas empresas, sendo que apenas veículos com elevadores fossem adquiridos de forma a garantir a acessibilidade para pessoas com deficiência. Além disso, os novos ônibus comprados receberam uma nova pintura padrão (conforme a Figura 14 em vigor até hoje). Os ônibus das linhas alimentadoras (responsáveis pela ligação dos bairros com os terminais) recebem uma pintura padrão diferentes dos demais, conforme a Figura 15.

Figura 14 - Modelo de Transcol utilizado a partir de 2008



Fonte: Adaptado de Ceturb (2015)

Figura 15 - Modelo de Transcol utilizado para as linhas alimentadoras dos bairros



Fonte: Adaptado de Ceturb (2015)

Em 2009, novos terminais foram entregues: Itaparica, Jardim América, São Torquato e Jacaraípe. Assim sendo, a área atendida pelo sistema foi ampliada e houve um aumento de cerca de 20% da frota voltada para essa expansão. Dois anos mais tarde, a RMGV vivia com a perspectiva da construção do BRT (*Bus Rapid Transit*) e as empresas responsáveis pelo serviço de transporte público se adiantaram e compraram dois lotes de veículos com portas nos dois lados (Figura 16). Entretanto, a implantação do BRT não se concretizou sendo que boa parte das outras ainda não tiveram início.

Figura 16 - Novo modelo de ônibus voltado para o funcionamento do BRT



Fonte: Adaptado de Ceturb (2015)

Em 2014, a frota passou a ser modernizada mais uma vez, agora com veículos com a tecnologia Euro V responsável por níveis de emissões de poluentes bem menores (Figura 17). Com esta renovação, são integrados ao Transcol ônibus dotados de novas tecnologias, as quais incluem: freios ABS, navegação GPS atendendo às normas descritas no edital de licitação da CETURB, câmbio automático, poltronas encosto alto, piso taraflex, iluminação em LED, além de preparação para receber aparelho de ar condicionado.

Figura 17 - Ônibus articulado do novo modelo Euro V



Fonte: Adaptado de Ceturb (2015)

5.2 Valor do produto (V)

O valor do serviço (V) utilizado em todos os Cenários foi a quilometragem total percorrida por toda a frota de ônibus do sistema Transcol. No ano de 2014 o total de quilômetros rodados pelos ônibus do Sistema Transcol foi de 125.132.761,78 quilômetros (CETURB, 2015).

5.3 Impacto Ambiental (IA)

O impacto ambiental é calculado por meio do conjunto de equações apresentados na Seção 4.1, considerando o número de ônibus, a quilometragem média percorrida por cada ônibus de cada modelo, o consumo médio de combustível de cada modelo de ônibus, os fatores de emissão de CO, NOx, NMHC, MP e CO₂ de cada combustível considerado no estudo, além do consumo de combustível e dos custos totais.

5.3.1 Modelos e quantidades de ônibus

A Tabela 14 apresenta todos os modelos de ônibus e suas quantidades sem a divisão do modelo por ano de fabricação, sendo que esse tipo de detalhamento é apresentado no Anexo 1.

Tabela 14 - Frota de veículos da CETURB

(continua)	
Modelos de Ônibus	Quantidade
Convencional 3Pts	469
Convencional 3Pts TRONCO	27
Convencional 3Pts Elevador TRONCO	104
Convencional 3Pts Elevador	629
Convencional 5Pts Elevador	156
Convencional 5Pts Elevador TRONCO	51
Convencional 3Pts Ele EURO V	158
Padron CA 3Pts	3
Articulado 3Pts Normal	22
Articulado 3Pts Elevador	36
Articulado 6Pts Elevador	8

Tabela 14 - Frota de veículos da CETURB

Modelos de Ônibus	(conclusão) Quantidade
Padron CM 3Pts	13
Articulado MD 3Pts Elevador	37
Micro-Ônibus Normal	2
Micro-Ônibus 2Pts Elevador	9
Total	1.724

Fonte: Adaptado de CETURB (2015)

5.3.2 Quilometragem anual percorrida

Além da quilometragem anual de toda a frota apresentada na Seção 5.2, é necessário que esse valor seja segregado pelo modelo de ônibus e suas quantidades. A Tabela 15 apresenta os dados referentes às distâncias percorridas por todos os ônibus da frota. A primeira coluna apresenta os modelos de ônibus presentes na frota, a segunda coluna mostra a quantidade de ônibus por modelo, a terceira coluna apresenta a quilometragem anual de cada ônibus por modelo e a quarta coluna apresenta o resultado do produto da quantidade de ônibus pela quilometragem por ônibus, apresentando o resultado da distância total percorrida por ano.

Tabela 15 - Quilometragem percorrida por cada modelo de ônibus

(continua)

Modelos de ônibus	Quantidade de Ônibus (un)	Quilometragem por ônibus (Km)	Quilometragem total por ano (Km)
Convencional 3Pts	469	75.271,71	35.302.430,51
Convencional 3Pts TRONCO	27	74.477,70	2.010.897,94
Convencional 3Pts Elevador TRONCO	104	75.193,83	7.820.158,66
Convencional 3Pts Elevador	629	75.661,77	47.591.251,25
Convencional 5Pts Elevador	156	76.387,39	11.916.432,24
Convencional 5Pts Elevador TRONCO	51	37.969,02	1.936.420,24
Convencional 3Pts Ele EURO V	158	74.477,70	11.767.476,84

Tabela 15 - Quilometragem percorrida por cada modelo de ônibus
(conclusão)

Modelos de ônibus	Quantidade de Ônibus (un)	Quilometragem por ônibus (Km)	Quilometragem total por ano (Km)
Padron CA 3Pts	3	48.178,76	144.536,27
Articulado 3Pts Normal	22	61.461,77	1.352.158,86
Articulado 3Pts Elevador	36	78.697,08	2.833.094,76
Articulado 6Pts Elevador	8	19.619,79	156.958,31
Padron CM 3Pts	13	117.751,11	1.530.764,38
Articulado MD 3Pts Elevador	37	5.159,33	190.895,25
Micro-Ônibus Normal	2	52.662,39	105.324,78
Micro-Ônibus 2Pts Elevador	9	52.662,39	473.961,51
Total	1724	10.427.730,15	125.132.761,78

Fonte: Adaptado de CETURB (2015)

Os dados apresentados na Tabela 15 dizem respeito à situação atual do sistema de transporte público. Com a proposta de renovação da frota, as linhas de responsabilidade dos ônibus retirados de circulação serão atendidas pelos novos ônibus adquiridos, fazendo com que a distância percorrida pelos ônibus antigos seja assumida pelos ônibus novos.

Os modelos Convencional 3Pts, Convencional 3Pts TRONCO, Convencional 3Pts Elevador TRONCO, Convencional 3Pts Elevador, Convencional 5Pts Elevador, Convencional 5Pts Elevador TRONCO, Padron CA 3Pts , Padron CM 3Pts e Convencional 3Pts Ele EURO V serão substituídos a partir do ano de 2014 pelo modelo Convencional 3Pts Ele EURO V produzido em 2014. Já os modelos Articulado 3Pts Normal, Articulado 3Pts Elevador, Articulado 6Pts Elevador e Articulado MD 3Pts Elevador serão substituídos pelo modelo Articulado MD 3Pts Elevador produzido em 2014. Por fim, os modelos de micro-ônibus Micro-Ônibus Normal e Micro-Ônibus 2Pts Elevador serão substituídos pelo modelo Micro-Ônibus 2Pts Elevador produzido em 2014.

5.3.3 Consumo de combustível

Cachiolo (2012) estudou a variação do consumo dos tipos de biodiesel e diesel de cana de açúcar, tomando como referência o S500. A Tabela 16 apresenta as variações determinadas pelo autor em questão. As variações no consumo do B20, B100 e AMD100 foram retiradas da Tabela 16, enquanto o valor do AMD30 foi calculado por meio de interpolação linear e usando como base as variações do AMD20 e AMD50.

Tabela 16 - Variações no consumo de combustível

Combustíveis	Variação no consumo de combustível
B20	1,8%
B50	5,5%
B80	9,2%
B100	12,2%
AMD5	-0,1%
AMD20	-0,3%
AMD50	-0,8%
AMD80	-1,3%
AMD100	-1,6%

Fonte: Adaptado de Cachiolo (2012)

De posse das variações, calculou-se o consumo de combustível por meio do produto do consumo de diesel S500 de cada modelo de ônibus pela variação apresentada na Tabela 16. O resultado desse produto é apresentado na Tabela 17, a qual apresenta na primeira coluna os modelos dos ônibus e nas colunas seguintes os consumos calculados para cada um dos combustíveis considerados na dissertação.

Tabela 17 - Consumo dos combustíveis considerados no estudo
(continua)

Modelo de Ônibus	Consumo (l/Km)					
	S500	S10	B20	B100	AMD30	AMD100
Convencional 3Pts	0,36	-	0,37	0,4	0,36	0,35
Convencional 3Pts TRONCO	0,36	-	0,37	0,41	0,36	0,36
Convencional 3Pts Elevador TRONCO	0,36	-	0,36	0,4	0,36	0,35
Convencional 3Pts Elevador	0,36	-	0,37	0,4	0,36	0,35
Convencional 5Pts Elevador	0,36	-	0,37	0,4	0,36	0,35

Tabela 17 - Consumo dos combustíveis considerados no estudo
(conclusão)

Modelo de Ônibus	Consumo (l/Km)					
	S500	S10	B20	B100	AMD30	AMD100
Convencional 5Pts Elevador TRONCO	0,36	-	0,37	0,4	0,36	0,35
Convencional 3Pts Ele EURO V	0,36	0,34	0,35	0,38	0,33	0,33
Padron CA 3Pts	0,46	-	0,47	0,52	0,46	0,46
Articulado 3Pts Normal	0,64	-	0,65	0,72	0,64	0,63
Articulado 3Pts Elevador	0,64	-	0,65	0,72	0,64	0,63
Articulado 6Pts Elevador	0,63	-	0,64	0,71	0,63	0,62
Padron CM 3Pts	0,41	-	0,42	0,46	0,41	0,41
Articulado MD 3Pts Elevador	0,65	0,61	0,62	0,69	0,62	0,61
Micro-Ônibus Normal	0,17	-	0,18	0,2	0,17	0,15
Micro-Ônibus 2Pts Elevador	0,17	0,17	0,17	0,19	0,17	0,17

5.3.4 Fatores de Emissões

Os fatores de emissões de CO, NO_x, NMHC, MP e CO₂ variam de acordo com o combustível empregado na frota de ônibus. A seguir são apresentados os fatores de emissões para cada tipo de combustível considerado, expressos por cada fase do Programa PROCONVE. A fase P3/P4 engloba os modelos de ônibus fabricados nos anos 2000 e 2001, enquanto a fase P4 considera os ônibus produzidos entre os anos 2002 a 2004. Já a fase P4/P5 engloba os ônibus fabricados entre os anos de 2005 a 2008. A fase P5 é dividida de acordo com o ano de fabricação, podendo ser 2009, 2010 e 2011. Por fim, a fase P7 engloba os ônibus fabricados entre os anos de 2012 a 2014.

Os valores das emissões dos tipos de diesel S500 e S10 foram divulgados em Ministério do Meio Ambiente (2014), no qual os fatores são divididos por ano e tipo de veículos (leve e pesados), além de subdivisões dentro dos tipos. Vale a pena ressaltar que esses fatores estão em função do ano de fabricação do

modelo do veículo, seguindo a fase do programa PROCONVE. Portanto, os dados considerados foram os de ônibus urbanos e micro-ônibus, conforme as Tabela 18 e Tabela 19. Os dados do diesel S10 apenas consideram uma fase do programa, pois diz respeito a uma nova tecnologia de ônibus nos quais só pode ser usado o referido combustível.

Tabela 18 - Fatores de emissão do diesel S500

Modelo de ônibus	Fase PROCONVE	Fatores de Emissão				
		CO (g/Km)	NOx (g/Km)	NMHC (g/Km)	MP (g/Km)	CO ₂ (Kg/l)
Micro-ônibus	P4/P5	0,844	5,381	0,288	0,099	2,603
	P5-2009	0,973	4,576	0,139	0,08	2,603
Ônibus urbano	P3/P4	2,715	10,979	0,905	0,533	2,603
	P4	1,479	10,718	0,505	0,209	2,603
	P4/P5	1,412	9,002	0,382	0,166	2,603
	P5-2009	1,628	7,657	0,233	0,135	2,603
	P5-2010	1,744	7,773	0,282	0,14	2,603
	P5-2011	1,462	7,682	0,179	0,13	2,603

Fonte: Adaptado de Ministério do Meio Ambiente (2014)

Tabela 19 - Fatores de emissão do diesel S10

Modelo de ônibus	Fase PROCONVE	Fatores de Emissão				
		CO (g/Km)	NOx (g/Km)	NMHC (g/Km)	MP (g/Km)	CO ₂ (Kg/l)
Micro-ônibus	P7-2012	0,263	1,257	0,02	0,012	2,603
Ônibus urbano	P7-2012	0,44	2,103	0,033	0,02	2,603

Fonte: Adaptado de Ministério do Meio Ambiente (2014)

Os dados referentes às emissões dos tipos de biodiesel B20 e B100 foram obtidos por meio do Relatório Biodiesel B20 (FETRANSPOR, 2011), o qual apresenta as variações nas emissões de poluentes dos biodieseis em função do S500. Dessa forma, o valor final a ser considerado é o produto da multiplicação dos fatores de emissão do diesel S500 e S10 pelas variações dos tipos de biodiesel B20 e B100. Na Tabela 20 são apresentadas as variações nos fatores de emissões, enquanto nas Tabela 21 e Tabela 22 são apresentados o resultado final e os fatores de emissão.

Tabela 20 - Variações nas emissões de biodiesel B20 e B100 com base no diesel S500

Poluentes	Combustíveis	
	B20 (%)	B100 (%)
CO	-15	-48
CO ₂	-9,5	-100
NMHC	-20	-67
MP	-15	-47
NOx	4	20

Fonte: Adaptado de Fetranpor (2011)

Tabela 21 - Fatores de emissão do biodiesel B20

Modelo de ônibus	Fase PROCONVE	Fatores de Emissão				
		CO (g/Km)	NOx (g/Km)	NMHC (g/Km)	MP (g/Km)	CO ₂ (Kg/l)
Micro-ônibus	P4/P5	0,717	5,596	0,230	0,084	2,356
	P5-2009	0,827	4,759	0,111	0,068	2,356
	P7-2012	0,224	1,307	0,016	0,010	2,356
Ônibus urbano	P3/P4	2,308	11,418	0,724	0,453	2,356
	P4	1,257	11,147	0,404	0,178	2,356
	P4/P5	1,200	9,362	0,306	0,141	2,356
	P5-2009	1,384	7,963	0,186	0,115	2,356
	P5-2010	1,482	8,084	0,226	0,119	2,356
	P5-2011	1,243	7,989	0,143	0,111	2,356
	P7-2012	0,374	2,187	0,026	0,017	2,356

Fonte: Adaptado de Fetranpor (2011)

Tabela 22 - Fatores de emissão do biodiesel B100

Modelo de ônibus	Fase PROCONVE	Fatores de Emissão				
		CO (g/Km)	NOx (g/Km)	NMHC (g/Km)	MP (g/Km)	CO ₂ (Kg/l)
Micro-ônibus	P4/P5	0,439	6,457	0,095	0,052	0,000
	P5-2009	0,506	5,491	0,046	0,042	0,000
	P7-2012	0,137	1,508	0,007	0,006	0,000
Ônibus urbano	P3/P4	1,412	13,175	0,299	0,282	0,000
	P4	0,769	12,862	0,167	0,111	0,000
	P4/P5	0,734	10,802	0,126	0,088	0,000
	P5-2009	0,847	9,188	0,077	0,072	0,000
	P5-2010	0,907	9,328	0,093	0,074	0,000
	P5-2011	0,760	9,218	0,059	0,069	0,000
	P7-2012	0,229	2,524	0,011	0,011	0,000

Fonte: Adaptado de Fetranpor (2011)

No que diz respeito aos tipos de diesel de cana de açúcar AMD30 e AMD100, Cachiolo (2012) mostra as reduções e aumentos dos índices de emissões de

poluentes dos dieses de cana de açúcar AMD5, AMD20, AMD50, AMD80 e AMD100 em relação aos tipos de diesel S500 e S10. Os fatores do diesel de cana de açúcar AMD30 foram calculados por meio de interpolação linear, usando como base as variações do diesel de cana de açúcar consideradas por Cachiolo (2012) resultando nas variações presentes na Tabela 23.

Tabela 23 - Variações nas emissões de diesel de cana de açúcar AMD30 e AMD100

Poluentes	Combustíveis	
	AMD30 (%)	AMD100 (%)
CO	-10	-21
CO ₂	-30	-100
NMHC	-7	-13
MP	-3	-7
NOx	-7	-16

Fonte: Adaptado de Cachiolo (2012)

Nas Tabelas 24 e 25 são apresentados os valores finais dos fatores de emissões para o AMD30 e AMD100, respectivamente.

Tabela 24 - Fatores de emissão do diesel de cana de açúcar AMD30

Modelo de ônibus	Fase PROCONVE	Fatores de Emissão				
		CO (g/Km)	NOx (g/Km)	NMHC (g/Km)	MP (g/Km)	CO ₂ (Kg/l)
Micro-ônibus	P4/P5	0,762	4,984	0,268	0,096	1,822
	P5-2009	0,879	4,238	0,130	0,078	1,822
	P7-2012	0,265	1,269	0,020	0,012	1,822
Ônibus urbano	P3/P4	2,452	10,168	0,844	0,518	1,822
	P4	1,336	9,926	0,471	0,203	1,822
	P4/P5	1,275	8,337	0,356	0,161	1,822
	P5-2009	1,470	7,092	0,217	0,131	1,822
	P5-2010	1,575	7,199	0,263	0,136	1,822
	P5-2011	1,320	7,115	0,167	0,126	1,822
	P7-2012	0,397	1,948	0,031	0,019	1,822

Tabela 25 - Fatores de emissão do diesel de cana de açúcar AMD100
(continua)

Modelo de ônibus	Fase PROCONVE	Fatores de Emissão				
		CO (g/Km)	NOx (g/Km)	NMHC (g/Km)	MP (g/Km)	CO ₂ (Kg/l)
Micro-ônibus	P4/P5	0,667	4,52	0,239	0,092	0
	P5-2009	0,769	3,844	0,115	0,074	0

Fonte: Adaptado de Cachiolo (2012)

Tabela 25 - Fatores de emissão do diesel de cana de açúcar AMD100
(conclusão)

Modelo de ônibus	Fase PROCONVE	Fatores de Emissão				
		CO (g/Km)	NOx (g/Km)	NMHC (g/Km)	MP (g/Km)	CO ₂ (Kg/l)
Micro-ônibus urbano	P7-2012	0,265	1,268	0,02	0,012	0
	P3/P4	2,145	9,222	0,751	0,496	0
	P4	1,168	9,003	0,419	0,194	0
	P4/P5	1,115	7,562	0,317	0,154	0
	P5-2009	1,286	6,432	0,193	0,126	0
	P5-2010	1,378	6,529	0,234	0,13	0
	P5-2011	1,155	6,453	0,149	0,121	0
	P7-2012	0,348	1,767	0,027	0,019	0

Fonte: Adaptado de Cachiolo (2012)

5.3.5 Custos

De forma a compor o custo total, foram considerados três tipos de custos: 1) custo operacional, 2) custo de combustível e 3) custo de renovação da frota. O custo operacional diz respeito aos valores dispendidos em mão de obra, depreciação e manutenção (revisões, peças e lubrificantes). Para esse tipo de custo, a CETURB (CETURB, 2015) disponibilizou os dados para os tipos de diesel S500 e S10, os quais são estimados em reais por quilômetro percorrido pela frota. Cachilo (2012) estimou as variações no custo operacional com base nos custos do diesel S500, de acordo com a troca do combustível. Tais valores serão usados como base no cálculo do referido custo para os tipos de biodiesel B20 e B100, além do diesel de cana de açúcar AMD100. Para o AMD30, foi feita uma interpolação linear com os valores referentes aos dieses de cana de açúcar presentes em Cachiolo (2012), sendo o valor encontrado de 6,00%. A Tabela 26 apresenta quais foram as variações e os valores por quilômetro que foram considerados.

Tabela 26 -Variação e valor do custo operacional para cada combustível utilizado

Combustível	Variação (%)	Custo Operacional (R\$/Km)
S500	-	R\$ 3,97
S10	0,5	R\$ 3,99
B20	3,03	R\$ 4,09
B100	72	R\$ 4,84
AMD30	6	R\$ 4,23
AMD100	21,21	R\$ 4,82

Fonte: Adaptado de Cachiolo (2012)

O custo de combustível leva em consideração o custo de aquisição do mesmo. Os valores referentes aos dieses S500 e S10 foram disponibilizados em CETURB (2015), sendo os custos expressos em reais por quilômetro rodado pela frota. Cachilo (2012) estimou as variações no custo de combustível com base nos custos do diesel S500, de acordo com a troca do combustível. Tais valores serão usados como base no cálculo do referido custo para os tipos de biodiesel B20 e B100, além dos tipos do diesel de cana de açúcar AMD100. Para o AMD30, foi feita uma interpolação linear com os valores referentes aos dieses de cana de açúcar presentes em Cachiolo (2012), sendo o valor encontrado de 21%. A Tabela 27 apresenta os valores do custo de combustível para cada tipo, além de suas variações tomando como base o diesel S500.

Tabela 27 - Variação e valor do custo de combustível

Combustível	Variação (%)	Custo de Combustível (R\$/Km)
S500	-	R\$ 0,94
S10	-2,00	R\$ 0,92
B20	10,00	R\$ 1,03
B100	72,00	R\$ 1,61
AMD30	21,00	R\$ 1,13
AMD100	69,00	R\$ 1,58

Fonte: Adaptado de Cachiolo (2012)

Por fim, o custo de aquisição de novos ônibus foi calculado por meio do levantamento de preços previamente realizada pela CETURB (2015) em dezembro de 2014. Dessa forma, esses valores serão utilizados para o cálculo do custo da renovação da frota. Os valores dos novos ônibus são apresentados na Tabela 28.

Tabela 28 - Custo de aquisição de novos ônibus pela CETURB

Tipo de Ônibus	Valor de Aquisição
Convencional 3Pts Ele EURO V	R\$ 280.000,00
Articulado MD 3Pts Elevador	R\$ 640.000,00
Micro-Ônibus 2Pts Elevador	R\$ 230.000,00

Fonte: Adaptado de CETURB (2015)

5.3.6 Metas de Emissões – Programa PROCONVE

As metas de emissões do Programa PROCONVE para as emissões de CO, MP, NOx e NMHC são apresentados em gramas de emissão por quilowatts hora (g/KW.h). Entretanto, essa unidade não pode ser convertida para o formato dos dados disponibilizados pela CETURB, incentivando a busca de tais valores de emissões expressos em outra unidade. Por fim, encontraram-se as mesmas metas expressas em gramas de poluentes por quilograma de diesel utilizado (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2011) apresentadas na Tabela 29. Dessa forma, para calcular tais metas da fase P7 do PROCONVE é necessário que seja feita a conversão da quantidade de combustível utilizada de quilogramas para quilômetros rodados com um litro de diesel. Como o Programa PROCONVE apresenta as metas apenas para o uso do S10, considerou-se que as metas seriam as mesmas para o uso dos tipos de biodiesel B20 e B100, além dos tipos de diesel de cana de açúcar AMD30 e AMD100.

Tabela 29 – Metas de emissão poluentes por fase do programa PROCONVE

Fase do PROCONVE	CO (g/Kg Diesel)	NMHC (g/Kg Diesel)	NOx (g/Kg Diesel)	MP (g/Kg Diesel)
Pré-PROCONVE P1 e P2	8,27	3,02	47,56	2,93
P3	7,43	2,48	30,05	1,46
P4	4,05	1,38	29,33	0,57
P5	3,77	0,73	21,23	0,36
P7	3,95	0,76	8,57	0,09

Fonte: Adaptado de Ministério do Meio Ambiente (2011)

O primeiro passo para a conversão de quilogramas de diesel para a quilometragem rodado com um litro de diesel é descobrir quantos litros de diesel

são equivalentes a um quilograma de diesel. Por meio da massa específica do diesel S10 (apresentada na Tabela 30) e de regra de três simples, tem-se que um quilograma de diesel equivale a 1,176 litros de diesel. Utilizando a meta de CO referente a fase P7 apresentada na Tabela 29 e dividindo tal valor pelo resultado encontrado na conversão citada anteriormente, tem-se que a meta será 3,36 gramas de CO por litro de diesel utilizado.

Tabela 30 - Massas específicas dos combustíveis analisados

Combustível	Massa Específica (g/l)
S500	0,85
S10	0,85
B20	0,859
B100	0,879
AMD30	0,82
AMD100	0,82

Fonte: Adaptado de Petrobras (2012) e Gallina *et al.* (2011)

O segundo passo consiste em descobrir o consumo médio de diesel da frota de ônibus dos modelos adquiridos em 2014, os quais já foram fabricados para aceitar o diesel S10. Tal consumo foi calculado por meio de média ponderada do produto da quantidade de ônibus dos modelos Convencional 3Pts Ele EURO V (79 ônibus) e Articulado MD 3Pts Elevador (8 ônibus) fabricados em 2014 pelo o consumo médio de S10 de cada um deles (0,34 e 0,61 litros por quilômetros, respectivamente). Por fim, o valor de consumo médio de diesel S10 foi de 0,36 litros/quilômetro.

De posse do consumo médio de diesel S10 e por meio de regra de três simples, tem-se que com um litro de diesel, o ônibus percorre 2,74 quilômetros. Dividindo a meta de emissão de CO em gramas de CO por litro de diesel utilizado pela distância percorrida por cada litro de diesel, tem-se que o meta de emissão de CO da fase P7 é de 1,23 gramas de CO por quilômetro rodado. O mesmo cálculo deve ser feito para os outros poluentes atmosféricos e para o material particulado, de forma que os valores encontrados foram 0,24 gramas de NMHC por quilômetro, 2,66 gramas de NOx por quilômetro e 0,03 gramas de MP por quilômetro.

O Programa PROCONVE não estipula uma meta de emissão para o CO₂ para veículos pesados em nenhuma das fases e, para poder estabelecer um valor comparativo dos diversos cenários testados nessa dissertação, faz-se necessário definir tal valor para emissão de CO₂.

Dessa forma, tomou-se como base a informação que o governo brasileiro por meio da Comissão de Meio Ambiente (CMA), determinou em 2013 que os automóveis (veículos leves) fabricados a partir de 2016 não ultrapassem o montante de emissão equivalente a 120 gramas por quilômetro (SOUSA, 2015). Assim sendo, é proposto nessa dissertação estabelecer a meta de emissão de CO₂ para os ônibus urbanos (classificados como veículos pesados) por meio do consumo médio de um motor a gasolina que faz em média 10 quilômetros por litro e o consumo médio de um motor a diesel num ônibus que faz 2,6 quilômetros por litros. Então, por regra de três, chegou-se ao valor de CO₂ para ônibus de 462 gramas por quilômetro, ou seja, 0,46 quilogramas por quilômetro. A Tabela 31 sintetiza as metas estipulados para cada um dos poluentes atmosféricos considerados.

Tabela 31 - Resumo das metas consideradas

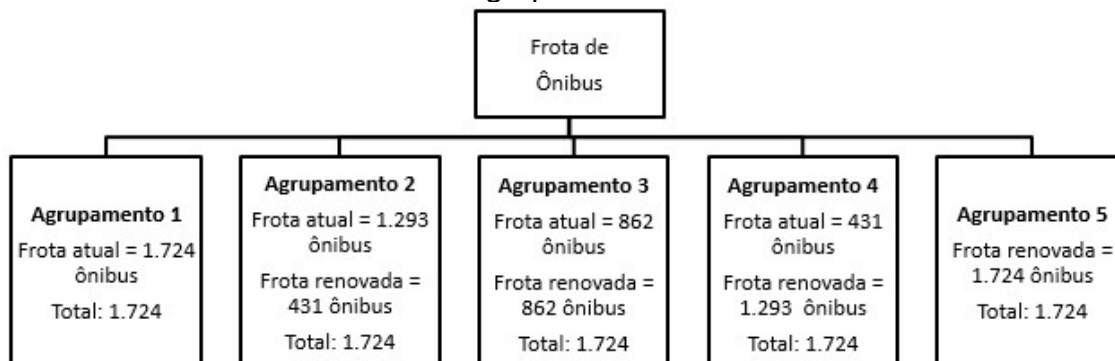
Poluente Atmosférico	Meta Calculada (g/Km)
CO	1,23
NOx	0,24
NMHC	2,66
MP	0,03
CO ₂	0,46

5.4 Agrupamentos e Cenários

Visando quantificar o impacto da renovação da frota e da variação do uso de outros tipos de combustíveis nos níveis de emissões, foram criados cinco agrupamentos. Os agrupamentos visaram uma análise que pudesse captar a renovação da frota de forma gradativa, enquanto os cenários (sete para cada agrupamento) fixam a frota e modificam os combustíveis utilizados. Na Figura 18 é apresentada a frota de veículos considerada por agrupamento, sendo que a

explicação mais detalhada é apresentada na descrição de cada agrupamento realizada a seguir.

