

Benefícios de tecnologias de ônibus em termos de emissões de poluentes do ar e do clima em São Paulo

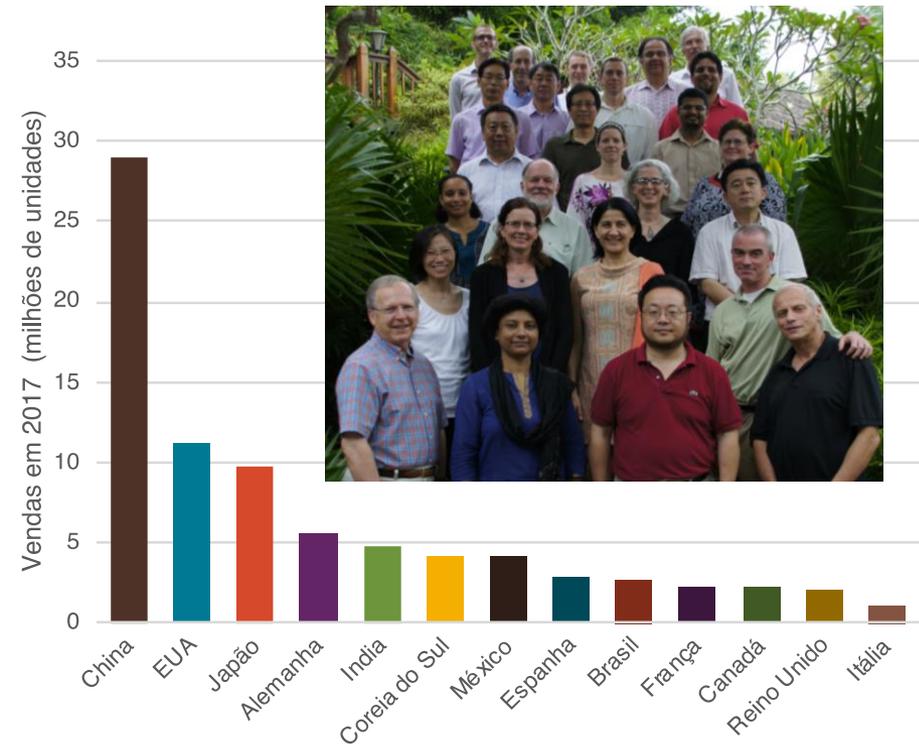
Tim Dallmann, Peter Slowik, Carmen Araujo e Cristiano Façanha

Abril de 2019

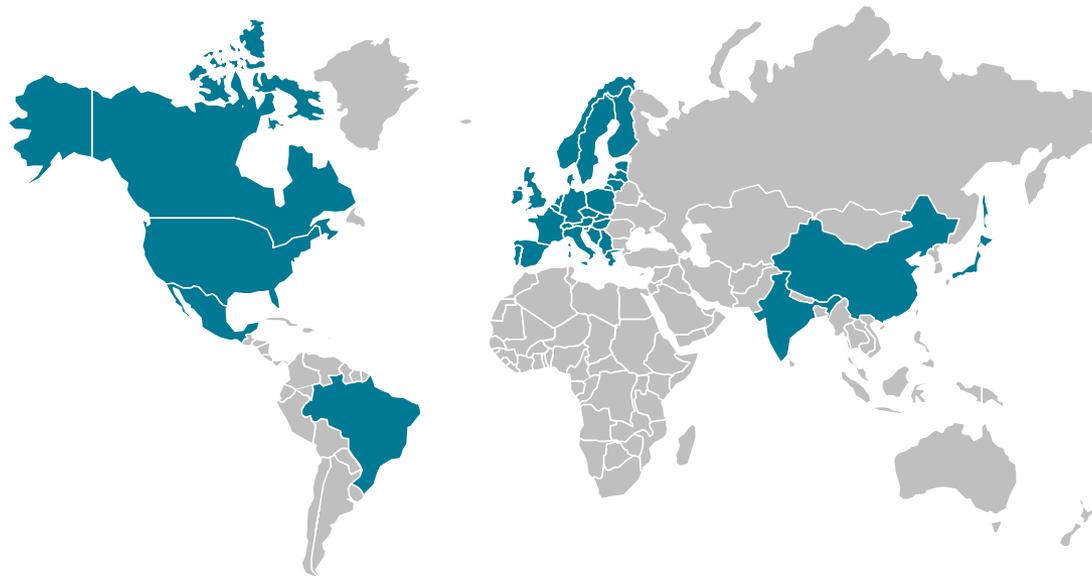
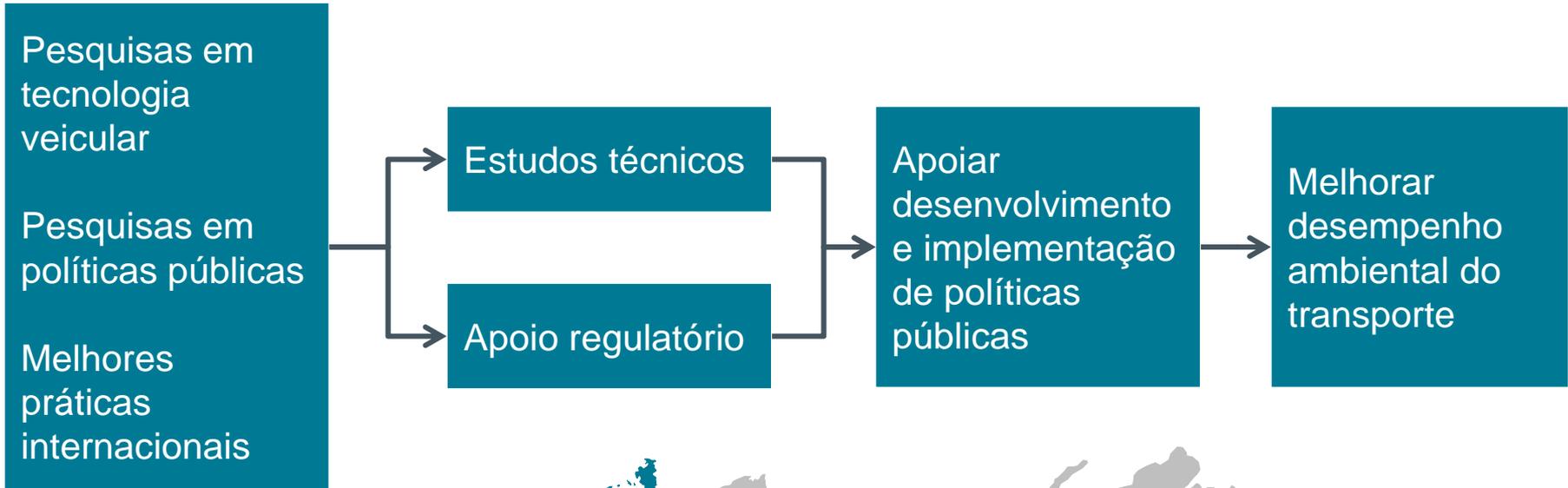


