

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE TECNOLOGIA
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL
ENG 1002 – TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

POLUIÇÃO DECORRENTE DO TRÂNSITO: CAUSAS E SOLUÇÕES DESSE
MALEFÍCIO SOCIAL

VICTOR GABRIEL THOMASI DE ALMEIDA

SANTA MARIA, RS
2022

VICTOR GABRIEL THOMASI DE ALMEIDA

POLUIÇÃO DECORRENTE DO TRÂNSITO: CAUSAS E SOLUÇÕES DESSE
MALEFÍCIO SOCIAL

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Universidade
Federal de Santa Maria como
requisito parcial para a obtenção
do título de Bacharel em
Engenharia Civil.

Orientador Prof.º Dr.º Carlos José Antônio Kümmel Félix

Santa Maria, RS
2022

Carlos José Antônio Kümmel Félix, Dr. (UFSM)
(Presidente/Orientador)

Jaime Freiburger Junior, Dr. (UFSM)

Engenheira Lauren Marcon Pinheiro

Santa Maria, RS
2022

Dedico este trabalho aos meus pais, Izaac Souza de Almeida e Marisa Thomasi de Almeida, à minha irmã Liara Thomasi de Almeida e aos meus avós, tios, primos e amigos que sempre me apoiaram e torceram por mim.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus por me dar força, resiliência e sabedoria durante todo o percurso. Aos meus pais, Marisa e Izaac, grandes exemplos, por todo o carinho, motivação e suporte. Meu mais carinhoso agradecimento à vocês que abdicaram de muita coisa para me proporcionar melhores oportunidades do que tiveram, educação e boa condição de vida. Sempre estiveram ao meu lado, incentivando cada uma das minhas escolhas, torcendo e rezando por mim, me dando suporte em todos os momentos difíceis e comemorando todas as minhas conquistas. Muito obrigado por acreditarem e apostarem todas as suas fichas em mim! Meu maior objetivo de vida é recompensá-los por tudo que fizeram e fazem por mim. A minha irmã, Liara, pela parceria e disposição em me ajudar sempre que necessário. Muito obrigado pela preocupação, pelas palavras de incentivo e pelos momentos de descontração compartilhados. À toda minha família, padrinhos, tios, primos, afilhados e amigos que me deram suporte e acreditaram nas minhas escolhas, torcendo sempre para que eu alcançasse meus objetivos. Ao meu orientador, professor Carlos José Antônio Kümmel Félix, pela paciência e confiança para realização desse trabalho, bem como pelos conselhos, diálogos, ensinamentos e disponibilidade durante este processo. És um exemplo de profissional para mim, e acabou se tornando um grande amigo! E por fim e não menos importante, à Coordenação de Engenharia Civil, meus professores e à UFSM pelo ensino de qualidade indiscutível e infraestrutura que me foi disponibilizada durante esses anos de graduação.

“O ar que poluímos é o
mesmo que respiramos”
(Autor desconhecido)

RESUMO

POLUIÇÃO DECORRENTE DO TRÂNSITO: CAUSAS E SOLUÇÕES DESSE MALEFÍCIO SOCIAL

AUTOR: Victor Gabriel Thomasi de Almeida
ORIENTADOR: Prof.º Dr.º Carlos José Antônio Kümmel Félix

A emissão de poluentes afeta diretamente a qualidade de vida humana, por isso, buscam-se cada vez mais formas de aumentar a sustentabilidade das atividades econômicas. O presente trabalho tem a finalidade de pesquisar as principais fontes de poluentes dos sistemas de transportes e apresentar soluções para a melhora da qualidade do ar através da racionalização de processos de deslocamentos. Entre as principais fontes de poluentes, e que serão abordadas nesse estudo, estão as atividades relacionadas ao uso de veículos à combustão para o deslocamento, seja de cargas, através de caminhões, ou de pessoas, através de transporte privado (por exemplo, carro) ou por transporte coletivo (por exemplo, ônibus). Demonstrar-se-á através de revisões de pesquisa, as situações críticas para o aumento da emissão de poluentes, como por exemplo, fontes de congestionamentos, tais como pedágios. Por fim, serão demonstrados exemplos de como a engenharia de tráfego pode mitigar a emissão de poluentes. O presente estudo terá como base pesquisas bibliográficas.

Palavras-chave: Emissão de poluentes. Sustentabilidade. Cidades Inteligentes.

ABSTRACT

TRAFFIC POLLUTION: CAUSES AND SOLUTIONS

AUTHOR: Victor Gabriel Thomasi de Almeida
ADVISOR: PhD Carlos José Antônio Kümmel Félix

The emission of pollutants directly affects the quality of human life, therefore, ways are increasingly sought to increase the sustainability of economic activities. The present work aims to research the main sources of pollutants in transport systems and present solutions to improve air quality through the rationalization of displacement processes. Among the main sources of pollutants, and which will be addressed in this study, are the activities related to the use of combustion vehicles for displacement, whether cargo, through trucks, or people, through private transport (for example, car) or by public transport (eg bus). It will be demonstrated through research reviews, the critical situations for the increase in the emission of pollutants, such as, for example, sources of congestion, such as tolls. Finally, examples of how traffic engineering can mitigate the emission of pollutants will be demonstrated. The present study will be based on bibliographic research.

Keywords: Emission of pollutants. Sustainability. SmartCities

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Poluição em rodovia de Pequim.....	13
Figura 2: Emissões de CO2 equivalente por fonte – Brasil, 2006 (Em %)	14
Figura 3: Emissões de CO2 equivalente no transporte – Brasil (Em %)	16
Figura 4: Funcionamento motor Ciclo Otto	17
Figura 5: Ciclo de Otto Real	18
Figura 6: Componentes do motor Ciclo Otto.....	18
Figura 7: Veículo Ciclo Otto	19
Figura 8: Funcionamento do Ciclo Atkinson	19
Figura 9: Veículo ciclo Atkinson.....	20
Figura 10: Veículo Ciclo Miller	20
Figura 11: Veículo Ciclo Budack	21
Figura 12: Componentes motor diesel.....	22
Figura 13: Ônibus diesel.....	23
Figura 14: Externalidades negativas do transporte urbano.....	24
Figura 15: Média anual PM 2.5 modelada para o ano de 2016 (ug / m3).....	27
Figura 16: Taxa de mortalidade atribuída à poluição atmosférica por país.....	30
Figura 17: Emissões nos diferentes setores.....	32
Figura 18: Esquema chuva ácida.....	34
Figura 19: Emissões de NOx por categoria.....	34
Figura 20: Emissões SO2 por categoria veicular.....	36
Figura 21: Smog em uma cidade.....	36
Figura 22: Evolução da emissão de poluentes em SP.....	37
Figura 23: Antes x Depois praça de pedágio.....	39
Figura 24: Congestionamento na zona sul de São Paulo.....	41
Figura 25: Evolução de limites internacionais de emissões de NOX.....	45
Figura 26: Evolução de limites internacionais de emissões de NOX.....	46
Figura 27: Comparativo P8.....	50
Figura 28: Comparativo emissões P8.....	52
Figura 29: Comparativo P8.....	53
Figura 30: Etiqueta PEB.....	54
Figura 31: Selo CONPET.....	55
Figura 32: Pedágio Free Flow em São Paulo.....	60
Figura 33: Semáforos inteligentes em São José dos Campos.....	62
Figura 34: Carro elétrico.....	64
Figura 35: Veículo Elétrico.....	65
Figura 36: Evolução dos veículos elétricos.....	66

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Índice de emissões de CO2 por passageiro quilômetro – Brasil.....	23
Quadro 2: : Comparação das emissões de escapamento decorrentes de diferentes motorizações em um mesmo tipo de veículo.....	24
Quadro 3: Contribuição para a poluição por setor.....	25
Quadro 4: Emissão de material particulado.....	28
Quadro 5: Concentração de Formaldeído em SP.....	33
Quadro 6: Contribuição relativa de fontes de poluição do ar.....	38
Quadro 7: Comparativo de emissões.....	39
Quadro 8: Fases do PROCONVE.....	49
Quadro 9: Equiparação EURO e PROCONVE.....	53
Quadro 10: Exemplos de estratégias TDM.....	59
Quadro 11: Comparação de poluição antes e depois da instalação de pedágio Free Flow	60

LISTA DE ABREVIATURAS

IEMA (Instituto de Energia e Meio Ambiente)
OMS (Organização Mundial da Saúde)
PROCONVE (Programa de Controle da Poluição do ar por veículos automotores)
CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente)
PM (Particulate Matter)
CDC (Centers for Disease Control and Prevention)
FEPAM (Fundação Estadual de Proteção Ambiental
NIH (National Institute of Health)
NO₂ (Dióxido de Nitrogênio)
NO (Óxido de Nitrogênio)
CETESB (Companhia Ambiental do Estado de São Paulo)
HC (Hidrocarbonetos)
USP (Universidade de São Paulo)
PRONAR (Programa Nacional de Controle de Qualidade do Ar)
IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística)
ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas)
NO_x (Óxido de Nitrogênio)
SCR (Sistema de recirculação catalítica)
AEA (Associação de Engenharia Automotiva)
EGR (ExhaustGasRecirculation)
PBEV (Programa brasileiro de etiquetagem veicular)
ENCE (Etiqueta nacional de Conservação de Energia)
CTB (Código de Trânsito Brasileiro)
SAE (Society of Automotive Engineers)
PM (Particulated Material)
CO (Monóxido de Carbono)
CO₂ (Dióxido de Carbono)
FEPAM (Fundação Estadual de Proteção Ambiental)
EPA (Environmental Protection Agency)
USA (United States of America)
CETESB (Companhia Ambiental do Estado de São Paulo)
SO₂ (Dióxido de Enxofre)
SO₃ (Trióxido de Enxofre)
H₂SO₄ (ÁcidoSulfúrico)

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	OBJETIVOS	15
1.1.1	OBJETIVO GERAL	15
1.1.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
1.2	JUSTIFICATIVA	15
1.3	ESTRUTURA DO TRABALHO	15
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	16
2.1	FATOR DE POLUIÇÃO: VEÍCULO À COMBUSTÃO	16
	16
2.1.1	FUNCIONAMENTO DE VEÍCULOS	17
2.1.2	CICLO OTTO	17
2.1.3	CICLO ATKINSON.....	19
2.1.4	CICLO MILLER	20
2.1.5	CICLO BUDACK	21
2.1.6	CICLO DIESEL	22
2.2	SUBSTÂNCIAS NOCIVAS EMITIDAS POR VEÍCULOS	26
2.2.1	MATERIAL PARTICULADO 2.5.....	26
2.2.2	MATERIAL PARTICULADO 10.....	27
2.2.3	MONÓXIDO DE CARBONO	29
2.2.4	DIÓXIDO DE CARBONO	30
2.2.5	FORMALDEÍDO	32
2.2.6	ÓXIDO DE NITROGÊNIO.....	33
2.2.7	DIÓXIDO DE ENXOFRE.....	35
2.2.8	HIDROCARBONETO.....	36
2.3	FONTES DE CONCENTRAÇÃO DE EMISSÕES.....	38
2.3.1	PEDÁGIOS	38
2.3.2	CONGESTIONAMENTOS	41
2.4	LEGISLAÇÃO AMBIENTAL	43
2.4.1	ABNT NBR 6601	43
2.4.2	PROCONVE.....	44
	REDUÇÃO CATALÍTICA SELETIVA (SCR)	51
	RECIRCULAÇÃO DE GASES DA EXAUSTÃO (EGR)	51
	DIESEL COM TEOR REDUZIDO DE ENXOFRE.....	51
	BENEFÍCIOS DO PROCONVE P8	52
2.4.3	PROGRAMA DE ETIQUETAGEM	54
2.4.4	ROTA 30	56
2.5	CIDADES INTELIGENTES.....	58
2.5.1	PEDAGIO FREE FLOW.....	59
	FONTE: LIN (2020).....	60
2.5.2	ONDA VERDE	61
2.6	CARROS ELÉTRICOS.....	64
2.6.1	O IMPACTO DA MATRIZ ENERGÉTICA	66
3	ANÁLISE CRÍTICA.....	67
4	CONCLUSÃO	68

1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos houve um significativo aumento dos veículos automotores em circulação nas vias brasileiras. De acordo com o Mobilize Brasil¹, portal especializado em mobilidade sustentável, a frota de automóveis brasileira cresceu vertiginosamente, chegando a cerca de 1 (um) carro para cada 3 (três) habitantes (AZEVEDO e RIBEIRO, 2019). O que, à primeira vista, representou um avanço econômico, sob aspecto diverso, demandou reflexões acerca do desequilíbrio ambiental provocado pela emissão de poluentes.

A poluição do ar é um dos maiores problemas ambientais. Uma pesquisa inédita realizada pelo Instituto de Energia e Meio Ambiente (IEMA, 2017), em São Paulo, revelou que os automóveis respondem por cerca de 70% das emissões de gases do efeito estufa. Outro estudo, divulgado pela Organização Mundial da Saúde (OMS), estima que a poluição atmosférica responda por cerca de 7 (sete) milhões de mortes precoces no planeta. Além disso, cerca de 90% da população mundial está exposta a níveis de concentração de poluentes acima dos recomendados pela OMS.

Figura 1: Poluição em rodovia de Pequim

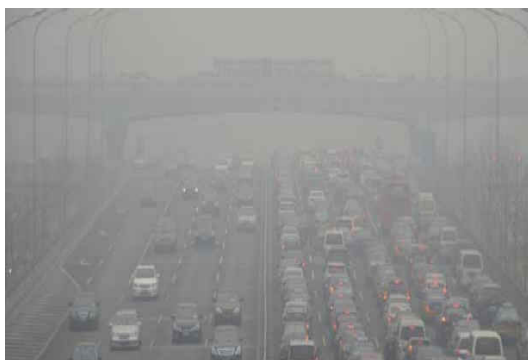


Foto: Wang Zhao/AFP Photo

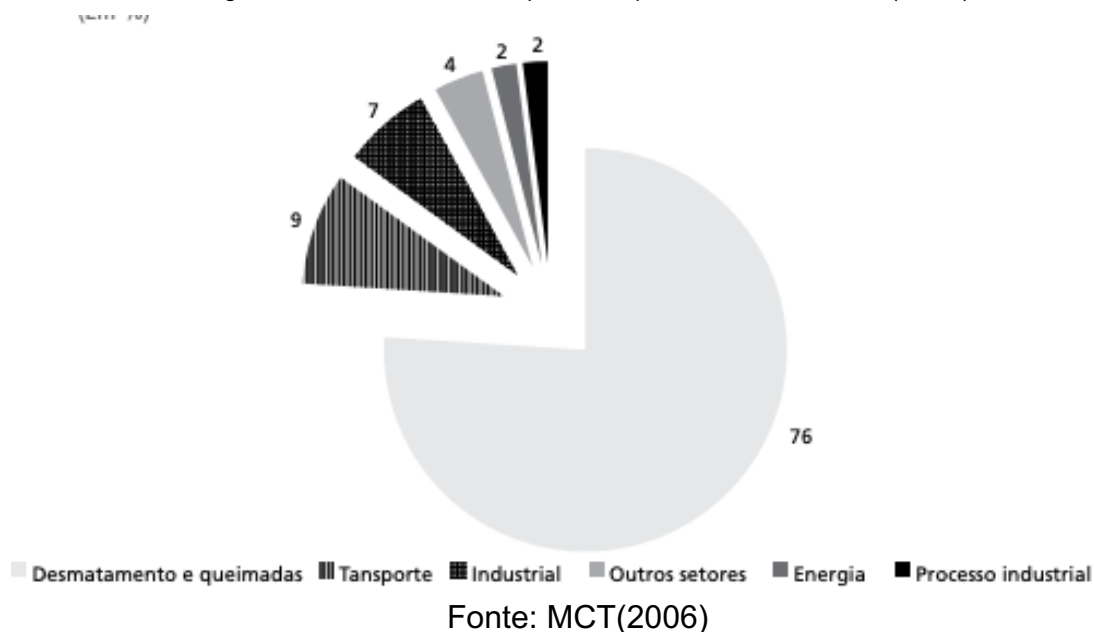
Ocorre que a dualidade avanço econômico x meio ambiente não mais se mantém, considerando a possibilidade do desenvolvimento econômico sustentável. De acordo com a World Wide Fund For Nature (2020), organização internacional de conservação ambiental, o desenvolvimento sustentável é

¹Mobilize Brasil (<https://mobilize.org.br/>)

aquele com a capacidade de fornecer as necessidades da atual geração, sem que isso comprometa as necessidades das gerações futuras.