Figura 18 - Resumo dos parâmetros referentes à frota em cada um dos agrupamentos



Os agrupamentos seguem algumas premissas. A primeira premissa diz respeito aos ônibus adquiridos para renovação da frota, os quais são do modelo Euro V 2014 e não podem ser abastecidos com o diesel S500, dado a falta de estrutura dos motores para a concentração de enxofre maior que 10 ppm. Dessa forma, apenas podem ser usados o diesel S10, os tipos de biodiesel B20 e B100 e os tipos de diesel de cana de açúcar AMD30 e AMD100. Os ônibus do modelo Euro V fabricados em 2012 e 2013 podem ser abastecidos com o diesel S500, sendo a restrição válida apenas para os ônibus fabricados em 2014.

A segunda premissa leva em consideração uma ação voltada para a mitigação do impacto ambiental pelos ônibus antigos, usando um combustível ecologicamente melhor. Assim sendo, a escolha dos veículos abastecidos com o biodiesel B20 e diesel de cana de açúcar AMD30 sempre é realizada priorizando os veículos mais antigos nos cenários em que são utilizados mais de um tipo de combustível, de forma a deixar os mais novos para os tipos de diesel S500 ou S10. Essa decisão foi tomada devido aos elevados fatores de emissões de CO, NOx, NHMC e MP pelo diesel S500 nos modelos mais antigos em comparação aos outros combustíveis. Vale a pena ressaltar que os modelos de ônibus fabricados em 2014 são abastecidos apenas com o diesel S10, respeitando a primeira premissa.

A terceira premissa faz uma consideração sobre os cenários que utilizam em toda a frota os tipos de diesel de cana de açúcar AMD30 e AMD100, além do biodiesel B100. Tais cenários são tecnicamente inviáveis para o cenário atual,

dados que as produções dieséis ainda não atingiram escala suficiente para o atendimento do mercado brasileiro. Além disso, sua distribuição para o território nacional também não possui estrutura que atenda a demanda, impossibilitando ter modelos e quantidades de ônibus, retratando a realidade da empresa e variando apenas os combustíveis utilizados. As descrições da frota por quantidade e ano do modelo estão no Anexo 2, divididas por cenário e tipo de combustível que foi utilizado nos respectivos ônibus. Foram criados sete cenários que buscam avaliar os níveis de emissões e suas variações conforme o uso dos combustíveis é intercalado.

O Cenário 1.1 retrata a situação atual do sistema de transporte estudado, na qual 95% da frota é abastecida com diesel S500 e 5% dela (veículos novos adquiridos em 2014) com S10, enquanto no Cenário 1.2 50% dos ônibus são abastecidos com biodiesel B20, 45% da frota com diesel S500 e 5% com diesel S10 (os mesmos do Cenário 1.1). Já no Cenário 1.3, 100% da frota é abastecida com biodiesel B20 e no Cenário 1.4 50% dos ônibus são abastecidos com diesel de cana de açúcar AMD30, 45% da frota com diesel S500 e 5% com diesel S10 (os mesmos do Cenário 1.1). Por fim, nos Cenários 1.5, 1.6 e 1.7 100% da frota é abastecida com diesel de cana de açúcar AMD30, biodiesel B100 e diesel de cana de açúcar AMD100, respectivamente.

5.4.1 Agrupamento 2

O Agrupamento 2 retrata o início da troca dos ônibus conforme plano aprovado pela CETURB, adquirindo modelos mais modernos, de forma a substituir 344 ônibus com maior tempo de utilização (modelos dos anos 2000 a 2007, excetuando os modelos de micro-ônibus) em conjunto aos 87 ônibus adquiridos em 2014, totalizando 431 ônibus (25% da frota). As descrições da frota por quantidade e ano do modelo estão no Anexo 2 divididas por cenário e tipo de combustível que foi utilizado nos respectivos veículos, enquanto na Tabela 32 são apresentados os modelos e suas quantidades que foram retirados de circulação no Agrupamento 2. Por fim, a Tabela 33 apresenta os modelos e

quantidades de ônibus que foram adquiridos na renovação da frota, os quais atendem a fase P7 do programa PROCONVE.

Tabela 32 - Modelos e quantidade de ônibus retirados de circulação no Agrupamento 2

Ônibus	2000	2001	2002	2003	2005	2006	2007
Convencional 3Pts	2	7	12	42	28	143	22
Convencional 3Pts TRONCO					3	8	16
Padron CA 3Pts			3				
Articulado 3Pts Normal				6	5	2	9
Articulado 3Pts Elevador							
Articulado 6Pts Elevador							
Padron CM 3Pts				9	4		
Articulado MD 3Pts Elevador				17	6		
Total:							344

Tabela 33- Modelos e quantidade de ônibus adquiridos no Agrupamento 2

Ônibus	2014
Convencional 3Pts Ele EURO V	299
Articulado MD 3Pts Elevador	45
Total:	344

No Cenário 2.1, 75% da frota é abastecida com diesel S500 e 25% dela (veículos novos adquiridos em 2014 mais aqueles da renovação) com S10, enquanto no Cenário 2.2 50% dos ônibus são abastecidos com biodiesel B20, 25% da frota com diesel S500 e 25% com diesel S10 (os mesmos do Cenário 2.1). Já no Cenário 2.3, 100% da frota é abastecida com biodiesel B20 e no Cenário 2.4 50% dos ônibus são abastecidos com diesel de cana de açúcar AMD30, 25% da frota com diesel S500 e 25% com diesel S10 (os mesmos do Cenário 2.1). Por fim, nos Cenário 2.5, 2.6 e 2.7 100% da frota é abastecida com diesel de cana de açúcar AMD30, biodiesel B100 e diesel de cana de açúcar AMD100, respectivamente.

5.4.2 Agrupamento 3

O Agrupamento 3 retrata outro estágio na troca dos ônibus por modelos mais modernos, de forma a substituir mais 431 ônibus com maior tempo de utilização

(ano 2007 a 2009, excetuando os modelos de micro-ônibus) em relação a frota considerada no Agrupamento 2 e assim somar aos 431 ônibus dos novos modelos já considerados no agrupamento anterior (87 já adquiridos em 2014 mais os 344 adquiridos no Agrupamento 1), totalizando 50% da frota (862 ônibus). As descrições da frota por quantidade e ano do modelo estão no Anexo 2 divididas por cenário e tipo de combustível que foi utilizado nos respectivos veículos, enquanto na Tabela 34 são apresentados os modelos e suas quantidades que foram retirados de circulação no Agrupamento 2. Por fim, a Tabela 35 apresenta os modelos e quantidades de ônibus que foram adquiridos na renovação da frota, os quais atendem a fase P7 do programa PROCONVE.

Tabela 34 - Modelos e quantidade de ônibus retirados de circulação no Agrupamento 3

Ônibus	2007	2008	2009
Convencional 3Pts	210	3	
Convencional 3Pts Elevador TRONCO		63	18
Convencional 3Pts Elevador		104	
Articulado 3Pts Elevador		33	
Total:			431

Tabela 35 - Modelos e quantidade de ônibus adquiridos no Agrupamento 3

Ônibus	2014
Convencional 3Pts Ele EURO V	398
Articulado MD 3Pts Elevador	33
Total:	431

No Cenário 3.1, 50% da frota é abastecida com diesel S500 e 50% dela (veículos novos adquiridos em 2014 mais aqueles da renovação) com S10, enquanto no Cenário 3.2 50% dos ônibus abastecidos com biodiesel B20 e 50% da frota com diesel S10 (os mesmos do Cenário 3.1). Já no Cenário 3.3, 100% da frota é abastecida com biodiesel B20 e no Cenário 3.4 50% dos ônibus abastecidos com diesel de cana de açúcar AMD30 e 50% com diesel S10 (os mesmos do Cenário 3.1). Por fim, nos Cenário 3.5, 3.6 e 3.7 100% da frota é abastecida com diesel de cana de açúcar AMD30, biodiesel B100 e diesel de cana de açúcar AMD100, respectivamente.

5.4.3 Agrupamento 4

O Agrupamento 4 retrata outro estágio na troca dos ônibus por modelos mais modernos, de forma a substituir mais 431 ônibus com maior tempo de utilização (ano 2009 a 2011, excetuando os modelos de micro-ônibus) em relação a frota considerada no Agrupamento 3 e assim somar tal frota renovada aos 862 ônibus dos novos modelos já considerados no agrupamento anterior, totalizando 75% da frota (1.293 ônibus). As descrições da frota por quantidade e ano do modelo estão no Anexo 2, divididas por cenário e tipo de combustível que foi utilizado nos respectivos veículos, enquanto a Tabela 36 expõe os modelos, suas quantidades que foram substituídas no Agrupamento 4. Por fim, a Tabela 37 apresenta os modelos e quantidades de ônibus que foram adquiridos na renovação da frota, os quais atendem a fase P7 do programa PROCONVE.

Tabela 36 - Modelos e quantidade de ônibus retirados de circulação no Agrupamento 4

Ônibus	2009	2010	2011
Convencional 3Pts Elevador TRONCO	2	3	9
Convencional 3Pts Elevador	250	131	
Convencional 5Pts Elevador		6	
Convencional 5Pts Elevador TRONCO		13	
Articulado 3Pts Elevador	2	1	
Articulado 6Pts Elevador		8	
Articulado 3Pts Elevador	6		
Total:			431

Tabela 37 - Modelos e quantidade de ônibus adquiridos no Agrupamento 4

Ônibus	2014
Convencional 3Pts Ele EURO V	414
Articulado MD 3Pts Elevador	17
Total:	431

No Cenário 4.1, 25% da frota é abastecida com diesel S500 e 75% dela (veículos novos adquiridos em 2014 mais aqueles da renovação) com S10, enquanto no Cenário 4.2 50% dos ônibus são abastecidos com biodiesel B20 (sendo 25% referente à frota antiga e 25% da frota renovada) e 50% da frota renovada com

diesel S10. Já no Cenário 4.3, 100% da frota é abastecida com biodiesel B20 e no Cenário 4.4 50% dos ônibus são abastecidos com diesel de cana de açúcar AMD30 (sendo 25% referente à frota antiga e 25% da frota renovada) e 50% da frota renovada com diesel S10. Por fim, nos Cenário 4.5, 4.6 e 4.7 100% da frota é abastecida com diesel de cana de açúcar AMD30, biodiesel B100 e diesel de cana de açúcar AMD100, respectivamente.

5.4.4 Agrupamento 5

O Agrupamento 5 retrata a renovação total da frota, no qual todos os 1.724 ônibus passam a ser do modelo Euro V. As descrições da frota por quantidade e ano do modelo estão no Anexo 2, divididas por cenário e tipo de combustível que foi utilizado nos respectivos veículos, enquanto a Tabela 38 apresenta os modelos, suas quantidades que foram substituídas no Agrupamento 5. Por fim, a Tabela 39 apresenta os modelos e quantidades de ônibus que foram adquiridos na renovação da frota, os quais atendem a fase P7 do programa PROCONVE.

Tabela 38 - Modelos e quantidade de ônibus retirados de circulação no Agrupamento 5

Ônibus	2006	2008	2009	2011	2012	2013
Convencional 3Pts Elevador TRONCO				2	7	
Convencional 3Pts Elevador				49	95	
Convencional 5Pts Elevador				150		
Convencional 5Pts Elevador TRONCO				23	15	
Convencional 3Pts Ele EURO V					47	32
Micro-Ônibus Normal	2					
Micro-Ônibus 2Pts Elevador		7	2			
Total:						431

Tabela 39 - Modelos e quantidade de ônibus adquiridos no Agrupamento 5

Ônibus	2014
Convencional 3Pts Ele EURO V	420
Articulado MD 3Pts Elevador	0
Micro-Ônibus 2Pts Elevador	11
Total:	431

No Cenário 5.1, 100% da frota é abastecida com diesel S10, enquanto no Cenário 5.2, 50% dos ônibus são abastecidos com biodiesel B20 e 50% da frota com diesel S10. Já no Cenário 5.3, 100% da frota é abastecida com biodiesel B20 e no Cenário 5.4 50% dos ônibus abastecidos com diesel de cana de açúcar AMD30 e 50% com diesel S10. Por fim, nos Cenário 5.5, 5.6 e 5.7 100% da frota é abastecida com diesel de cana de açúcar AMD30, biodiesel B100 e diesel de cana de açúcar AMD100, respectivamente.

A Tabela 40 apresenta um resumo de todos os cenários criados. As comparações e análises foram realizadas por meio dos cenários criados em cada um dos agrupamentos, visando avaliar e comparar os impactos referentes às trocas no mix de combustível em cada um dos cenários.

Tabela 40 - Resumo dos cenários

(continua)

Agrupamento	Cenário	Divisão da frota por combustível
Agrupamento 1	1.1	95% diesel S500 e 5% diesel S10
	1.2	50% biodiesel B20, 45% diesel S500 e 5% diesel S10
	1.3	100% biodiesel B20
	1.4	50% diesel de cana de açúcar AMD30, 45% diesel S500 e 5% diesel S10
	1.5	100% diesel de cana de açúcar AMD30
	1.6	100% biodiesel B100
	1.7	100% diesel de cana de açúcar AMD100
Agrupamento 2	2.1	75% diesel S500 e 25% diesel S10
	2.2	50% biodiesel B20, 25% diesel S500 e 25% diesel S10
	2.3	100% biodiesel B20
	2.4	50% diesel de cana de açúcar AMD30, 25% diesel S500 e 25% diesel S10
	2.5	100% diesel de cana de açúcar AMD30
	2.6	100% biodiesel B100
	2.7	100% diesel de cana de açúcar AMD100

Tabela 40 - Resumo dos cenários

		(conclusão)
Agrupamento	Cenário	Divisão da frota por combustível
Agrupamento 3	3.1	50% diesel S500 e 50% diesel S10
	3.2	50% biodiesel B20 e 50% diesel S10
	3.3	100% biodiesel B20
	3.4	50% diesel de cana de açúcar AMD30 e 50% diesel S10
	3.5	100% diesel de cana de açúcar AMD30
	3.6	100% biodiesel B100
	3.7	100% diesel de cana de açúcar AMD100
Agrupamento 4	4.1	25% diesel S500 e 75% diesel S10
	4.2	50% biodiesel B20 e 50% diesel S10
	4.3	100% biodiesel B20
	4.4	50% diesel de cana de açúcar AMD30 e 50% diesel S10
	4.5	100% diesel de cana de açúcar AMD30
	4.6	100% biodiesel B100
	4.7	100% diesel de cana de açúcar AMD100
Agrupamento 5	5.1	100% diesel S10
	5.2	50% biodiesel B20 e 50% diesel S10
	5.3	100% biodiesel B20
	5.4	50% diesel de cana de açúcar AMD30 e 50% diesel S10
	5.5	100% diesel de cana de açúcar AMD30
	5.6	100% biodiesel B100
	5.7	100% diesel de cana de açúcar AMD100

6 ANÁLISES E RESULTADOS

Este capítulo apresenta os resultados por agrupamento, de forma a comparar os resultados encontrados nos cenários propostos pelas emissões de CO, NO_x, NMHC, MP e CO₂, além do consumo de combustível e custos envolvidos no estudo.

As metas de emissões foram calculadas para os poluentes atmosférico e material particulado citado anteriormente, sendo os mesmos valores para todos os agrupamentos e para todos os cenários. Dessa forma, os valores de indicadores de emissão desejados são aqueles que obtiverem valores maiores que os valores dos indicadores das metas. Isso representa que se o valor total de emissão do cenário foi menor que o total permitido pelo Programa PROCONVE, obedece assim às normas estipuladas para a utilização de ônibus urbanos (veículos pesados).

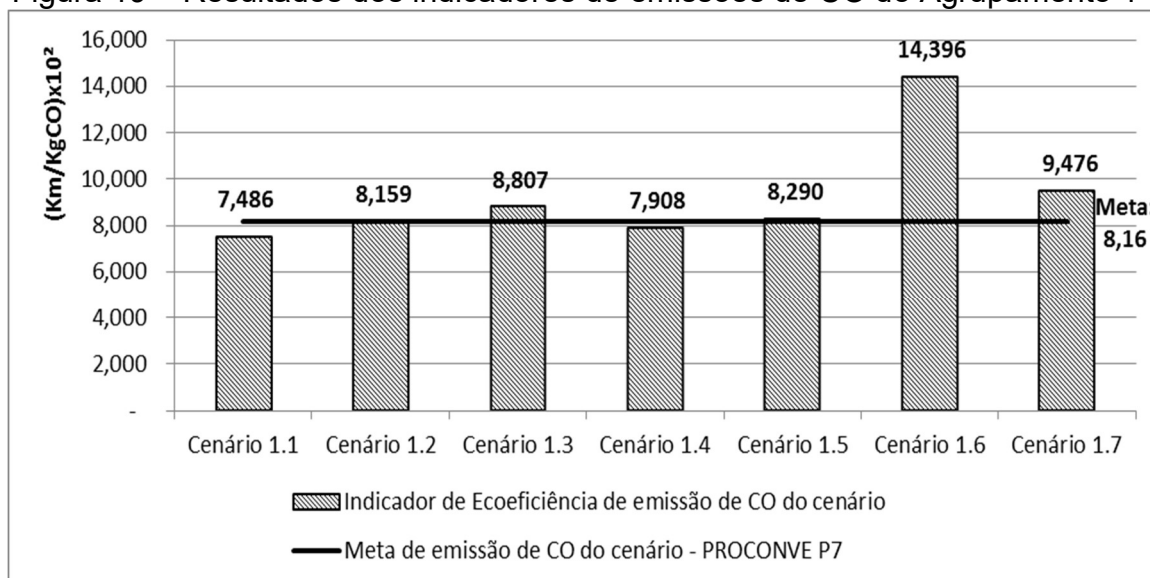
6.1 Agrupamento 1

No Agrupamento 1, os combustíveis foram variados buscando o estudo no impacto da geração de poluentes atmosféricos e material particulado. Vale a pena ressaltar que as metas de emissão de CO, NO_x, NMHC e MP são diferentes para cada um dos cenários, pois seu cálculo é feito a partir do produto do total de combustível utilizado e a massa específica.

São apresentados na Figura 19 os resultados referentes às emissões de CO. Os Cenários 1.1, 1.2 e 1.4 não conseguiram atingir as metas de emissões determinados pelo programa PROCONVE e assim seus indicadores de emissão foram menores que os indicadores das metas. O diesel S500 e o diesel de cana de açúcar AMD30 (utilizado nos Cenários 1.1 e 1.4) possuem os maiores fatores de emissões médios de CO referentes às fases P3 a P7 do Programa PROCONVE dentre os combustíveis considerados. A maior emissão foi encontrada no Cenário 1.1, dado o diesel S500 possuir o maior fator médio de emissão de CO referente às fases P3 a P7, além de 95% da frota ser abastecida

com esse tipo de diesel. O uso do diesel S500 em 45% da frota nos Cenários 1.2 e 1.4 fez com que os cenários não atingissem a meta, dado seu fator de emissão médio de CO ser maior em comparação ao biodiesel B20 e ao diesel de cana de açúcar AMD30.

Figura 19 – Resultados dos indicadores de emissões de CO do Agrupamento 1

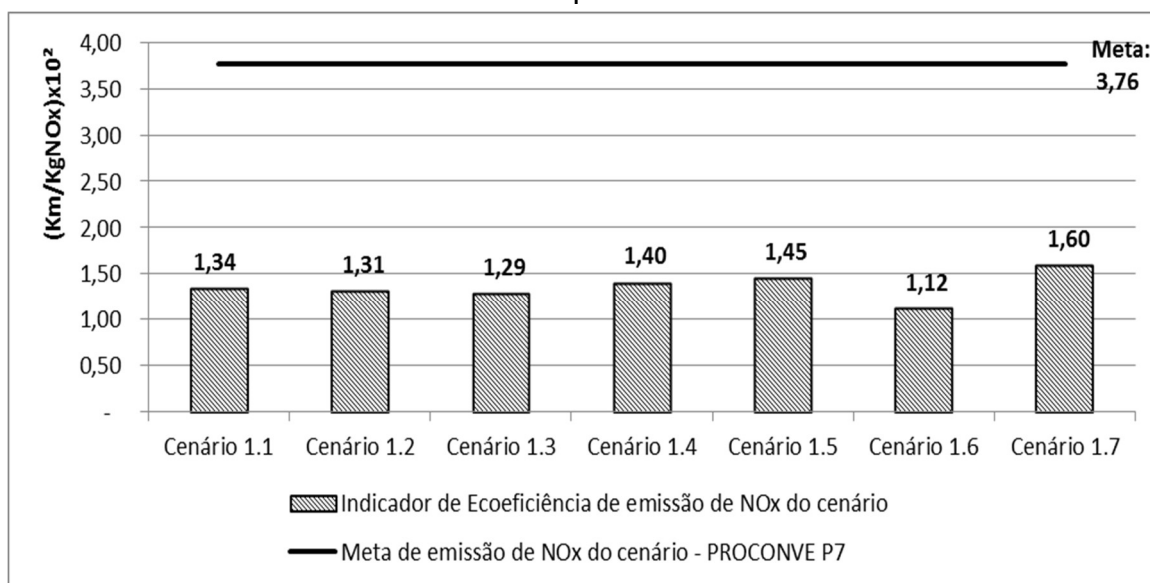


Os menores valores de emissões e assim, os indicadores que apresentaram valores que superaram os indicadores das metas, foram encontrados nos Cenários 1.6 e 1.7, sendo utilizados o biodiesel B100 e o diesel de cana de açúcar AMD100, respectivamente. Tais resultados são explicados pelo fato dos fatores de emissão médios do biodiesel B100 e diesel de cana de açúcar AMD100 referente às fases do Programa PROCONVE possuírem os menores valores de emissão de CO dentre os combustíveis considerados, além de 100% da frota ser abastecida com esses combustíveis. Os Cenários 1.3 e 1.5 também conseguiram obter resultados acima da meta com o uso do biodiesel B20 e diesel de cana de açúcar AMD30 em toda a frota, respectivamente.

Os resultados referentes aos indicadores de emissões de NOx são apresentados na Figura 20. Nenhum dos cenários do Agrupamento 1 conseguiu atingir as metas referentes às emissões de NOx, incorrendo em indicadores de emissões menores que os indicadores das metas. Os piores resultados foram encontrados nos Cenários 1.6 e 1.3, nos quais foram utilizados o biodiesel B100 e B20, respectivamente. Tais resultados são devido aos fatores de emissões médios de NOx dos tipos de biodiesel B20 e B100 de NOx referentes às fases do Programa

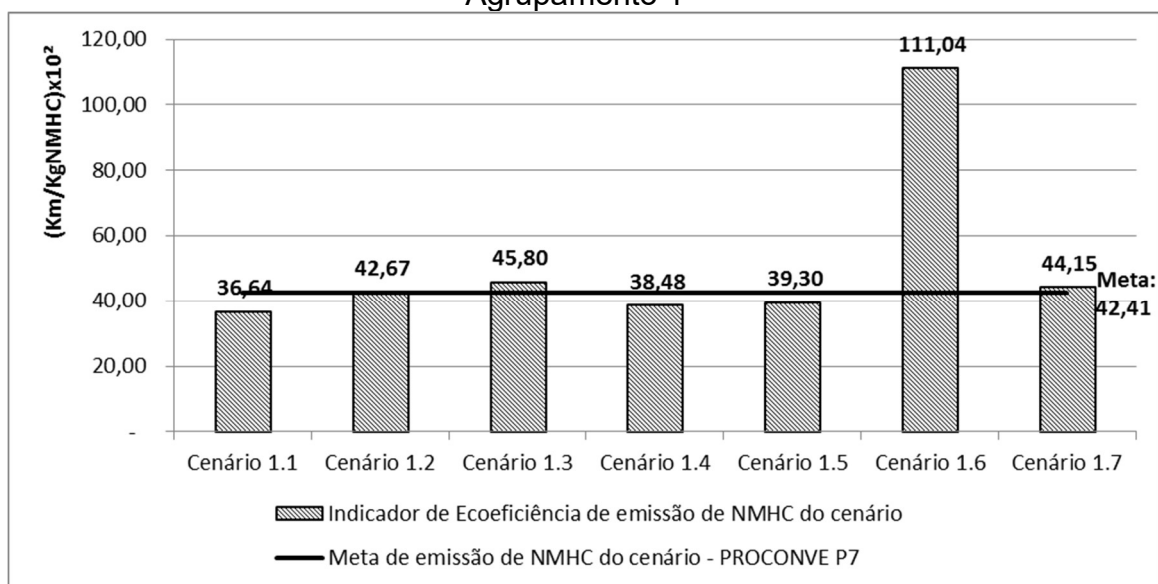
PROCONVE serem os maiores entre os demais combustíveis analisados, além 100% da frota ser abastecida por esses combustíveis. O cenário com o melhor indicador de emissão foi o Cenário 1.7 dado ao fato do diesel de cana de açúcar AMD100 apresentar o menor fator de emissão médio de NOx por quilômetro referente às fases P3 a P7 dentre todos os combustíveis.

Figura 20 – Resultados dos indicadores de emissões de NOx do Agrupamento 1



São apresentados na Figura 21 os resultados referentes às emissões de NMHC. Os Cenários 1.1, 1.4 e 1.5 não atingiram as metas de emissões, de forma a apresentar indicadores de emissões menores que os indicadores de metas estipulados pela fase P7 do programa PROCONVE. O pior resultado encontrado no Cenário 1.1 (uso do diesel S500 em 95% da frota), explicado pelo alto valor do fator de emissão médio de NMHC referente às fases P3 e P7 do diesel S500, e o uso desse combustível em uma frota com ônibus com até 14 anos de uso, gerando altos valores de emissão. O segundo pior valor foi encontrado no Cenário 1.4, no qual há o uso do diesel de cana de açúcar AMD30 em metade da frota, 45% da frota com diesel S500 e 5% da frota com diesel S10. Tal resultado é explicado pelo fato do diesel S500 e diesel de cana de açúcar AMD30 possuírem os piores fatores de emissões médios referentes às fases do Programa PROCONVE dentre os demais combustíveis, além do uso somado dos dois combustíveis em 95% da frota.

Figura 21 – Resultados dos indicadores de emissões de NMHC do Agrupamento 1

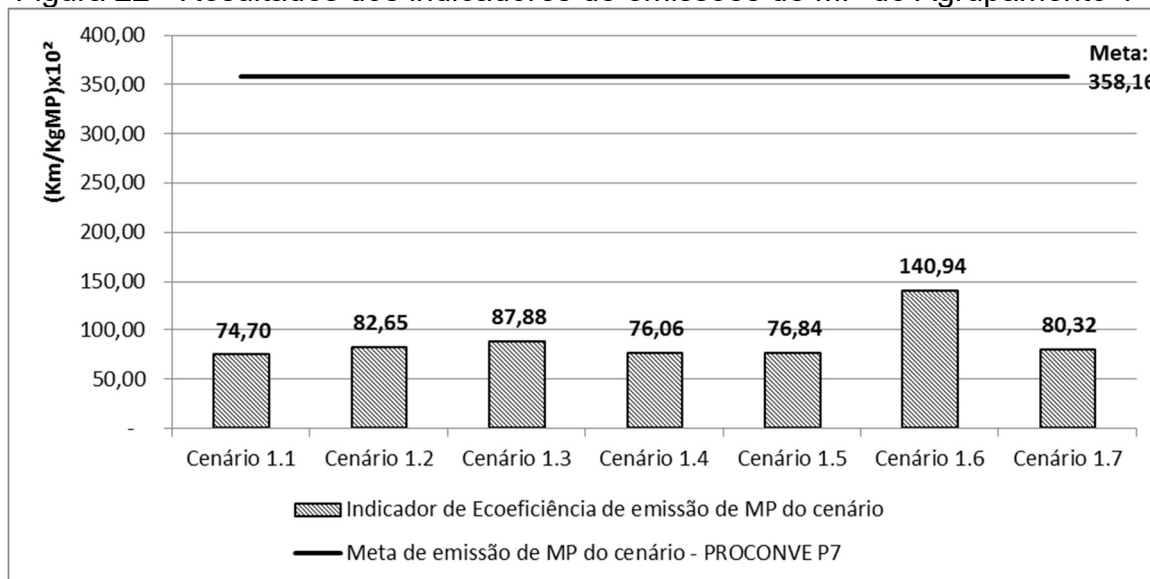


Em contrapartida, os Cenários 1.2, 1.3, 1.6 e 1.7 atingiram as metas de emissão e assim, seus indicadores apresentaram valores maiores que seus indicadores das metas. Apesar do diesel S10 possuir o menor fator de emissão, seu uso no Agrupamento 1 é restrito, limitando sua vantagem nos cenários em que é utilizado. O melhor resultado foi encontrado no Cenário 1.6, dado o biodiesel B100 possuir o segundo menor fator de emissão médio de NMHC referente às fases P3 e P7 dentre os combustíveis considerados, além de tal combustível ser utilizado em toda a frota. O biodiesel B20 (utilizado em 50% da frota no Cenário 1.2 e em 100% dela no Cenário 1.3) apresentou o terceiro menor fator de emissão médio referente às fases P3 e P7 e assim, conseguiu atender a meta de emissão.