A missão do ICCT é melhorar o desempenho ambiental e a eficiência do transporte rodoviário, marítimo e aéreo a fim de beneficiar a saúde pública e mitigar as mudanças climática.

- Organização sem fins lucrativos
- Foco em políticas regulatórias e incentivos fiscais
- Consultoria e pesquisa técnica
- Atuação mundial, com ênfase em grandes mercados
- Impactos da poluição do ar e no clima
- Atividade em todos os modais, incluindo terrestre, aéreo e marítimo

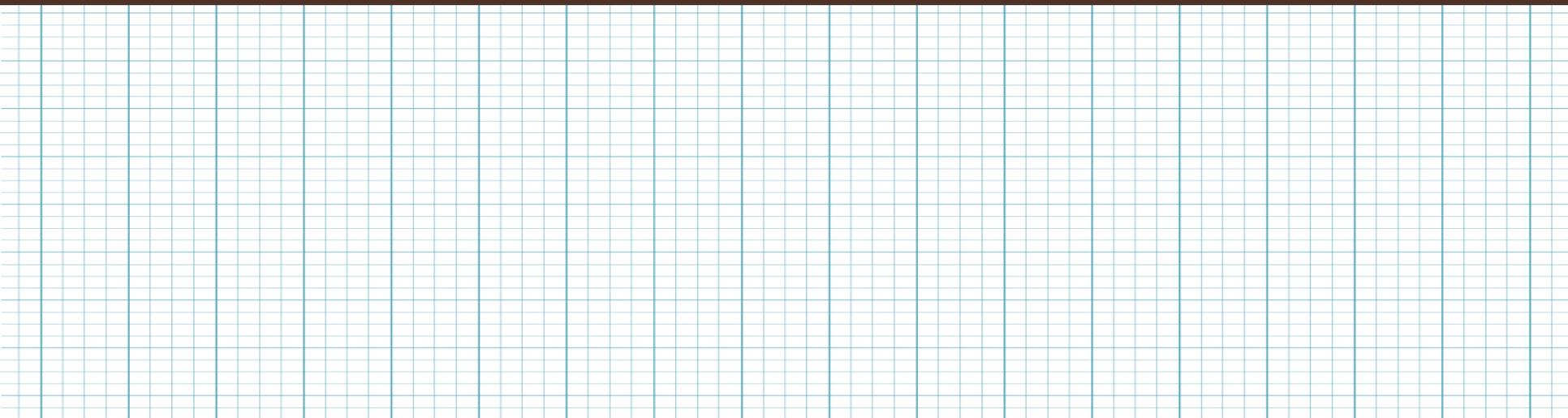


Modelo de atuação do ICCT



- **Considerações iniciais:** abordagem Evitar > Mudar > Melhorar ou (Transformar)
- **Que tecnologias estão disponíveis** na transição para ônibus zero emissões?
 - Tecnologia veicular
 - Combustíveis alternativos
- **Quais os impactos climáticos para as diferentes tecnologias** levando em consideração as emissões do ciclo de vida do combustível e os poluentes que não o CO₂?
- **Quais são os custos totais de propriedade** incorridos durante a vida útil do veículos para as tecnologias alternativas de ônibus e combustíveis?
- **Conclusões e recomendações**