Com a crescente preocupação diante da emissão de poluentes, buscam-se, cada vez mais, métodos sustentáveis na realização das atividades econômicas, mesmo com pequenas mudanças. Uma dessas modificações foi a aprovação de novas fases para o Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores (Proconve) do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Nos Estados Unidos, onde essas fases já estavam em vigor, estima-se que até 2030 será possível evitar anualmente 50.000 (cinquenta mil) casos de doenças respiratórias em crianças e 2.000 (duas mil) mortes prematuras (COPD, 2017).

Figura 2: Emissões de CO2 equivalente por fonte – Brasil, 2006 (Em %)



1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Este Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) tem por objetivo geral de qualificar algumas medidas que contribuam com a diminuição da poluição atmosférica de veículos automotores.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Identificar as principais fontes de poluição, associadas à circulação de veículos automotores.
- Realizar pesquisa bibliográfica dos principais poluentes emitidos por veículos automotores.
- Discutir melhorias dos processos das atividades relacionados ao transporte para atenuar a poluição.

1.2 JUSTIFICATIVA

Ao observar a lacuna existente nos processos de deslocamentos motorizados, notou-se a viabilidade e a importância de elaborar um projeto de pesquisa que tivesse o enfoque na disseminação do conhecimento de formas mais eficientes de transporte que podem gerar uma redução na emissão de contaminantes atmosféricos. Além destas lacunas que geraram a oportunidade do projeto, existe a inquietude pessoal do autor pelos meios de transporte e pela conservação ambiental.

1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

O presente trabalho é constituído por 4 (quatro) capítulos. O capítulo atual possui os seguintes tópicos: introdução; objetivos; justificativa e estrutura do trabalho.

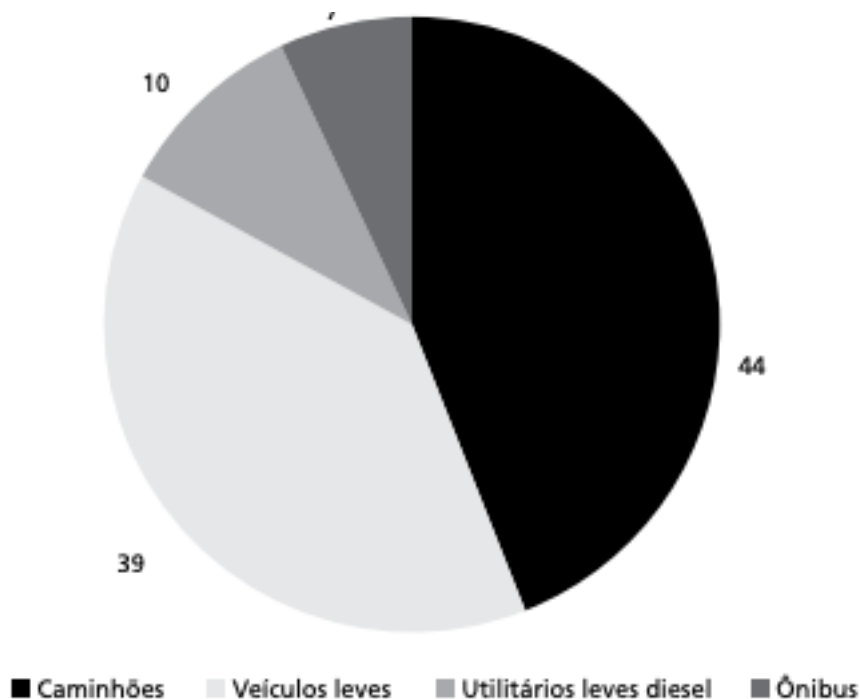
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo tem como objetivo contextualizar e apresentar uma revisão da literatura relacionada ao tema tratado neste trabalho.

2.1 FATOR DE POLUIÇÃO: VEÍCULO À COMBUSTÃO

A revolução industrial, em meados do século XVIII, contribuiu para a expansão da indústria automobilística moderna (Fogaça, 2019). Até então, os transportes eram realizados principalmente por animais. Os principais veículos automotores atualmente empregados no transporte de passageiros e de cargas utilizam motores de combustão interna para gerar a energia necessária para o seu deslocamento. Os principais tipos de motores de combustão interna utilizados em escala comercial são os seguintes: ciclo Otto, Atkinson, Miller, Budack e Diesel, os quatro primeiros utilizados em veículos leves, já o último utilizado em veículos pesados.

Figura 3: Emissões de CO2 equivalente no transporte – Brasil, 2006 (Em %)



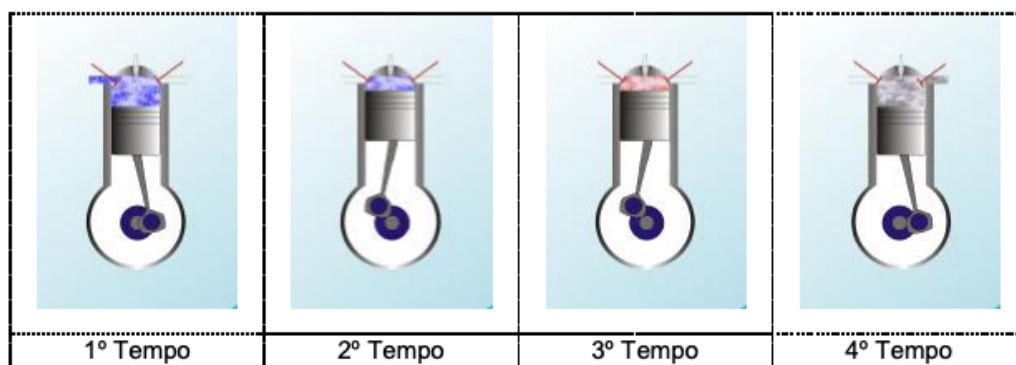
Fonte: MCT (2006)

2.1.1 FUNCIONAMENTO DE VEÍCULOS

2.1.2 Ciclo Otto

O inventor do projeto do motor 4 tempos foi o Engenheiro alemão Nikolas August Otto (1832-1891), segundo Daniel Schulz (2009), o ciclo Otto é constituído por 4 (quatro) processos reversíveis internamente: admissão isobárica, compressão adiabática, expansão adiabática e exaustão isobárica. Esse tipo de motor também é conhecido por 4 (quatro) tempos, por possuir 4 (quatro) etapas de funcionamento: admissão, compressão, expansão e exaustão.

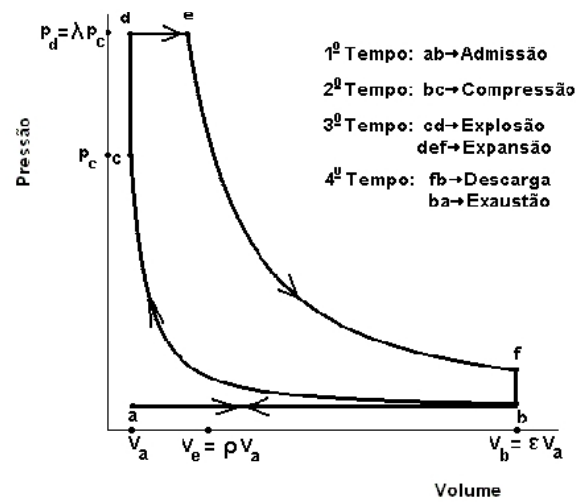
Figura 4: Funcionamento motor Ciclo Otto



Fonte: NOA – UFPB

No 1º tempo ocorre a admissão da mistura de ar com o combustível. O pistão desce e a válvula de admissão é aberta possibilitando a entrada da mistura. No 2º tempo ocorre a compressão. Estando as válvulas fechadas, o pistão sobe e comprime a mistura de ar e combustível. Já no 3º tempo ocorre a explosão. Quando o pistão atinge o ponto de compressão máximo uma faísca elétrica provocada pela vela provoca a explosão do combustível, a explosão empurra o pistão para baixo. E por fim, no 4º tempo, ocorre a exaustão. A válvula de escape aberta possibilitando o expulsão dos gases resultantes da explosão. Reiniciando o ciclo.

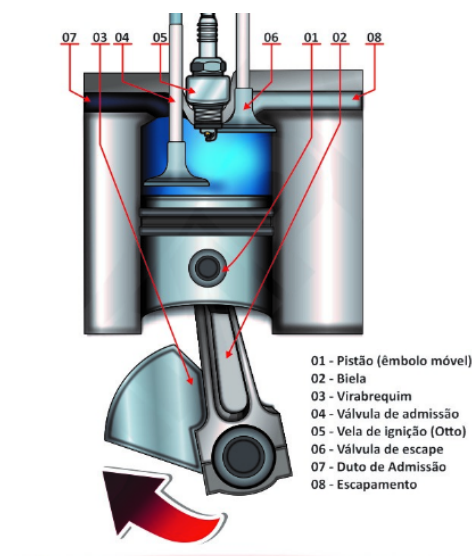
Figura 5: Ciclo de Otto Real



Fonte: Daniel Schulz – UFRGS (2009)

Os principais componentes que caracterizam o motor ciclo otto são: válvulas – que controlam a entrada e a saída de ar; a vela – que emite a centelha necessária para queimar a mistura de ar e combustível comprimida; e o virabrequim – que tem as funções de acionar as válvulas, sincronizar os pistões e transmitir a energia mecânica decorrente da explosão no cilindro.

Figura 6: Componentes do motor Ciclo Otto



Fonte: Simplusbr

Figura 7: Veículo Ciclo Otto

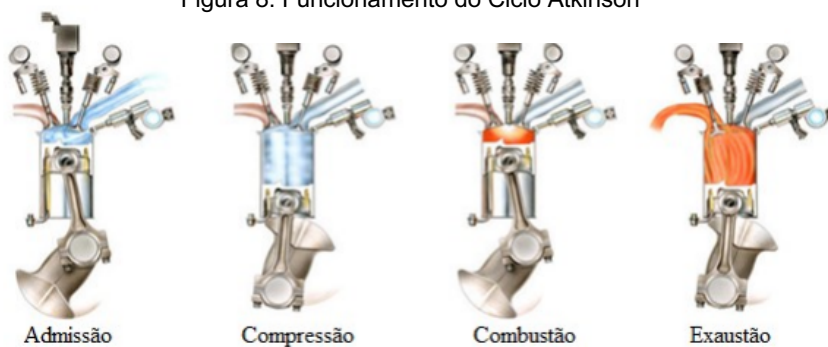


Fonte: Chevrolet (2021)

2.1.3 Ciclo Atkinson

Criado por James Atkinson em 1882, é descrito por Nick Connor (2020) como visualmente idêntico a um Otto, pois o que muda mesmo é seu funcionamento. Basicamente falando, o curso de expansão da combustão é maior do que o da compressão, fato que melhora a eficiência da queima do combustível. O termo ciclo de Atkinson foi usado para descrever um motor de ciclo Otto modificado no qual a válvula de admissão é mantida aberta por mais tempo do que o normal para permitir um fluxo reverso de ar de admissão no coletor de admissão. A sequência para o funcionamento desse motor é: compressão adiabática; compressão isocórica; expansão adiabática e por fim, exaustão isobárica. Devido a sua elevada eficiência, é utilizado na maioria dos carros híbridos.

Figura 8: Funcionamento do Ciclo Atkinson



Fonte: Fatec Santo André (2013)

Figura 9: Veículo ciclo Atkinson



Fonte: Toyota (Divulgação)

2.1.4 Ciclo Miller

Motores do ciclo Miller foram patenteados pelo engenheiro norte-americano Ralph Miller em 1957. Segundo Clayton Zabeu, membro da comissão de motores da SAE Brasil, os motores Miller são os mesmos motores do Ciclo Atkinson, e conseqüentemente os mesmos princípios do ciclo Otto, a única diferença é a presença de turbo ou compressor mecânico em veículos Miller.

Figura 10: Veículo Ciclo Miller



Fonte: Fiat (Divulgação)

2.1.5 Ciclo Budack

Também conhecido como ciclo “B”, foi desenvolvido pelo Engenheiro do grupo Volkswagen, o alemão Ralf Budack, buscando novas formas para melhorar a eficiência dos motores há mais de 20 anos. Obteve a primeira patente do seu novo ciclo em 2004 e a novidade chegou aos carros em 2017.

De acordo com Clayton Zabeu (2020) os motores de ciclo B da Audi são muito parecidos com os Miller. A diferença está em reduzir o tempo de admissão em vez de aumentar o tempo de expansão, sem abrir mão do turbocompressor. Ao reduzir a quantidade de ar admitida, torna-se necessário menos combustível para se obter a queima perfeita, enquanto o turbo ajuda a reduzir a perda de potência decorrente da menor massa da mistura ar-combustível.

Figura 11: Veículo Ciclo Budack



Fonte: Audi (Divulgação)

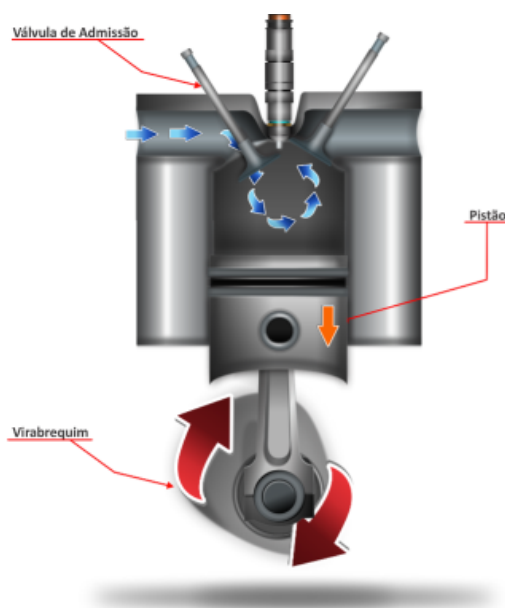
2.1.6 Ciclo Diesel

O motor de ignição por compressão, conhecido como motor Diesel, foi inventado pelo engenheiro alemão Rudolf Diesel em meados do século 19 e se destaca até hoje pela economia de combustível. Suas pesquisas sobre motores de combustão interna o levaram a escrever, em 1893, o livro Teoria e construção de um motor térmico racional. Sua ideia era comprimir rapidamente o ar no motor

e injetar combustível, de modo a provocar uma autoignição. (MOLLENHAUER; SCHREINER, 2010, p. 6).

O ciclo do diesel é basicamente caracterizado pela combustão ser causada pela compressão da mistura de ar e combustível. Sendo a principal diferença para os motores a gasolina é a falta de um dispositivo gerador de centelha (vela de ignição) (SCHULZ, 2009).

Figura 12: Componentes motor diesel



Fonte: SimplusBr

Esse tipo de ciclo é utilizado em larga escala em veículos de cargas (cargas) e no transporte compartilhado de passageiros (ônibus). O diesel é indicado para veículos mais pesados porque auxilia o motor a gerar um torque mais forte. Uma desvantagem do motor a diesel é que as emissões de gases

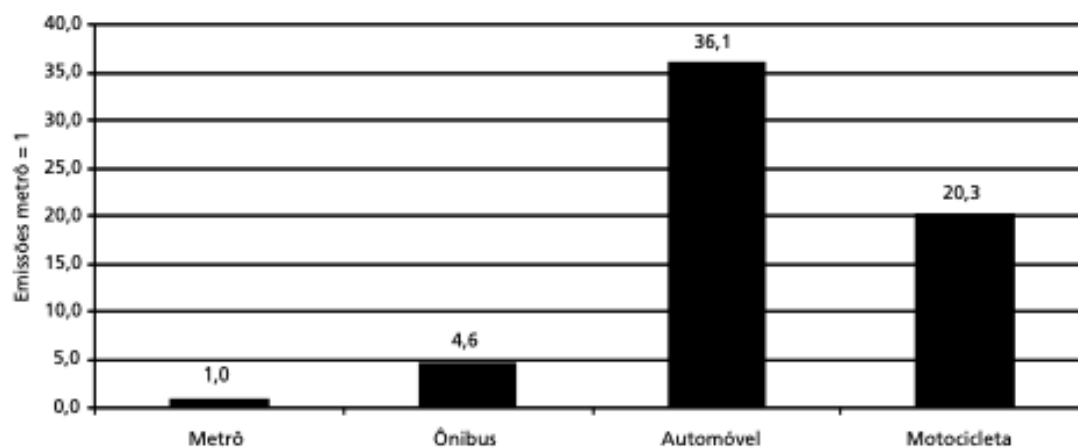
poluentes são muito maiores. O Brasil tem uma certa vantagem em relação a isso devido a Portaria número 346 do MIC que proibiu veículos de passeio movidos a diesel (Brasil, 1976).