Os resultados referentes aos indicadores de emissões de MP são apresentados na Figura 22. Nenhum dos cenários do Agrupamento 1 conseguiu atingir a meta de emissão e assim, os indicadores de emissão de MP foram menores que os indicadores calculados para as metas. O pior resultado foi encontrado no Cenário 1.1, dado o diesel S500 possuir o maior fator de emissão médio de MP referente às fases P3 e P7 dentre os combustíveis utilizados, além de tal diesel ser utilizado em 95% da frota. Mesmo com o uso do diesel S10 em 5% da frota e esse diesel possuir o menor fator de emissão médio dentre os combustíveis, seu baixo uso não conseguir fazer com que o Cenário 1.1 atingisse a meta. O segundo pior resultado pertence ao Cenário 1.4, no qual 50% da frota utiliza o diesel

de cana de açúcar AMD30, 45% utiliza diesel 500 e 5% diesel S10, resultado explicado pelo uso dos dois combustíveis com os piores fatores de emissões médios de MP referentes às fases do programa PROCONVE entre os estudados. O Cenário 1.6 apresentou o melhor indicador de emissão de MP, pois o fator de emissão médio do biodiesel B100 é o segundo menor dentre os demais e tal combustível ser utilizado em toda a frota.

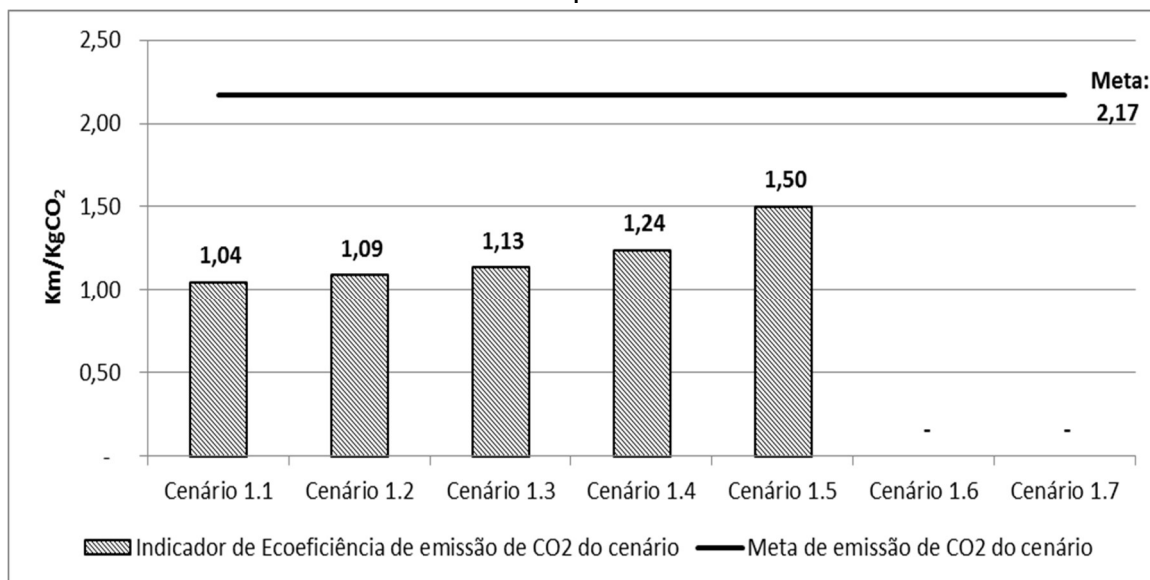
Figura 22 - Resultados dos indicadores de emissões de MP do Agrupamento 1



São apresentados na Figura 23 os resultados referentes às emissões de CO₂, de forma que os Cenários 1.1 a 1.5 não atingiram a meta de emissão estipulada, obtendo indicadores de emissões menores que os indicadores da meta. O Cenário 1.1 foi responsável pelo pior resultado de indicador, uma vez que os fatores de emissão dos dieses S500 e S10 são os maiores e toda a frota é abastecida com estes combustíveis. A mistura do diesel S500 com o biodiesel B20 apresentou resultados melhores em comparação ao Cenário 1.1, uma vez que o fator de emissão de CO₂ do biodiesel B20 é menor em comparação aos tipos de diesel S500 e S10. De forma análoga ao biodiesel B20, o uso do diesel de cana de açúcar AMD30 também possui um fator de emissão menor que o diesel S500, entretanto o consumo de combustível do Cenário 1.4 foi menor em comparação ao Cenário 1.1 devido consumo de diesel de cana de açúcar AMD30 pelos ônibus ser menor em comparação ao diesel S500, contribuindo para o aumento no indicador de emissão. Os Cenários 1.6 e 1.7 não apresentaram indicadores, dado que suas emissões são compensadas pelo

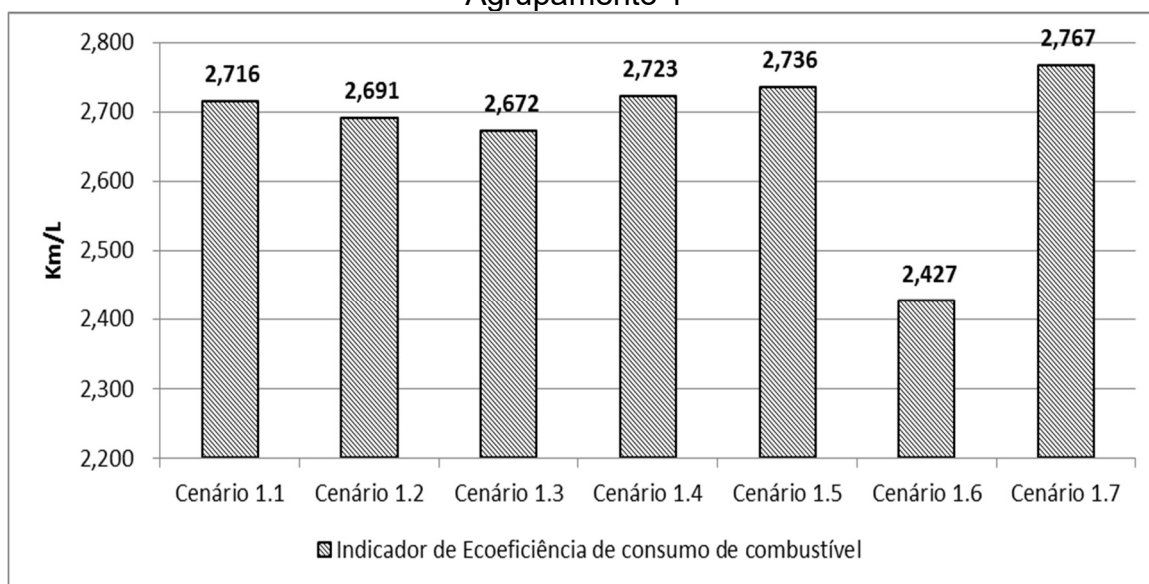
plantio das matérias primas utilizadas nas produções do biodiesel e diesel de cana de açúcar.

Figura 23 – Resultados dos indicadores de emissões de CO₂ do Agrupamento 1



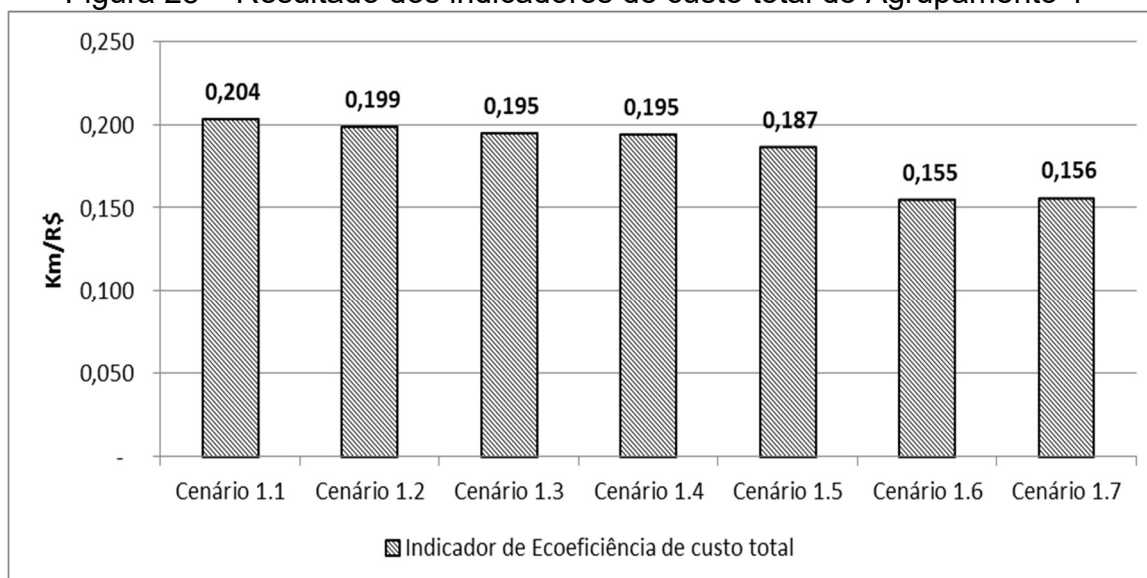
Os resultados referentes aos consumos de combustíveis são apresentados na Figura 24. O pior resultado foi encontrado no Cenário 1.6, dado o biodiesel B100 possuir o maior consumo dentre os combustíveis utilizados. O uso do biodiesel B20 (Cenários 1.2 e 1.3) também apresentou indicadores ruins, dado os tipos de biodiesel B20 e B100 serem responsáveis pelo aumento do consumo em comparação com os dieses S500 e S10. O melhor valor de indicador está no Cenário 1.7, pois o diesel de cana de açúcar AMD100 apresenta os menores valores de consumo para os modelos de ônibus utilizados pela CETURB. O uso do diesel de cana de açúcar AMD30 (Cenários 1.4 e 1.5) apresentou indicadores melhores em comparação aos dieses S500 e S10, além dos biodieseis B20 e B100, fato explicado pelo o consumo de combustível o ser menor dentre esses combustíveis.

Figura 24 – Resultados dos indicadores de consumo de combustível do Agrupamento 1



São apresentados na Figura 25 os resultados referentes ao indicador de custo total. Percebe-se que o Cenário 1.1 apresentou o melhor resultado, uma vez que os tipos de diesel S500 e S10 são os combustíveis utilizados pela a frota no cenário atual, sem acrescentar nenhum tipo de aumento nos custos. O pior resultado foi encontrado no Cenário 1.6, dado o alto valor de aquisição do biodiesel B100 por sua falta de estrutura tanto na produção quanto na distribuição, além do aumento no valor da manutenção. O Cenário 1.7 apresenta o segundo pior resultado ocasionado pelo fato do diesel de cana de açúcar AMD100 também não ser produzido em larga escala, dificultado sua distribuição e, por conseguinte, um preço competitivo com os demais combustíveis. Por fim, não houve custo de renovação de frota uma vez que o Agrupamento 1 considera apenas a frota já existente na empresa.

Figura 25 – Resultado dos indicadores de custo total do Agrupamento 1



Em geral, nenhum dos cenários propostos no Agrupamento 1 conseguiu atingir as metas para todos os poluentes atmosféricos e material particulado considerados. Esse fato evidência a necessidade da renovação da frota atual, dado que 44% da frota total de ônibus têm idade média de uso maior que sete anos e os fatores de emissões dessa parcela da frota serem consideravelmente superiores àqueles adquiridos em 2014.

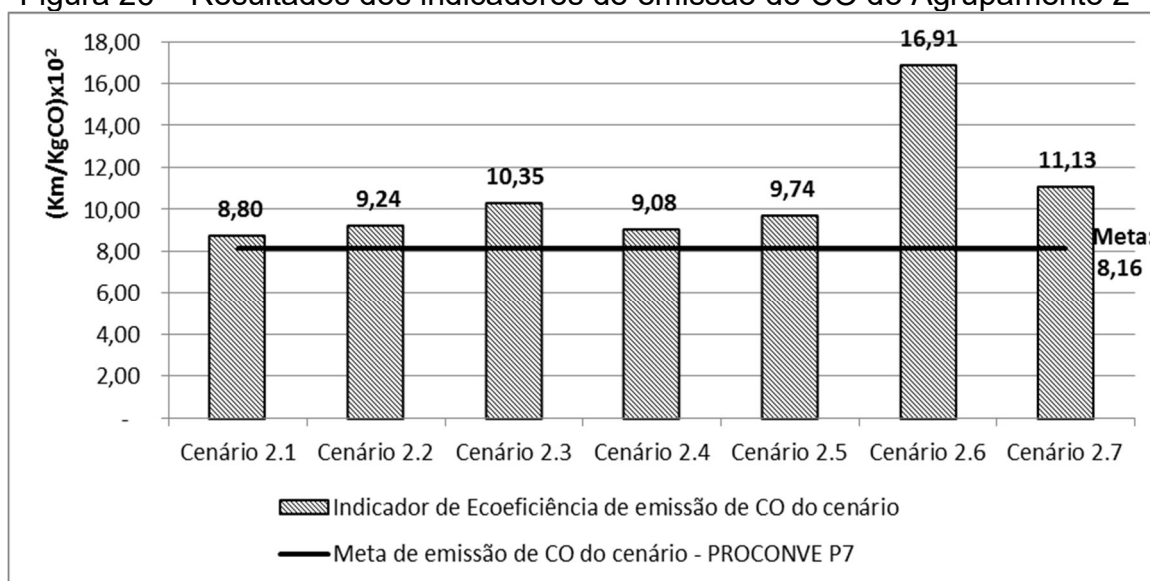
6.2 Agrupamento 2

No Agrupamento 2, 25% da frota de ônibus foi substituída por modelos mais modernos. Além disso, os cenários criados buscaram a variação dos combustíveis de forma a avaliar o impacto da geração de poluentes atmosféricos e material particulado.

São apresentados na Figura 26 os resultados referentes às emissões de CO. Todos os cenários conseguiram atingir a meta de emissão estabelecida, de forma que todos os indicadores de emissões são maiores que o indicador da meta. O melhor resultado foi encontrado no Cenário 2.6, uma vez que o fator de emissão médio de CO do biodiesel B100 referentes às fases P4 a P7 é o segundo menor dentre os combustíveis utilizados (perdendo apenas para o diesel S10), além de seu uso ser em toda a frota. Apesar de ter o menor valor

médio de emissão, o diesel S10 não apresentou vantagem devido seu uso restrito em apenas 25% frota, referente à parcela que foi renovada.

Figura 26 – Resultados dos indicadores de emissão de CO do Agrupamento 2



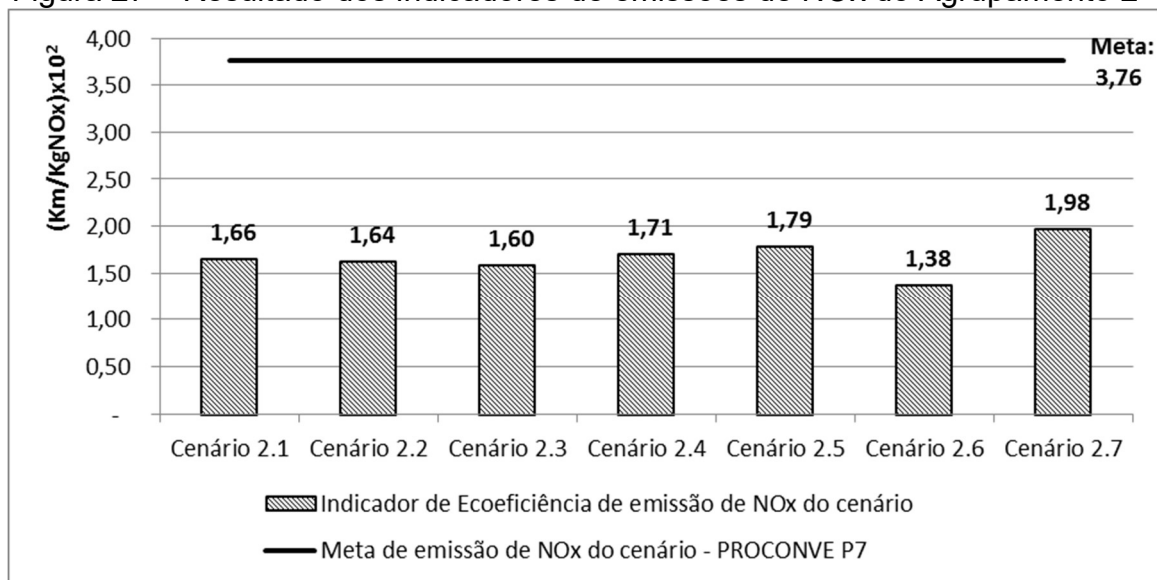
O uso do diesel S10 nos 25% da frota que foram renovadas no Cenário 2.2 não apresentou vantagem em relação ao uso do biodiesel B20 em 100% da frota no Cenário 2.3. Isso se dá devido o fator de emissão de CO referente à fase P7 do Programa PROCONVE do biodiesel B20 ser menor que o mesmo fator do diesel S10. Dessa forma, espera-se que o indicador de emissão de CO do Cenário 2.3 seja maior em relação ao Cenário 2.2. A mesma análise pode ser feita para os Cenários 2.4 e 2.5 referente ao uso do diesel de cana de açúcar AMD30 em 100% da frota (Cenário 2.5), o qual também apresentou aumento no indicador de emissão de CO em relação ao Cenário 2.4.

O pior resultado foi encontrado no Cenário 2.1 (75% da frota abastecida com diesel 500 e 25% com diesel S10), pois o diesel S500 possui o pior valor médio de emissão de CO referente às fases P4 a P7 do Programa PROCONVE dentre todos os combustíveis.

Os resultados referentes às emissões de NOx são apresentados na Figura 27. Nenhum dos cenários do Agrupamento 2 conseguiu atingir a meta de emissão de NOx, resultando em valores de indicadores de emissão menores que o indicador da meta. Os piores resultados foram encontrados nos Cenários 2.3 e 2.6, nos quais foram utilizados o biodiesel B20 e B100, respectivamente. Tais resultados são devidos os fatores de emissões médios dos biodieseis B20 e

B100 referente às fases P4 a P7 serem os maiores dentre os demais combustíveis analisados, além de tais combustíveis serem utilizados em toda a frota.

Figura 27 – Resultado dos indicadores de emissões de NOx do Agrupamento 2



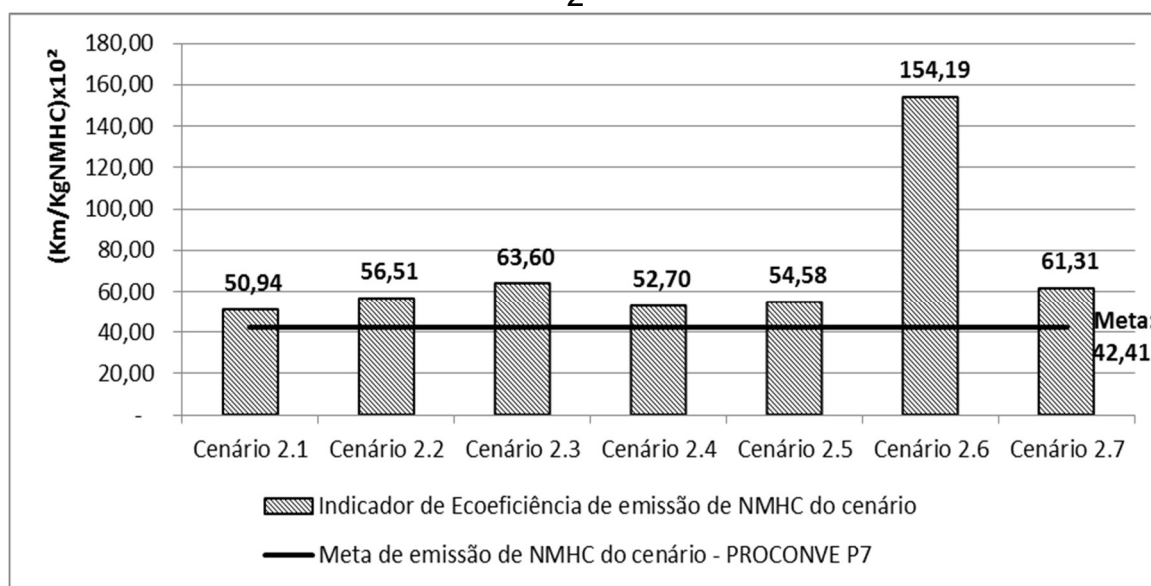
O uso do diesel S10 nos 25% da frota que foram renovadas no Cenário 2.4 não apresentou vantagem em relação ao uso do diesel de cana de açúcar AMD30 em 100% da frota no Cenário 2.5. Isso se dá devido o fator de emissão de NOx referente à fase P7 do Programa PROVONVE do diesel de cana de açúcar AMD30 ser menor que o mesmo fator do diesel S10. Dessa forma, espera-se indicador de emissão do Cenário 2.5 seja maior em relação ao Cenário 2.4. Para os Cenários 2.2 e 2.3 o resultado encontrado foi o contrário, uma vez que os fatores de emissão de NOx referente à todas as fases do biodiesel B20 são maiores em relação aos fatores dos tipos de diesel S10 e S500.

O cenário com o melhor indicador de emissão de NOx foi o 2.7, dado ao fato do diesel de cana de açúcar AMD100 apresentar o segundo menor fator de emissão médio de NOx referente às fases P4 a P7 do Programa PROCONVE dentre todos os combustíveis, perdendo apenas para o diesel S10. O motivo pelo qual o diesel S10 não apresentar resultados melhores que o diesel de cana de açúcar AMD100 é o seu uso restrito na parcela da frota que foi renovada, ou seja, 25% do total de ônibus.

São apresentados na Figura 28 os resultados referentes às emissões de NMHC. Todos os cenários conseguiram atingir a meta de emissão estabelecida, de

forma que todos os indicadores de emissões são maiores que os indicadores da meta. O melhor resultado foi encontrado no Cenário 2.6, uma vez que o biodiesel B100 apresenta o segundo menor fator de emissão médio de NMHC referente às fases P4 a P7 do Programa PROCONVE dentre os combustíveis analisados, além de seu uso ser em 100% da frota. Mesmo o diesel S10 possuindo o menor valor de fator de emissão médio, seu uso é restrito aos 25% da frota que foram renovados e assim, sua vantagem perante o biodiesel B100 ficou comprometida.

Figura 28 – Resultado dos indicadores de emissões de NMHC do Agrupamento 2

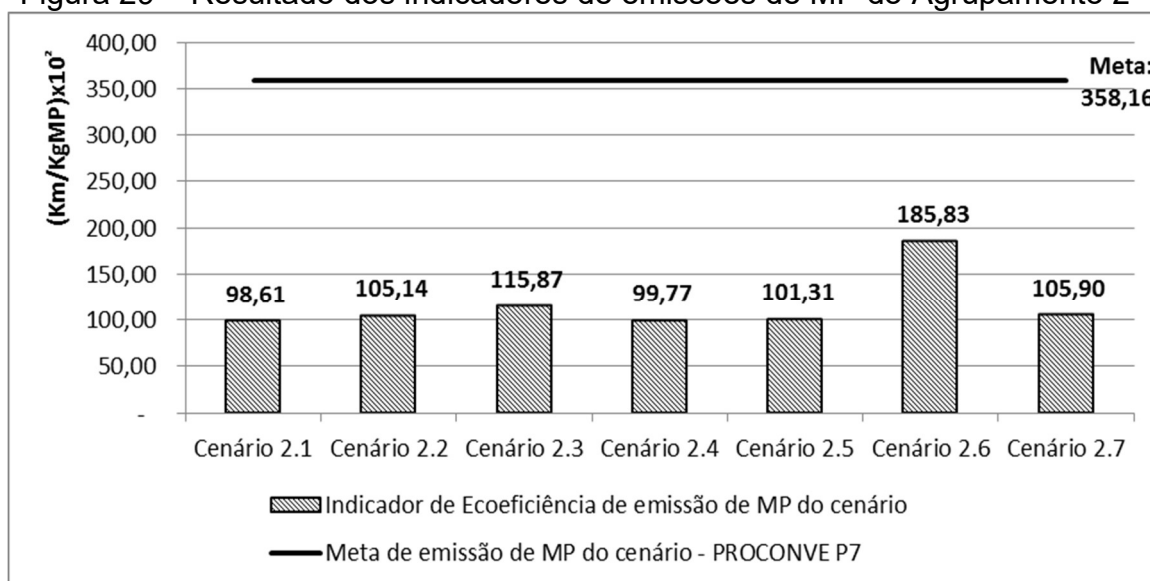


O uso do diesel S10 nos 25% da frota que foram renovadas no Cenário 2.2 não apresentou vantagem em relação ao uso do biodiesel B20 em 100% da frota no Cenário 2.3. Isso se dá devido o fator de emissão de NMHC referente à fase P7 do Programa PROCONVE do biodiesel B20 ser menor que o mesmo fator do diesel S10. Dessa forma, espera-se indicador de emissão do Cenário 2.3 seja maior em relação ao Cenário 2.2. A mesma análise pode ser feita para os Cenários 2.4 e 2.5 referente ao uso do diesel de cana de açúcar AMD30 em 100% da frota (Cenário 2.5), o qual também apresentou aumento no indicador de emissão de NMHC em relação ao Cenário 2.4.

O cenário que apresentou o menor indicador de emissão foi o Cenário 2.1, dado que neste cenário 75% da frota foi abastecida com diesel S500, o qual apresenta o pior fator de emissão médio de NMHC referente às fases P4 a P7 dentre os combustíveis analisados.

Os resultados referentes às emissões de MP são apresentados na Figura 29. Nenhum dos cenários do Agrupamento 2 conseguiu atingir a meta de emissão de MP, resultando em valores de indicadores de emissão menores que o indicador da meta. O pior resultado foi encontrado no Cenário 2.1, dado o diesel S500 possuir o maior fator de emissão médio de MP referente às fases P4 a P7 do Programa PROCONVE dentre os combustíveis utilizados. Mesmo com o uso do diesel S10 em 25% da frota e esse diesel possuir o menor fator de emissão médio referente às fases P4 e P7 dentre os combustíveis, seu baixo uso no cenário não conseguiu fazer com que o Cenário 2.1 atingisse a meta. O segundo pior resultado pertence ao Cenário 2.4, no qual 25% da frota utilizou o diesel de cana de açúcar AMD30, 50% utilizou diesel S500 e 25% utilizou diesel S10, resultado explicado pelo uso dos dois combustíveis com o primeiro e segundo (AMD30) piores fatores de emissões médios de MP dentre os combustíveis estudados.

Figura 29 – Resultado dos indicadores de emissões de MP do Agrupamento 2

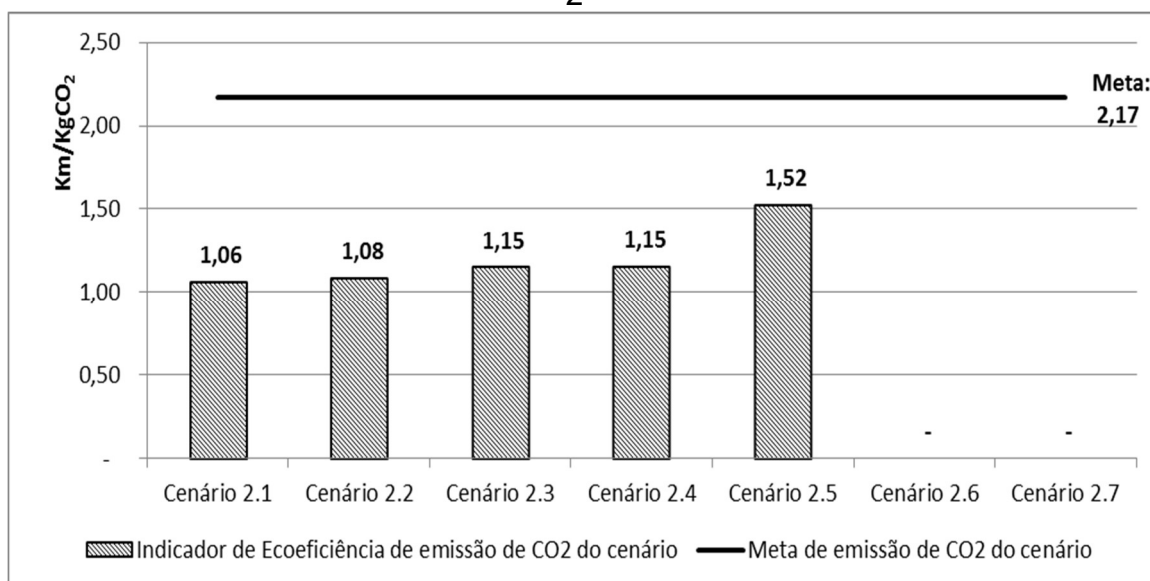


O uso do diesel S10 nos 25% da frota que foram renovadas no Cenário 2.4 não apresentou vantagem em relação ao uso do diesel de cana de açúcar AMD30 em 100% da frota no Cenário 2.5. Isso se dá devido o fator de emissão de MP referente à fase P7 do Programa PROCONVE do diesel de cana de açúcar AMD30 ser menor que o mesmo fator do diesel S10. Dessa forma, espera-se indicador de emissão do Cenário 2.5 seja maior em relação ao Cenário 2.4. A mesma análise pode ser feita para os Cenários 2.2 e 2.3 referente ao uso do biodiesel B20 em 100% da frota (Cenário 2.3), o qual também apresentou

aumento no indicador de emissão de MP em relação ao Cenário 2.2. O Cenário 2.6 apresentou a menor emissão de MP, pois o fator de emissão médio do biodiesel B100 referente às fases P4 e P7 é o segundo menor dentre os demais combustíveis, além de tal combustível foi utilizado em toda a frota.