Figura 13: Ônibus diesel



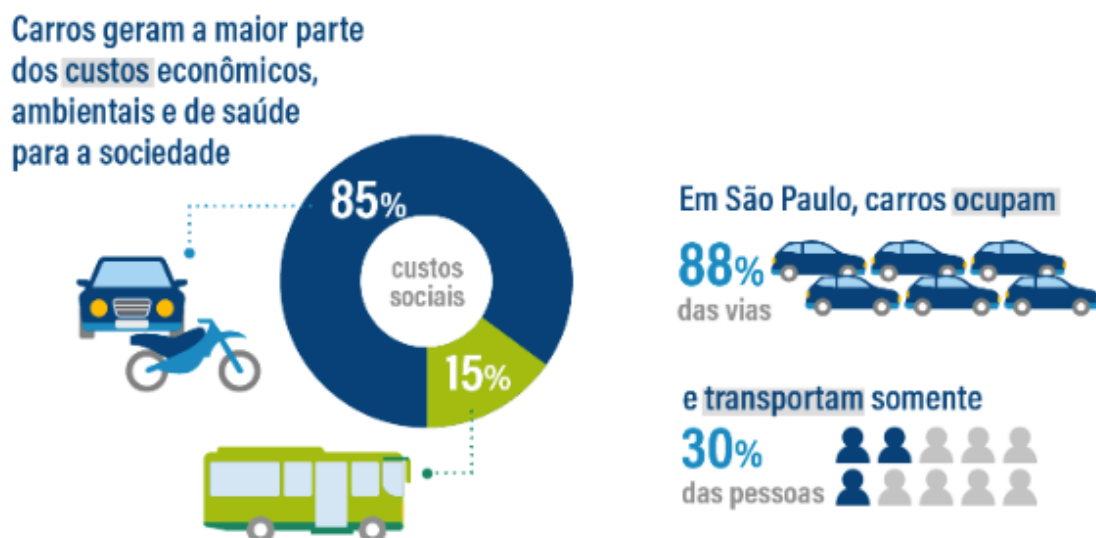
Fonte: Marcopolo (2021)

Quadro 1: Índice de emissões de CO2 por passageiro quilômetro – Brasil



Fonte: Ribeiro (2011)

Figura 14: Externalidades negativas do transporte urbano



Fonte: ANTP (2022)

Quadro 2: : Comparação das emissões de escapamento decorrentes de diferentes motorizações em um mesmo tipo de veículo

Marca/Modelo	Motor	Combustível	NMHC (g/km)	CO (g/km)	NOx (g/km)	CO ₂ (g/km)
Mitsubishi Outlander	2.0 monofuel	Gasolina	0,0150	0,1760	0,0080	124
	3.0 monofuel	Gasolina	0,0210	0,2290	0,0090	152
	2.2 diesel monofuel	Diesel	0,0010	0,0160	0,2570	167
Toyota Corolla	1.8 híbrido	Etanol ou gasolina	0,0080	0,0570	0,0010	84
	2.0 flex	Etanol ou gasolina	0,0090	0,0134	0,0070	107
Nissan Leaf	Elétrico	Bateria	0	0	0	0

Fonte: INMETRO

Um estudo realizado pela CETESB, comparou a emissão de veículos frente outras atividades econômicas, como podemos observar no quadro abaixo, os transportes são um dos maiores causadores da poluição atmosférica. O que justifica uma forma de racionalizá-los e minimizar os impactos ambientais que os mesmos podem causar.

Quadro 3: Contribuição para a poluição por setor

Categoria		Combustível	Poluentes (%)					
			CO	HC	NO _x	MP ₁₀	SO _x	
MÓVEIS	Automóveis	Gasolina C	33,94	24,20	7,91	0,83	0,97	
		Etanol Hidratado	8,15	5,22	1,20	nd	nd	
		Flex-Gasolina C	11,54	14,27	2,07	0,86	1,10	
		Flex-Etanol Hidratado	9,28	9,32	1,29	nd	nd	
	Comerciais Leves	Gasolina C	5,93	5,83	1,07	0,16	0,28	
		Etanol Hidratado	0,48	0,40	0,07	nd	nd	
		Flex-Gasolina C	1,75	2,33	0,37	0,13	0,22	
		Flex-Etanol Hidratado	1,59	1,43	0,22	nd	nd	
		Diesel	0,63	0,55	4,66	4,67	2,48	
	Caminhões	Semileves	Diesel	0,13	0,14	1,25	1,33	0,36
		Leves		0,60	0,60	5,98	5,63	1,78
		Médios		0,39	0,42	3,95	4,39	1,05
		Semipesados		0,95	0,30	4,77	3,20	3,62
		Pesados		0,90	0,77	10,11	5,86	3,59
	Ônibus	Urbanos	Diesel	1,52	1,05	13,65	8,50	0,16
		Micro-ônibus		0,11	0,08	0,99	0,59	0,01
		Rodoviários		0,29	0,27	3,12	2,16	0,94
	Motocicletas	Gasolina C	17,67	7,71	1,13	1,57	0,11	
		Flex-Gasolina C	0,61	0,26	0,07	0,12	0,02	
		Flex Etanol Hidratado	0,32	0,16	0,03	nd	nd	
	% Emissão Veicular (2017)			96,76	75,30	63,92	40,00	16,79
FIXAS	OPERAÇÃO DE PROCESSO INDUSTRIAL (2008)		3,24	14,91	36,08	10,00	83,30	
	BASE DE COMBUSTÍVEL LÍQUIDO (2008)		-	9,80	-	-	-	
OUTRAS	RESSUSPENSÃO DE PARTÍCULAS		-	-	-	25,00	-	
	AEROSSÓIS SECUNDÁRIOS		-	-	-	25,00	-	
TOTAL			100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	

Fonte: CETESB (2019)

2.2 SUBSTÂNCIAS NOCIVAS EMITIDAS POR VEÍCULOS

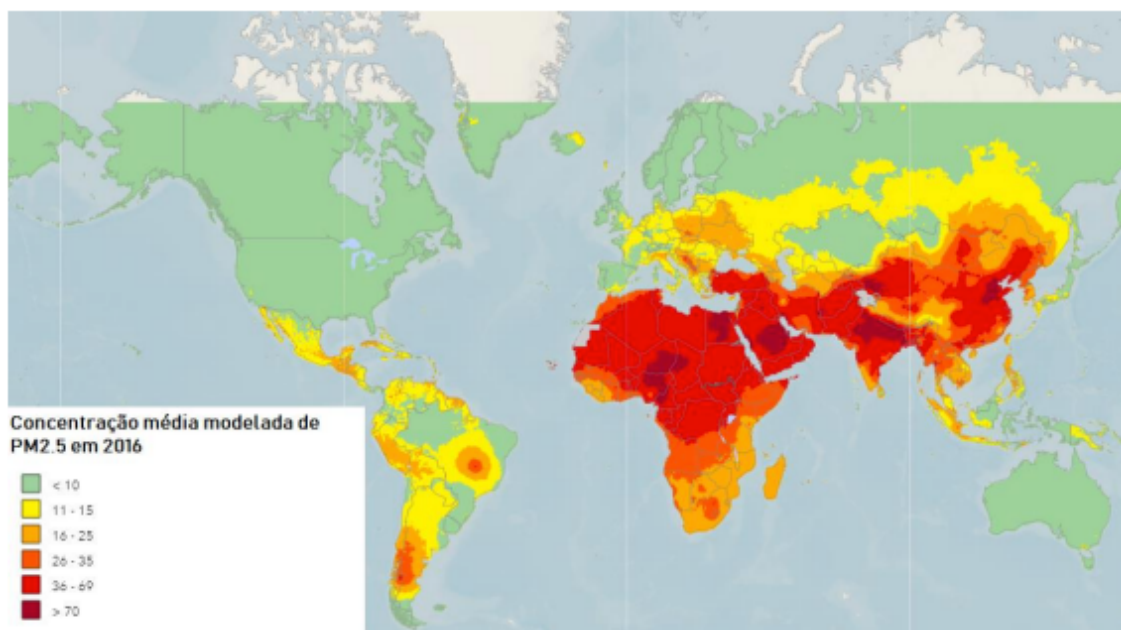
O ar limpo é um requisito básico para a saúde humana e o bem-estar (WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2010). Entretanto, acredita-se que dois milhões de mortes prematuras por ano ainda são decorrentes dos efeitos da poluição atmosférica de ambientes (COMIN, 2012; MASSEY et al., 2012).

2.2.1 Material Particulado 2.5

Com relação aos elementos contaminantes, cabe ressaltar que 2.5PM são partículas finas em suspensão com um diâmetro inferior a 2,5 micrômetros, sendo liberadas durante as atividades de combustão. Os malefícios desses fragmentos são muitos, sendo relacionadas como causadoras de doenças respiratórias, câncer de pulmão e problemas cardiovasculares, diminuindo a expectativa de vida. De acordo com pesquisas da Universidade de Tufts, essas substâncias são responsáveis por 4,1 milhões de mortes anualmente. Além disso, podem ser responsáveis pela chuva ácida (BRUGGE, 2018).

A permanência do MP na atmosfera é influenciada pelos elementos meteorológicos (radiação, umidade relativa, direção e velocidade dos ventos etc.) e pelos fenômenos climáticos (El Niño, inversão térmica etc.). Tais fatores podem levar ao aprisionamento do MP em um determinado local, aumentando conseqüentemente sua concentração, ou influenciando na dispersão dessas partículas, levando-as para locais distantes da sua fonte emissora (TORRES; MARTINS, 2005; SANTOS et al., 2016).

Figura 15: Média anual PM 2.5 modelada para o ano de 2016 (ug / m3).



Fonte: WHO (2018)

Dentre os poluentes, o MP_{2,5} é considerado o mais perigoso entre os particulados. Devido ao seu pequeno tamanho, o MP_{2,5} possui maior potencial de penetração pulmonar superando a região extratorácica e o seu sistema natural de filtro (onde se depositarão as partículas de maior diâmetro), chegando a região pulmonar onde finalmente irá se alojar nos alvéolos, podendo ainda adentrar a corrente sanguínea (AVIGO JR et al., 2008; WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2014).

2.2.2 Material Particulado 10

Estima-se que os veículos pesados são responsáveis por 80% das emissões de material particulado (LOYOLA et al. 2009). As 10PM são partículas menores que 10 micrômetros decorrentes de processos de combustão. Elas estão atreladas as insuficiências respiratórias pela deposição de poluente nos pulmões, além de causarem danos a vegetação e contaminação do solo (FEPAM, 2015).

Estudos epidemiológicos e clínicos apresentados pela WHO (2006) têm associado o MP a uma série de implicações sobre a saúde e os seguintes efeitos

adversos têm sido identificados em relação ao MP ou a seus componentes específicos: mortalidade e admissão hospitalar em pacientes com DPOC (doença pulmonar obstrutiva crônica), exacerbação de sintomas e aumento da utilização de terapia para asma, mortalidade e admissão hospitalar em pacientes com doença cardiovascular, mortalidade e admissão hospitalar em pacientes com diabetes mellitus, aumento do risco de infarto do miocárdio, inflamação do pulmão, inflamação sistêmica, disfunção endotelial e vascular, desenvolvimento de aterosclerose, aumento da incidência de infecção e câncer no trato respiratório.

Partículas atmosféricas estão envolvidas em muitos processos atmosféricos, e exercem um papel importante na redução da visibilidade, na deposição ácida, e no balanço de radiação na atmosfera, e de forma direta e indireta na formação de nuvens (TURSIC et al, 2008).

Um estudo realizado pela Cimatec, avaliou a emissão de material particulado decorrente apenas do desgaste de pneus, freios e pista por veículos automotores, o resultado pode ser conferido no quadro abaixo.

Quadro 4: Emissão de material particulado

EMISSÕES POR DESGASTE DE PNEUS, FREIOS E PISTAS (t/ano)							
Ano	Categoria	Desgaste de pneus e freios (ton./ano)			Desgaste de pistas(ton./ano)		
		PTS	MP ₁₀	MP _{2,5}	PTS	MP ₁₀	MP _{2,5}
2017	Motocicletas	7,472	5,761	3,061	5,401	2,701	1,440
	Automóveis	138,465	104,990	56,299	114,120	57,060	31,193
	Comerciais leves (ciclo Otto)	20,546	15,579	8,354	16,933	8,467	4,628
	Caminhões semileves	0,583	0,440	0,238	0,306	0,153	0,084
	Caminhões leves	3,891	2,939	1,592	2,041	1,020	0,558
	Caminhões médios	7,336	5,570	2,983	7,175	3,588	1,935
	Caminhões semipesados	29,732	22,576	12,092	29,081	14,541	7,844
	Caminhões pesados	41,045	31,167	16,693	40,147	20,074	10,829
	Ônibus urbanos	17,265	13,110	7,022	16,888	8,444	4,555
	Micro-ônibus	4,236	3,216	1,723	4,143	2,071	1,118
Ônibus rodoviários	8,568	6,506	3,484	8,380	4,190	2,260	

Fonte: Cimatec (2017)

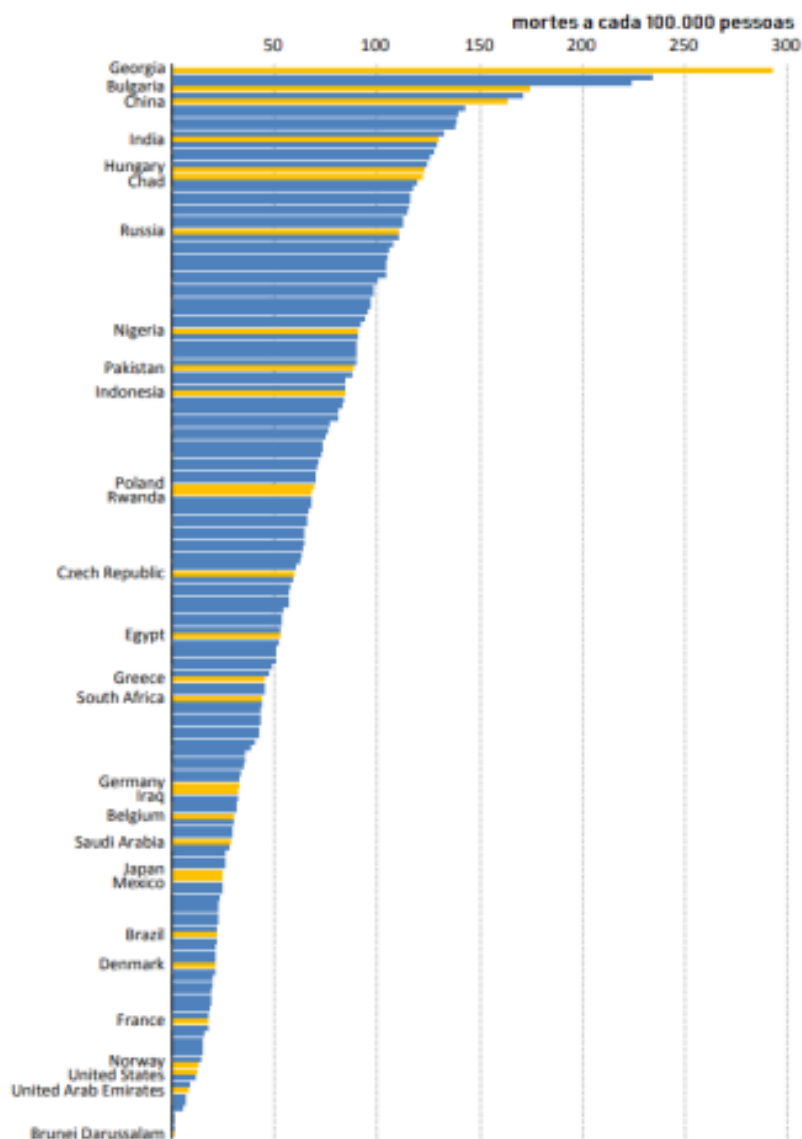
2.2.3 Monóxido de Carbono

O monóxido de carbono (CO), por sua vez, é um gás resultante da combustão incompleta, possuindo apenas um átomo de oxigênio. O CO não é encontrado naturalmente na atmosfera, sendo um gás muito perigoso por ser incolor, inodoro, insípido e não irritante, de tal forma que seus primeiros sintomas de intoxicação são difíceis de identificar. Segundo o Centro de Controle e Prevenção de Doenças (CDC, 2019) mais de 50.000 pessoas são internadas todos os anos nos Estados Unidos por intoxicação de gás carbônico. O CO causa danos no sistema nervoso central, levando a perda da consciência e visão.

Uma vez inalado o gás é rapidamente absorvido nos pulmões eliga-se de maneira estável com a hemoglobina, impedindo o transporte do oxigênio e causando hipóxia tecidual. Por isso, a exposição ao composto está também associada a prejuízos na acuidade visual, no aprendizado, na capacidade de trabalho e ao aumento na mortalidade por infarto cardíaco agudo, principalmente entre idosos. O monóxido de carbono atravessa rapidamente as membranas alveolar, capilar e placentária. Entre 80-90% do CO absorvido liga-se à hemoglobina, formando carboxiemoglobina (COHb). A afinidade da hemoglobina para o monóxido de carbono é de 200-250 vezes maior que para o oxigênio, por isso o CO é classificado toxicologicamente como um asfixiante químico (CETESB, 2022).

A figura abaixo retrata a taxa de mortalidade atribuída à poluição atmosférica por país.

Figura 16: Taxa de mortalidade atribuída à poluição atmosférica por país



Fonte: (OECD/IEA, 2016)

2.2.4 Dióxido de Carbono

De acordo com a bióloga Lana Magalhães, o dióxido de carbono é encontrado na atmosfera na forma de CO₂. Ele é o resultado da combustão completa, sendo naturalmente encontrado na atmosfera. A intoxicação por CO₂

é mais rara, mas elevadas concentrações podem levar à asfixia, podendo ser fatal (FEPAM, 2015). O dióxido de carbono torna-se prejudicial quando é liberado pela queima de combustíveis fósseis impostas pelo homem e que constituem importantes alterações nos estoques naturais de carbono, pois alteram o clima do planeta. Essas modificações acarretam em aquecimento global e conseqüentemente leva ao efeito estufa (ALVES, 2020).

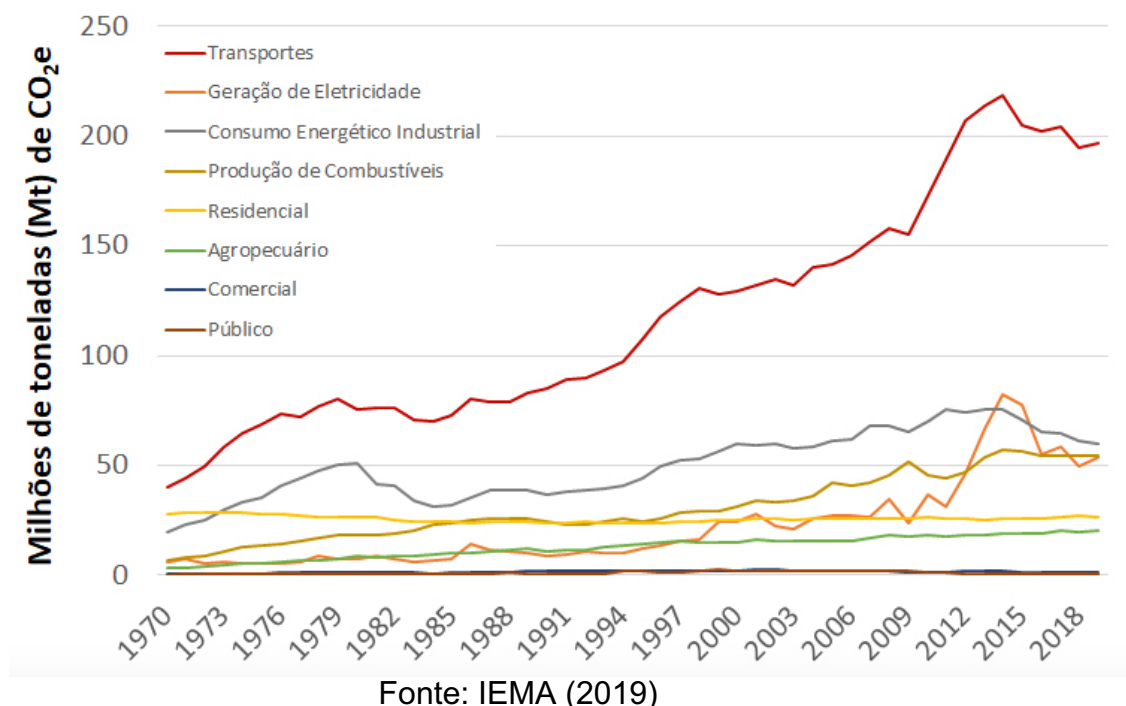
Com a intensificação do efeito estufa e o aumento da temperatura média do planeta decorrentes do excesso de dióxido de carbono, ocorre um desequilíbrio ambiental trazendo as seguintes conseqüências e problemas:

- Alterações climáticas;
- Chuva ácida;
- Aumento da poluição;
- Extinção de espécies;
- Propagação de doenças e problemas de saúde provocados pelas alterações climáticas;
- Intensificação de fenômenos ambientais como tsunamis, furacões, enchentes e etc.
- Derretimento de calotas polares e elevação do nível dos mares.

Uma das principais soluções para diminuir o dióxido de carbono da atmosfera é o chamado sequestro do carbono. Essa expressão diz respeito ao processo de remoção do gás carbônico da atmosfera. Esse processo ocorre naturalmente nas florestas e oceanos onde os organismos ali presentes absorvem o carbono através da fotossíntese transformando-o em oxigênio (GUEDES, 2022).

Uma pesquisa realizada pelo Instituto do Meio Ambiente (IEMA), comparou a emissão de dióxido de carbono proveniente dos transportes com as demais fontes de emissões, os resultados podem ser conferidos no quadro abaixo.

Figura 17: Emissões nos diferentes setores



Como podemos notar, os transportes são os grande responsáveis pelas emissões de dióxido de carbono.

2.2.5 Formaldeído

O Formaldeído, conhecido popularmente como formol, é um gás à temperatura ambiente, incolor, estável, inflamável e de odor sufocante (EPA-USA, 2019). As principais fontes de formol são os processos de combustão, tais como: emissões de veículos motores, usinas/centrais elétricas, incineradores, refinarias, fogões à lenha e a gás, aquecedores de querosene, fumaças de incêndios e de cigarro (NIH, 2018; IARC, 2012).

A principal via de exposição humana é a inalatória. Os vapores são irritantes para o nariz, a garganta e os olhos, mesmo em baixas concentrações. A exposição a altas concentrações (acima de 60 mg/m³) pode causar dispneia, salivação excessiva, espasmos musculares, coma e eventualmente a morte. Na exposição dérmica o composto é absorvido pela pele e mucosas, sendo rapidamente metabolizado. Desse modo, a maioria dos efeitos observados,

como atrofia e necrose, é restrita ao local de contato. Apresenta propriedades corrosivas quando ingerido, lesionando a mucosa gástrica (CETESB, 2020).

A Agência Internacional de Pesquisa em Câncer (IARC) classifica o formaldeído como cancerígeno para humanos com base em evidência de câncer de nasofaringe em trabalhadores expostos por via inalatória.

Em razão da legislação ambiental cada vez mais restritiva, a concentração de formaldeído começou a reduzir na Grande São Paulo, é o que mostra um estudo realizado pela CETESB, que pode ser conferido na tabela abaixo.

Quadro 5: Concentração de Formaldeído em SP

Região	Emissão de RCHO (t/ano)										
	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Macrometrópole	1.826	1.940	1.936	1.872	1.650	1.409	1.226	1.081	1.113	1.250	1.214
RMSP	1.109	1.194	1.183	1.129	983	841	740	652	668	726	706
RMC	237	239	246	238	210	178	149	137	138	159	143
RMVP	138	115	156	150	123	91	94	84	82	100	98
RMBS	44	50	76	54	49	39	35	32	33	37	41
RMSO	119	126	129	108	124	101	94	82	84	102	102
RMRP	125	178	180	172	152	99	84	70	72	83	93

Fonte: CESTESB (2017)

2.2.6 Óxido de Nitrogênio

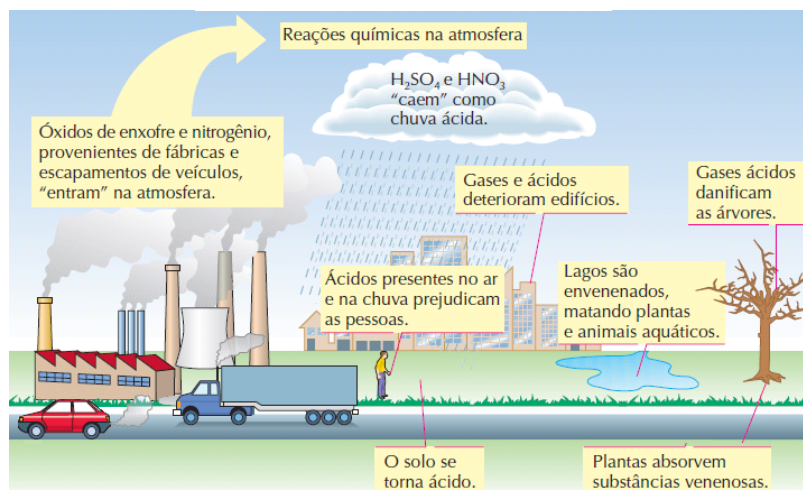
O nitrogênio é um elemento muito importante para a existência da vida na Terra, pois ele participa da formação das proteínas e das bases nitrogenadas que compõem nossos ácidos nucleicos, DNA e RNA (Ecycle, 2019).

Ainda segundo o periódico Ecycle, são considerados óxidos de nitrogênio sete compostos que apresentam átomos de nitrogênio e oxigênio em sua fórmula molecular. Dentre eles, apenas dois são considerados importantes em relação à poluição atmosférica: o dióxido de nitrogênio (NO₂) e o óxido nítrico (NO).

O dióxido de nitrogênio é um dos principais poluentes atmosféricos, um gás altamente tóxico, que resulta da queima de combustíveis fósseis a temperaturas altamente elevadas, como os motores de automóveis. A exposição a altas concentrações pode resultar em graves danos na saúde humana, como enfraquecimento da função pulmonar e aumento dos riscos de doenças

respiratórias (REA, 2021). Além dos efeitos diretos à saúde, o NO₂ também está relacionado à formação da chuva ácida.

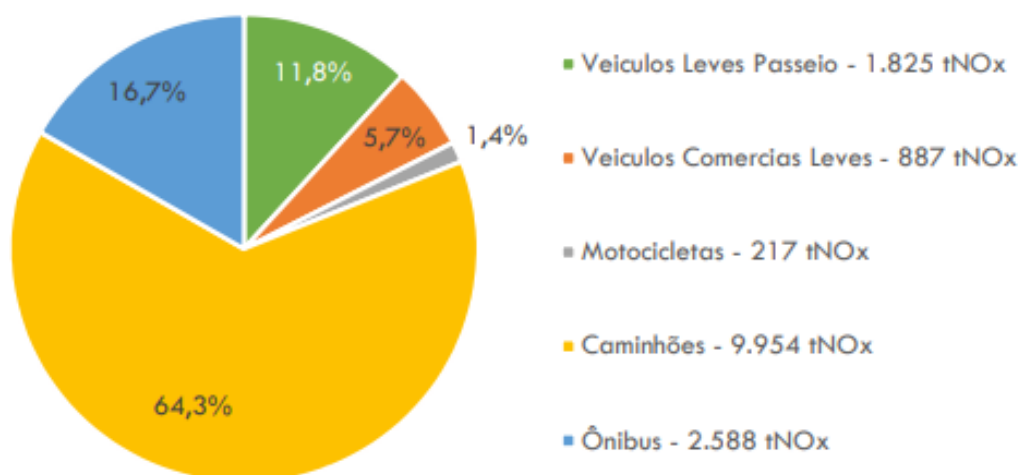
Figura 18: Esquema chuva ácida



Fonte: ENGQUIM (2013)

Segundo uma pesquisa feita pela Prefeitura de Campinas, os veículos pesados são a principal fonte de emissão de óxidos de nitrogênio, com destaque para os caminhões. Os resultados da pesquisa são conferidos no quadro abaixo.

Figura 19: Emissões de NO_x por categoria



Fonte: Prefeitura de Campinas (2016)

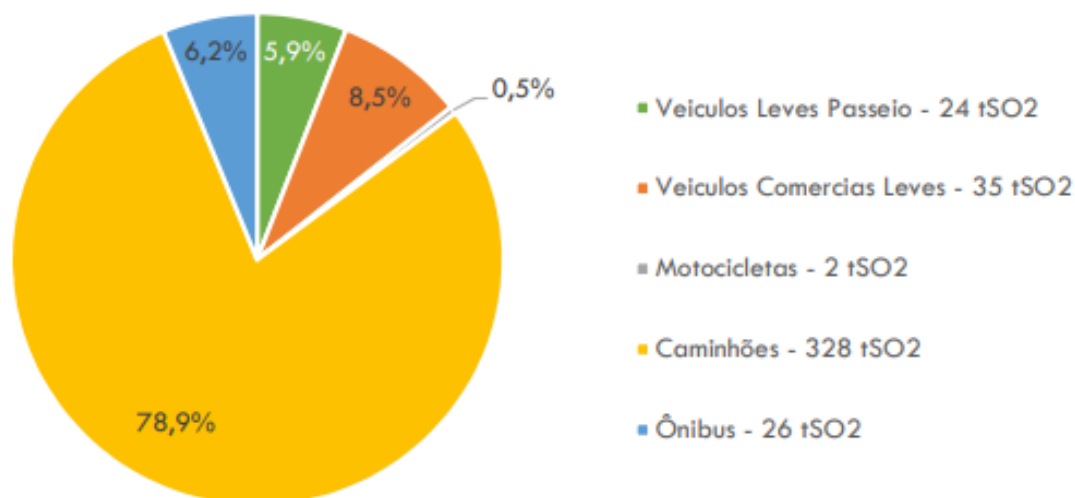
2.2.7 Dióxido de Enxofre

O dióxido de enxofre (SO₂) é um gás incolor com forte odor, muito irritante quando em contato com superfícies úmidas, pois se transforma em trióxido de enxofre (SO₃) e passa rapidamente a ácido sulfúrico (H₂SO₄), que é bastante solúvel em água (CETESB, 2020).

A principal via de exposição da população geral ao dióxido de enxofre é a inalatória. Os efeitos adversos da exposição a altos níveis de SO₂ incluem dificuldade respiratória, alteração na defesa dos pulmões, agravamento de doenças respiratórias e cardiovasculares. O composto irrita o nariz, a garganta e os pulmões causando tosse, falta de ar, chiado no peito, catarro e crises de asma. Os indivíduos asmáticos ou com doenças crônicas de pulmão e coração e as crianças são mais sensíveis aos efeitos do dióxido de enxofre. Os óxidos de enxofre (SO_x) podem reagir com outros compostos presentes na atmosfera, formando pequenas partículas que penetram profundamente em partes sensíveis dos pulmões, e causar ou agravar doenças respiratórias, como enfisema e bronquite, e ainda podem agravar doença do coração preexistente, levando a internação e a morte prematura (CETESB, 2021).

A Agência Internacional de Pesquisa em Câncer (IARC) classifica o dióxido de enxofre como não classificável quanto à carcinogenicidade para seres humanos (Grupo 3). Essa categoria comumente é usada para agentes cuja evidência de carcinogenicidade é inadequada para o ser humano e inadequada ou limitada para animais de experimentação.

Em relação as principais fontes de emissão de Nox, os veículos pesados são a principal fonte de emissões, como mostra um relatório da Prefeitura de Campinas.

Figura 20: Emissões SO₂ por categoria veicular

Fonte: Prefeitura de Campinas (2016)

2.2.8 Hidrocarboneto

Os hidrocarbonetos (HC) são a parcela de combustível não queimado ou parcialmente queimado que é expelido pelo motor, bem como vapor de combustível emitido de diversos pontos do veículo ou expelido durante o abastecimento do tanque. Assim como o NO_x, os HC merecem especial atenção quanto ao seu controle, já que reagem na atmosfera promovendo a formação do “smog” fotoquímico (CETESB, 2022).

Figura 21: Smog em uma cidade



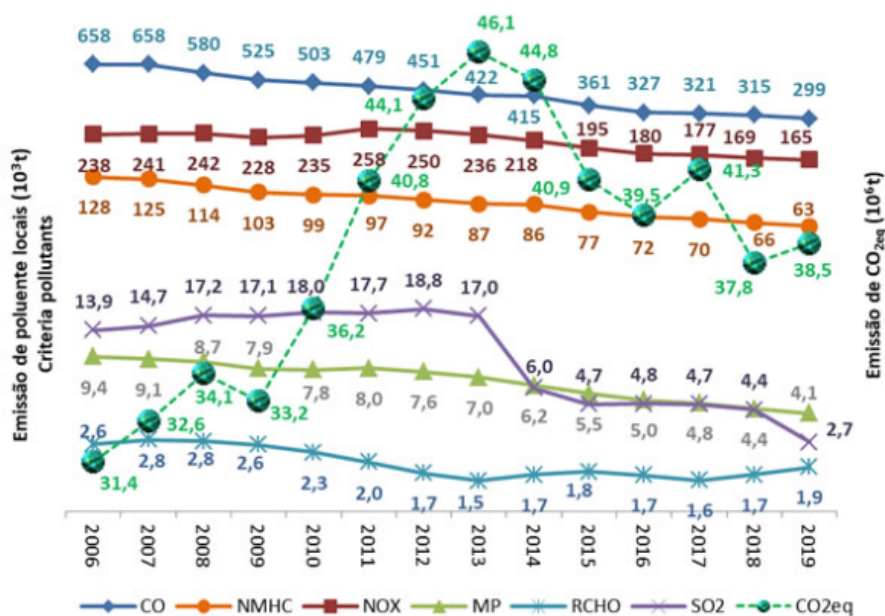
Fonte: Tua Saúde (2016)

Segundo a CETESB (2019), a frota motorizada no Estado de São Paulo, calculada segundo metodologia do inventário estadual explicitada no Relatório de Emissões Veiculares é de aproximadamente 15,4 milhões de veículos, sendo 10,4 milhões de automóveis, 1,9 milhões de comerciais leves, 560 mil ônibus e caminhões e 2,5 milhões de motocicletas. Só na Região Metropolitana de São Paulo são mais de 7 milhões de veículos, considerando todos os tipos. A idade média da frota calculada para 2019 é de 10,1 anos.