São apresentados na Figura 30 os resultados referentes às emissões de CO₂, de forma que os Cenários 2.1 a 2.5 não atingiram a meta de emissão estipulada, obtendo indicadores de emissões menores que os indicadores da meta. O Cenário 2.1 foi responsável pelo pior resultado de indicador, uma vez que os fatores de emissão dos dieses S500 e S10 são os maiores e toda a frota é abastecida com estes combustíveis. A mistura do diesel S500 com o biodiesel B20 apresentou resultados melhores em comparação ao Cenário 2.1, uma vez que o fator de emissão de CO₂ do biodiesel B20 é menor em comparação aos tipos de diesel S500 e S10. De forma análoga ao biodiesel B20, o uso do diesel de cana de açúcar AMD30 também possui um fator de emissão menor que o diesel S500, entretanto o consumo de combustível do Cenário 2.4 foi menor em comparação ao Cenário 2.1 devido consumo de diesel de cana de açúcar AMD30 pelos ônibus ser menor em comparação ao diesel S500, contribuindo para o aumento no indicador de emissão. Os Cenários 2.6 e 2.7 não apresentaram indicadores, dado que suas emissões são compensadas pelo plantio das matérias primas utilizadas nas produções do biodiesel e diesel de cana de açúcar.

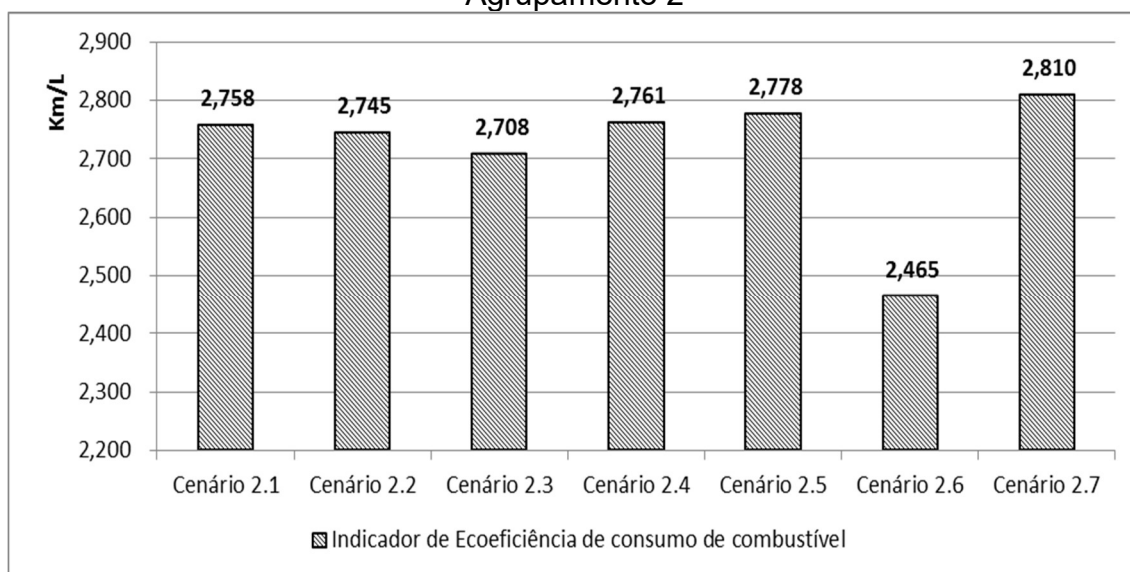
Figura 30 – Resultados dos indicadores de emissões de CO₂ do Agrupamento 2



Os resultados referentes aos consumos de combustíveis são apresentados na Figura 31. O pior resultado foi encontrado no Cenário 2.6, dado o biodiesel B100 possuir o maior consumo dentre os combustíveis utilizados. O uso do biodiesel B20 (Cenários 2.2 e 2.3) também apresentou indicadores ruins, dado que os tipos de biodiesel B20 e B100 possuem piores rendimentos no consumo em comparação com os dieses S500 e S10.

O melhor indicador foi encontrado no Cenário 2.7, pois o diesel de cana de açúcar AMD100 apresenta os menores valores de consumo para os modelos de ônibus utilizados pela CETURB. O uso do diesel de cana de açúcar AMD30 (Cenários 2.4 e 2.5) apresentou bons indicadores em comparação aos dieses S500 e S10 e dos biodieseis B20 e B100, fato explicado pelo o consumo de combustível ser o menor dentre esses combustíveis.

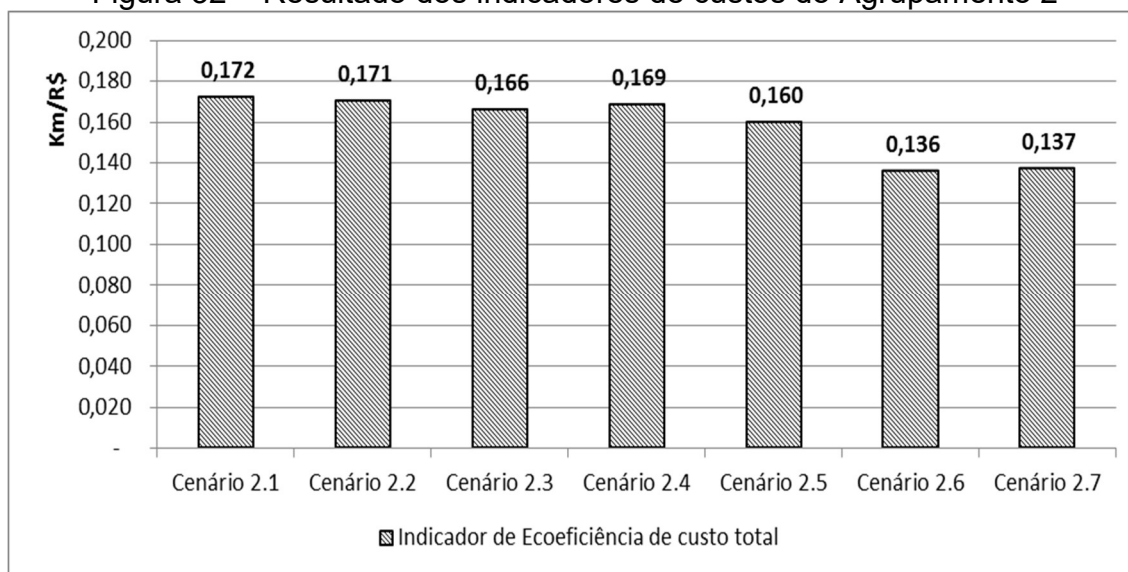
Figura 31 – Resultado dos indicadores de consumo de combustível do Agrupamento 2



São apresentados na Figura 32 os resultados referentes ao indicador de custo total. Percebe-se que o Cenário 2.1 apresentou o melhor resultado, uma vez que os tipos de diesel S500 e S10 são os combustíveis utilizados pela a frota no cenário atual. O pior resultado foi encontrado no Cenário 2.6, dado o alto valor de aquisição do biodiesel B100 por sua falta de estrutura tanto na produção quanto na distribuição, além do aumento no valor da manutenção.

O Cenário 2.7 apresenta o segundo pior resultado ocasionado pelo fato do diesel de cana de açúcar AMD100 também não ser produzido em larga escala, dificultado sua distribuição e, por conseguinte, um preço competitivo com os demais combustíveis. Por fim, todos os cenários apresentaram aumento no custo dado a primeira etapa de renovação da frota, na qual foram adquiridos 344 ônibus.

Figura 32 – Resultado dos indicadores de custos do Agrupamento 2



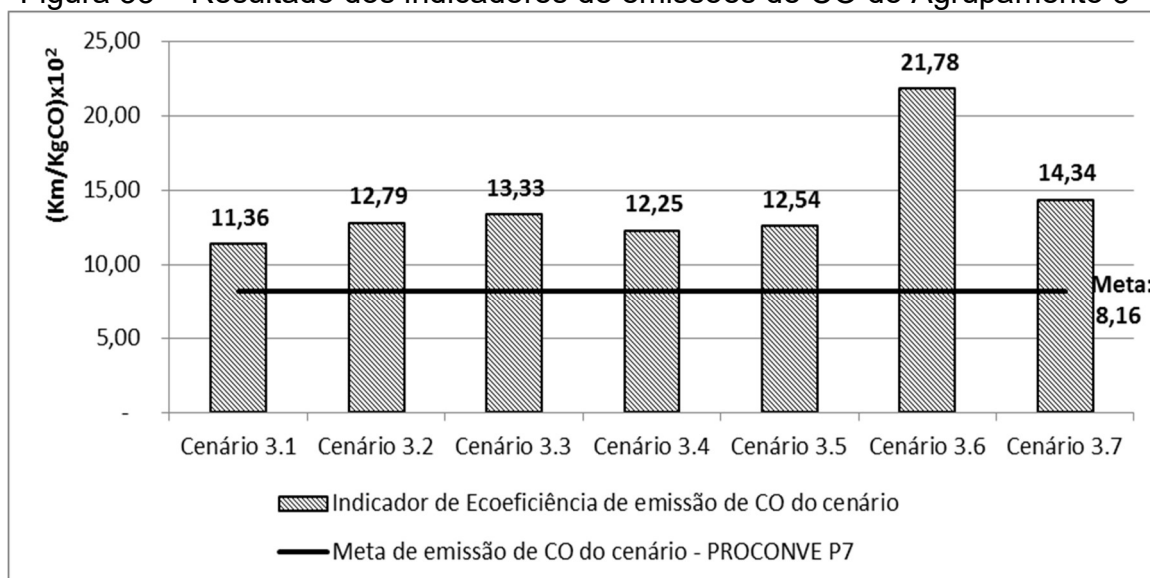
Apesar de todos os cenários possuírem indicadores de emissões de CO e NMHC maiores que os indicadores das metas, nenhum dos cenários conseguiu atingir as metas para todos os poluentes atmosféricos e material particulado. Dessa forma, o mix de combustíveis não é o suficiente para resolver o problema das emissões e a renovação de mais uma parte frota de ônibus faz-se necessária.

6.3 Agrupamento 3

No Agrupamento 3, 50% da frota (862 ônibus) foi substituída por modelos mais modernos. Além disso, os cenários criados buscaram a variação dos combustíveis de forma a avaliar o impacto da geração de poluentes atmosféricos.

São apresentados na Figura 33 os resultados referentes às emissões de CO. Todos os cenários conseguiram atingir a meta de emissão estabelecida, de forma que todos os indicadores de emissões são maiores que o indicador da meta. O melhor resultado foi encontrado no Cenário 3.6, uma vez que o fator de emissão médio de CO do biodiesel B100 referentes às fases P4 a P7 é o segundo menor dentre os combustíveis utilizados (perdendo apenas para o diesel S10), além de seu uso ser em toda a frota. Apesar de ter o menor valor médio de emissão, o diesel S10 não apresentou vantagem devido seu uso em apenas 50% frota, referente à parcela que foi renovada.

Figura 33 – Resultado dos indicadores de emissões de CO do Agrupamento 3

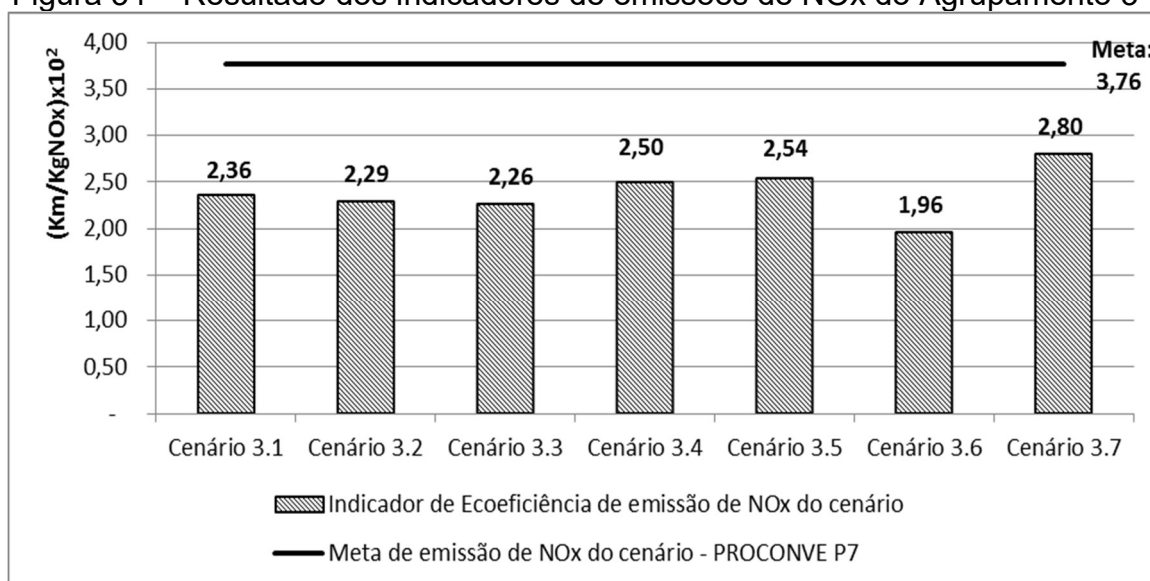


O uso do diesel S10 em metade da frota no Cenário 3.2 não apresentou vantagem em comparação ao uso do biodiesel B20 em toda a frota no Cenário 3.3. O fator de emissão do CO referente a fase P7 do biodiesel B20 é menor em comparação ao mesmo fator do diesel S10 e no Cenário 3.3, todos os ônibus do modelo Euro V (os 50% abastecidos com S10 no Cenário 3.2) foram abastecidos com o B20, reduzindo assim às emissões geradas por essa parte da frota, impactando diretamente o valor das emissões totais. A mesma análise pode ser feita para os Cenários 3.4 (50% da frota foi abastecida com diesel de cana de açúcar AMD30 e 50% foi abastecida com diesel S10) e 3.5 (100% da frota foi abastecida com diesel de cana de açúcar AMD30). O pior resultado foi encontrado no Cenário 3.1 (50% da frota abastecida com diesel 500 e 50% com diesel S10), pois o diesel S500 possui o pior fator de emissão médio de CO referente às fases P4 a P7 do Programa PROCONVE dentre todos os combustíveis.

Os resultados referentes às emissões de NOx são apresentados na Figura 34. Nenhum dos cenários do Agrupamento 3 conseguiu atingir a meta de emissão de NOx, resultando em valores de indicadores de emissão menores que o indicador da meta. Os piores resultados foram encontrados nos Cenários 3.3 e 3.6, nos quais foram utilizados o biodiesel B20 e B100, respectivamente. Tais resultados são devidos os fatores de emissões médios dos biodieseis B20 e B100 referente às fases P4 a P7 serem os maiores dentre os demais

combustíveis analisados, além de tais combustíveis serem utilizados em toda a frota.

Figura 34 – Resultado dos indicadores de emissões de NOx do Agrupamento 3



O uso do diesel S10 em metade da frota no Cenário 3.4 não apresentou vantagem em comparação ao uso do diesel de cana de açúcar AMD30 em toda a frota no Cenário 3.5. Isso se dá pelo fato de que o fator de emissão do NOx referente a fase P7 do diesel de cana de açúcar AMD30 é menor em comparação ao mesmo fator do diesel S10 e no Cenário 3.4, além de todos os ônibus do modelo Euro V (os 50% abastecidos com S10 no Cenário 3.4) foram abastecidos com o AMD30, reduzindo assim às emissões geradas por essa parte da frota, impactando diretamente o valor das emissões totais.

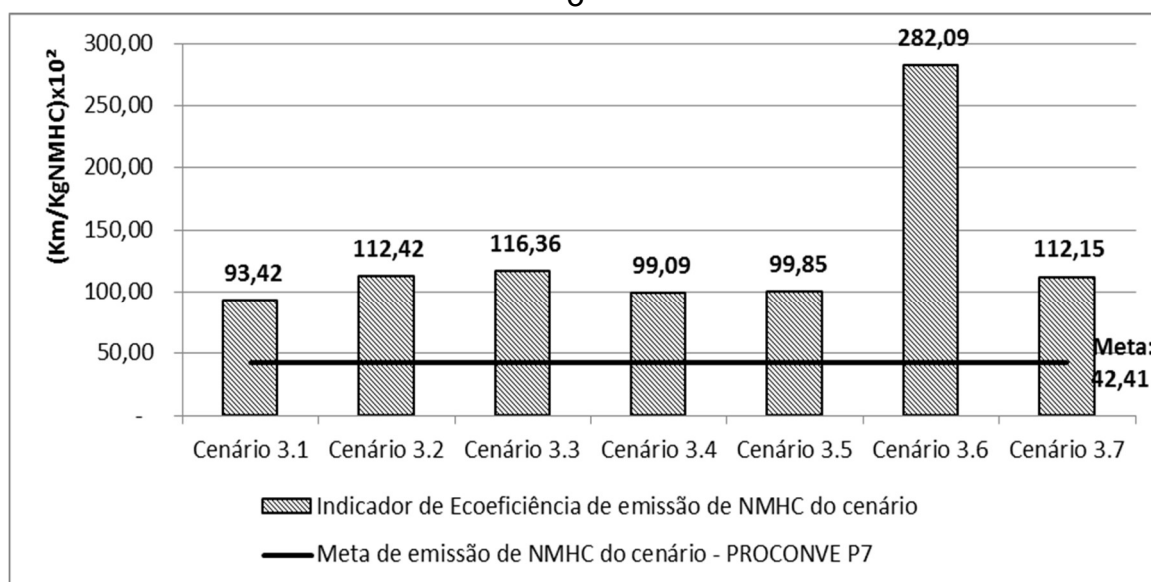
O mesmo não pode ser dito sobre o uso do biodiesel B20 nos Cenários 3.2 e 3.3, pois o fator de emissão de NOx referente a fase P7 de tal combustível é maior em comparação ao diesel S10. Dessa forma, o indicador de emissão do Cenário 3.2 (50% da frota foi abastecida com S10 e 50% foi abastecida com biodiesel B20) foi maior em relação Cenário 3.3, no qual toda a frota foi abastecida com o biodiesel B20.

O cenário com o melhor indicador de emissão foi o 3.7, dado ao fato do diesel de cana de açúcar AMD100 apresentar o segundo menor fator de emissão médio de NOx referente às fases P4 a P7 do Programa PROCONVE dentre todos os combustíveis, perdendo apenas para o diesel S10. O motivo pelo qual o diesel S10 não apresentar resultados melhores que o diesel de cana de açúcar

AMD100 é o seu uso restrito na parcela da frota que foi renovada, ou seja, 50% do total de ônibus.

São apresentados na Figura 35 os resultados referentes às emissões de NMHC. Todos os cenários conseguiram atingir a meta de emissão estabelecida, de forma que todos os indicadores de emissões são maiores que o indicador da meta. O melhor resultado foi encontrado no Cenário 3.6, uma vez que o biodiesel B100 apresenta o segundo menor fator de emissão médio de NMHC referente às fases P4 a P7 do Programa PROCONVE dentre os combustíveis analisados, além de seu uso ser em 100% da frota. Mesmo o diesel S10 possuindo o menor valor médio de fator de emissão, seu uso é restrito aos 50% da frota que foram renovados e assim, sua vantagem perante o biodiesel B100 ficou comprometida.

Figura 35 – Resultado dos indicadores de emissões de NMHC do Agrupamento 3



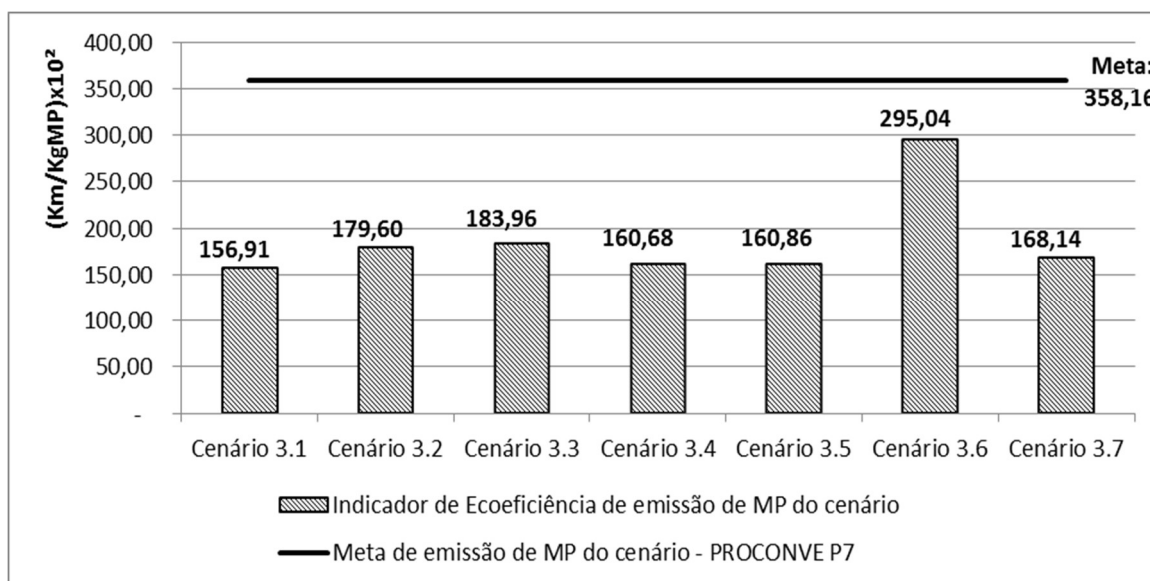
O uso do diesel S10 em metade da frota no Cenário 3.2 não apresentou vantagem em comparação ao uso do biodiesel B20 em toda a frota no Cenário 3.3, por conta do fator de emissão do NMHC referente a fase P7 do biodiesel B20 ser menor em comparação ao mesmo fator do diesel S10 e no Cenário 3.3, todos os ônibus do modelo Euro V (os 50% abastecidos com S10 no Cenário 3.2) foram abastecidos com o B20, reduzindo assim às emissões geradas por essa parte da frota, impactando diretamente o valor das emissões totais. A mesma análise pode ser feita para os Cenários 3.4 (50% da frota foi abastecida com diesel de cana de açúcar AMD30 e 50% foi abastecida com diesel S10) e 3.5 (100% da frota foi abastecida com diesel de cana de açúcar AMD30).

O cenário que apresentou o pior indicador de emissão foi o Cenário 3.1, dado que neste cenário 50% da frota foi abastecida com diesel S500, o qual apresenta o pior fator de emissão médio de NMHC referente às fases P4 a P7 dentre os combustíveis analisados.

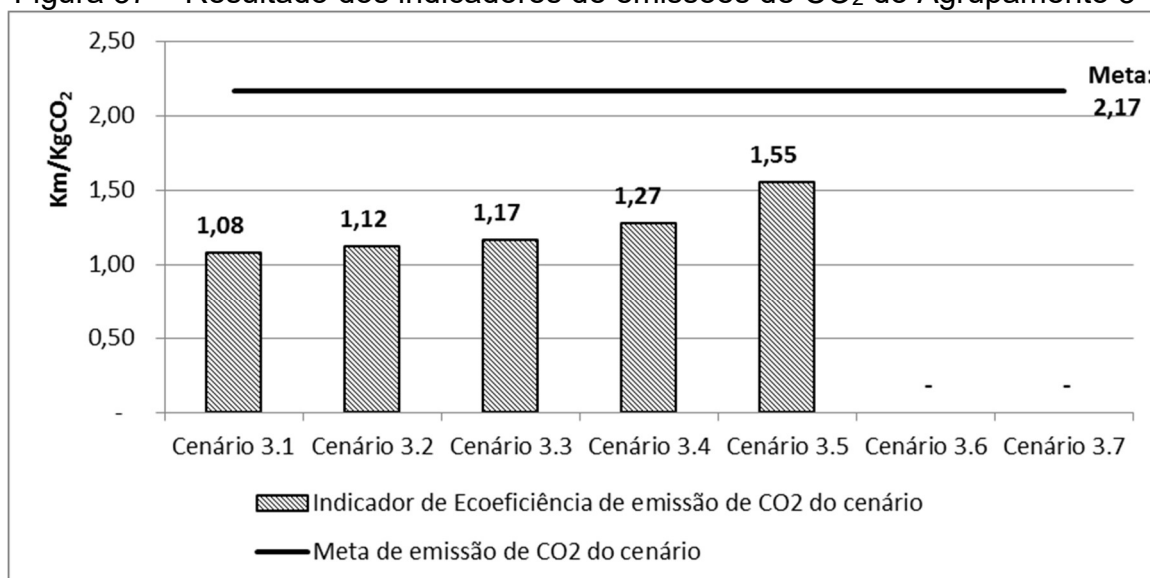
Os resultados referentes às emissões de MP são apresentados na Figura 36. Nenhum dos cenários do Agrupamento 3 conseguiu atingir a meta de emissão de MP, resultando em valores de indicadores de emissão menores que o indicador da meta. O pior resultado foi encontrado no Cenário 3.1, dado o diesel S500 possuir o maior fator de emissão médio de MP referente às fases P4 a P7 do Programa PROCONVE dentre os combustíveis utilizados. Mesmo com o uso do diesel S10 em 50% da frota e esse diesel possuir o menor fator de emissão médio referente às fases P4 e P7 dentre os combustíveis, seu uso em 50% da frota não conseguir fazer com que o Cenário 3.1 atingisse a meta. O segundo pior resultado pertence ao Cenário 3.4, no qual 50% da frota utilizou o diesel de cana de açúcar AMD30 e 50% utilizou diesel S10, resultado explicado pelo diesel de cana de açúcar AMD30 possuir o segundo pior fator de emissão médio de MP dentre os combustíveis estudados.

O uso do diesel S10 em metade da frota no Cenário 3.4 não apresentou vantagem em comparação ao uso do diesel de cana de açúcar AMD30 em toda a frota no Cenário 3.5. Tal fato pode ser explicado devido o fator de emissão do MP referente à fase P7 do diesel de cana de açúcar AMD30 ser menor em comparação ao mesmo fator do diesel S10 e no Cenário 3.4, todos os ônibus do modelo Euro V (os 50% abastecidos com S10 no Cenário 3.4) foram abastecidos com o AMD30, reduzindo assim às emissões geradas por essa parte da frota, impactando diretamente o valor das emissões totais. A mesma análise pode ser feita para os Cenários 3.2 (50% da frota foi abastecida com biodiesel B20 e 50% foi abastecida com diesel S10) e 3.3 (100% da frota foi abastecida com biodiesel B20). O Cenário 3.6 apresentou a menor emissão de MP, pois o fator de emissão médio do biodiesel B100 referente às fases P4 e P7 é o segundo menor dentre os demais combustíveis, além de tal combustível foi utilizado em toda a frota.

Figura 36 – Resultado dos indicadores de emissões de MP do Agrupamento 3



São apresentados na Figura 37 os resultados referentes às emissões de CO₂, de forma que os Cenários 3.1 a 3.5 não atingiram a meta de emissão estipulada, obtendo indicadores de emissões menores que os indicadores da meta. O Cenário 3.1 foi responsável pelo pior resultado de indicador, uma vez que os fatores de emissão dos dieses S500 e S10 são os maiores e toda a frota é abastecida com estes combustíveis. A mistura do diesel S500 com o biodiesel B20 apresentou resultados melhores em comparação ao Cenário 3.1, uma vez que o fator de emissão de CO₂ do biodiesel B20 é menor em comparação aos tipos de diesel S500 e S10. De forma análoga ao biodiesel B20, o uso do diesel de cana de açúcar AMD30 também possui um fator de emissão menor que o diesel S500, entretanto o consumo de combustível do Cenário 3.4 foi menor em comparação ao Cenário 3.1 devido consumo de diesel de cana de açúcar AMD30 pelos ônibus ser menor em comparação ao diesel S500, contribuindo para o aumento no indicador de emissão. Os Cenários 3.6 e 3.7 não apresentaram indicadores, dado que suas emissões são compensadas pelo plantio das matérias primas utilizadas nas produções do biodiesel e diesel de cana de açúcar.

Figura 37 – Resultado dos indicadores de emissões de CO₂ do Agrupamento 3

Os resultados referentes aos consumos de combustíveis são apresentados na Figura 38. O pior resultado foi encontrado no Cenário 3.6, dado o biodiesel B100 possuir o maior consumo dentre os combustíveis utilizados. O uso do biodiesel B20 (Cenários 3.2 e 3.3) também apresentou indicadores ruins, dado que os tipos de biodiesel B20 e B100 possuem piores rendimentos no consumo em comparação com os dieses S500 e S10. O melhor indicador foi encontrado no Cenário 3.7, pois o diesel de cana de açúcar AMD100 apresenta os menores valores de consumo para os modelos de ônibus utilizados pela CETURB. O uso do diesel de cana de açúcar AMD30 (Cenários 3.4 e 3.5) apresentou bons indicadores em comparação aos dieses S500 e S10 e dos biodieseis B20 e B100, fato explicado pelo o consumo de combustível ser menor dentre esses combustíveis.

São apresentados na Figura 39 os resultados referentes ao indicador de custo total. Percebe-se que o Cenário 3.1 apresentou o melhor resultado, uma vez que os tipos de diesel S500 e S10 são os combustíveis utilizados pela a frota no cenário atual. O pior resultado foi encontrado no Cenário 3.6, dado o alto valor de aquisição do biodiesel B100 por sua falta de estrutura tanto na produção quanto na distribuição, além do aumento no valor da manutenção. O Cenário 3.7 apresenta o segundo pior resultado ocasionado pelo fato do diesel de cana de açúcar AMD100 também não ser produzido em larga escala, dificultado sua distribuição e, por conseguinte, um preço competitivo com os demais combustíveis. Por fim, todos os cenários apresentaram aumento no custo dado

a segunda etapa de renovação da frota, na qual foram mais adquiridos 431 ônibus.

Figura 38 – Resultado dos indicadores de consumo de combustível do Agrupamento 3

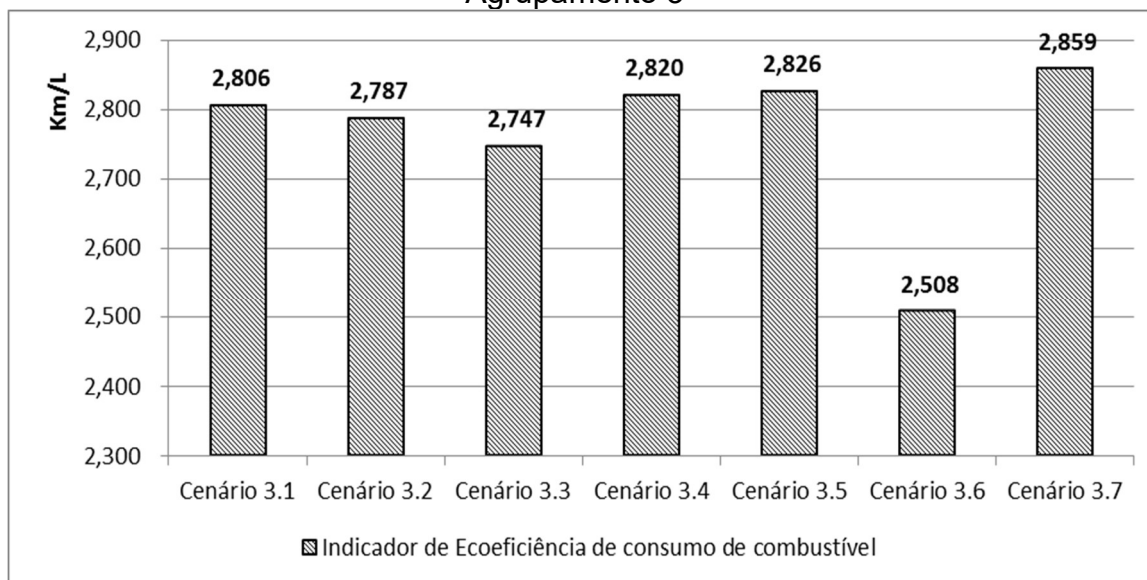
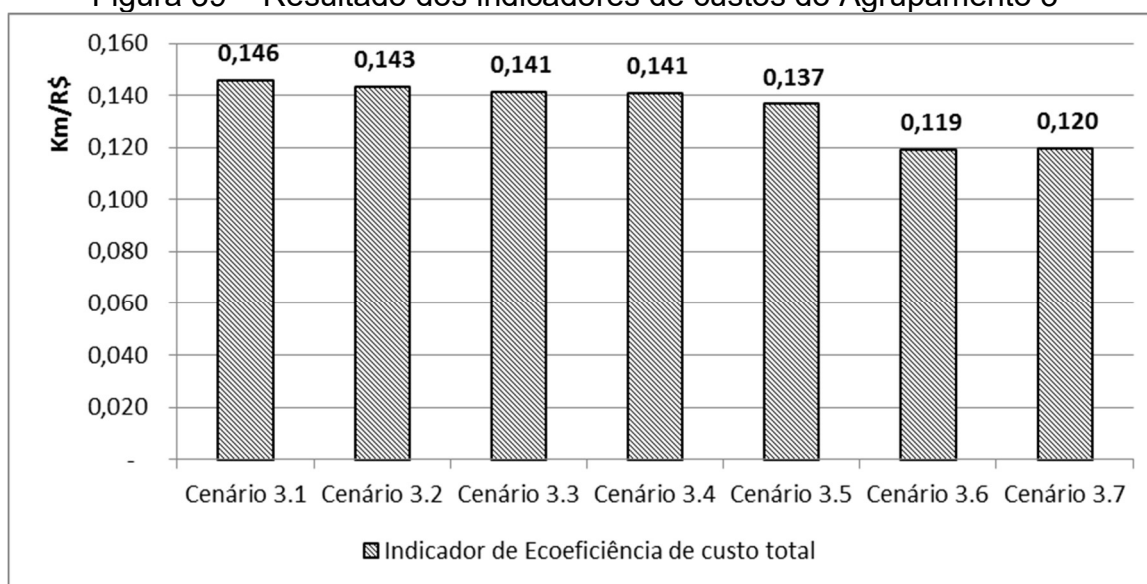


Figura 39 – Resultado dos indicadores de custos do Agrupamento 3



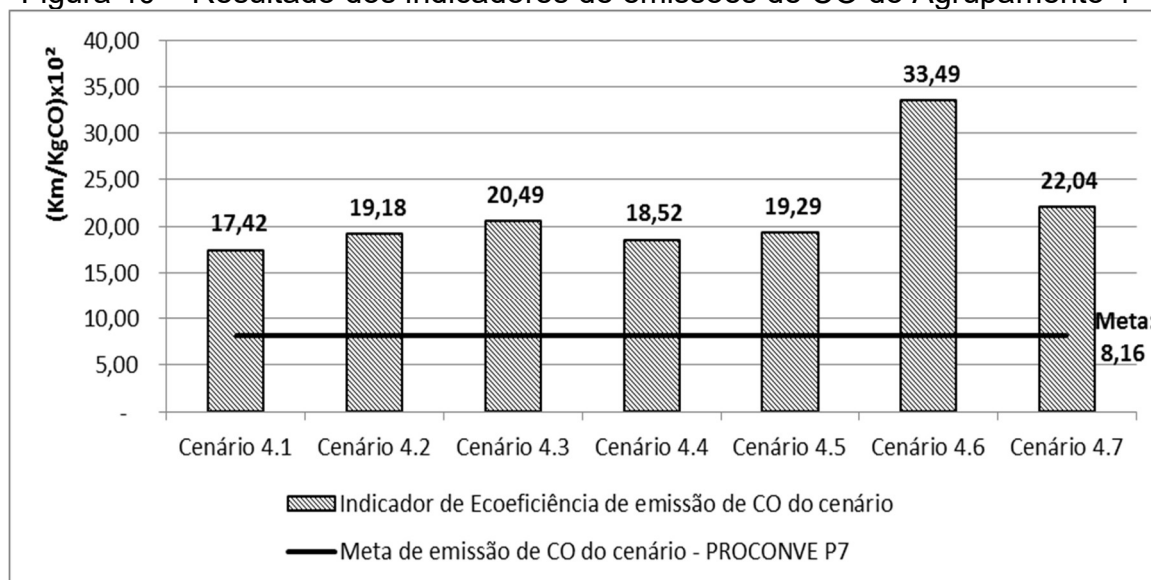
Apesar de todos os cenários possuírem indicadores de emissões de CO e NMHC maiores que os indicadores das metas, nenhum dos cenários conseguiu atingir as metas para todos os poluentes atmosféricos e material particulado. Dessa forma, o mix de combustíveis não é o suficiente para resolver o problema das emissões e a renovação de mais uma parte frota de ônibus faz-se necessária.

6.4 Agrupamento 4

No Agrupamento 4, 75% da frota de ônibus (1.293 veículos) foi substituída por modelos mais modernos. Além disso, os cenários criados buscaram a variação dos combustíveis de forma a avaliar o impacto da geração de poluentes atmosféricos.

São apresentados na Figura 40 os resultados referentes às emissões de CO. Todos os cenários conseguiram atingir a meta de emissão estabelecida, de forma que todos os indicadores de emissões são maiores que o indicador da meta. O melhor resultado foi encontrado no Cenário 4.6, uma vez que o fator de emissão médio de CO do biodiesel B100 referentes às fases P5 a P7 é o segundo menor dentre os combustíveis utilizados (perdendo apenas para o diesel S10), além de seu uso ser em toda a frota. Apesar de ter o menor valor médio de emissão, o diesel S10 não apresentou vantagem devido seu uso no Cenário 4.1 ser em conjunto com o diesel S500, o qual possui o pior fator de emissão médio dentre os combustíveis considerados.

Figura 40 – Resultado dos indicadores de emissões de CO do Agrupamento 4



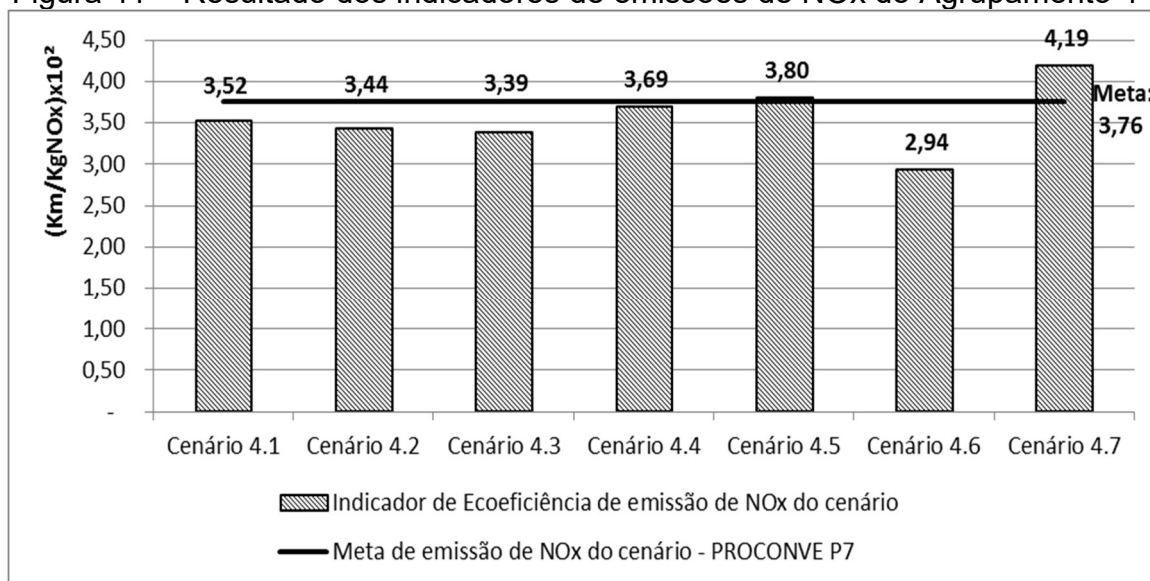
Mesmo com o uso do diesel S10 em conjunto com o biodiesel B20 no Cenário 4.2, tal cenário não apresentou vantagem em comparação ao uso do biodiesel B20 em toda a frota no Cenário 4.3. Isso pode ser explicado devido o fato de que no Cenário 4.3 foram utilizados em sua maioria ônibus da frota nova e o fator de emissão de CO referente à fase P7 do biodiesel B20 é menor em relação ao

diesel S10, justificando assim o aumento no valor do indicador de emissão. A mesma análise pode ser feita para os Cenários 4.4 e 4.5 no qual foi utilizado o mix de diesel de cana de açúcar AMD30 e diesel S10, ocasionando em aumento no indicador de emissão entre os cenários.

O pior resultado foi encontrado no Cenário 4.1 (25% da frota abastecida com diesel 500 e 75% com diesel S10), pois o diesel S500 possui o pior fator de emissão médio de CO referente às fases P5 a P7 do Programa PROCONVE dentre todos os combustíveis.

Os resultados referentes às emissões de NOx são apresentados na Figura 41. Apenas os Cenários 4.5 e 4.7 conseguiram atingir a meta de emissão estabelecida, de forma que os indicadores de emissões são maiores que o indicador da meta. Tal fato pode ser explicado devido ao fato que os tipos de diesel de cana de açúcar AMD30 e AMD100 apresentarem os segundo e terceiros menores fatores de emissão médio de NOx referente às fases P5 a P7 do Programa PROCONVE dentre todos os combustíveis, perdendo apenas para o diesel S10. Apesar de ter o menor valor médio de emissão, o diesel S10 não apresentou vantagem devido ao seu uso no Cenário 4.1 ser em conjunto com o diesel S500, o qual possui o pior fator de emissão médio dentre os combustíveis considerados.

Figura 41 – Resultado dos indicadores de emissões de NOx do Agrupamento 4

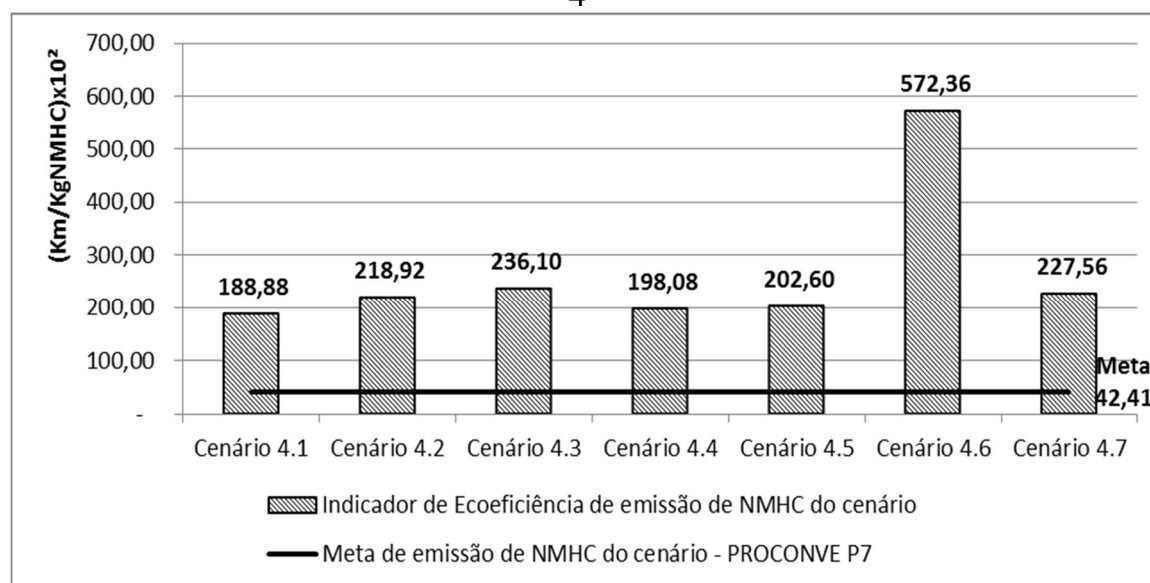


Mesmo com o uso do diesel S10 e diesel de cana de açúcar AMD30 no Cenário 4.4, o indicador de emissão foi inferior ao do Cenário 4.5, pois no Cenário 4.5 foi

utilizado em 100% da frota o diesel de cana de açúcar AMD30, além do fator de emissão de NOx referente a fase P7 do diesel de cana de açúcar AMD30 ser menor em relação ao diesel S10, justificando assim a diminuição o aumento no indicador de emissão. Os piores resultados foram encontrados nos Cenários 4.3 e 4.6, nos quais foram utilizados o biodiesel B20 e B100, respectivamente. Tais resultados são devidos os fatores de emissões médios dos biodieseis B20 e B100 referentes às fases P5 a P7 serem os maiores dentre os demais combustíveis analisados, além de tais combustíveis serem utilizados em toda a frota.

São apresentados na Figura 42 os resultados referentes às emissões de NMHC. Todos os cenários conseguiram atingir a meta de emissão estabelecida, de forma que todos os indicadores de emissões são maiores que o indicador da meta. O melhor resultado foi encontrado no Cenário 4.6, uma vez que o biodiesel B100 apresenta o segundo menor fator de emissão médio de NMHC referente às fases P5 a P7 do Programa PROCONVE dentre os combustíveis analisados, além de seu uso ser em 100% da frota. Apesar de ter o menor valor médio de emissão, o diesel S10 não apresentou vantagem devido ao seu uso no Cenário 4.1 ser em conjunto com o diesel S500, o qual possui o pior fator de emissão médio dentre os combustíveis considerados.

Figura 42 – Resultado dos indicadores de emissões de NMHC do Agrupamento 4

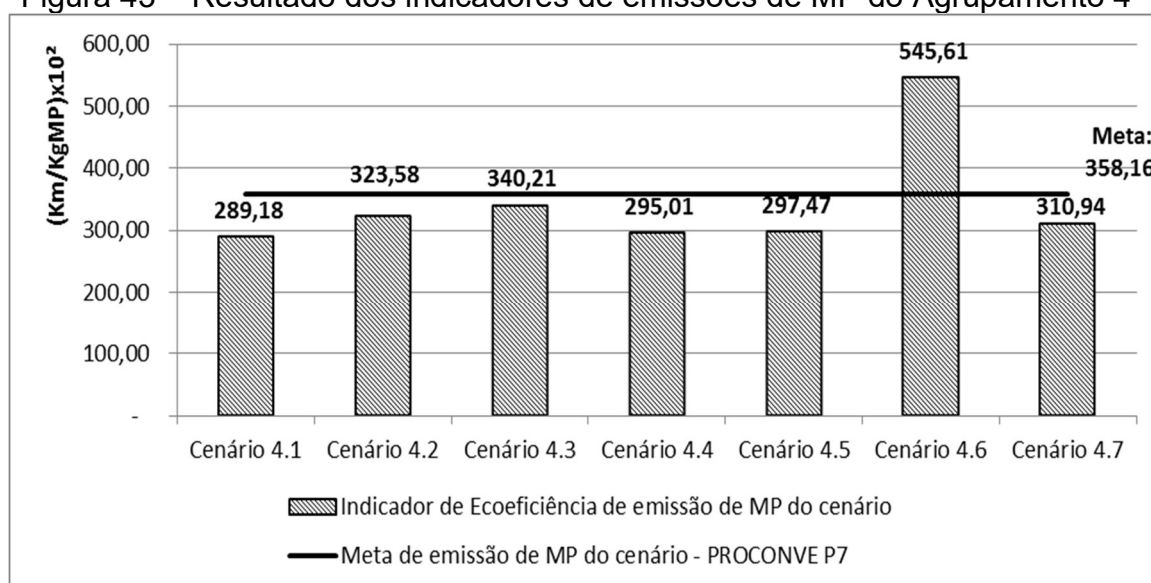


Mesmo com o uso do diesel S10 e biodiesel B20 no Cenário 4.2, o indicador de emissão foi inferior ao do Cenário 4.3, pois no Cenário 4.3 foram utilizados em

100% da frota o biodiesel B20 e o fator de emissão de NMHC referente à fase P7 de tal biodiesel é menor em relação ao diesel S10, justificando assim o aumento no indicador de emissão. A mesma análise pode ser feita para os Cenários 4.4 e 4.5 no qual foi utilizado o diesel de cana de açúcar AMD30, ocasionando em aumento no indicador de emissão entre os cenários. O cenário que apresentou o menor indicador de emissão foi o Cenário 4.1, dado que neste cenário 25% da frota foi abastecida com diesel S500, o qual apresenta o pior fator de emissão médio de NMHC referente às fases P5 a P7 dentre os combustíveis analisados.

Os resultados referentes às emissões de MP são apresentados na Figura 43. Apenas o Cenário 4.6 obteve o valor do indicador de emissão maior que o valor do indicador de meta. Tal comportamento é explicado pelo fato do fator de emissão médio do biodiesel B100 referente às fases P5 e P7 ser o segundo menor dentre os demais combustíveis, além de tal combustível ser utilizado em toda a frota.

Figura 43 – Resultado dos indicadores de emissões de MP do Agrupamento 4

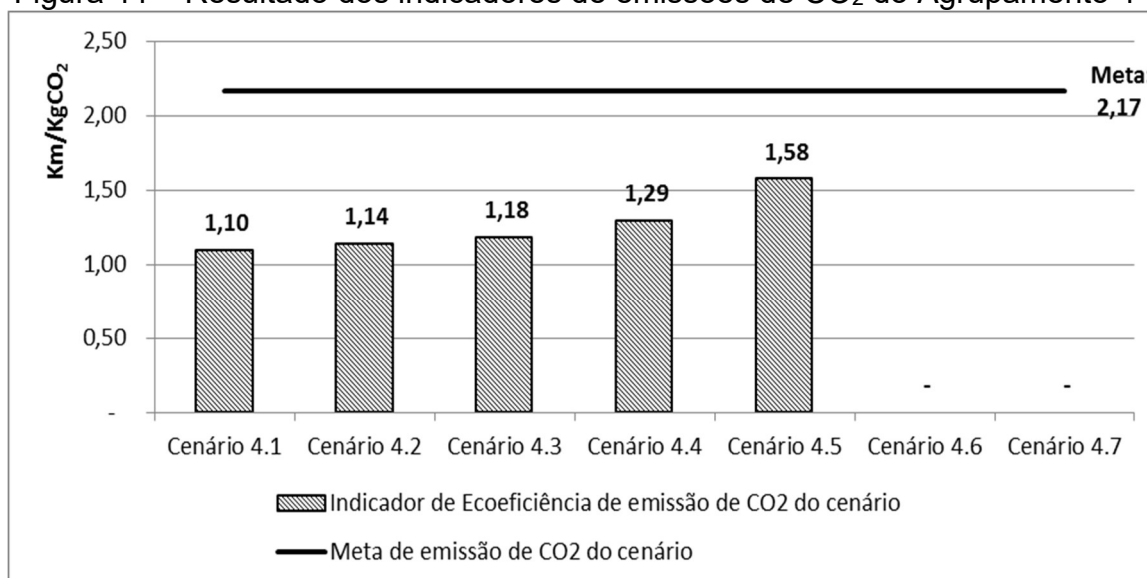


O pior resultado foi encontrado no Cenário 4.1, dado o diesel S500 possuir o maior fator de emissão médio de MP referente às fases P5 a P7 do Programa PROCONVE dentre os combustíveis utilizados. Mesmo com o uso do diesel S10 em 75% da frota e esse diesel possuir o menor fator de emissão médio referente às fases P5 e P7 dentre os combustíveis, seu uso não conseguir fazer com que o Cenário 4.1 atingisse a meta dado esse cenário também utilizar em 25% da

frota o diesel S550, que possui o pior fator de emissão médio referente às fases P5 e P7. O segundo pior resultado pertence ao Cenário 4.4, no qual 75% da frota utilizou o diesel de cana de açúcar AMD30 e 25% utilizou diesel S10, resultado explicado pelo diesel de cana de açúcar AMD30 possuir o segundo pior fator de emissão médio de MP dentre os combustíveis estudados.

Mesmo com o uso do diesel S10 e biodiesel B20 no Cenário 4.2 o valor do indicador de emissão foi inferior ao do Cenário 4.3, pois no Cenário 4.3 foi utilizado em 100% da frota o biodiesel B20 e o fator de emissão de MP referente à fase P7 de tal biodiesel é menor em relação ao mesmo fator do diesel S10, justificando assim o aumento no valor do indicador de emissão. A mesma análise pode ser feita para os Cenários 4.4 e 4.5 no qual foi utilizado o diesel de cana de açúcar AMD30, ocasionando em aumento no indicador de emissão entre os cenários.

São apresentados na Figura 44 os resultados referentes às emissões de CO₂, de forma que os Cenários 4.1 a 4.5 não atingiram a meta de emissão estipulada, obtendo indicadores de emissões menores que os indicadores da meta. O Cenário 4.1 foi responsável pelo pior resultado de indicador, uma vez que os fatores de emissão dos dieses S500 e S10 são os maiores e toda a frota é abastecida com estes combustíveis. A mistura do diesel S500 com o biodiesel B20 apresentou resultados melhores em comparação ao Cenário 4.1, uma vez que o fator de emissão de CO₂ do biodiesel B20 é menor em comparação aos tipos de diesel S500 e S10. De forma análoga ao biodiesel B20, o uso do diesel de cana de açúcar AMD30 também possui um fator de emissão menor que o diesel S500, entretanto o consumo de combustível do Cenário 4.4 foi menor em comparação ao Cenário 4.1 devido consumo de diesel de cana de açúcar AMD30 pelos ônibus ser menor em comparação ao diesel S500, contribuindo para o aumento no indicador de emissão. Os Cenários 4.6 e 4.7 não apresentaram indicadores, dado que suas emissões são compensadas pelo plantio das matérias primas utilizadas nas produções do biodiesel e diesel de cana de açúcar.

Figura 44 – Resultado dos indicadores de emissões de CO₂ do Agrupamento 4

Os resultados referentes aos consumos de combustíveis são apresentados na Figura 45. O pior resultado foi encontrado no Cenário 4.6, dado o biodiesel B100 possuir o maior consumo dentre os combustíveis utilizados. O uso do biodiesel B20 (Cenários 4.2 e 4.3) também apresentou indicadores ruins, dado que os tipos de biodiesel B20 e B100 possuem piores rendimentos no consumo em comparação com os dieses S500 e S10. O melhor indicador foi encontrado no Cenário 4.7, pois o diesel de cana de açúcar AMD100 apresenta os menores valores de consumo para os modelos de ônibus utilizados pela CETURB. O uso do diesel de cana de açúcar AMD30 (Cenários 4.4 e 4.5) apresentou bons indicadores em comparação aos dieses S500 e S10 e dos biodieseis B20 e B100, fato explicado pelo o consumo de combustível ser menor dentre esses combustíveis.

São apresentados na Figura 46 os resultados referentes ao indicador de custo total. Percebe-se que o Cenário 4.1 apresentou o melhor resultado, uma vez que os tipos de diesel S500 e S10 são os combustíveis utilizados pela a frota no cenário atual. O pior resultado foi encontrado no Cenário 4.6, dado o alto valor de aquisição do biodiesel B100 por sua falta de estrutura tanto na produção quanto na distribuição, além do aumento no valor da manutenção. O Cenário 4.7 apresenta o segundo pior resultado ocasionado pelo fato do diesel de cana de açúcar AMD100 também não ser produzido em larga escala, dificultado sua distribuição e, por conseguinte, um preço competitivo com os demais

combustíveis. Por fim, todos os cenários apresentaram aumento no custo dado a terceira etapa de renovação da frota, na qual foram adquiridos 1.293 ônibus.