O inventário de emissões veiculares elaborado pela CETESB calcula que foram emitidas em 2018 no Estado de São Paulo 299 mil toneladas de CO, 165 mil toneladas de NOx, 4,1 mil toneladas de MP e 2,7 mil toneladas de SO2, todos poluentes tóxicos.

O quadro abaixo mostra a evolução na emissão desses compostos ao longo dos últimos 14 anos e inclui além dos poluentes citados, também a emissão de gases de efeito estufa (GEE), em CO2eq .

Figura 22: Evolução da emissão de poluentes em SP



Fonte: CETESB (2020)

Quadro 6: Contribuição relativa de fontes de poluição do ar

FONTE DE EMISSÃO		POLUENTES				
		CO	HC	NO _x	SO _x	MP
Tubo de Escapamento de Veículos	Gasolina C	42,69	17,87	12,40	15,48	9,49
	Álcool	12,68	5,89	3,82	-	-
	Diesel	24,97	15,83	78,45	15,08	28,48
	Táxi	0,12	0,27	0,59	-	-
	Motocicleta e Similares	17,03	9,28	0,76	1,59	2,02
Cárter e Evaporativa	Gasolina C	-	31,32	-	-	-
	Álcool	-	4,59	-	-	-
	Motocicleta e Similares	-	7,61	-	-	-
Operações de Transferência de Combustível	Gasolina C	-	3,63	-	-	-
	Álcool	-	0,53	-	-	-
Operação de Processo Industrial		2,51	3,18	3,96	7,86	10,00
Suspensão de Partículas		-	-	-	-	25,00
Aerossóis Secundários		-	-	-	-	25,00
Total		100%	100%	100%	100%	100%

Fonte: CETESB (2020)

2.3 FONTES DE CONCENTRAÇÃO DE EMISSÕES

Como visto anteriormente, o que aumenta a emissão de veículos são os ciclos de desaceleração e aceleração dos mesmos. Dito isso, podemos considerar que as fontes de concentração de poluentes são inúmeras, tais como: quebra-molas, lombadas eletrônicas, semáforos, dentre outras. Neste trabalho em específico serão abordados duas fontes: pedágios e congestionamentos.

2.3.1 Pedágios

Segundo Zambuzi et. al., a manutenção das estradas gera gastos bem altos para o governo, e como esse serviço não é considerado fundamental, ao contrário da educação e saúde, o estado passa a gestão para a iniciativa privada. É o chamado processo de privatização. A concessionária que ganhar a licitação terá a obrigação de manter boas condições de tráfego e cuidar da estrada ou rodovia.

O pedágio, então, é a maneira que essas empresas privadas encontraram para financiar os serviços básicos que precisam oferecer, como por exemplo a manutenção das estradas.

Entretanto, o pedágio tradicional que conhecemos, acaba contribuindo com a poluição ambiental. Nos pedágios convencionais, os veículos que entram na fila passam por vários ciclos de parada e partida até que o pagamento seja concluído, como resultado, as emissões de poluentes aumentam. É o que demonstra algumas pesquisas realizadas em praças de pedágios.

Em uma rodovia de Taiwan, pesquisadores analisaram a presença de material particulado antes e depois da instalação de uma praça de pedágio totalmente eletrônica. Os resultados, que podem ser conferidos abaixo, demonstram uma redução de cerca de 80% do material particulado após a remoção da praça física de pedágio.

Figura 23: Antes x Depois praça de pedágio



Fonte: Lin et al (2020)

Quadro 7: Comparativo de emissões

	PM_{2.5} (µg/m³)	UFP (#/cm³)	total ELCR
before	26.0	7.9×10^3	
after	5.5	3.9×10^3	
differences	20.5	4.0×10^3	
ELCR before	2.7×10^{-5}	1.5×10^{-3}	1.5×10^{-3}
ELCR after	5.7×10^{-6}	7.5×10^{-4}	7.5×10^{-4}
ELCR reduction (%)	78.7	48.8	49.3

Fonte: Lin et al (2020)

2.3.2 Congestionamentos

Parece intuitivo que seu carro queima mais combustível quanto mais rápido você for. Mas a verdade é que seu carro queima mais combustível para sair da imobilidade.

Nos congestionamentos, o nível de poluição do ar é três vezes maior do que nas demais áreas urbanas, de acordo com o médico Paulo Saldiva, coordenador do Laboratório de Poluição Atmosférica da USP (Universidade de São Paulo). Ainda segundo Saldiva, o grau de exposição aos poluentes pode variar. "Em um carro com janelas fechadas e o ar condicionado ligado, a pessoa está mais protegida do que no ponto de ônibus."

Figura 24: Congestionamento na zona sul de São Paulo



Fonte: El País (2018)

Ainda no caso de São Paulo, com número recorde de veículos nas ruas, o paulistano nunca passou tanto tempo no trânsito exposto aos males da poluição atmosférica. Nos últimos 13 anos, a frota de veículos na cidade de São Paulo cresceu 43% (BARBOSA, 2010). Resultado: mais carros nas ruas ocupando pouco espaço, uma vez que a malha viária não cresceu na mesma proporção, e maiores congestionamentos.

Implementado na cidade em 1997, o sistema de rodízio vê sua eficácia reduzida. Para se ter uma ideia, antes da vigência da restrição, o tráfego no corredor Consolação-Rebouças fluía a uma média de 17,5 km/h, no horário de pico entre as 17h e as 20h. No ano seguinte, o índice caiu para 11,7 km/h (BARBOSA 2010).

Curiosamente, o rodízio foi criado para reduzir a poluição atmosférica no final da década de 90. Mas, com a evolução tecnológica dos veículos automotores, que se tornaram menos poluentes, já no ano seguinte a sua criação, o sistema passou a valer apenas para garantir da fluidez do trânsito. Entretanto, não há tráfego nem ar completamente imunes a um aumento tão intenso como o verificado em São Paulo.

Ainda segundo o chefe do laboratório de poluição experimental da USP, Paulo Saldiva, afirma que embora a concentração de poluentes tenha diminuído e se mantido estável nos últimos anos, passamos mais tempo expostos à poluição por conta dos congestionamentos. O especialista afirma que uma via de tráfego pesado é como uma chaminé de fábrica, seus níveis de poluição são até três vezes maiores que em outras vias mais tranquilas da cidade.

O paulistano enfrenta um período maior de exposição à poluição atmosférica. Quanto maior a lentidão dos veículos, mais gases poluentes são lançados no ar. A conta é simples, mas o perigo nem sempre é visível. Trata-se das micropartículas de poeira, um dos principais vilões do ar paulistano e o tipo mais maléfico ao organismo humano.

Esse cenário é um composto explosivo para a saúde pública. Imperceptível a olho nu, o material particulado não encontra barreiras físicas: afeta o pulmão e pode causar asma, bronquite, alergias e outras graves doenças cardiorrespiratórias. Em dias de alta contaminação do ar, o risco em São Paulo de morte por doenças respiratórias e cardiovasculares aumenta entre 12% e 17%. As internações hospitalares aumentam em até 25%, e as pessoas mais atingidas são idosos e crianças (BARBOSA, 2010).

Por ano, segundo Saldiva, são contabilizados cerca de quatro mil óbitos ligados à poluição atmosférica. Alguém à espera de um ônibus num ponto, por mais de meia hora, por exemplo, inala doses maiores de poluentes do que alguém que volta pra casa de carro.

A poluição do ar causada pelo congestionamento do tráfego em 83 das maiores áreas urbanas dos Estados Unidos contribui para mais de 2.200 mortes prematuras anualmente, custando ao sistema de saúde pelo menos US\$ 18 bilhões, de acordo com um estudo da Escola de Saúde Pública de Harvard.

2.4 LEGISLAÇÃO AMBIENTAL

Em termos de impacto no consumo de combustível, os programas de controle de emissões têm sido acompanhados por uma crescente eficiência energética, inicialmente devido às crises de abastecimento de petróleo em 1973 e 1979, que obrigaram as montadoras a produzir veículos mais econômicos e estimularam o desenvolvimento de soluções tecnológicas que compatibilizassem as necessidades de economia de combustível com as de controle de emissões (COPPE, 2006).

Na maior parte das regiões metropolitanas e no Distrito Federal, a maioria dos poluentes apresenta tendência estacionária ou de declínio das concentrações máximas e médias observadas com o tempo. Esse resultado decorre, ao menos em parte, de programas como o Programa Nacional de Controle da Qualidade do Ar (Pronar) e o Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores (Proconve), voltados à redução das concentrações de poluentes na atmosfera nos grandes centros urbanos (IBGE, 2012, p. 26).

Existe uma relação direta entre qualidade do ar e a saúde das pessoas, especialmente nos centros urbanos e nas margens de vias públicas (estradas, viadutos, pontes etc.). A melhoria da qualidade do ar requer a adoção de políticas públicas específicas para o tema, assim como a aplicação de tecnologias em fontes geradoras de poluentes, fixas e móveis. Estudo realizado em 2013 por Arden Pope, professor da Brigham Young University (BYU), e colaboradores concluiu que as melhorias na qualidade do ar nos EUA, desde 1990, provocaram uma redução de 35% no número de mortes e incapacidades especificamente atribuíveis à poluição do ar (SCIENSE DAILY, 2013).

2.4.1 ABNT NBR 6601

O Brasil possui desde 2005 uma legislação específica para determinação de hidrocarbonetos totais (THC), não metano (NMHC), gases orgânicos não metano (NMOG), monóxido de carbono (CO), óxido de nitrogênio (NOx), dióxido de carbono (CO₂) e material particulado emitidos pelo motor de veículos

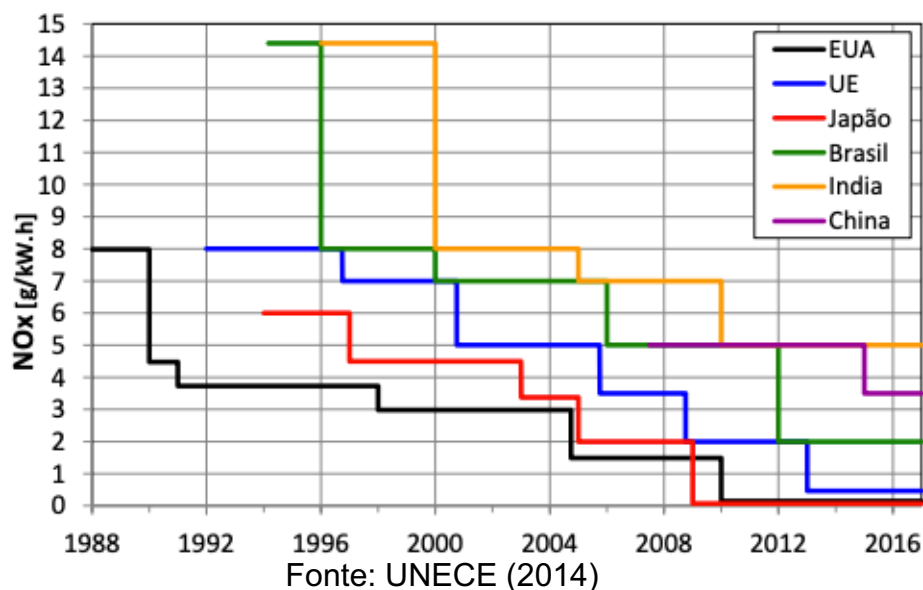
rodoviários automotores leves, funcionando sobre um dinamômetro de chassi que simule uma condição de uso em vias urbanas (ABNT, 2021).

2.4.2 PROCONVE

Atualmente, o Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores (Proconve), é o maior instrumento que o setor de transportes possui para tratar questões ambientais na logística. Em linhas gerais, o Proconve é um projeto de lei que foi instituído em 1986 pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), na intenção de controlar e reduzir a emissão de poluentes gerados por automóveis considerados leves, como veículos de passeio, mas depois entendeu-se que ônibus, caminhões e até mesmo o maquinário agrícola precisavam de regulamentação. Para tanto, estipularam-se melhorias a serem realizadas no setor e limites de poluentes que poderiam ser emitidos por esses veículos dentro de prazos específicos.

Acontece que, com o passar do tempo, essas normas foram ficando cada vez mais rigorosas. Afinal, sabemos bem que a preocupação com os índices de poluição continua sendo algo alarmante em todo o mundo. O programa em si possui várias fases, que até então foram de P1 a P7. Conforme as fases vão avançando, novos métodos de acompanhamento são estabelecidos, garantindo que as diretrizes sejam estritamente seguidas.

Figura 25: Evolução de limites internacionais de emissões de NOX

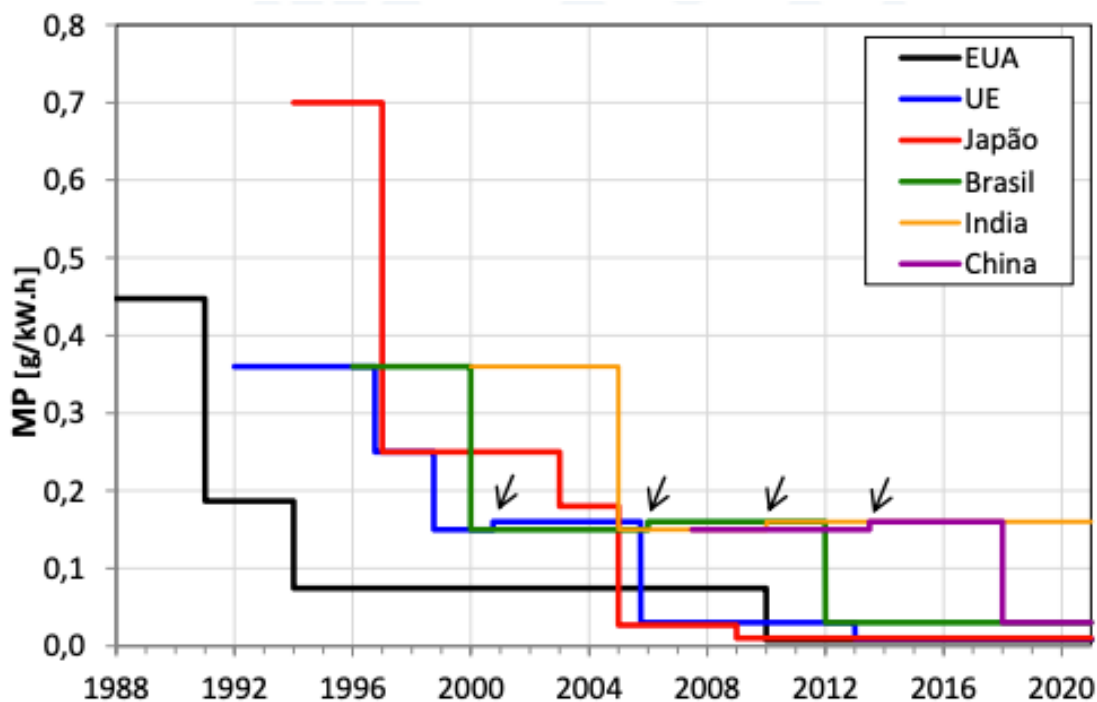


A criação do PROCONVE baseou-se na experiência internacional para adequar os índices à realidade brasileira e tem como principal meta a redução da contaminação atmosférica das fontes móveis, por meio da fixação dos limites máximos de emissão, induzindo o desenvolvimento tecnológico dos fabricantes e estabelecendo exigências tecnológicas para veículos, cuja comprovação é feita a partir de ensaios padronizados. A certificação de protótipo/projeto e o acompanhamento estatístico em veículos de produção também fazem parte da estratégia de controle. Atualmente, o PROCONVE classifica os veículos automotores em seis principais classes: Veículo Leve de Passageiros (Automóveis), Veículo Leve Comercial (Utilitários), Veículo Pesado (Ônibus e Caminhões), Veículo de Duas Rodas e Assemelhados (Motocicletas e Ciclomotores), e, Máquinas Agrícolas e Rodovias Novas, sendo que os ensaios de emissões do gás de escapamento descritos na norma ABNT NBR 6601 são aplicados às duas primeiras classificações.