Figura 45 – Resultado dos indicadores de consumo de combustível do Agrupamento 4

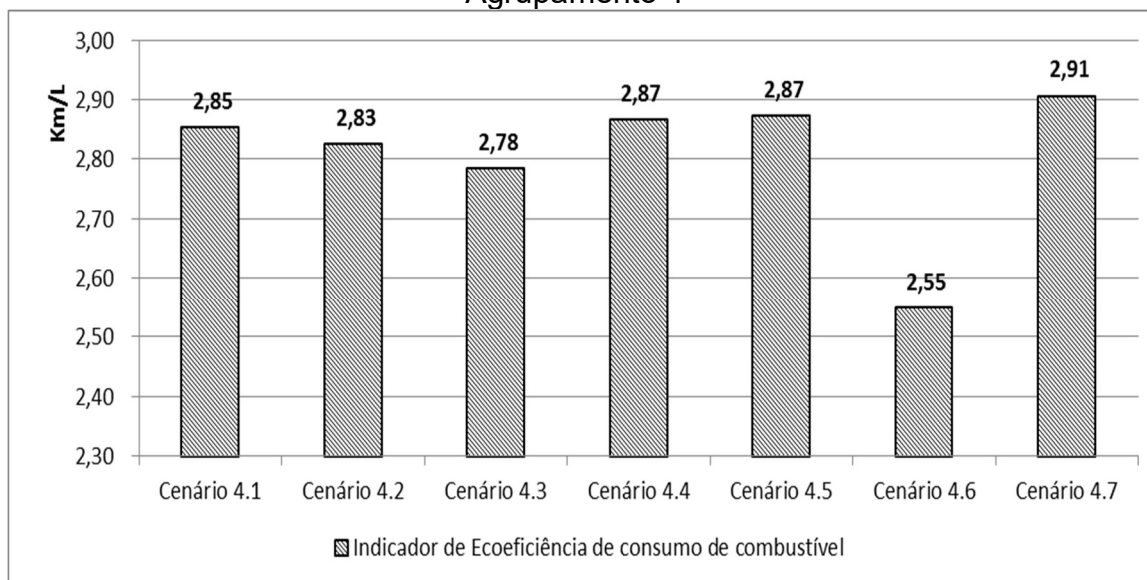
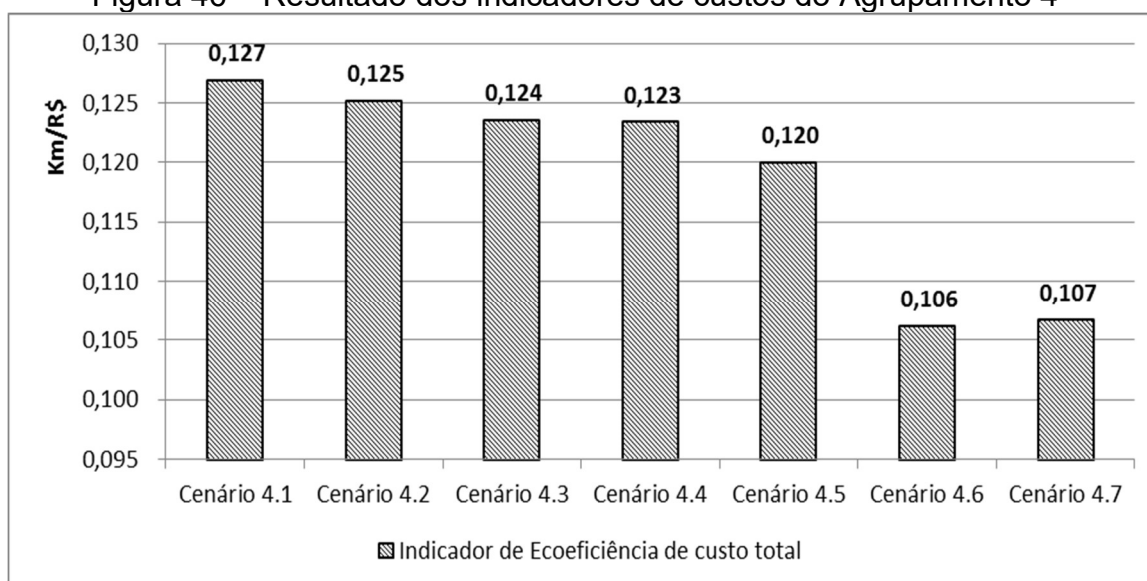


Figura 46 – Resultado dos indicadores de custos do Agrupamento 4



Apesar de todos os cenários possuírem indicadores de emissões de CO e NMHC maiores que os indicadores das metas, além dos Cenários 4.5 e 4.7 apresentarem indicadores de emissão de NOx maiores que o indicador da meta e o Cenário 4.6 apresentar indicador de emissão de MP maior que os indicadores da meta, nenhum dos cenários conseguiu obter valores de indicadores de emissão superiores aos indicadores de metas para todos os poluentes atmosféricos e material particulado. Dessa forma, o mix de combustíveis não é

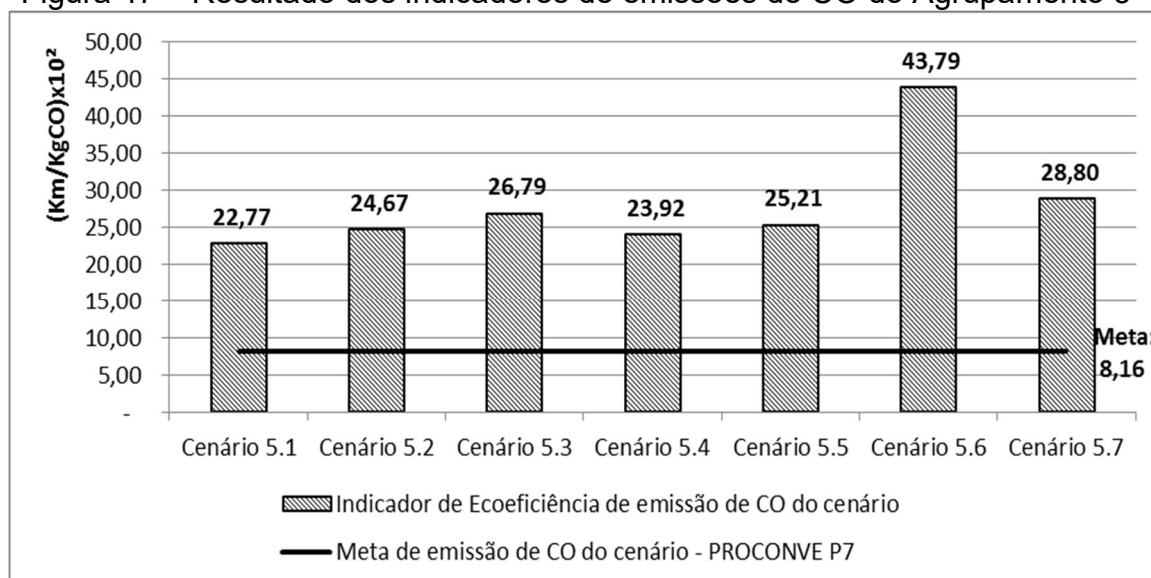
o suficiente para resolver o problema das emissões e a renovação da última parte da frota de ônibus faz-se necessária.

6.5 Agrupamento 5

No Agrupamento 5, 100% da frota de ônibus (1.724 veículos) foi substituída por modelos mais modernos. Além disso, os cenários criados buscaram a variação dos combustíveis de forma a avaliar o impacto da geração de poluentes atmosféricos. Vale a pena ressaltar que no Agrupamento 5 deixou-se de utilizar o diesel S500, uma vez que os ônibus fabricados em 2014 (pertencentes a fase P7 do Programa PROCONVE) não aceitam tal combustível em seus motores.

São apresentados na Figura 47 os resultados referentes às emissões de CO. Todos os cenários conseguiram atingir a meta de emissão estabelecida, de forma que todos os indicadores de emissões são maiores que o indicador da meta. O melhor resultado foi encontrado no Cenário 5.6, uma vez que o biodiesel B100 apresenta o menor fator de emissão médio de CO referente à fase P7 dentre os combustíveis utilizados, além de seu uso ser em toda a frota.

Figura 47 – Resultado dos indicadores de emissões de CO do Agrupamento 5

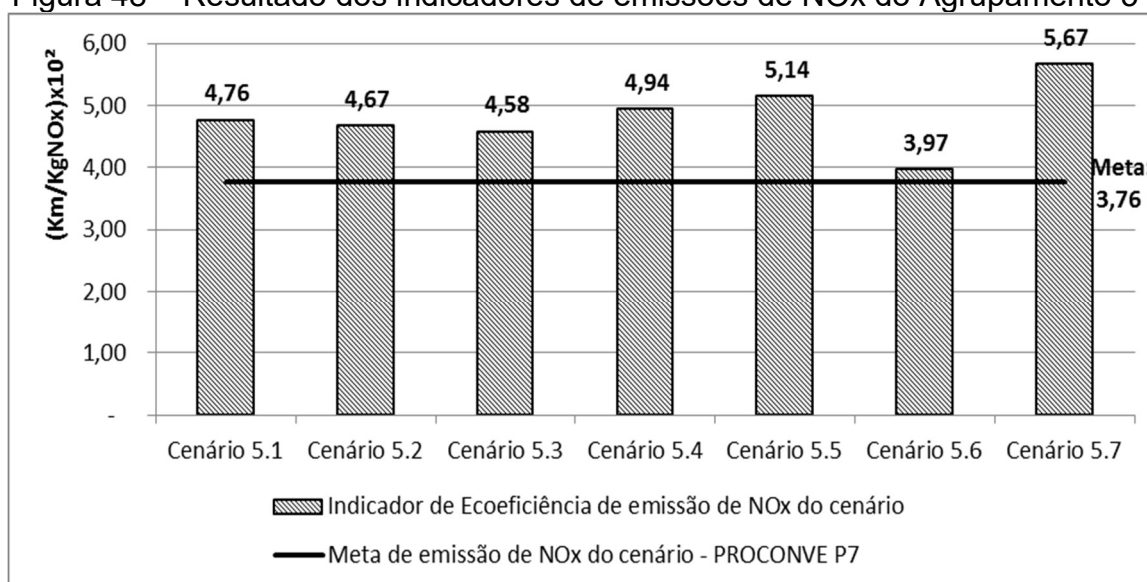


O uso do mix de biodiesel B20 e diesel S10 no Cenário 5.2 apresentou o indicador de emissão de CO menor em comparação ao uso exclusivo de biodiesel B20 em toda a frota no Cenário 5.3. Tal fato pode ser explicado pelo

fator de emissão de CO referente à fase P7 do Programa PROCONVE do biodiesel B20 ser 15% menor em relação ao mesmo fator do diesel S10, além de seu uso no Cenário 5.3 ser em 100% dos ônibus. A mesma análise pode ser feita para os Cenários 5.4 e 5.5 no qual foi utilizado o mix do diesel de cana de açúcar AMD30 e do diesel S10, ocasionando em aumento no indicador de emissão entre os cenários devido o fator de emissão do AMD30 ser 10% menor em comparação ao mesmo fator do diesel S10. O pior resultado foi encontrado no Cenário 5.1 (100% da frota foi abastecida com diesel S10), pois o diesel S10 possui o pior fator de emissão de CO referente à fase P7 do Programa PROCONVE dentre os combustíveis considerados.

Os resultados referentes às emissões de NOx são apresentados na Figura 48. Todos os cenários conseguiram atingir a meta de emissão estabelecida, de forma que todos os indicadores de emissões são maiores que o indicador da meta. O melhor resultado foi encontrado no Cenário 5.7, uma vez que o diesel de cana de açúcar AMD100 apresenta o menor fator de emissão de NOx referente à fase P7 dentre todos os combustíveis utilizados, além de seu uso ser em toda a frota.

Figura 48 – Resultado dos indicadores de emissões de NOx do Agrupamento 5



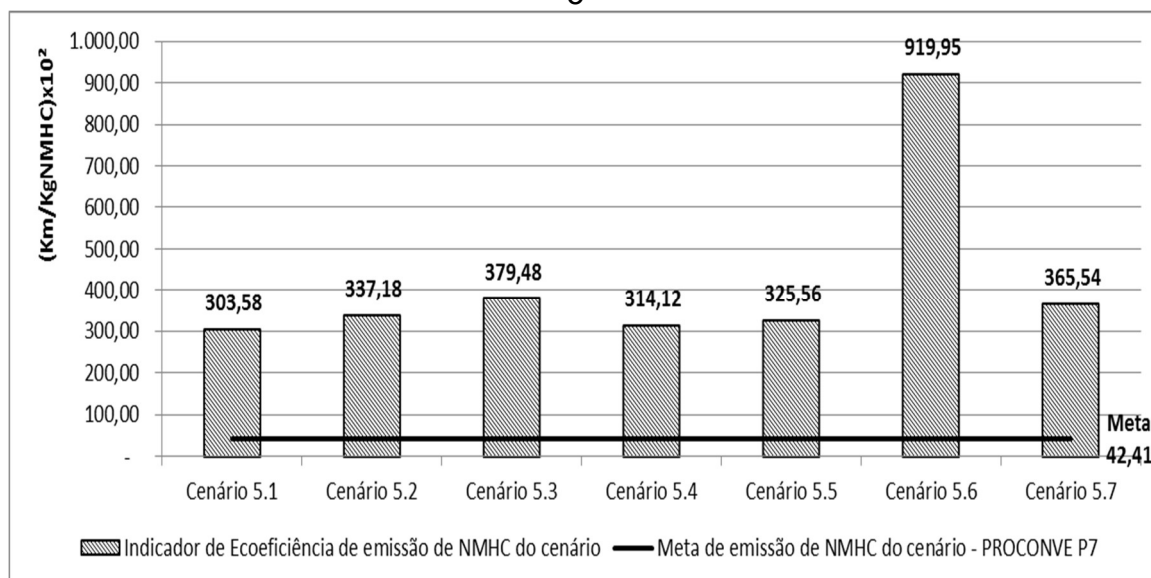
O uso do mix de diesel de cana de açúcar AMD30 e diesel S10 no Cenário 5.4 apresentou indicador de emissão de NOx menor em comparação ao uso exclusivo de diesel de cana de açúcar AMD30 em toda a frota no Cenário 5.5. Tal fato pode ser explicado pelo fator de emissão de NOx referente à fase P7 do

Programa PROCONVE do diesel de cana de açúcar AMD30 ser 4% menor em relação ao mesmo fator do diesel S10, além de seu uso no Cenário 5.5 ser em 100% dos ônibus. Entretanto, tal resultado não é esperado para os Cenários 5.2 e 5.3, uma vez que o fator de emissão de NOx referente à fase P7 do biodiesel B20 é 4% maior em relação ao mesmo fator do diesel S10 e o do biodiesel B100 é 12,5% maior em relação ao do diesel S10. Dessa forma, o indicador de emissão no Cenário 5.3 será menor.

Os piores resultados foram encontrados nos Cenários 5.3 e 5.6, nos quais foram utilizados o biodiesel B20 e B100, respectivamente. Tais resultados são devidos os fatores de emissões dos biodieseis B20 e B100 referentes à fase P7 serem os maiores dentre os demais combustíveis analisados, além de tais combustíveis serem utilizados em toda a frota.

São apresentados na Figura 49 os resultados referentes às emissões de NMHC. Todos os cenários conseguiram atingir a meta de emissão estabelecida, de forma que todos os indicadores de emissões são maiores que o indicador da meta. O melhor resultado foi encontrado no Cenário 5.6, uma vez que o biodiesel B100 apresenta o menor fator de emissão médio de NMHC referente à fase P7 do Programa PROCONVE dentre os combustíveis analisados, além de seu uso ser em 100% da frota.

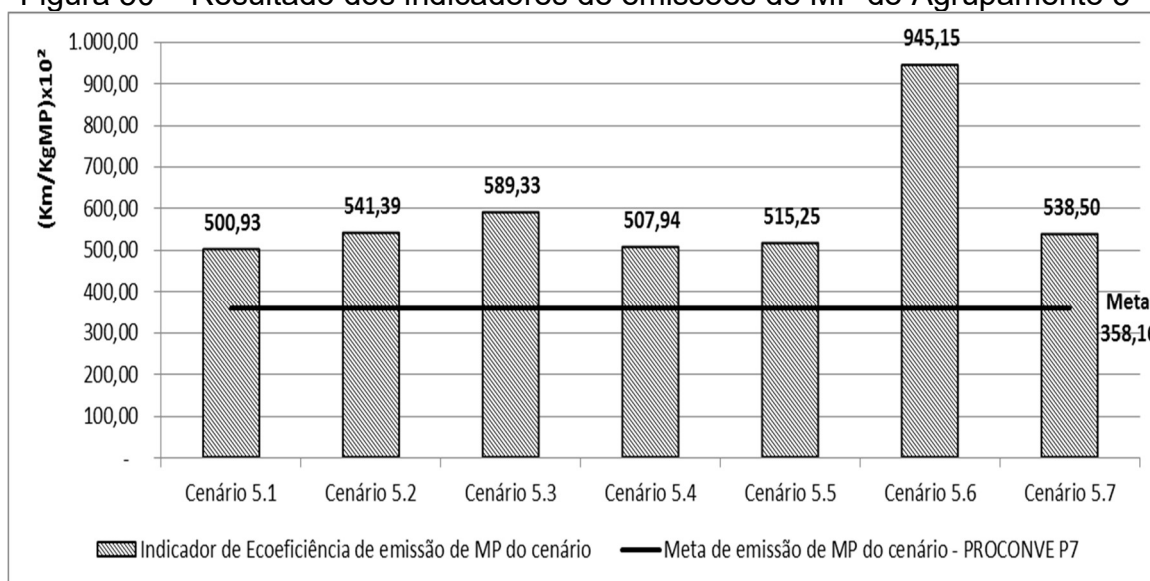
Figura 49 – Resultado dos indicadores de emissões de NMHC do Agrupamento 5



O uso do mix de biodiesel B20 e diesel S10 no Cenário 5.2 apresentou indicador de emissão de NMHC menor em comparação ao uso exclusivo de biodiesel B20 em toda a frota no Cenário 5.3. Tal fato pode ser explicado pelo fator de emissão de NMHC referente à fase P7 do Programa PROCONVE do biodiesel B20 ser 20% menor em relação ao mesmo fator do diesel S10, além de seu uso no Cenário 5.3 ser em 100% dos ônibus. A mesma análise pode ser feita para os Cenários 5.4 e 5.5 no qual foi utilizado o mix do diesel de cana de açúcar AMD30 e do diesel S10, ocasionando o aumento no valor do indicador de emissão entre os cenários devido o fator de emissão do AMD30 ser 12% menor em comparação ao mesmo fator do diesel S10. O cenário que apresentou o menor indicador de emissão foi o Cenário 5.1, dado que neste cenário 100% da frota foi abastecida com diesel S10, o qual apresenta o pior fator de emissão médio de NMHC referente à fase P7 dentre os combustíveis analisados.

Os resultados referentes às emissões de MP são apresentados na Figura 50. Todos os cenários conseguiram atingir a meta de emissão estabelecida, de forma que todos os indicadores de emissões são maiores que o indicador da meta. O melhor resultado foi encontrado no Cenário 5.6, uma vez que o biodiesel B100 foi utilizado em 100% da frota e possui o menor fator de emissão de MP referente à fase P7 do Programa PROCONVE.

Figura 50 – Resultado dos indicadores de emissões de MP do Agrupamento 5

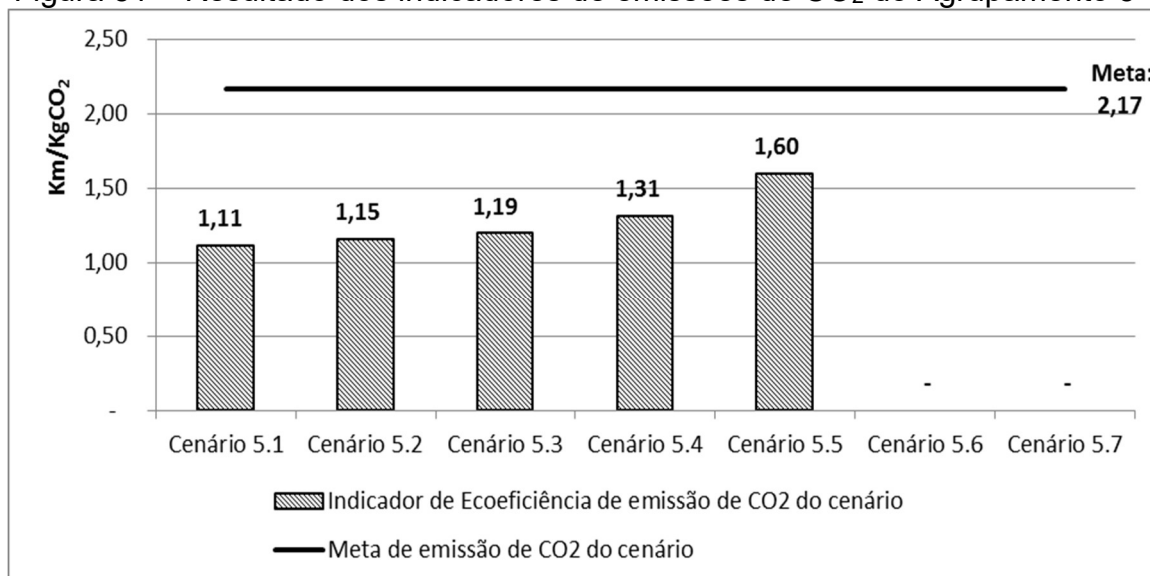


O uso do mix de biodiesel B20 e diesel S10 no Cenário 5.2 apresentou indicador de emissão de MP menor em comparação ao uso exclusivo de biodiesel B20 em

toda a frota no Cenário 5.3. Tal fato pode ser explicado pelo fator de emissão de MP referente à fase P7 do Programa PROCONVE do biodiesel B20 ser 15% menor em relação ao mesmo fator do diesel S10, além de seu uso no Cenário 5.3 ser em 100% dos ônibus. A mesma análise pode ser feita para os Cenários 5.4 e 5.5 no qual foi utilizado o mix do diesel de cana de açúcar AMD30 e do diesel S10, ocasionando em aumento entre os indicadores de emissão dos cenários devido o fator de emissão do AMD30 ser 8% menor em comparação ao mesmo fator do diesel S10.

O pior resultado foi encontrado no Cenário 5.1, dado o diesel S10 possuir o maior fator de emissão de MP referente à fase P7 do Programa PROCONVE dentre os combustíveis utilizados e seu uso em toda a frota de ônibus estudada.

São apresentados na Figura 51 os resultados referentes às emissões de CO₂, de forma que os Cenários 5.1 a 5.5 não atingiram a meta de emissão estipulada, obtendo indicadores de emissões menores que os indicadores da meta. O Cenário 5.1 foi responsável pelo pior resultado de indicador, uma vez que o fator de emissão do diesel S10 é o maior dentre os combustíveis analisados e toda a frota é abastecida com estes combustíveis. A mistura do diesel S10 com o biodiesel B20 apresentou resultados melhores em comparação ao Cenário 5.1, uma vez que o fator de emissão de CO₂ do biodiesel B20 é menor em comparação ao diesel S10. De forma análoga ao biodiesel B20, o uso do diesel de cana de açúcar AMD30 também possui um fator de emissão menor que o diesel S10, entretanto o consumo de combustível do Cenário 5.4 foi menor em comparação ao Cenário 5.1 devido consumo de diesel de cana de açúcar AMD30 pelos ônibus ser menor em comparação ao diesel S10, contribuindo para o aumento no indicador de emissão. Os Cenários 5.6 e 5.7 não apresentaram indicadores, dado que suas emissões são compensadas pelo plantio das matérias primas utilizadas nas produções do biodiesel e diesel de cana de açúcar.

Figura 51 – Resultado dos indicadores de emissões de CO₂ do Agrupamento 5

Os resultados referentes aos consumos de combustíveis são apresentados na Figura 52. O pior resultado foi encontrado no Cenário 5.6, dado o biodiesel B100 possuir o maior consumo dentre os combustíveis utilizados. O uso do biodiesel B20 (Cenários 5.2 e 5.3) também apresentou indicadores ruins, uma vez que os tipos de biodiesel B20 e B100 possuem piores rendimentos no consumo de combustível em comparação com ao diesel S10. O melhor indicador foi encontrado no Cenário 5.7, pois o diesel de cana de açúcar AMD100 apresenta os menores valores de consumo para os modelos de ônibus utilizados pela CETURB. O uso do diesel de cana de açúcar AMD30 (Cenários 5.4 e 5.5) apresentou bons indicadores em comparação ao diesel S10 e dos biodieseis B20 e B100, fato explicado pelo o consumo de combustível ser menor dentre esses combustíveis.

São apresentados na Figura 53 os resultados referentes ao indicador de custo total. Percebe-se que o Cenário 5.1 apresentou o melhor resultado, uma vez que o diesel S10 é o combustível utilizado pela a frota no cenário atual. O pior resultado foi encontrado no Cenário 5.6, dado o alto valor de aquisição do biodiesel B100 por sua falta de estrutura tanto na produção quanto na distribuição, além do aumento no valor da manutenção. O Cenário 5.7 apresenta o segundo pior resultado ocasionado pelo fato do diesel de cana de açúcar AMD100 também não ser produzido em larga escala, dificultado sua distribuição e, por conseguinte, um preço competitivo com os demais combustíveis. Por fim,

todos os cenários apresentaram aumento no custo dado a última etapa de renovação da frota, na qual foram adquiridos 1.724 ônibus.

Figura 52 – Resultado dos indicadores de consumo de combustível do Agrupamento 5

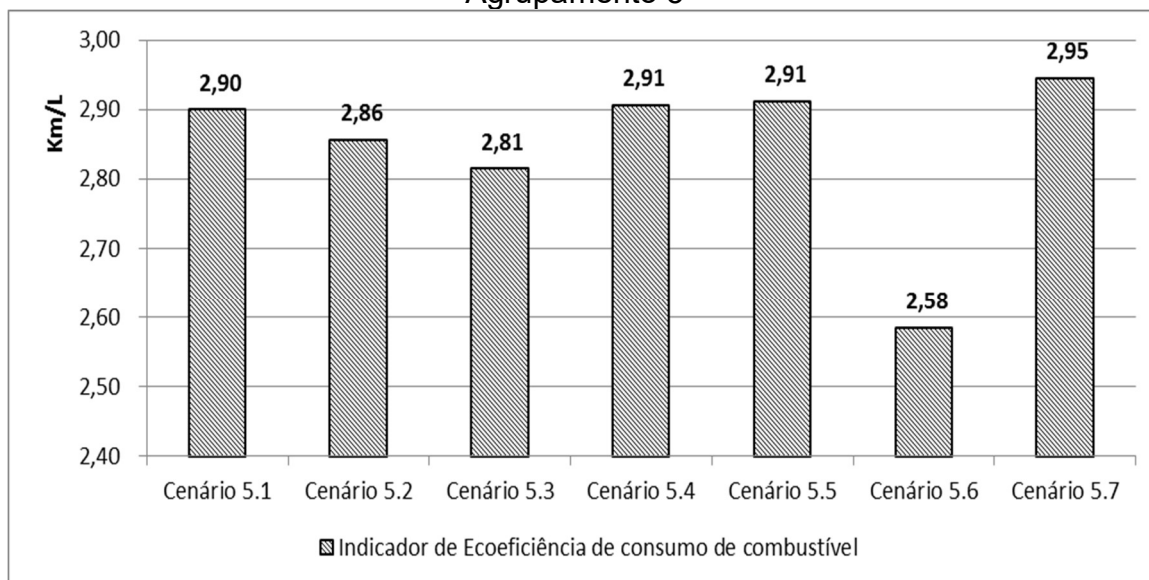
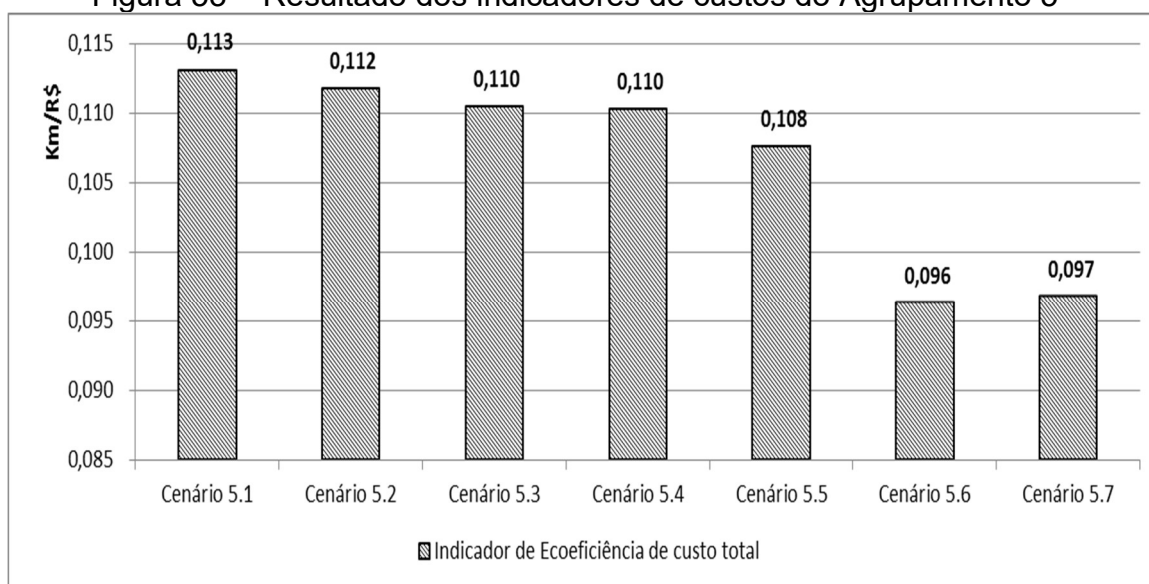


Figura 53 – Resultado dos indicadores de custos do Agrupamento 5



Todos os cenários apresentaram indicadores de emissões maiores que os indicadores das metas para todos os poluentes atmosféricos e material particulado. Entretanto, nenhum dos cenários conseguiu obter indicadores de emissão maiores que o indicador da meta de CO₂. Tal fato pode ser explicado pelo fato do limite estipulado considerar as emissões dos veículos pesados a partir de 2016 e os modelos destinados à renovação da frota serem produzidos

em 2014. Mesmo assim, esperava-se que as emissões de CO₂ fossem ultrapassadas.

6.6 Análise Geral

No que diz respeito às emissões de CO, a Tabela 41 apresenta o resumo dos resultados encontrados nesta dissertação, sendo que o “✓” representa que o cenário obteve indicador de emissão maior que o indicador da meta. Apenas o Agrupamento 1 não atingiu a meta proposta pelo Programa PROCONVE para todos os cenários. Em todos os cenários dos demais agrupamentos, todos os indicadores de emissões foram maiores que os indicadores da meta. Percebeu-se que para as emissões de CO, apenas a renovação de 25% da frota (431 ônibus) seria o suficiente para que a fase P7 do Programa PROCONVE fosse atendida.

Tabela 41 - Cenários que atingiram a meta do Programa PROCONVE P7 para emissão de CO

	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Cenário 4	Cenário 5	Cenário 6	Cenário 7
Agrupamento 1		✓	✓		✓	✓	✓
Agrupamento 2	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Agrupamento 3	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Agrupamento 4	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Agrupamento 5	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

No que diz respeito às emissões de NO_x, a Tabela 42 apresenta o resumo dos resultados encontrados nesta dissertação, sendo que o “✓” representa que o cenário obteve indicador de emissão maior que o indicador da meta. Nenhum dos cenários dos Agrupamentos 1, 2 e 3 apresentaram indicadores de emissões maiores que o indicador da meta, de forma a não respeita o limite imposto pelo Programa PROCONVE referente à fase P7. No Agrupamento 4, apenas os Cenários 4.5 e 4.7 atingiram a meta estipulada, devido o fato de que os fatores de emissões médio dos tipos de diesel de cana de açúcar AMD100e AMD30 referentes às fases P5 a P7 serem o segundo e terceiros menores dentre os

combustíveis considerados, respectivamente. Por fim, conclui-se que apenas a renovação de toda a frota (1.724 ônibus) faria com que o uso de todos os combustíveis atingisse a meta estipulada.

Tabela 42 - Cenários que atingiram a meta do Programa PROCONVE P7 para emissão de NOx

	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Cenário 4	Cenário 5	Cenário 6	Cenário 7
Agrupamento 1							
Agrupamento 2							
Agrupamento 3							
Agrupamento 4					✓		✓
Agrupamento 5	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

No que diz respeito às emissões de NMHC, a Tabela 43 apresenta o resumo dos resultados encontrados nessa dissertação, sendo que o “✓” representa que o cenário obteve indicador de emissão maior que o indicador da meta. Os resultados mostraram que apenas os Cenários 1.1, 1.4 e 1.5 pertencentes ao Agrupamento 1 não atingiram a meta estipulada para fase P7 do Programa PROCONVE. Entretanto, todos os cenários dos demais agrupamentos atingiram a meta estipulada e assim, conclui-se que a renovação de 25% da frota (431 ônibus) já seria o suficiente para atender à fase P7 no que diz respeito às emissões de NMHC.

Tabela 43 - Cenários que atingiram a meta do Programa PROCONVE P7 para emissão de NMHC

	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Cenário 4	Cenário 5	Cenário 6	Cenário 7
Agrupamento 1		✓	✓			✓	✓
Agrupamento 2	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Agrupamento 3	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Agrupamento 4	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Agrupamento 5	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

O resumo dos resultados referentes às emissões MP é apresentado na Tabela 44, sendo que o “✓” representa que o cenário obteve indicador de emissão maior

que o indicador da meta. Nenhum dos cenários dos Agrupamentos 1, 2 e 3 apresentaram indicadores de emissões maiores que o indicador da meta, de forma a não respeita o limite imposto pelo Programa PROCONVE referente à fase P7. No Agrupamento 4, apenas o Cenário 4.6 atendeu ao limite, devido o fator de emissão médio do biodiesel B100 referente às fases P5 a P7 ser o segundo menor dentre os combustíveis considerados. Por fim, conclui-se que apenas a renovação de toda a frota (1.724 ônibus) faria com que o uso de todos os combustíveis atingisse a meta estabelecida.

Tabela 44 – Cenários que atingiram a meta do Programa PROCONVE P7 para emissão de MP

	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Cenário 4	Cenário 5	Cenário 6	Cenário 7
Agrupamento 1							
Agrupamento 2							
Agrupamento 3							
Agrupamento 4						✓	
Agrupamento 5	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

Por fim, os indicadores de emissões de CO₂ de nenhum dos cenários de cada um dos cinco agrupamentos foram maiores que os indicadores das metas. O não atendimento da meta pode ser explicado pelo fato de que tal meta foi estipulada para o ano de 2016 e, os modelos utilizados nesta dissertação consideram a fase P7 do Programa PROCONVE do ano de 2014. Espera-se que os modelos fabricados a partir de 2016 sejam preparados para alcançar o valor estipulado, visando a minimização do impacto ambiental gerado.

O consumo de combustível seguiu um mesmo padrão para todos os agrupamentos. O uso do biodiesel B100 em 100% da frota apresentou o maior consumo dentre os demais combustíveis, dado seu consumo em litros por quilômetro para todos os modelos considerados neste estudo serem maiores. O biodiesel B20 também apresentou resultados ruins, dado que seu consumo também é um dos maiores, perdendo apenas para o biodiesel B100.

Em contrapartida, os melhores resultados foram encontrados no diesel de cana de açúcar AMD100, pois esse combustível possui o melhor rendimento dentre

os demais combustíveis. O uso do diesel de cana de açúcar AMD30 também apresentou bons resultados, devido seu bom rendimento em comparação aos tipos de biodiesel B20 e B100, além dos tipos de diesel S500 e S10.

No que diz respeito aos custos, o uso do diesel S10 apresentou os melhores resultados em todos os cenários de todos os agrupamentos, uma vez que esse tipo de diesel já se encontra disponível no mercado e todos os modelos dos ônibus são produzidos para esse combustível. Os piores resultados foram encontrados no uso do biodiesel B100 e do diesel de cana de açúcar AMD100, dado que nenhum desses combustíveis possui uma escala de produção condizente com a realidade brasileira, além de seu uso ser apenas em caráter experimental.

Analisando os resultados e priorizando a redução das emissões de poluentes atmosféricos, o Agrupamento 5 apresentou os melhores resultados. De forma a classificar os resultados encontrados, criaram-se pesos para cada um dos tipos de emissões, sendo que o cenário com maior indicador de emissão ganhou peso 1, o segundo maior indicador de emissão peso 2 e assim até o pior resultado, com peso 7. A Tabela 45 apresenta o resultado da classificação com o somatório final, sendo o melhor cenário aquele com a menor pontuação.

Tabela 45 – Classificação dos resultados referentes às emissões de CO, NOx, NMHC, MP e CO₂

	CO	NOx	NMHC	MP	CO ₂	Soma
Cenário 5.1	7	4	7	7	6	31
Cenário 5.2	5	5	4	3	5	22
Cenário 5.3	3	6	2	2	4	17
Cenário 5.4	6	3	6	6	3	24
Cenário 5.5	4	2	5	5	2	18
Cenário 5.6	1	7	1	1	1	11
Cenário 5.7	2	1	3	4	1	11

O uso do biodiesel B100 e do diesel de cana de açúcar AMD100 em toda a frota renovada nos Cenário 5.6 e Cenário 5.7, respectivamente, obtiveram os menores fatores de emissões de CO, MP, NMHC e CO₂ e por consequente, os maiores indicadores de emissões. A segunda melhor alternativa foi o Cenário 5.3, no qual 100% da frota de ônibus foi abastecida com biodiesel B20 conseguindo boas colocações no que diz respeito aos indicadores de emissões

de NMHC, MP e CO. Em último lugar, o uso do diesel S10 no Cenário 5.1 apresentou os menores indicadores de emissões de CO, NMHC e MP.

De maneira análoga às emissões, os dados de custo total foram classificados por meio de pesos, sendo o cenário com maior indicador de custo ganhou peso 1 e o cenário com menor indicador de custo peso 7. A Tabela 46 apresenta o resultado da classificação com o somatório final, sendo o melhor cenário aquele com a menor pontuação.

Tabela 46 – Classificação dos resultados referentes ao custo total

	Custo Total
Cenário 5.1	1
Cenário 5.2	2
Cenário 5.3	3
Cenário 5.4	4
Cenário 5.5	5
Cenário 5.6	7
Cenário 5.7	6

O uso do biodiesel B100 e o diesel de cana de açúcar AMD100 em toda a frota de ônibus nos Cenário 5.6 e 5.7, respectivamente, apresentaram os piores resultados para o indicador de custo presente na Tabela 46, demonstrando que tais combustíveis podem ser alternativas caras para a diminuição das emissões atmosféricas e do material particulado provenientes do sistema de transporte público analisado. O uso conjunto do diesel S10 com o biodiesel B20 (Cenário 5.2) e com o diesel de cana de açúcar AMD30 (Cenário 5.4) apresentaram melhores resultados em comparação ao uso em 100% da frota do biodiesel B20 (Cenário 5.3) e do diesel de cana de açúcar AMD30 (Cenário 5.5). O cenário que obteve a melhor pontuação foi o Cenário 5.1, dado que o indicador de custo total é o maior dentre todos os combustíveis analisados.

Pelo aspecto ambiental, os Cenários 5.6 e 5.7 apresentaram os menores valores de emissões de poluentes atmosféricos e material particulado com o uso do biodiesel B100 e diesel de cana de açúcar AMD100, respectivamente. Entretanto, quando avaliado o fator de custo, tais cenários apresentam os piores resultados e incorrem em altos investimentos. Os menores valores de custos (acarretando nos melhores indicadores) foram encontrados nos Cenários 5.1

(uso de diesel S10 em 100% da frota) e 5.2 (uso de diesel S10 em 50% da frota e biodiesel B20 no restante da frota).

Levando em consideração a situação econômica brasileira e apenas os custos analisados, buscou-se um cenário que priorizasse a redução dos custos envolvidos, uma vez que todos os cenários obtiveram indicadores de emissões maiores que os indicadores das metas (com exceção do CO₂). Por fim, os Cenários 5.3 e 5.5 foram eleitos com as melhores escolhas, pois apresentaram um acréscimo de custo menor em relação ao diesel S10 do que os Cenários 5.6 e 5.7, e indicadores de emissões de poluentes e do material particulado maiores em relação ao uso do diesel S10.

Além dessa análise, pode-se fazer outra consideração acerca dos resultados encontrados. Dada a situação econômica do país, a renovação de uma parte da frota pode ficar comprometida por conta da falta de recursos. Caso a última etapa da renovação não ocorra, ou seja, apenas 1.293 ônibus dos 1.724 sejam renovados, o Agrupamento 4 apresentou resultados que atendem as metas de forma parcial.

Desconsideração às emissões de CO₂ (na qual a meta não foi atingida em nenhum dos cenários), os Cenários 4.5 e 4.7 apenas não atingiram a meta de material particulado, enquanto o Cenário 4.6 apenas não atingiu a meta de NO_x. Para todos os cenários, os custos são menores que os apresentados no Agrupamento 5, uma vez que o custo de renovação da frota é menor. Priorizando o custo total, o Cenário 4.5 apresenta o maior indicador de custo total entre eles, podendo ser uma opção de renovação para o sistema de transporte público urbano considerado nesta dissertação.

7 CONCLUSÃO

A partir do levantamento bibliográfico realizado no Capítulo 2 desta dissertação, foi possível compreender os conceitos e aplicações da ecoeficiência, bem como os impactos ambientais gerados pelas emissões de poluentes e Programa PROCONVE desenvolvido pelo governo brasileiro para o controle das emissões.

O Capítulo 4 apresentou a metodologia proposta para o cálculo dos indicadores de ecoeficiência, bem como a mensuração das emissões, dos custos e do consumo de combustível. Tal metodologia foi utilizada tomando como base todos os dados presentes no Capítulo 5, de forma que todos os resultados foram apresentados no Capítulo 6.

Com o intuito de propor e validar a metodologia proposta nesta dissertação para mensurar os indicadores de ecoeficiência, além do impacto do uso do diesel, biodiesel e diesel de cana de açúcar e da renovação da frota de ônibus, a metodologia foi aplicada ao sistema de transporte público de passageiros da RMGV.

Os resultados mostraram que o uso dos tipos de diesel S500 e S10 na frota atual não atinge às metas de emissões de CO, NO_x, NMHC, MP e CO₂ estipulados pela fase P7 do Programa PROCONVE. Além disso, mesmo com as variações de combustíveis propostas pelo Agrupamento 1, nenhuma meta de emissão foi respeitada, indicando que a frota de ônibus deve passar pelo processo de renovação.

Os Agrupamentos 2 a 5 propuseram a renovação gradativa da frota de ônibus, de forma a analisar qual o impacto dessa renovação nas emissões, custos e consumo de combustível. Conclui-se que apenas a renovação total da frota conseguiria atingir todas as metas estipuladas pela fase P7 do Programa PROCONVE. Entretanto, o custo de renovação da frota torna-se um empecilho por se tratar de alto valor a ser gasto em um curto prazo de tempo.

Os indicadores de custos mostraram que o uso do biodiesel B100 e diesel de cana de açúcar são opções caras, embora os valores das emissões nos cenários onde foram utilizados apresentaram os melhores resultados. Dessa forma, o uso

do biodiesel B20 e diesel S10 apresentaram resultados que uniram a redução das emissões dos poluentes atmosféricos e quantidade de dinheiro investida razoável em comparação aos demais cenários.

Uma das limitações do estudo foi a falta de um limite de emissão para o CO₂, uma vez que o Programa PROCONVE não estipula tal limite para os veículos pesados. Além disso, a ausência de estudos sobre a aplicação dos conceitos de ecoeficiência no transporte público impossibilitou qualquer tipo de comparação com bases de dados já existentes. Com isso, o trabalho contribui para preencher uma lacuna presente na literatura no quesito da aplicação dos conceitos de ecoeficiência em um sistema de transporte público urbano de passageiros.

Como sugestões de trabalhos futuros, sugere-se o estudo de outros poluentes atmosféricos e o estudo de outros custos (adaptação dos motores, mão de obra, custo ambiental, entre outros), além da melhoria do cálculo do indicador para meta de CO₂.

Também sugere-se que seja realizado um inventário mais amplo da emissão de gases e particulados expandindo estes levantamos pelo menos para todo o Brasil a fim de se ter uma base de dados mais abrangente que retrate a realidade brasileira.

REFERÊNCIAS

- ABIQUIM (Associação Brasileira da Indústria Química). **Responsible Care**. Disponível em: <www.abiquim.org.br/atuacaoresponsavel/responsable.asp>. Acesso em 20 de dezembro de 2014.
- ALVARES, L. **Diesel de cana-de-açúcar chega aos postos em 2016**. Disponível em: <<http://www.estadao.com.br/jornal-do-carro/noticias/servicos,diesel-de-cana-de-acucar-chega-aos-postos-em-2016,14315,0.htm>>. Acesso em 02 de janeiro de 2015.
- ALVES, F.; FIORIO, V. **Como é produzido o etanol?** Disponível em: <<http://www.industria hoje.com.br/como-e-produzido-o-etanol>>. Acesso em 15 de dezembro de 2014.
- ANDRADE, R. T. G.; SANTOS, E. M. Quantificação das Emissões de Gases de Efeito Estufa – GEEs – Segundo a Matriz Energética Diesel ou GNV no Transporte Público por Ônibus em Natal – RN. **Holos**, v.3, p.15-28, 2009.
- ANFAVEA (Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores). **Diesel e Emissões: A nova legislação 2012**. 2012.
- ANFAVEA (Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores). **PROCONVE: As fases passadas e futuras**. 2009.
- ANP (Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis). **Evolução do Mercado de Combustíveis e Derivados: 2000-2012**. Brasília: ANP, 2013.
- API (*American Petroleum Institute*). **Environmental Principles**. Disponível em <www.api.org>. Acesso em 26 de dezembro de 2014.
- ARIOLI, M. S. **Emissões do transporte urbano: da quantificação à mitigação**. 2014. 57f. DiSSERTAÇÃO (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Rio Grande do Sul, 2014.
- BARANESCU, R.; CHALLEN, B. J. **Diesel Engine Reference Book**. 2 ed. Warrendale, PA: Elsevier, 2003.
- BARBIERI, J. C. **Gestão Ambiental empresarial: conceitos, modelos e instrumentos**. 2. ed. São Paulo: Saraiva, 2007.

BIODIESEL. Disponível em: <<http://www.biodieselbr.com/biodiesel/biodiesel-brasil.htm>>. Acesso em 10 de dezembro de 2015.

BNDES (Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social). Diretrizes de Políticas Socioambientais. Disponível em: <http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/bndes/bndes_pt/Areas_de_Atualizacao/Desenvolvimento_Social_e_Urbano/Politica_Socioambiental/diretrizes.html>. Acesso em 10 de novembro de 2014.

BNDES (Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social). **Folheto sobre a Linha de Meio Ambiente. Banco Nacional do Desenvolvimento Econômico e Social.** 2007.

BORSARI, V. **Caracterização das emissões de gases de efeito estufa por veículos automotores leves no Estado de São Paulo.** 2009. 207f. Dissertação (Mestrado em Saúde Pública) – Universidade de São Paulo. São Paulo, 2009.

BORSARI, V.; DE ABRANTES, R. **Methane Emission Ratios from Light Duty Vehicles in Brazil.** SAE Technical Paper, 2013.

BOUSCAREN, R et al. **Default emission factors handbook.** 1 ed. Luxemburgo: European Commission, 1992.

BRIDI, C. D.; COSTA, C. A.; WANDER, P. R.. Análise das expectativas sobre a implantação da Euro V no setor de transporte de passageiros. **Revista dos Transportes Públicos-ANTP**, v. 34, p. 25-38, 2012.

CALLENBACH, E. **Gerenciamento ecológico eco management: guia do Instituto Elmwool de auditoria ecológica e negócios sustentáveis.** 1 ed. São Paulo: Cultrix, 1993.

CEBDS (Conselho Empresarial Brasileiro para o Desenvolvimento Sustentável). Ecoeficiência, Gazeta Mercantil, 10/08/2005, disponível em: <<http://www.cebds.org.br/cebds/artigos.asp?area=>>. Acesso em 10 de dezembro de 2014.

CEBDS (Conselho Empresarial Brasileiro para o Desenvolvimento Sustentável). Disponível em: <<http://www.cebds.org.br/>>. Acesso em 01 de novembro de 2014.

CEBDS (Conselho Empresarial Brasileiro para o Desenvolvimento Sustentável); SEBRAE (Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas). **A**

Produção mais Limpa na Micro e Pequena Empresa. Rio de Janeiro, CEBDS: SEBRAE, 2004. 32 p. Disponível em: <<http://www.cebds.org.br>>. Acesso em 20 de janeiro de 2015.

CETESBa (Companhia Ambiental do Estado de São Paulo). **Monóxido de carbono.** Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/userfiles/file/laboratorios/fit/monoxido_de_carbono.pdf>. Acesso em 07 de janeiro de 2015.

CETESBb (Companhia Ambiental do Estado de São Paulo). **Emissões Veiculares no Estado de São Paulo – 2012.** Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/userfiles/file/ar/emissoes/relatorio-2012.pdf>>. Acesso em 17 de dezembro de 2014.

CETESBc (Companhia Ambiental do Estado de São Paulo). **Material Particulado.** Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/ar/Informa??es-B?sicas/21-Poluentes#mp>>. Acesso em 08 de janeiro de 2015.

CETURB (Companhia de Transportes Urbanos da Grande Vitória). Disponível em: <<http://www.ceturb.es.gov.br/>>. Acesso em 10 de janeiro de 2015.

CNT (Confederação Nacional do Trânsito). **A fase P7 do PROCONVE e o impacto no setor de transporte.** Brasília: Sest/Senat, 2012.

CNTL (Centro Nacional de Tecnologias Limpas). **Meio ambiente e a pequena e microempresa: módulo 1** - Curso de Formação de Consultores em Produção mais Limpa. Porto Alegre: 2003. 73 pp.

D'AGOSTO, M. de A.; RIBEIRO, S. K. Eco-efficiency management program (EEMP)—a model for road fleet operation. **Transportation Research Part D: Transport and Environment**, v. 9, n. 6, p. 497-511, 2004.

D'AGOSTO, M. de A.; RIBEIRO, S. K.; DE SOUZA, C. D. R.. Opportunity to reduce greenhouse gas by the use of alternative fuels and technologies in urban public transport in Brazil. **Current Opinion in Environmental Sustainability**, v. 5, n. 2, p. 177-183, 2013.

ECYCLEa. Disponível em: <<http://www.ecycle.com.br/component/content/article/35/1379-os-perigos-do-material-particulado.html>>. Acesso em 08 de janeiro de 2015.

ECYCLEb. Disponível em:
<http://www.ecycle.com.br/component/content/article/63-meio-ambiente/2393-dioxido-de-nitrogenio-oxido-oxidos-o-que-e-onde-esta-presente-fontes-automoveis-motores-queimadas-microbianas-efeitos-saude-bronquite-problemas-respiratorios-autismo-efeitos-no-meio-ambiente-chuva-acida-alternativas-cozinha.html>. Acesso em 05 de janeiro de 2015.

EMILIANO, W. M; et al. Impacto da utilização do Biodiesel no Transporte Coletivo de Joinville – SC. **Revista Verde**, v. 9, n. 1, p.176-185, 2014.

FERNANDES, A. **Análise do Desempenho de Motor Diesel com a utilização de Biocombustível Obtido a Partir do Reuso de Óleo Vegetal**. 2012. 80f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Metodista de Piracicaba. Santa Bárbara d'Oeste, 2012.

FRANCA, L. S.; D'AGOSTO, M. A. Avaliando o potencial de inserção do diesel de cana de açúcar na frota de ônibus urbano do município do Rio de Janeiro. **Revista dos Transportes Urbanos**, v.36, p;93-196, 2013.

GALLINA, A. L.; FOLQUENIN, E. K. F.; BANCZEC, E. P.; CUNHA, M. T.; BORGES, C. P. F. Obtenção e Caracterização Físico-química do Biodiesel B100 e de Misturas de Biodiesel/Diesel. **Revista Ciências Exatas e Naturais**, v. 13, nº 2, p. 35-51, 2011.

GAZETAONLINE. Disponível em:
http://gazetaonline.globo.com/_conteudo/2012/01/noticias/a_gazeta/economia/1078137-o-mapa-do-espirito-santo-mudou-e-agora-sao-dez-microrregioes.html. Acesso em 05 de janeiro de 2015.

GONÇALVES, Benjamin S. **O compromisso das empresas com o meio ambiente—Agenda Ambiental das Empresas e a Sustentabilidade da Economia Florestal**. São Paulo: Instituto Ethos, 2005.

GUABIROBA, R. C. da S.; D'AGOSTO, M. de A.; LEAL JUNIOR, I. C.; DA SILVA, M. A. V. Eco-efficiency as an auxiliary measure for the definition of interregional public consortia responsible for the collection of recyclable domestic waste. **Journal of Cleaner Production**, v. 68, p. 36-45, 2014

HARRINGTON, H. J.; KNIGHT, A. **A implementação da ISO 14000: como atualizar o SGA com eficácia**. 1 ed. São Paulo: Atlas, 2001.

HOLLIDAY, C.; SCHMIDHEINY, S.; WATTS, P. ***Walking the Talk – The Business Case for Sustainable Development***. United Kingdom: Green leaf Publishing, 2002.

IPAM (Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia). **Quais são as principais fontes de gases de efeito estufa decorrentes das atividades humanas?** Disponível em: <<http://www.ipam.org.br/saiba-mais/abc/mudancaspergunta/Quais-sao-as-principais-fontes-de-gases-de-efeito-estufa-decorrentes-das-atividades-humanas-/11/3>>. Acesso em 10 de janeiro de 2015.

IPEA (Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada). **A Mobilidade Urbana no Brasil**. 2015.

JASSEN, R. et al. Bioethanol as Sustainable Bus Transport Fuel in Brazil and Europe. In: EUROPEAN BIOMASS CONFERENCE AND EXHIBITION, 18., 2010, Lyon. **Anais Eletrônicos**. Disponível em: <http://www.researchgate.net/profile/Dominik_Rutz/publication/228822792_BIOETHANOL_AS_SUSTAINABLE_BUS_TRANSPORT_FUEL_IN_BRAZIL_AND_EUROPE/.pdf>. Acesso em 15 de janeiro de 2015.

KENNEDY, C. et al. Methodology for inventorying greenhouse gas emissions from global cities. **Energy Polity**, v. 38, p-4828-4837, 2010.

KOBAYASHI, Y.; HIDEKI, K.; HONGU, A.; SANEHIRA, K. A Practical Method for Quantifying Eco-efficiency Using Eco-design Support Tools. **Journal of Industrial Ecology**, v. 9, n. 4, p. 131-144, 2005.

LE PRESTRE, P. **Ecopolítica internacional**. São Paulo: Senac, 2000.

LEAL JUNIOR, I. C. **Método de escolha modal para transporte de produtos perigosos com base em medidas de ecoeficiência**. 2010. 202f. Tese (Doutorado em Engenharia de Transportes) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, RJ, 2010.

LEAL JUNIOR, I. C.; GARCIA, P. A. de A.; D'AGOSTO, M. de A. *A data envelopment analysis approach to choose transport modes based on eco-*

efficiency. **Environment, Development and Sustainability**, v. 14, n. 5, p. 767-781, 2012.

LEAL JUNIOR, I. C.; GUIMARÃES, V. A. Análise da Ecoeficiência nas Operações de Terminais Portuários com a Aplicação de Técnica de Auxílio Multicritério à Decisão. **TRANSPORTES**, v. 21, n. 3, p. 40-47, 2013.

LOBO, I. P.; FERREIRA, S. L. C.; CRUZ, R. S.. Biodiesel: parâmetros de qualidade e métodos analíticos. **Química Nova**, v. 32, n. 6, p. 1596-1608, 2009.

MACHADO, V. de F. **A produção do discurso do desenvolvimento sustentável: de Estocolmo a Rio 92**. 2005. 115f. Tese (Doutorado em Desenvolvimento Sustentável) – Centro de Desenvolvimento Sustentável, Universidade de Brasília, 2005.

MAPA, S. M. S. **Localização-alocação de instalações com Sistema de Informações Geográficas e modelagem matemática**. 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção), Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2007

MARTINS, J. **Motores de combustão interna**. 2 ed. Porto: Editora Publindústria 2006.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários – Relatório Final**. 2011.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários 2013: Ano-Base 2012**. 2014.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Poluentes Atmosféricos**. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/qualidade-do-ar/poluentes-atmosf%C3%A9ricos#>>. Acesso em 08 de janeiro de 2015.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **PROCONVE: Programa de Controle de Poluição do Ar por Veículos**. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/estruturas/163/_arquivos/proconve_163.pdf>. Acesso em 09 de janeiro de 2015.

MOLL, S.; GEE, D. (Ed.). ***Making sustainability accountable: eco-efficiency, resource productivity and innovation: proceedings of a workshop on the occasion of the Fifth Anniversary of the European Environment Agency (EEA) 28-30 October 1998 in Copenhagen.*** Office for Official Publications of the European Communities, 1999

MOREIRA, J. T. M. **Indicadores de eco-eficiência como parte do Sistema de Gestão Ambiental das Águas do Ave, S.A: aplicação às ETAR de S. Gonçalo, Esposende e Vila Meã.** 2009. 86f. Dissertação (Mestrado em Engenharia do Ambiente) – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2009.

MOREIRA, S. M. dos S. R. **Influência do biodiesel nas emissões poluentes de um motor turbo diesel.** 2012. 93f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia da Universidade de Porto, 2012.

MOTTA, R. A.; SILVA, P. C. M. da; BRASIL, A. C. de M. Desafios da mobilidade sustentável no Brasil. **Revista dos Transportes Públicos**, n. 34, p. 25-48, 2012.

MOTTA, R. S. da; HARGRAVE, J.; LUEDEMANN, G.; GUTIERREZ, M. B. S. **Mudança do clima no Brasil: aspectos econômicos, sociais e regulatórios.** Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada-Ipea, 2011.

MOURA, L. A. A. de. **Qualidade e Gestão Ambiental.** 5 Ed. São Paulo: Editora Juarez de Oliveira, 2008.

NASCIMENTO, E. P. Trajetória da sustentabilidade: do ambiente ao social, do social ao econômico. **Estudos Avançados** 26, n. 74, p.51-64, 2011.

NASCIMENTO, E. P.; VIANNA, J. N. Economia, meio ambiente e comunicação. Rio de Janeiro: Garamond, 2006.

NTU (Associação Nacional das Empresas de Transporte Público). **Anuário 2013-2014.** 2014.

NTU (Associação Nacional das Empresas de Transporte Público). **Fique por dentro do transporte público urbano por ônibus no Brasil.** Disponível em: <<http://www.ntu.org.br/novo/AreasInternas.aspx?idArea=7&idSegundoNivel=107>>. Acesso em 15 de janeiro de 2015.

OCDE. ***Eco-Efficiency. Organization for Economic Co-operation and Development. The Organization for Economic Co-operation and Development***, 1998.

OLIVEIRA, F. C. C.; SUAREZ, P. A. Z.; DOS SANTOS, W. L. P. Biodiesel: possibilidades e desafios. **Redes**, v. 1, n. 497, 2013.