O controle de emissão dos veículos é escalonado em fases. Os veículos leves de passageiros por possuírem a maior porcentagem de veículos que utilizam como combustível etanol, já possuem sete fases descritas. Durante as fases P1 a P3 foram homologados veículos leves de passageiros que utilizavam como combustível gasolina, etanol (exclusivo) e GNV (veículos de passageiros a diesel são proibidos no Brasil desde 1976). Entre os objetivos propostos e

alcançados das fases P1 a P3 do PROCONVE estavam: P1) Aprimoramento dos modelos já em produção e redução das tolerâncias na produção, além do início do controle da emissão evaporativa; P2) Aplicação de tecnologias novas, tais como a injeção eletrônica ou carburadores assistidos eletronicamente e os conversores catalíticos para a redução de emissões que, utilizadas separadamente, atendiam as exigências, além do começo do controle de ruído; P3).

Figura 26: Evolução de limites internacionais de emissões de NOX



Fonte: UNECE (2014)

Por meio do atendimento aos limites estabelecidos a partir de 1º de janeiro de 1997, o fabricante/importador empregou, conjuntamente, as melhores tecnologias disponíveis para a formação de mistura e controle eletrônico do motor. Como as várias classes de veículos dedicados a etanol atendiam sem grandes dificuldades os limites máximos de emissão de poluentes das fases P1 a P3 quando comparado aos veículos à gasolina, a homologação de veículos a etanol não era inviável durante este período. Apesar do exposto, o CONAMA estabeleceu diretrizes relacionadas à utilização do etanol como combustível por meio da Resolução CONAMA nº 04/1989, Resolução CONAMA nº 15/1989 e Resolução CONAMA nº 09/1994.

2.4.2.1 P1

Início: 1987

Objetivo: Controlar a emissão de fumaça produzida por caminhões e ônibus urbanos.

Principais mudanças: Para reduzir a emissão de NOx (óxido de nitrogênio), passou-se a fazer a calibragem dos sistemas de injeção de combustível.

2.4.2.2 P2

Início: 1994

Objetivo: Impor limites relacionados aos ruídos produzidos por veículos em aceleração e enquanto parados e estabelecer diretrizes mais claras a respeito do processo de inspeção dos veículos a diesel.

Principais mudanças: Acompanhamento das mudanças que foram realizadas nos sistemas de injeção ficaram mais assertivas, também ocorreu a implantação do sistema de resfriamento do ar de admissão.

2.4.2.3 P3

Início: 1996

Objetivo: Limites de emissão de gases poluentes e enxofre se tornaram ainda mais baixos

Principais mudanças: Fabricantes de veículos precisaram se adaptar e realizaram mudanças nos componentes dos veículos.

2.4.2.4 P4

Início: 2000

Objetivo: 80% dos veículos precisavam atender às regras estipuladas ao que foi estabelecido pelo CONAMA.

Principais mudanças: Motores e sistemas de injeção começam a contar com um conjunto de multiválvulas.

2.4.2.5 P5

Início: 2004

Objetivo: Fazer um acordo entre montadoras e refinarias para implementar diversas inovações.

Principais mudanças: Otimização dos combustíveis, motores passam a ter injetores de alta pressão, turbo e intercooler.

2.4.2.6 P6

Início: 2009

Esta foi uma fase atípica, pois o Brasil não conseguiu atingir os limites estabelecidos pelo programa para diminuir os gases poluentes. O principal motivo que levou a este cenário foi a falta do diesel adequado.

2.4.2.7 P7 (FASE ATUAL)

Início: 2012

Objetivo: Reduzir 60% das emissões de óxidos de nitrogênio, que é capaz de criar a chuva ácida e fumaça tóxica.

Principais mudanças: Uso ampliado do Arla 32, composto químico injetado no escapamento dos automóveis que possuem sistema SCR, capaz de reduzir em até 98% o NOx.

Quadro 8: Fases do PROCONVE

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 ¹	3,50 ¹	18,00 ¹	-	Res. 18/85	1989 a 1993	-
Fase P2	Euro 0	11,20	2,45	14,40	0,60 ¹	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 ²	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 ³	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

CO	monóxido de carbono	HC	hidrocarbonetos	NOx	óxidos de nitrogênio	MP	material particulado	S	enxofre
-----------	---------------------	-----------	-----------------	------------	----------------------	-----------	----------------------	----------	---------

Fonte: AEA (2020)

Desde que o Proconve iniciou, uma série de resultados já puderam ser observados. Entre eles, podemos listar, de acordo com as informações fornecidas pelo site oficial do programa:

- “Redução na fonte móvel (veículo) de 98% na emissão de poluentes, mesmo com o aumento na frota de veículos automotores brasileiros;
- Melhor qualidade do ar nas grandes cidades;
- Modernização e diversificação do parque industrial automotivo do país;
- Adoção, atualização e desenvolvimento de novas tecnologias;
- Melhoria da qualidade dos combustíveis automotivos;
- Formação de profissionais altamente especializados;
- Aporte brasileiro de novos investimentos, indústrias e laboratórios de emissão.”

A partir de 2023, as vendas de novos automóveis deverão estar de acordo com as determinações da P8.

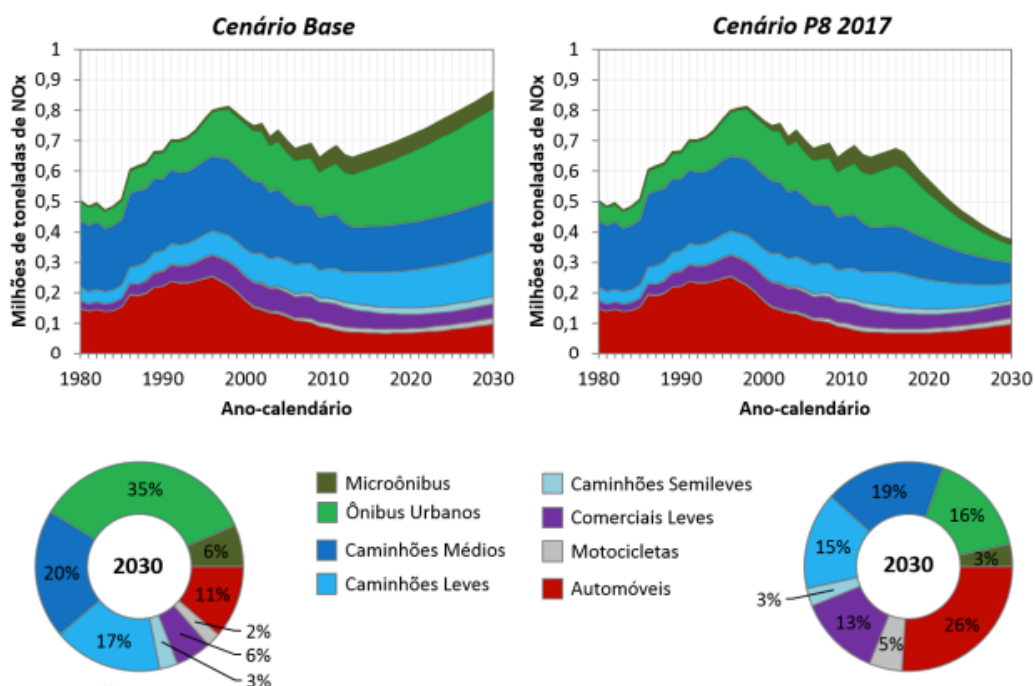
2.4.2.8 PROCONVE P8

O Proconve é um programa baseado nas normas Euro, utilizado nos países europeus. A fase Proconve P8 é a equivalente da Euro 6, que exige que veículos com motores diesel combinem dois sistemas de redução de poluentes:

- Redução Catalítica Seletiva (SCR);
- Recirculação de Gases da Exaustão (EGR).

Cada fase do Proconve exige ainda mais níveis menores de emissão de gases do escapamento dos veículos. A fase atual prevê a redução dos limites nas emissões de gases de escapamento – da ordem de 80% para os óxidos de nitrogênio e de 50% de material particulado – em relação à fase anterior (VELOE, 2022).

Figura 27: Comparativo P8



Fonte: IEMA (2014)

Redução Catalítica Seletiva (SCR)

SCR é a sigla em inglês para Selective Catalytic Reduction, ou Redução Catalítica Seletiva foi desenvolvido para atender à Euro e é considerado um dos sistemas mais avançados na conversão de gases nocivos em vapores inofensivos à saúde.

Sua função é promover a redução dos óxidos de nitrogênio em nitrogênio e água. Para essa reação de redução ocorrer, é injetado anteriormente no sistema do veículo uma solução formada por ureia, o que reduz em até 95% das emissões dos óxidos de nitrogênio (VELOE,2022).

Recirculação de Gases da Exaustão (EGR)

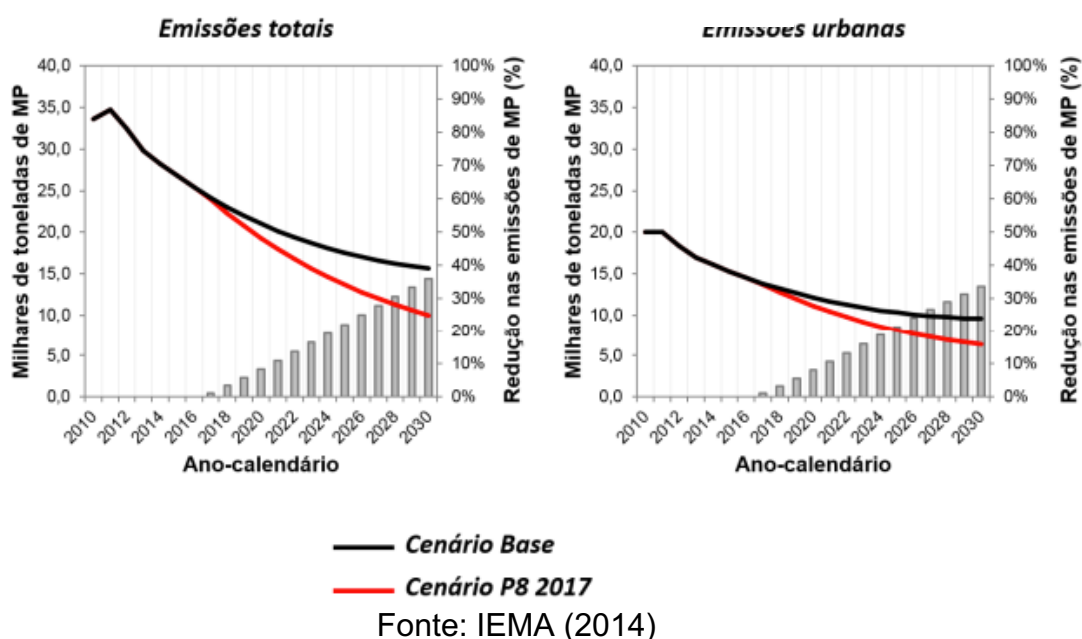
A tecnologia permite que apenas parte das fumaças pretas emitidas por ônibus e caminhões sejam lançadas no ar. Esse processo, aliado a um catalisador de oxidação de diesel e filtro para material particulado, permite que o veículo atinja os níveis de emissões de óxidos exigidos.

Diesel com teor reduzido de enxofre

Um novo tipo de diesel também foi desenvolvido para diminuir a emissão de gases poluentes. O S-10 tem 8% de biodiesel, teor de enxofre de 10 mg/kg e já é comercializado no Brasil desde 2012.

Esse tipo de combustível possui a capacidade de agir como solvente de impurezas, com o objetivo de reduzir os danos ao meio ambiente. Comparado ao diesel comum, o S-10 tem um nível de 42% de cetano, o que aumenta também o desempenho do motor (VELOE,2022).

Figura 28: Comparativo emissões P8

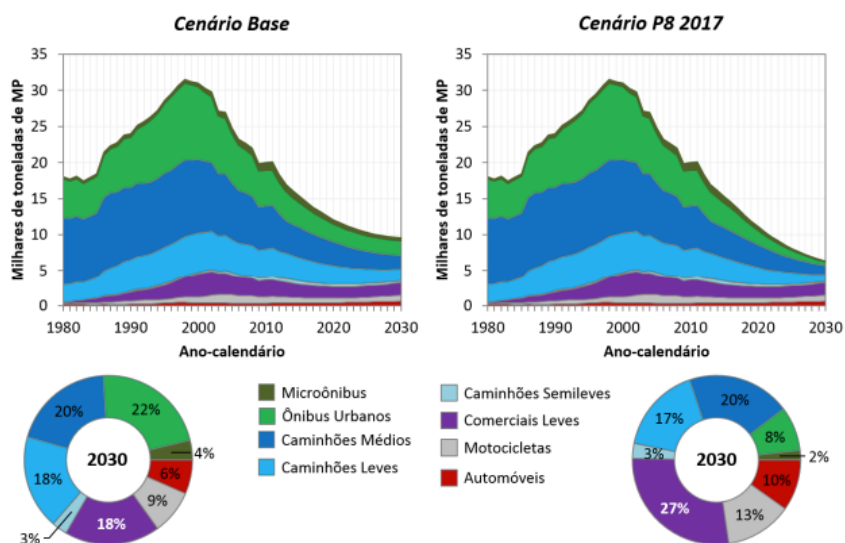


BENEFÍCIOS DO PROCONVE P8

A introdução da Proconve P8 traz inúmeros benefícios para o controle de emissões de gases prejudiciais à atmosfera por veículos pesados e a redução dos impactos associados na qualidade do ar e na saúde pública.

Segundo o ICCT (2018), prevê-se que em 30 anos da implementação do ProconveP8, as emissões acumuladas de veículos pesados podem ser reduzidas em 130 mil toneladas de partículas inaláveis soltadas pelos escapes, 110 mil toneladas de carbono negro, 12 milhões de toneladas de óxido de nitrogênio, 2,7 milhões de toneladas de monóxido de carbono e 24 mil toneladas de hidrocarbonetos.

Figura 29: Comparativo P8



Fonte: IEMA (2014)

Quadro 9: Equiparação EURO e PROCONVE

Norma	Resolução	Equivalente europeia	Data de implementação
PROCONVE P-1	CONAMA 18/1986	-	1987 (ônibus urbanos) 1989 (100%)
PROCONVE P-2		Euro 0	1994 (80%) 1996 (100%)
PROCONVE P-3	CONAMA 08/1993	Euro I	1994 (ônibus urbanos) 1996 (80%) 2000 (100%)
PROCONVE P-4		Euro II	1998 (ônibus urbanos) 2000 (80%) 2002 (100%)
PROCONVE P-5	CONAMA 315/2002	Euro III	2004 (ônibus urbanos) 2005 (micro-ônibus) 2005 (40%) 2006 (100%)
PROCONVE P-6	CONAMA 315/2002	Euro IV	Nunca implementada, pois o diesel com teor ultraabaixo de enxofre (ULSD) não estaria disponível. A P-5 permaneceu até 2011
PROCONVE P-7	CONAMA 403/2008	Euro V	2012
PROCONVE P-8	CONAMA 490/2018	Euro VI	2022 (homologações) 2023 (todas as vendas e registros)

Fonte: ICCT (2019)

2.4.3 PROGRAME DE ETIQUETAGEM

O Programa Brasileiro de Etiquetagem Veicular é um programa de eficiência energética para veículos leves coordenado e regulamentado pelo Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial – Inmetro e desenvolvido em parceria com o Programa Nacional da Racionalização do Uso dos Derivados do Petróleo e do Gás Natural – Conpet, vinculado ao Ministério de Minas e Energia e implementado pela Petrobras.

Criado em 2008, naquele ano, três fabricantes aderiram ao programa, num total de 10 modelos. Importante ressaltar aqui que a entrada no PBEV é voluntária. A evolução, contudo, foi rápida. Em seu oitavo ciclo, em 2016, o PBEV foi aderido por todos os fabricantes nacionais e importadores. Em 2020, 36 marcas integravam o programa, num total de 1.034 modelos ou versões, reunidos em 15 categorias distintas (SBE, 2020). Os modelos são classificados conforme a categoria (comparação com modelos semelhantes) e também em uma classificação geral (comparação com todos os modelos participantes). Recebem conceitos de “A” a “E”, sendo que “A” significa menor consumo energético e “E”, maior consumo energético.

A Etiqueta Nacional de Conservação de Energia – ENCE destaca as classificações dos modelos com relação ao consumo energético na categoria e no geral, bem como sua classificação com relação aos poluentes controlados. A ENCE é de uso obrigatório para os modelos participantes do programa.

Figura 30: Etiqueta PEB



Fonte: Ticketlog (2019)

O Selo Conpet de Eficiência Energética destaca os modelos que foram melhor avaliados quanto ao consumo de combustível. São contemplados os modelos com classificação “A” em pelo menos uma das classificações (na categoria, ou no geral) e no mínimo “B” na outra. O Selo Conpet auxilia o consumidor a fazer uma escolha consciente no que diz respeito à economia de combustível. O consumidor pode consultar quais veículos participantes do programa atendem ao critério de concessão do Selo Conpet por meio do site do Conpet (www.conpet.gov.br) ou do Inmetro (www.inmetro.gov.br) ou ainda no aplicativo gratuito Etiquetagem Veicular. Com o é possível também calcular quanto será o seu gasto mensal ou anual com combustível para rodar com o automóvel escolhido.

O PBE Veicular promove o aumento da eficiência energética no transporte, estimulando a fabricação e a importação de veículos mais eficientes (CONPET, 2016).

Figura 31: Selo CONPET



Fonte: Proteste (2016)

2.4.4 ROTA 30

A Lei 13.755 (Brasil, 2018), popularmente conhecida como “Rota 2030”, é uma remodelação do extinto programa de incentivo, Inovar Auto. O Inovar Auto previa uma redução significativa do IPI na venda do veículo, permitida só quando a montadora cumpria uma série de obrigações vinculadas, fundamentalmente, ao investindo em P&D, cumprindo de Programa de Etiquetagem Veicular e atingindo determinados níveis de eficiência energética (FINEP, 2020). O Rota 2030 segue uma linha estratégica similar, mas o foco principal é incentivar os projetos de P&D em toda a cadeia do setor. Assim, o programa se estendeu aos setores das autopeças e dos sistemas estratégicos para a produção dos veículos, não limitado unicamente às montadoras.

Ainda de acordo com a FINEP (2020), as principais diretrizes do sistema são:

- “Estabelecer requisitos obrigatórios para a comercialização de veículos no Brasil;
- Incrementar a eficiência energética, o desempenho estrutural e a disponibilidade de tecnologias assistivas;
- Aumentar os investimentos em P&D no País;
- Estimular a produção de novas tecnologias e inovações;
- Automatizar o processo manufatura e o incremento da produtividade;
- Promover o uso de biocombustíveis e de formas alternativas de propulsão e valorizar a matriz energética brasileira;
- Garantia da capacitação técnica e da qualificação profissional no setor de mobilidade e logística;
- Garantia da expansão ou manutenção do emprego no setor de mobilidade e logística.”

O Rota 2030 foi desenvolvido em um contexto no qual o setor automotivo mundial sinaliza grandes mudanças, seja nos meios de transportes e na forma de usá-los, seja na forma de produzi-los.

Diante das tendências citadas, o Rota 2030 Mobilidade e Logística guarda como objetivo ampliar a inserção global da indústria automotiva brasileira, por meio da exportação de veículos e autopeças. A proposta é que este movimento de inserção global seja progressivo, permitindo que ao final da vigência do programa o país esteja inteiramente inserido e no estado das artes da produção global de veículos automotores.

O Programa também possui como pressupostos princípios de sustentabilidade ambiental e cidadania. De forma complementar, as políticas de estímulo à pesquisa e desenvolvimento (P&D) visam dotar as empresas de instrumentos para que possam alcançar as metas a serem estabelecidas, além de lhes conferir condições de competitividade para que tais atividades possam ocorrer no País.

Não se trata de ampliar a competitividade apenas via redução de custos, mas também através da inovação tecnológica. A importância das políticas de estímulo justifica-se pelo fato de que o desenvolvimento da indústria automotiva brasileira está atrelado às grandes montadoras globais, cujos centros de decisões estão em suas matrizes, fora do Brasil. Além disso, o investimento em desenvolvimento tecnológico e inovação é chave para a sobrevivência das companhias no mercado mundial além de conferir vantagem competitiva às empresas aqui estabelecidas.

Assim, de acordo com os idealizadores do Programa, o mesmo visa solucionar dificuldades enfrentadas pela indústria automotiva nacional, tais como:

- “a baixa competitividade da indústria automotiva nacional, que resulta em uma integração passiva às cadeias globais de valor;
- a defasagem tecnológica, especialmente em eficiência energética e desempenho estrutural e tecnologias assistivas à direção, do produto nacional frente às novas tecnologias em fase de implementação nos grandes mercados dos países desenvolvidos;
- o risco de transferência das atividades de P&D para outros polos, com a consequente perda de postos de trabalho de alta qualificação;

- o risco de perda de investimentos no País, com a não aprovação de novos projetos pelas matrizes das empresas instaladas no País;
- a existência de capacidade ociosa na indústria, que precisa ser direcionada para o mercado global;
- o risco de perda do conhecimento no desenvolvimento de tecnologias que utilizam biocombustíveis, com impactos naquela cadeia produtiva.” (FINEP, 2020)

Partindo de ampla discussão com a sociedade, envolvendo especialmente as entidades que integram o setor, o Programa Rota 2030 Mobilidade e Logística foi pensado como política pública de longo prazo para quinze anos, divididos em três ciclos quinquenais. Para cada ciclo será realizada uma revisão da política e uma reorientação das metas e instrumentos. O Programa possui e explicita metas objetivas e mensuráveis e dota as empresas de instrumentos e estímulos para viabilizá-las. Trata-se de uma política que confere a previsibilidade necessária para que as empresas possam se adaptar e programar os seus investimentos (FINEP,2020).

2.5 CIDADES INTELIGENTES

De acordo com o relatório do IPCC (2014) são necessárias algumas medidas para a mitigação das emissões do setor de transportes. Dentre as medidas propostas destacam-se: transferência de modal para transportes de baixa emissão de carbono, incentivando os investimentos em transportes públicos para tornarem-se mais atraentes para os usuários e minimizar o tempo de viagem e a distância; redução do consumo energético por passageiro através da melhoria do desempenho dos motores, materiais mais leves e novas tecnologias, como veículos elétricos.

Quadro 10: Exemplos de estratégias TDM

Estímulo a modos eficientes	Políticas de Desenvolvimento Inteligente	Programas de Implementação	Estratégias complementares de mobilidade
<ul style="list-style-type: none"> • Preços de estacionamento variáveis • Regulamentação de estacionamento • Tarifação de congestionamento, zonas de zero / ou baixa emissão • Realocação de espaço rodoviário • Preços baseados em distância • Políticas de rodízio (restrições de placas pares / ímpares) • Incentivos financeiros (estacionamento, transporte subsidiado ou gratuito) 	<ul style="list-style-type: none"> • Políticas de crescimento inteligente e práticas de planejamento • Desenvolvimento orientado para o transporte sustentável (DOTS) • Ruas completas e interligadas • Recursos de paisagismo para reformular o espaço público • Gestão de estacionamento eficiente • Integração da política de habitação social e transportes 	<ul style="list-style-type: none"> • Associações de Gestão de Transportes • Programas de redução de viagem compartilhada • Gestão de transporte escolar • Gerenciamento de transporte de frete • Marketing de gestão de mobilidade • Reformas de planejamento de transporte 	<ul style="list-style-type: none"> • Horário flexível • Entregas fora de pico • Serviços de teletrabalho e vendas online que reduzam as viagens de veículos • Melhorias na infraestrutura para pedestres e ciclistas • Melhorias no transporte público e no serviço de táxi • Planejamento de viagem multimodal e / ou ferramentas de pagamento intermodal • Incentivo ao veículo de alta ocupação (HOV) • Compartilhamento de carros e de carona

Fonte: (SLOCAT, 2018)

2.5.1 Pedágio Free Flow

Em 2021, o Código de Trânsito Brasileiro (CTB) foi alterado, permitindo criar um sistema de livre passagem no Brasil sem as tradicionais praças de cobrança, o Pedágio Free Flow.

De acordo com Julyver Modesto, especialista em legislação de trânsito, free flow significa trânsito livre, em tradução literal. “A Lei 14.157 (Brasil, 2021) trouxe a possibilidade da implantação de um sistema de pedágio que mais de 20 países já utilizam. A ideia é não ter as famosas praças de pedágio com cobrança em locais específicos, mas que permita cobrar efetivamente pela utilização de um determinado trecho de via” (MODESTO, 2021).

Figura 32: Pedágio Free Flow em São Paulo



Fonte: CNT (2022)

Em estudo divulgado pela American Chemical Society (LIN et al., 2020), analisou-se a qualidade do ar, em determinada rodovia de Taiwan, antes e após a transformação para um pedágio totalmente eletrônico. Após a implementação desse sistema, reduções significativas na concentração de partículas menores que $2,5\mu\text{m}$ (PM 2.5) foram observadas. Além disso, os riscos excessivos de câncer ao longo da vida decorrentes da exposição a PM2.5 foram reduzidos em 49,3%.

Quadro 11: Comparação de poluição antes e depois da instalação de pedágio Free Flow

	PM _{2.5} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		UFP ($\#/\text{cm}^3$)		Traffic (vehicles/5 min)		WS (m/s)	
	before	after	before	after	before	after	before	after
min.	0.1	0.0	1.2×10^2	6.2×10^1	29	53	0.7	0.6
first qu.	14.7	3.3	4.2×10^3	2.1×10^3	110	149	1.4	1.9
median	25.1	4.9	6.8×10^3	3.7×10^3	269	292	1.9	2.4
mean	26.0	5.5	7.9×10^3	3.9×10^3	249	272	2.1	2.3
third qu.	35.7	6.7	1.0×10^4	5.3×10^3	352	375	2.6	2.6
max.	85.2	33.5	4.2×10^4	1.1×10^4	535	658	5.1	3.3
std	14.3	3.5	5.3×10^3	2.2×10^3	129	130	1.0	0.5

Fonte: Lin (2020)

2.5.2 Onda Verde

Os semáforos são dispositivos incompreendidos pelos condutores, geralmente vistos como aquele que quebra a tão sonhada fluidez no trânsito, porém, são na verdade importantes dispositivos de engenharia de tráfego que garantem mais segurança viária e especialmente, a própria fluidez das vias urbanas, em que pese a percepção em contrário (GUEDES, 2021).

O grande desafio da mobilidade urbana é conseguir garantir que os cidadãos compartilhem o espaço público da cidade, por meio da escolha democrática do tipo de deslocamento que melhor lhe convir, para isso, controlar os movimentos, por meio do sistema de fluxo e contrafluxo, como uma torneira de água, é a principal contribuição dos semáforos na gestão do trânsito.

Com os estímulos luminosos coloridos (verde, amarelo e vermelho), todos regulamentados por norma federal, como sinalização de trânsito, o semáforo impõe dever de obediência não só aos veículos, como aos pedestres e ciclistas, os modais mais frágeis, na luta diária por espaço seguro nas vias públicas.

Um exemplo é que em faixa semaforizada, o semáforo retira a preferência de travessia dos pedestres e assume o controle da situação, obrigando o cidadão, por imposição legal, aguardar a abertura do semáforo de pedestres para só assim atravessar. Muitos, pela ansiedade do dia-dia escolhem colocar a vida em risco desrespeitando esta norma básica, alguns, infelizmente, perdem a vida por esta escolha ilegal.

Porém, de fato o semáforo pode ser um desastre para o razoável fluxo de veículos, quando instalados em corredores de grande fluxo, mas com os ciclos programados de forma desencontrada, criando o irritante, “anda e para”, responsável pela má fama dos semáforos (GUEDES,2021).

A onda verde, propõe inicialmente a interligação de todos os semáforos em rede, possibilitando um controle central dos ciclos, com isso, aplica-se a sincronização dos tempos de abertura e fechamento, criando a coincidência programada do sinal verde, em efeito cascata, por meio de uma fluidez segura e inteligente.

Algumas experiências com controle de fases semaforicas por sensores nas sinaleiras, que medem os sinais de celulares em deslocamento nos veículos, já estão em testes, e prometem auxiliar ainda mais o deslocamento seguro e eficiente no trânsito propiciando uma verdadeira onda verde em horários de pico.

Confirmando a máxima de que, “resolver problema de trânsito alargando rua, é o mesmo que tentar resolver o problema de obesidade afrouxando o cinto da calça”, os semáforos são provas “vivas” de que a fluidez no trânsito será cada vez mais garantida pelo uso intenso da tecnologia na engenharia de tráfego, que como os aplicativos, reinventam a cada dia as formas de nos deslocarmos na cidade. Com ou sem onda verde(GUEDES,2021).

Figura 33: Semáforos inteligentes em São José dos Campos



Fonte: Trânsito Aberto (2021)

Os semáforos inteligentes reduziram drasticamente o “anda e para” das grandes avenidas de circulação, o que, como visto anteriormente, ajudaria a reduzir a emissão de poluentes por veículos automotores.

2.5.2.1 FUNCIONAMENTO DOS SEMÁFOROS INTELIGENTES.

Na parte mais básica, um semáforo inteligente funciona como um modelo tradicional. Estão lá as luzes vermelhas, amarelas e verdes, composta por LEDs em modelos mais atuais. Esses modelos tradicionais têm um controle que permite estabelecer temporização, ou seja, quanto tempo cada luz ficará acesa programada com antecedência que varia ao longo do dia, causando o efeito

onda verde no trânsito.

Para determinar essa programação, os órgãos operadores de tráfego analisam questões como a variação do fluxo de carros da via, congestionamentos e outros fenômenos que interferem na circulação, e criam a onda verde.

O que um semáforo inteligente tem de diferente é que ele é capaz de se adaptar às condições de trânsito em tempo real (GUEDES, 2021).

Para isso, há um sistema de sensoriamento que pode incluir câmeras de processamento de imagem e sensores eletromagnéticos instalados no asfalto para a coleta de dados.

Esses dados são analisados por um sistema de controle computadorizado e, a partir daí, há uma variação na temporização das luzes, para que o semáforo as mude de forma sincronizada com outros da região.

Um exemplo de onda verde: em um cruzamento entre uma rua com tráfego intenso de carros e outra mais tranquila, um conjunto de semáforos pré-programados tende a priorizar o tempo de abertura para a via mais movimentada. No entanto, caso a rua menos movimentada passe a ter um movimento acima do normal, a tendência é que seja formado um congestionamento que afetará outras vias da região. Caso um conjunto de semáforos inteligentes estivesse em operação, a onda verde proporcionaria um fluxo de veículos melhor organizado, já que ele adaptaria automaticamente o período de acionamento de cada luz em tempo real, minimizando o impacto sobre o trânsito (RODRIGUES, 2022).

A adoção de semáforos inteligentes, de maneira geral promove maior qualidade na circulação viária com onda verde. Há estudos feitos no Brasil que apontam melhorias em torno de 20% a 30% no fluxo de tráfego (GUEDES, 2021).

O ideal é que uma cidade tenha todos os cruzamentos com semáforos do tipo, com uma central de controle fazendo a gestão automatizada de todo o tráfego urbano

2.6 CARROS ELÉTRICOS

A primeira das várias ondas de empolgação e desenvolvimento de carros elétricos é mais antiga do que se imagina. Ela começou mais ou menos no mesmo período dos carros tradicionais, sendo que o título de "primeiro carro elétrico" é bastante disputado entre vários concorrentes que apresentaram experimentos parecidos em países diferentes (KLEINA, 2021).

Costuma-se tomar o ano de 1886 como o marco da invenção do carro. E até mesmo essa parte da história está envolta em névoas. Por volta de 1890, já havia uma frota de táxis elétricos rodando em Nova York. E os automóveis, em geral, foram se tornando mais acessíveis e se popularizando.

Essa era a realidade em 1912, e o carro elétrico pouco avançou nos anos subsequentes. Na década de 1920, petróleo foi encontrado em larga escala nos Estados Unidos, barateando a gasolina. Logo, um lobby se formou ao redor da matéria prima. Sua exploração levou, inclusive, ao massacre de comunidades indígenas detentoras dos direitos sobre as terras que a ofereciam. Com isso, a gasolina se tornou a fonte de energia mais facilmente disponível, tornando o carro elétrico ainda menos atrativo em comparação ao movido a combustão (KLEINA, 2021).

Figura 34: Carro elétrico



Foto: Edison Eletric Car

Por fim, a expansão das estradas pavimentadas terminou de sepultar os carros a bateria. Com a maior possibilidade de locomoção, a disponibilidade de combustível se tornou um diferencial.

A partir dos anos 2000 se intensificaram as pesquisas na área dos veículos elétricos. Novos modelos de baterias foram desenvolvidos, políticas de incentivos à produção de veículos elétricos pelo mundo foram tomadas e a produção começou a aumentar. A forma de se gerar energia elétrica também se modificou, a ascensão da energia solar e as redes elétricas inteligentes têm contribuído para o crescimento dos veículos elétricos (BARAN, 2020).

Figura 35: Veículo Elétrico



Fonte: Tesla (Divulgação)

O fato é que cedo ou tarde os veículos elétricos estarão cada vez mais presentes na nossa realidade. O desenvolvimento cada vez mais rápido da tecnologia, os incentivos governamentais e os apelos ecológicos farão com que, novamente, os modelos elétricos se tornem comuns nas ruas de nossas cidades (LEGEY, 2020).