OLIVEIRA, G. T. et al. Redução de Emissões de Dióxido de Carbono com a Implementação do BRT Transoeste na Cidade do Rio de Janeiro. In: ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE PESQUISA E ENSINO EM TRANSPORTES, 28., 2014, Curitiba. **Anais Eletrônicos**. Disponível em: <http://www.anpet.org.br/ssat/interface/content/autor/trabalhos/publicacao/2014/129_AC.pdf>. Acesso em 15 de abril de 2015.

OLIVEIRA, L. F. R. de; LEAL JUNIOR, I. C.; BALESTIERI, J. A. P. **Aplicação do método AHP a um conjunto de ações eco-eficientes propostas para o transporte rodoviário terceirizado pela CSN**. In: VII Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia. Anais do VII Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia; 22, 23 e 24 de outubro de 2014; Rio de Janeiro, 2014.

OLIVEIRA, M. de. **Diesel de cana: combustível vai ser produzido por meio de transformações genéticas em leveduras**. Disponível em: <http://revistapesquisa.fapesp.br/wp-content/uploads/2008/11/90_91.pdf>. Acesso em 12 de dezembro de 2014.

OLIVEIRA, N. R. et al. Uso do Etanol na Frota de Ônibus da Região Metropolitana de São Paulo como Estratégia de Gestão Ambiental Urbana. CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO AMBIENTAL, 3., 2012, Goiânia. **Anais Eletrônicos**. Disponível em: <<http://www.ibeas.org.br/congresso/Trabalhos2012/IV-002.pdf>>. Acesso em 20 de março de 2015.

PALADINO, P. A. **Uso do Hidrogênio no Transporte Público Urbano da Cidade de São Paulo**. 2013. 216f. Tese (Doutorado em Ciências na Área de Tecnologia Nuclear – Reatores) – Universidade de São Paulo. São Paulo, 2013.

PECCATIELLO, A. F. O. Políticas públicas ambientais no Brasil: da administração dos recursos naturais (1930) à criação do Sistema Nacional de

Unidades de Conservação (2000). **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, n.24, p.71-82, 2011.

PEREIRA, C. A. dos S. **Desenvolvimento dos indicadores de eco-eficiência: aplicação à indústria metalomecânica**. 2001. 121f. Dissertação (Mestrado em Engenharia do Ambiente) – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2001.

PEREIRA, E. P. **Dados sobre o sistema Transcol e seu funcionamento**. 2014. Entrevista concedida a Vinicius Bermond, Vitória, 10 out. 2014.

PETROBRAS. **Manual técnico: Diesel S10**. Disponível em: <<http://www.sindipetro.com.br/arquivos/cartilhas/c0c98afc10ef12d086fedc8e07400707.pdf>>. Acesso em 07 de janeiro de 2015.

PETROBRAS. Manual Técnico: Diesel S10. Rio de Janeiro, Brasil, 2012.

PETROBRAS. **Óleo Diesel**. Disponível em: <<http://www.br.com.br/wps/portal/portalconteudo/produtos/automotivos/oleodiesel/>>. Acesso em 20 de dezembro de 2015.

PORTAL MEIO AMBIENTE.MG. Disponível em: <<http://www.feam.br/component/content/80?task=view>>. Acesso em 10 de janeiro de 2015.

PRONEA (Programa Nacional de Educação Ambiental). **3º Relatório do Programa Nacional de Educação Ambiental**. 3 ed. Brasília: 2005.

RODRIGUES, R. A. S.; KALINOVCSKI, Y. **Análise das emissões Gasosas da Frota de uma Empresa Pertencente à Rede de Transporte Coletivo de Curitiba**. 2001. 59f. Monografia (Graduação em Química) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2011.

SALGADO, V. G. **Indicadores de ecoeficiência e o transporte de gás natural**. 1 ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2007.

SANTANNA, I. **Emissão de gases poluentes por descarga de veículos do ciclo diesel provocadores de deterioramento do meio ambiente: busca de soluções para amenizar ou controlar o problema**. 76f. 2012. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental) – Faculdade de Engenharia de Minas Gerais. Minas Gerais, 2012.

SANTOS, S. M. A. **Perspectivas para a Contribuição do Uso do Etanol no Transporte Público Urbano, Visando à Redução da Poluição Atmosféricas – Estudo de Caso: Projeto BEST.** 2012. 227f. Tese (Doutorado em Energia) – Universidade de São Paulo. São Paulo, 2012.

SCHAFFEL, S. B. **Em busca da Eco-Sócio Eficiência no caso da agricultura familiar voltada para a produção de biodiesel no Brasil.** 281f. 2010. Tese (Doutorado em Planejamento Energético) – Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2010.

SCHAFFEL, S. B.; LA ROVERE, E. L. ***The quest for eco-social efficiency in biofuels production in Brazil.*** Journal of Cleaner Production, v. 18, n. 16, p. 1663-1670, 2010.

SCHMIDHEINY, S. ***Changing Course: a global business perspective on development and the environment.*** 1 ed. London, England: The MIT Press, 1992.

SEBRAE (Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas). **Relatório da Rede Brasileira de P mais L 2003.** 2003. Disponível em: <www.cebds.org.br/cebds/pub-docs/relatorio-sustentabilidadebr/sebrae.pdf>. Acesso em 15 de outubro de 2014.

SEIFFERT, M. E. B. **ISO 14001 sistemas de gestão ambiental: implantação objetiva e econômica.** 1 ed. São Paulo: Atlas, 2005.

SONG, S. ***Ship emissions inventory, social cost and eco-efficiency in Shanghai Yangshan port.*** Atmospheric Environment, v. 82, p. 288-297, 2014.

SOUSA, Y. Comissão do Senado estipula limite de emissão de CO2 para carros. Disponível em: <<http://www.valor.com.br/politica/3042350/comissao-do-senado-estipula-limite-de-emissao-de-co2-para-carros>>. Acesso em 20 de fevereiro de 2015.

SOUZA, P. E. de. **Implantação de sistemas de gestão ambiental em indústrias de embalagens de papel.** 2009. 188f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Santa Catarina, 2009.

STREIT, R. **Veja o preço médio dos combustíveis no Brasil a partir de fevereiro.** Disponível em:

<http://www.cnt.org.br/Paginas/Agencia_Noticia.aspx?n=9327>. Acesso em 10 de dezembro de 2014.

TIBOR, T.; FELDMAN, I. **ISO 14000: um guia para as novas normas de gestão ambiental**. 2 ed. São Paulo: Futura, 1996.

UNCTAD, 2004, ***A Manual for The Preparers and Users of Eco-Efficiency Indicators***. Disponível

em: <http://www.unctad.org/en/docs/iteipc20037_en.pdf>. Acesso em 30 de outubro de 2014.

UNICA (União da Indústria de Cana-de-açúcar). **Produção e uso do etanol combustível no Brasil**. São Paulo: UNICA, 2013.

VALLE, C. E. do. **Qualidade Ambiental: ISO 14000**. 4. ed. São Paulo: Editora SENAC São Paulo, 2002.

VERGARA, S. C. **Métodos de pesquisa em administração**. 1 ed. São Paulo: Editora Atlas, 2005.

VILLALBA, G.; GEMECHU, E. D. Estimating GHG emissions of marine ports – the case of Barcelona. **Energy Policy**, v. 39, p.1363-1368, 2011.

WBCSD (World Business Council of Sustainable Development). ***Measuring Eco-Efficiency. A Guide to Reporting Company Performance***. World Business Council for Sustainable Development, 2000.

WBCSD-UNE. ***Eco-Efficiency and Cleaner Production: Charting the Course to Sustainability***. United Nations Commission on Sustainable Development (UNCSD) Annual Meeting, New York, 1996.

WORLD PORTS CLIMATE INITIATIVE. **Carbon Footprinting for Ports Guidance Document Draft**. 2009.

YANG, Z.; ZHOU, X.; XU, L. Eco-efficiency optimization for municipal solid waste management **Journal of Cleaner Production**, v.104, p.242-249, 2014.

YIN, K.; WANG, R.; AN, Q.; YAO, L.; LIANG, J. Using eco-efficiency as an indicator for sustainable urban development: A case study of Chinese provincial capital cities. **Ecological Indicators**, v. 36, p. 665-671, 2014.

ANEXO 1 – Quantidade de ônibus por ano de fabricação

Fase Programa PROCONVE Modelos de Ônibus	P3/P4 2000	P3/P4 2001	P4 2002	P4 2003	P4 2004	P4/P5 2005	P4/P5 2006	P4/P5 2007	P4/P5 2008	P5 2009	P5 2010	P5 2011	P7 2012	P7 2013	P7 2014
Convencional 3Pts	2	7	12	42		28	143	232	3						
Convencional 3Pts TRONCO						3	8	16							
Convencional 3Pts Elevador TRONCO									63	20	3	11	7		
Convencional 3Pts Elevador									104	250	131	49	95		
Convencional 5Pts Elevador											6	150			
Convencional 5Pts Elevador TRONCO											13	23	15		
Convencional 3Pts Ele EURO V													47	32	79
Padron CA 3Pts			3												
Articulado 3Pts Normal				6		5	2	9							
Articulado 3Pts Elevador									33	2	1				
Articulado 6Pts Elevador											8				
Padron CM 3Pts				9		4									
Articulado MD 3Pts Elevador				17		6				6					8
Micro-Ônibus Normal							2								
Micro-Ônibus 2Pts Elevador									7	2					

ANEXO 2 – Descrição da quantidade ônibus por cada combustível nos cenários propostos

Cenário 1.1

	Diesel S500														Diesel S10
Modelo de Ônibus	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Convencional 3Pts	2	7	12	42		28	143	232	3						
Convencional 3Pts TRONCO						3	8	16							
Convencional 3Pts Elevador TRONCO									63	20	3	11	7		
Convencional 3Pts Elevador									104	250	131	49	95		
Convencional 5Pts Elevador											6	150			
Convencional 5Pts Elevador TRONCO											13	23	15		
Convencional 3Pts Ele EURO V													47	32	79
Padron CA 3Pts			3												
Articulado 3Pts Normal				6		5	2	9							
Articulado 3Pts Elevador									33	2	1				
Articulado 6Pts Elevador											8				
Padron CM 3Pts				9		4									
Articulado MD 3Pts Elevador				17		6				6					8
Micro-Ônibus Normal							2								
Micro-Ônibus 2Pts Elevador									7	2					
Total:	1637														Total: 87

Frota do cenário: 1724 ônibus

Cenário 1.2

Modelo de Ônibus	Biodiesel B20										Diesel S500					Diesel S10
	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Convencional 3Pts	2	7	12	42		28	143	232	3							
Convencional 3Pts TRONCO						3	8	16								
Convencional 3Pts Elevador TRONCO									63		20	3	11	7		
Convencional 3Pts Elevador									104	94	156	131	49	95		
Convencional 5Pts Elevador												6	150			
Convencional 5Pts Elevador TRONCO												13	23	15		
Convencional 3Pts Ele EURO V														47	32	79
Padron CA 3Pts			3													
Articulado 3Pts Normal				6		5	2	9								
Articulado 3Pts Elevador									33		2	1				
Articulado 6Pts Elevador												8				
Padron CM 3Pts				9		4										
Articulado MD 3Pts Elevador				17		6					6					8
Micro-Ônibus Normal							2									
Micro-Ônibus 2Pts Elevador									7	2						
Total:	862										Total:					Total:
											775					87

Frota do cenário: 1724 ônibus

Cenários 1.3, 1.5, 1.6 e 1.7

Modelo de Ônibus	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Convencional 3Pts	2	7	12	42		28	143	232	3						
Convencional 3Pts TRONCO						3	8	16							
Convencional 3Pts Elevador TRONCO									63	20	3	11	7		
Convencional 3Pts Elevador									104	250	131	49	95		
Convencional 5Pts Elevador											6	150			
Convencional 5Pts Elevador TRONCO											13	23	15		
Convencional 3Pts Ele EURO V													47	32	79
Padron CA 3Pts			3												
Articulado 3Pts Normal				6		5	2	9							
Articulado 3Pts Elevador									33	2	1				
Articulado 6Pts Elevador											8				
Padron CM 3Pts				9		4									
Articulado MD 3Pts Elevador				17		6				6					8
Micro-Ônibus Normal							2								
Micro-Ônibus 2Pts Elevador									7	2					
Total:															
1.724															

Frota do cenário: 1724 ônibus

Cenário 1.4

Modelo de Ônibus	Diesel de cana de açúcar AMD30										Diesel S500					Diesel S10
	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Convencional 3Pts	2	7	12	42		28	143	232	3							
Convencional 3Pts TRONCO						3	8	16								
Convencional 3Pts Elevador TRONCO									63		20	3	11	7		
Convencional 3Pts Elevador									104	94	156	131	49	95		
Convencional 5Pts Elevador												6	150			
Convencional 5Pts Elevador TRONCO												13	23	15		
Convencional 3Pts Ele EURO V														47	32	79
Padron CA 3Pts			3													
Articulado 3Pts Normal				6		5	2	9								
Articulado 3Pts Elevador									33		2	1				
Articulado 6Pts Elevador												8				
Padron CM 3Pts				9		4										
Articulado MD 3Pts Elevador				17		6					6					8
Micro-Ônibus Normal							2									
Micro-Ônibus 2Pts Elevador									7	2						
Total:	862										Total:	775				Total:

Frota do cenário: 1724 ônibus

Cenário 2.1

Modelo de ônibus	Quilometragem média por modelo de ônibus	Diesel S500								Diesel S10	
		2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	Quilometragem média modelo de ônibus	2014
Convencional 3Pts	75.271,71		210	3							
Convencional 3Pts TRONCO											
Convencional 3Pts Elevador TRONCO	75.193,83			63	20	3	11	7			
Convencional 3Pts Elevador	75.661,77			104	250	131	49	95			
Convencional 5Pts Elevador	76.387,39					6	150				
Convencional 5Pts Elevador TRONCO	37.969,02					13	23	15			
Convencional 3Pts Ele EURO V	74.477,70							47	32	76.294,96	378
Padron CA 3Pts											
Articulado 3Pts Normal											
Articulado 3Pts Elevador	78.697,08			33	2	1					
Articulado 6Pts Elevador	19.619,79					8					
Padron CM 3Pts											
Articulado MD 3Pts Elevador	2.579,67				6					28.822,19	53
Micro-Ônibus Normal	52.662,39	2									
Micro-Ônibus 2Pts Elevador	52.662,39			7	2						
		Total:									
		1293									Total:
											431

Frota do cenário: 1724 ônibus

Cenário 2.2

Modelo de Ônibus	Biodiesel B20					Diesel S500						Diesel S10	
	Quilometragem média por modelo de ônibus	200 6	200 7	200 8	200 9	Quilometragem média por modelo de ônibus	200 9	201 0	201 1	201 2	201 3	Quilometragem média por modelo de ônibus	2014
Convencional 3Pts	75.271,71		210	3									
Convencional 3Pts TRONCO													
Convencional 3Pts Elevador TRONCO	75.193,83			63		75.193,83	20	3	11	7			
Convencional 3Pts Elevador	75.661,77			104		75.661,77	250	131	49	95			
Convencional 5Pts Elevador						76.387,39		6	150				
Convencional 5Pts Elevador TRONCO						37.969,02		13	23	15			
Convencional 3Pts Ele EURO V						74.477,70				47	32	76.294,96	378
Padron CA 3Pts													
Articulado 3Pts Normal													
Articulado 3Pts Elevador	78.697,08			33	1	78.697,08	1	1					
Articulado 6Pts Elevador						19.619,79		8					
Padron CM 3Pts													
Articulado MD 3Pts Elevador	2.579,67				6							28.822,19	53
Micro-Ônibus Normal	52.662,39	2											
Micro-Ônibus 2Pts Elevador	52.662,39			7	2								
Micro-Ônibus 2Pts Elevador													
Total: 431						Total: 862						Total: 431	

Frota do cenário: 1724 ônibus

Cenários 2.3, 2.5, 2.6 e 2.7

Modelo de Ônibus	Quilometragem média por modelo de ônibus	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Convencional 3Pts	75.271,71		210	3						
Convencional 3Pts TRONCO										
Convencional 3Pts Elevador TRONCO	75.193,83			63	20	3	11	7		
Convencional 3Pts Elevador	75.661,77			104	250	131	49	95		
Convencional 5Pts Elevador	76.387,39					6	150			
Convencional 5Pts Elevador TRONCO	37.969,02					13	23	15		
Convencional 3Pts Ele EURO V	75.980,81							47	32	378
Padron CA 3Pts										
Articulado 3Pts Normal										
Articulado 3Pts Elevador	78.697,08			33	2	1				
Articulado 6Pts Elevador	19.619,79					8				
Padron CM 3Pts										
Articulado MD 3Pts Elevador	26.153,46				6					53
Micro-Ônibus Normal	52.662,39	2								
Micro-Ônibus 2Pts Elevador	52.662,39			7	2					
		Total: 1.724								

Frota do cenário: 1724 ônibus

Cenário 2.4

Modelo de Ônibus	Diesel de cana de açúcar AMD30					Diesel S500						Diesel S10	
	Quilometragem média por modelo de ônibus	200 6	200 7	200 8	200 9	Quilometragem média por modelo de ônibus	200 9	201 0	201 1	201 2	201 3	Quilometragem média por modelo de ônibus	2014
Convencional 3Pts	75.271,71		210	3									
Convencional 3Pts TRONCO													
Convencional 3Pts Elevador TRONCO	75.193,83			63		75.193,83	20	3	11	7			
Convencional 3Pts Elevador	75.661,77			104		75.661,77	250	131	49	95			
Convencional 5Pts Elevador						76.387,39		6	150				
Convencional 5Pts Elevador TRONCO						37.969,02		13	23	15			
Convencional 3Pts Ele EURO V						74.477,70				47	32	76.294,96	378
Padron CA 3Pts													
Articulado 3Pts Normal													
Articulado 3Pts Elevador	78.697,08			33	1	78.697,08	1	1					
Articulado 6Pts Elevador						19.619,79		8					
Padron CM 3Pts													
Articulado MD 3Pts Elevador	2.579,67				6							28.822,19	53
Micro-Ônibus Normal	52.662,39	2											
Micro-Ônibus 2Pts Elevador	52.662,39			7	2								
Micro-Ônibus 2Pts Elevador													
Total: 431						Total: 862						Total: 431	

Frota do cenário: 1724 ônibus

Cenário 3.1

Modelo de Ônibus	Quilometragem média por modelo de ônibus	Diesel S500								Diesel S10	
		2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	Quilometragem média por modelo de ônibus	2014
Convencional 3Pts											
Convencional 3Pts TRONCO											
Convencional 3Pts Elevador TRONCO	75.193,83				2	3	11	7			
Convencional 3Pts Elevador	75.661,77				250	131	49	95			
Convencional 5Pts Elevador	76.387,39					6	150				
Convencional 5Pts Elevador TRONCO	37.969,02					13	23	15			
Convencional 3Pts Ele EURO V	74.477,70							47	32	75.814,29	776
Padron CA 3Pts											
Articulado 3Pts Normal											
Articulado 3Pts Elevador	78.697,08				2	1					
Articulado 6Pts Elevador	19.619,79					8					
Padron CM 3Pts											
Articulado MD 3Pts Elevador	5.159,33				6					47.780,25	86
Micro-Ônibus Normal	52.662,39	2									
Micro-Ônibus 2Pts Elevador	52.662,39			7	2						
		Total:									Total:
		862									862

Frota do cenário: 1724 ônibus

Cenário 3.2

Modelo de Ônibus	Quilometragem média por modelo de ônibus	Biodiesel B20								Diesel S10	
		2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	Quilometragem média por modelo de ônibus	2014
Convencional 3Pts											
Convencional 3Pts TRONCO											
Convencional 3Pts Elevador TRONCO	75.193,83				2	3	11	7			
Convencional 3Pts Elevador	75.661,77				250	131	49	95			
Convencional 5Pts Elevador	76.387,39					6	150				
Convencional 5Pts Elevador TRONCO	37.969,02					13	23	15			
Convencional 3Pts Ele EURO V	74.477,70							47	32	75.814,29	776
Padron CA 3Pts											
Articulado 3Pts Normal											
Articulado 3Pts Elevador	78.697,08				2	1					
Articulado 6Pts Elevador	19.619,79					8					
Padron CM 3Pts											
Articulado MD 3Pts Elevador	5.159,33				6					47.780,25	86
Micro-Ônibus Normal	52.662,39	2									
Micro-Ônibus 2Pts Elevador	52.662,39			7	2						
		Total:									Total:
		862									862

Frota do cenário: 1724 ônibus

Cenários 3.3, 3.5, 3.6 e 3.7

Modelo de Ônibus	Quilometragem média por modelo de ônibus	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Convencional 3Pts										
Convencional 3Pts TRONCO										
Convencional 3Pts Elevador TRONCO	75.193,83				2	3	11	7		
Convencional 3Pts Elevador	75.661,77				250	131	49	95		
Convencional 5Pts Elevador	76.387,39					6	150			
Convencional 5Pts Elevador TRONCO	37.969,02					13	23	15		
Convencional 3Pts Ele EURO V	75.690,80							47	32	776
Padron CA 3Pts										
Articulado 3Pts Normal										
Articulado 3Pts Elevador	78.697,08				2	1				
Articulado 6Pts Elevador	19.619,79					8				
Padron CM 3Pts										
Articulado MD 3Pts Elevador	45.000,63				6					86
Micro-Ônibus Normal	52.662,39	2								
Micro-Ônibus 2Pts Elevador	52.662,39			7	2					
		Total:								
		1.724								

Frota do cenário: 1724 ônibus

Cenário 3.4

Modelo de Ônibus	Quilometragem média por modelo de ônibus	Diesel de cana de açúcar AMD30								Diesel S10	
		2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	Quilometragem média por modelo de ônibus	2014
Convencional 3Pts											
Convencional 3Pts TRONCO											
Convencional 3Pts Elevador TRONCO	75.193,83				2	3	11	7			
Convencional 3Pts Elevador	75.661,77				250	131	49	95			
Convencional 5Pts Elevador	76.387,39					6	150				
Convencional 5Pts Elevador TRONCO	37.969,02					13	23	15			
Convencional 3Pts Ele EURO V	74.477,70							47	32	75.814,29	776
Padron CA 3Pts											
Articulado 3Pts Normal											
Articulado 3Pts Elevador	78.697,08				2	1					
Articulado 6Pts Elevador	19.619,79					8					
Padron CM 3Pts											
Articulado MD 3Pts Elevador	5.159,33				6					47.780,25	86
Micro-Ônibus Normal	52.662,39	2									
Micro-Ônibus 2Pts Elevador	52.662,39			7	2						
		Total:									Total:
		862									862

Frota do cenário: 1724 ônibus

Cenário 4.1

Modelo de Ônibus	Quilometragem média por modelo de ônibus	Diesel S500								Diesel S10	
		2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	Quilometragem média por modelo de ônibus	2014
Convencional 3Pts											
Convencional 3Pts TRONCO											
Convencional 3Pts Elevador TRONCO	75.193,83						2	7			
Convencional 3Pts Elevador	75.661,77						49	95			
Convencional 5Pts Elevador	76.387,39						150				
Convencional 5Pts Elevador TRONCO	37.969,02						23	15			
Convencional 3Pts Ele EURO V	74.477,70							47	32	75.347,61	1190
Padron CA 3Pts											
Articulado 3Pts Normal											
Articulado 3Pts Elevador											
Articulado 6Pts Elevador											
Padron CM 3Pts											
Articulado MD 3Pts Elevador										44.010,75	103
Micro-Ônibus Normal	52.662,39	2									
Micro-Ônibus 2Pts Elevador	52.662,39			7	2						
		Total:									
		431									Total:
											1293

Frota do cenário: 1724 ônibus

Biodiesel B20											Diesel S10	
Modelo de Ônibus	Quilometragem média por modelo de ônibus	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	Quilometragem média por modelo de ônibus	2014
Convencional 3Pts												
Convencional 3Pts TRONCO												
Convencional 3Pts Elevador TRONCO	676.744,50						2	7				
Convencional 3Pts Elevador	10.895.294,40						49	95				
Convencional 5Pts Elevador	11.458.107,92						150					
Convencional 5Pts Elevador TRONCO	1.442.822,92						23	15				
Convencional 3Pts Ele EURO V	35.269.307,71							47	32	390	75.347,61	800
Padron CA 3Pts												
Articulado 3Pts Normal												
Articulado 3Pts Elevador												
Articulado 6Pts Elevador												
Padron CM 3Pts												
Articulado MD 3Pts Elevador	1.804.440,72									41	44.010,75	62
Micro-Ônibus Normal	105.324,78	2										
Micro-Ônibus 2Pts Elevador	473.961,51			7	2							
		Total: 862										Total: 862
Frota do cenário: 1724 ônibus												

Cenários 4.3, 4.5, 4.6 e 4.7

Modelo de Ônibus	Quilometragem média por modelo de ônibus	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Convencional 3Pts										
Convencional 3Pts TRONCO										
Convencional 3Pts Elevador TRONCO	676.744,50						2	7		
Convencional 3Pts Elevador	10.895.294,40						49	95		
Convencional 5Pts Elevador	11.458.107,92						150			
Convencional 5Pts Elevador TRONCO	1.442.822,92						23	15		
Convencional 3Pts Ele EURO V	95.547.398,57							47	32	1190
Padron CA 3Pts										
Articulado 3Pts Normal										
Articulado 3Pts Elevador										
Articulado 6Pts Elevador										
Padron CM 3Pts										
Articulado MD 3Pts Elevador	4.533.107,18									103
Micro-Ônibus Normal	105.324,78	2								
Micro-Ônibus 2Pts Elevador	473.961,51			7	2					
		Total:								
		1.724								

Frota do cenário: 1724 ônibus

Cenário 5.1

Modelo de Ônibus	Diesel S10	
	Quilometragem média por modelo de ônibus	2014
Convencional 3Pts		
Convencional 3Pts TRONCO		
Convencional 3Pts Elevador TRONCO		
Convencional 3Pts Elevador		
Convencional 5Pts Elevador		
Convencional 5Pts Elevador TRONCO		
Convencional 3Pts Ele EURO V	74.546,81	1610
Padron CA 3Pts		
Articulado 3Pts Normal		
Articulado 3Pts Elevador		
Articulado 6Pts Elevador		
Padron CM 3Pts		
Articulado MD 3Pts Elevador	44.010,75	103
Micro-Ônibus Normal		
Micro-Ônibus 2Pts Elevador	52.662,39	11
		Total:
		1.724
Frota do cenário: 1724 ônibus		

Cenário 5.2

Modelo de Ônibus	Biodiesel B20		Diesel S10	
	Quilometragem média por modelo de ônibus	2014	Quilometragem média por modelo de ônibus	2014
Convencional 3Pts				
Convencional 3Pts TRONCO				
Convencional 3Pts Elevador TRONCO				
Convencional 3Pts Elevador				
Convencional 5Pts Elevador				
Convencional 5Pts Elevador TRONCO				
Convencional 3Pts Ele EURO V	74.546,81	800	60.382.918,22	810
Padron CA 3Pts				
Articulado 3Pts Normal				
Articulado 3Pts Elevador				
Articulado 6Pts Elevador				
Padron CM 3Pts				
Articulado MD 3Pts Elevador	44.010,75	51	2.288.558,96	52
Micro-Ônibus Normal				
Micro-Ônibus 2Pts Elevador	52.662,39	11		
		Total: 862		Total: 862

Frota do cenário: 1724 ônibus

Cenários 5.3, 5.5, 5.6 e 5.7

Modelo de Ônibus	Quilometragem média por modelo de ônibus	2014
Convencional 3Pts		
Convencional 3Pts TRONCO		
Convencional 3Pts Elevador TRONCO		
Convencional 3Pts Elevador		
Convencional 5Pts Elevador		
Convencional 5Pts Elevador TRONCO		
Convencional 3Pts Ele EURO V	74.546,81	1610
Padron CA 3Pts		
Articulado 3Pts Normal		
Articulado 3Pts Elevador		
Articulado 6Pts Elevador		
Padron CM 3Pts		
Articulado MD 3Pts Elevador	44.010,75	103
Micro-Ônibus Normal		
Micro-Ônibus 2Pts Elevador	52.662,39	11
		Total:
		1.724

Frota do cenário: 1724 ônibus

Cenário 5.4

Modelo de Ônibus	Diesel de cana de açúcar AMD30		Diesel S10	
	Quilometragem média por modelo de ônibus	2014	Quilometragem média por modelo de ônibus	2014
Convencional 3Pts				
Convencional 3Pts TRONCO				
Convencional 3Pts Elevador TRONCO				
Convencional 3Pts Elevador				
Convencional 5Pts Elevador				
Convencional 5Pts Elevador TRONCO				
Convencional 3Pts Ele EURO V	74.546,81	800	60.382.918,22	810
Padron CA 3Pts				
Articulado 3Pts Normal				
Articulado 3Pts Elevador				
Articulado 6Pts Elevador				
Padron CM 3Pts				
Articulado MD 3Pts Elevador	44.010,75	51	2.288.558,96	52
Micro-Ônibus Normal				
Micro-Ônibus 2Pts Elevador	52.662,39	11		
		Total: 862		Total: 862

Frota do cenário: 1724 ônibus