A mobilidade elétrica traz grandes vantagens à população e ao planeta, permitindo o uso racional e eficiente dos recursos naturais. Em uma análise, os veículos elétricos são, no mínimo, duas vezes mais eficientes que os veículos à combustão. Isso significa que, para um país que tenha toda a sua matriz energética baseada no petróleo, ao mudar sua frota de veículos à combustão para elétrico, considerando todas as perdas do transporte da energia e de carregamento das baterias, pouparia no mínimo 50% dos gastos com a locomoção de sua frota. No Brasil, com a matriz energética basicamente hidráulica, as vantagens seriam em torno de 80% (UFRGS, 2020).

Figura 36: Evolução dos Veículos Elétricos



Fonte: Estadão (2021)

2.6.1 O IMPACTO DA MATRIZ ENERGÉTICA

A matriz energética de um país é o conjunto de fontes disponíveis no país usadas para captar, distribuir e utilizar energia para os setores comercial, industrial e residencial (INCOM, 2021).

O Brasil apresenta uma das matrizes energéticas mais renováveis do mundo industrializado. Aproximadamente 43% da produção de energia no país é proveniente de fontes de energia renováveis, sendo elas a energia eólica, hidráulica, solar e biomassa. O que beneficiaria, e muito, o uso de carros elétricos por parte da população brasileira. Já no caso de países europeus, o uso de carro elétrico não tem uma vantagem significativa, visto que a sua matriz energética ainda é, em grande parte, formada por combustíveis fósseis. Segundo a Agência Europeia do Ambiente, cerca de 77% da energia europeia provem de combustíveis fósseis, gerando poluição.

3 ANÁLISE CRÍTICA

Diante da aplicação descrita e analisada neste trabalho, depreende-se que a Engenharia de Tráfego tem fundamental importância para resolver problemas relacionados a emissão de poluentes por veículos automotores.

Quando se trata de problemas de poluição, nem sempre é simples chegar a uma única causa. Isto pode ser agravado pelo tamanho da cidade, número de veículos, e inúmeras outras variáveis associadas ao deslocamento, dificultando ao engenheiro uma solução simples.

Uma vez identificadas as causas, torna-se muitas vezes difícil uma ação que uma vez implementada elimine totalmente as causas do problema. Como foi o caso do aumento exagerado da frota em São Paulo. Mesmo que os carros modernos emitam menos poluição, os índices de contaminação do ar continuam altos em função do crescente número de veículos de circulação.

Outro fator que agrega ao descontrole do problema é a interdependência dos diferentes setores, apresentado neste caso pela matriz energética de cada país. Por estar fora da área de controle do engenheiro, fica difícil controlar estas variáveis.

Mas como engenheiros, podemos contribuir com a melhora da qualidade do ar. Como vimos no exemplo de Taiwan, em que apenas a alteração de um pedágio manual para um totalmente automático contribuiu para a melhora da qualidade do ar.

4 CONCLUSÃO

A maior parte das empresas instaladas no Brasil e ligadas ao mercado internacional tem como demanda competitiva ou até mesmo de sobrevivência a adoção de algum tipo de gestão ambiental, elevando o desempenho ambiental em função das exigências do processo de internacionalização da economia (UNGARETTI, 1998, p. 34).

Vale ressaltar que as perdas econômicas relacionadas com a poluição do ar não ficam relacionadas apenas à saúde da população, considerando afastamentos do trabalho, despesas médico-hospitalares, seguridade social e perdas econômicas com mortes, como citado anteriormente, mas também danos causados ao patrimônio público, aos bens privados, danos causados em aeronaves e suspensão de voos (afetando atividades comerciais), contaminação de corpos hídricos, danos à fauna e flora, contaminação do solo, subsolo e do lençol freático, de difícil mensuração em termos de perdas econômicas. Deve-se levar em consideração a complexidade das inter-relações entre meio ambiente e população, ao levar ao debate a definição de políticas ambientais afetas ao tema do controle da poluição e seus benefícios para o meio ambiente e a sociedade brasileira (IBAMA, 2016).

Diversas estratégias têm sido adotadas mundialmente na busca por soluções aos problemas de mobilidade urbana e da emissão de poluentes, tais como o rodízio na cidade do México (DAVIS, 2008), o pedágio urbano em Londres (KELLY et al., 2011), a redução de velocidades em Manchester (OWEN, 2005) o planejamento urbano em Bogotá (MONTEZUMA, 2005), e até mesmo a interrupção de diversas atividades poluentes em Pequim (WANG et al., 2009), bem como o incentivo para veículos elétricos no Japão (AHMAN, 2006). O pedágio urbano em Londres, por exemplo, levou à diminuição de 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de material particulado inalável (média de dois anos), dentro e fora da área de restrição. As restrições das atividades poluidoras durante as Olimpíadas de Pequim em 2008 levaram à diminuição de 25% dos níveis de CO e do O₃. Os impactos destas políticas são variados, mas em geral tendem diminuir os desequilíbrios sociais e ambientais dos grandes centros urbanos.

O desenvolvimento econômico é de extrema importância, pois só assim as sociedades conseguem se desenvolver, mas nosso papel como engenheiros é fazer com que as atividades econômicas possam ser racionalizadas para um desenvolvimento econômico sustentável.

REFERÊNCIAS

LIN, M. Y., et al. Effect of Implementing Electronic Toll Collection in Reducing Highway Particulate Matter Pollution. *Environmental Science & Technology*, Washington, n. 54, p. 9210-9216, 2020.

AZEVEDO, S.; RIBEIRO, L. C. de Q. Relatório 2019. Mapa da motorização individual no Brasil, UFRJ, 26 set. 2019. Disponível em: https://www.observatoriodasmetrolopes.net.br/wp-content/uploads/2019/09/mapa_moto2019v2.pdf. Acesso em: 20 dez. 2021.

FROTA brasileira de carros cresceu 77% em dez anos. **Mobilize**, 2019. Disponível em: <<https://www.mobilize.org.br/noticias/11808/frota-brasileira-de-carros-cresceu-77-em-dez-anos.html>>. Acesso em: 20 dez. 2021.

QUALIDADE ambiental: Poluentes - Fontes e Efeitos. **FEPAM**, 2015. Disponível em: <<http://www.fepam.rs.gov.br/qualidade/poluentes.asp>>. Acesso em: 20 dez. 2021.

5 impactos pouco conhecidos da poluição do ar. **WRI Brasil**, 2019. Disponível em: <<https://wribrasil.org.br/pt/blog/2019/06/5-impactos-pouco-conhecidos-da-poluicao-do-ar-atmosferica>>. Acesso em: 20 dez. 2021.

O que é desenvolvimento sustentável?. **WWF**, 2020. Disponível em: <https://www.wwf.org.br/natureza_brasileira/questoes_ambientais/desenvolvimento_sustentavel/>. Acesso em: 20 dez. 2021.

O que é pedágio freeflow? entenda como funciona o sistema. **Portal do Trânsito**, 2021. Disponível em: <<https://www.portaldotransito.com.br/noticias/o-que-e-pedagio-free-flow-entenda-como-funciona-o-sistema/>>. Acesso em: 20 dez. 2021.

FINE particle air pollution is a public health emergency hiding in plain sight. **The Conversation**, 2018. Disponível em: <https://theconversation.com/fine-particle-air-pollution-is-a-public-health-emergency-hiding-in-plain-sight-106030?utm_medium=email&utm_campaign=Latest%20from%20The%20Conversation%20for%20November%2015%202018%20-%201162310513&utm_content=Latest%20from%20The%20Conversation%20for%20November%2015%202018%20-%201162310513+Version+A+CID_c645f53736d9a90969ac1f98158adccc&utm_source=campaign_monitor_us&utm_term=Fine%20particle%20air%20pollution%20is%20a%20public%20health%20emergency%20hiding%20in%20plain%20sight>. Acesso em: 20 dez. 2021

MONÓXIDO de carbono x dióxido de carbono: uma comparação. **Industrial Scientific**, 2020. Disponível em: <<https://www.indsci.com/pt-br/blog-the-monitor/carbon-monoxide-vs.-carbon-dioxide-lets-compare/>>. Acesso em: 20 dez. 2021.

MP2.5: Tudo o que você precisa saber sobre esse material particulado. **Ecycle**, 2019. Disponível em: <<https://www.ecycle.com.br/mp2-5/>>. Acesso em: 20 dez. 2021.

EMISSÃO veicular. **Cetesb**, 2019. Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br/veicular/>>. Acesso em: 20 dez. 2021.

CONAMA reduz limites de emissão de poluentes por veículos novos no país. **IBAMA**, 2018. Disponível em: <<http://www.ibama.gov.br/noticias/436-2018/1782-conama-reduz-limites-de-emissao-de-poluente-por-veiculos-novos-no-pais>>. Acesso em: 20 dez. 2021.

O AR que o carioca respira é objeto de estudo apoiado pela FAPERJ. **FAPERJ**, 2005. Disponível em: <<http://www.faperj.br/?id=573.2.2>>. Acesso em: 20 dez. 2021.

CARROS representam 72,6% da emissão de gases efeito estufa em SP. **Exame**, 2017. Disponível em: <<https://exame.com/brasil/carros-representam-726-da-emissao-de-gases-efeito-estufa-em-sp/>>. Acesso em: 20 dez. 2021.

NOA UFPB. O Ciclo Otto e os Motores de Combustão Interna. **O Ciclo de Otto e a Primeira Lei da Termodinâmica**. 17 jul. 2019. Disponível em: http://www.fisica.ufpb.br/~romero/objetosaprendizagem/Rived/15cOtto/materiais/saiba_mais.pdf. Acesso em: 15 mar. 2022.

SIMPLO. Motor Ciclo Otto: entenda o funcionamento. *In: Funcionamento do motor ciclo Otto*. [S. l.], 19 jun. 2020. Disponível em: <https://blog.simplusbr.com/motor-ciclo-otto/>. Acesso em: 24 mar. 2022.

INFOESCOLA. Ciclo de Otto. *In: CARDOSO, Mayara. Ciclo de Otto*. [S. l.], 12 jun. 2019. Disponível em: <https://www.infoescola.com/fisica/ciclo-de-otto/>. Acesso em: 13 abr. 2022

THERMAL ENGINEERING. *In: CONNOR, Nick. O que é o Ciclo de Atkinson – Atkinson Engine: Definição*. 26 jan. 2020. Disponível em: <https://www.thermal-engineering.org/pt-br/o-que-e-o-ciclo-de-atkinson-atkinson-engine-definicao/>. Acesso em: 23 mar. 2022.

MARQUES, Italo *et al.* **Ciclo Atkinson – Razões para sua utilização em veículos Híbridos**. 2013. TCC (Tecnologia em eletrônica automotiva) - Faculdade de Tecnologia de Santo André, [S. l.], 2013. Disponível em: <http://fatecsantoandre.edu.br/arquivos/TCC277.pdf>. Acesso em: 6 abr. 2022.

RUFFO, Gustavo *et al.* *In: O que há de diferente nos motores de ciclo Atkinson e Miller?*. [S. l.], 19 dez. 2016. Disponível em: <https://quatorrodas.abril.com.br/auto-servico/o-que-ha-de-diferente-nos-motores-de-ciclo-atkinson-e-miller/>. Acesso em: 15 mar. 2022.

NAKATA. *In*: **Conheça os principais funcionamentos dos motores atuais**. 13 abr. 2020. Disponível em: <https://blog.nakata.com.br/ciclos-de-funcionamento-de-motores/>. Acesso em: 12 abr. 2022.

PURO DIESEL. **Conheça a história do motor a diesel**. [S. l.], 19 fev. 2020. Disponível em: <https://purodiesel.com.br/conheca-a-historia-do-motor-a-diesel/>. Acesso em: 16 mar. 2022.

VILAR, Leandro. Rudolf Diesel e o motor a diesel. **Seguindo os passos da história**, [S. l.], 14 abr. 2020. Disponível em: <https://seguidopassoshistoria.blogspot.com/2020/04/rudolf-diesel-e-o-motor-diesel.html>. Acesso em: 15 mar. 2022.

SCHULZ, Daniel. Ciclo de diesel. **UFRGS**. 3 jun. 2009. Disponível em: https://www.if.ufrgs.br/~dschulz/web/ciclo_diesel.htm. Acesso em: 23 fev. 2022.

DO CARMO, Eber. **Por que não temos automóveis movidos a diesel no Brasil?**. [S. l.], 28 jun. 2022. Disponível em: <https://www.noticiasautomotivas.com.br/por-que-nao-temos-automoveis-movidos-a-diesel-no-brasil/#:~:text=A%20portaria%20MIC%20n%C2%BA.,carro%20de%20passageiros%20a%20diesel>. Acesso em: 6 jul. 2022.

GRUPO SAGA. **Gasolina ou Diesel?**. [S. l.], 7 ago. 2018. Disponível em: <https://www.gruposaga.com.br/blog/gasolina-ou-diesel.html#:~:text=O%20diesel%20%C3%A9%20indicado%20para,independente%20do%20porte%20do%20ve%C3%ADculo>. Acesso em: 6 abr. 2022.

MAGALHÃES, Lana. **Características do dióxido de carbono**. [S. l.], 6 jan. 2021. Disponível em: <https://www.todamateria.com.br/caracteristicas-do-dioxido-de-carbono/>. Acesso em: 18 mar. 2022.

ALVES, Liria. **Dióxido de Carbono**. [S. l.], 13 fev. 2019. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/quimica/dioxido-de-carbono.htm>. Acesso em: 12 maio 2022.

CONHEÇA os impactos dos óxidos de nitrogênio. **E-cycle**. 24 jul. 2019. Disponível em: <https://www.ecycle.com.br/oxidos-de-nitrogenio/>. Acesso em: 12 maio 2022.

REA. **Poluição atmosférica por dióxido de azoto**. [S. l.], 25 ago. 2021. Disponível em: [https://rea.apambiente.pt/content/polui%C3%A7%C3%A3o-atmosf%C3%A9rica-por-di%C3%B3xido-de-azoto#:~:text=O%20di%C3%B3xido%20de%20azoto%20\(NO,autom%C3%B3vel%20e%20no%20sector%20industrial](https://rea.apambiente.pt/content/polui%C3%A7%C3%A3o-atmosf%C3%A9rica-por-di%C3%B3xido-de-azoto#:~:text=O%20di%C3%B3xido%20de%20azoto%20(NO,autom%C3%B3vel%20e%20no%20sector%20industrial). Acesso em: 11 maio 2022.

COELHO, Pedro. Chuva Ácida: Causas, Consequências e Medidas de Prevenção. **Engquimicasantosp**, [S. l.], p. NA, 15 ago. 2013. Disponível em: <https://www.engquimicasantosp.com.br/2013/11/chuva-acida.html>. Acesso em: 14 abr. 2022.

DIÓXIDO de enxofre, **CETESB** [S. l.], 18 jul. 2012. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/laboratorios/wpcontent/uploads/sites/24/2020/07/Dio%CC%81xido-de-enxofre.pdf>. Acesso em: 10 mar. 2022.

COMO FUNCIONARÃO os pedágios no Brasil?. **Karvi**, [S. l.], p. NA, 27 maio 2021. Disponível em: <https://www.karvi.com.br/blog/como-funcionaraos-pedagios-no-brasil/>. Acesso em: 9 mar. 2022.

PRESOS eternamente no congestionamento. **El País**, p. NA, 11 fev. 2018. Disponível em: https://brasil.elpais.com/brasil/2018/02/10/internacional/1518271207_407264.html. Acesso em: 13 abr. 2022.

VELOE. **Conheça mais sobre o Proconve**. [S. l.], 14 abr. 2022. Disponível em: <https://blog.veloe.com.br/conheca-mais-sobre-o-proconve/>. Acesso em: 21 jun. 2022.

GUEDES, Edinho. Onda Verde 2022: Por mais semáforos inteligentes. **Trânsito Aberto**, [S. l.], p. NA, 22 out. 2021. Disponível em: <https://www.transitoaberto.com.br/onda-verde-semaforos-inteligentes/>. Acesso em: 11 maio 2022.

ICCT. Norma proconve p-8 de emissões no brasil. **Atualização de políticas públicas**, [s. l.], p. NA, 13 fev. 2019. Disponível em: https://theicct.org/sites/default/files/publications/P8_emission_Brazil_policyupdate_20190227.pdf. Acesso em: 23 mar. 2022.

KLEINA, Nilton. A história dos carros elétricos. **Tecmundo**, [S. l.], p. NA, 16 mar. 2021. Disponível em: <https://www.tecmundo.com.br/mobilidade-urbana-smart-cities/212835-historia-carros-eletricos-saiba-tudo-comecou.htm>. Acesso em: 11 maio 2022.