Considerações iniciais



Evitar

- Reduzir ou evitar a necessidade de viagens

Eficiência do sistema

Mudar

- Mudar ou manter a participação de modais mais ambientalmente adequados

Eficiência das viagens

Melhorar

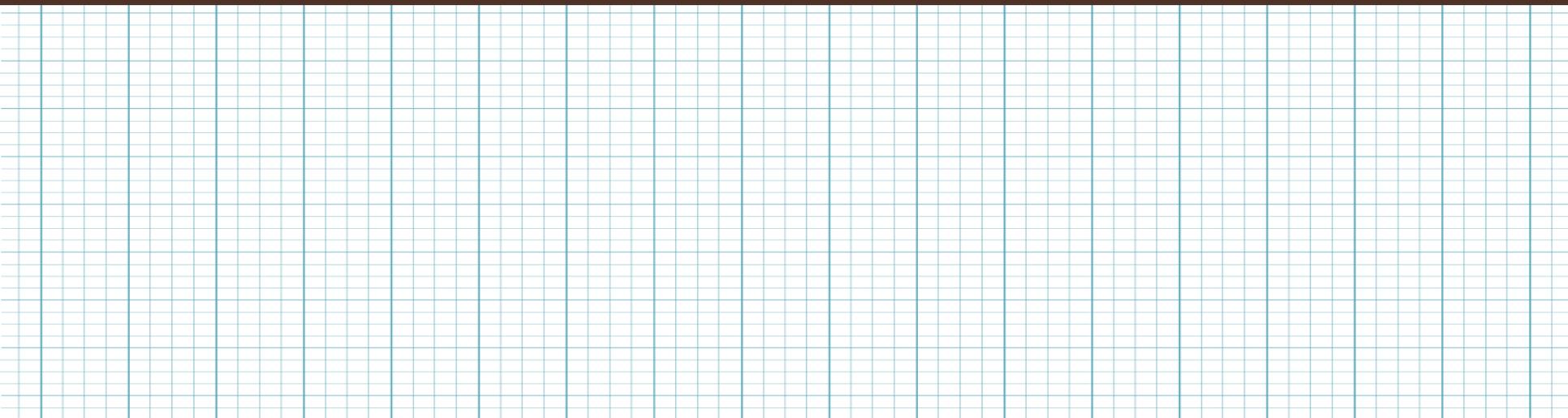
- Melhorar a eficiência energética dos modais ou redes de transportes

Eficiência dos veículos

Transformar

- Transformar frotas de veículos e sistemas de combustíveis em tecnologias zero emissões

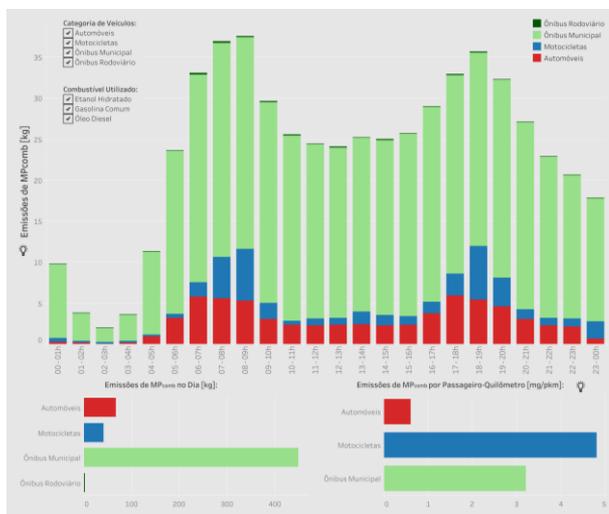
Contexto



- São Paulo tem o maior sistema de transporte público municipal do Brasil:
 - 13.558 veículos operacionais
 - 9,4 milhões de passageiros/ dia útil
 - 81,6 milhões km/ mês
- Comprometeu-se com a transição acelerada para tecnologias de ônibus e combustíveis mais limpos por meio da Lei nº 16.802/2018.

Os ônibus são responsáveis por 80% do MP gerado na combustão e do NO_x no transporte de passageiros em São Paulo

Material particulado gerado na combustão



NO_x



Há forte evidências que as emissões da combustão apresentam maior toxicidade do que outras emissões veiculares.

Os poluentes gerados na queima de combustíveis nos motores a combustão são, em geral, o principal motivo da má qualidade do ar nas metrópoles

DATA	RMSP																
	Cerequeia César (M)	Col. Universidade USP-Ipiranga	Congonhas	Gráziar-Parellheiros	Guarulhos-Pop. Municipal	Guarulhos-Pimentas	Itaquera	Itaim Paulista	Marg. Tietê-Ponte dos Remédios	Osasco	Parque D. Pedro II	Pico do Jaraguá	Pinheiros	São Bernardo do Campo-Centro	Santana	São Cetano de Sal (M)	
04-set-17	23	24	23	25	29	25	23	24	36	35	24	17		22	24	22	
05-set-17		39	38	40	41	44		32	47		38	25		28	33		
06-set-17		29	36	22	35	34	37	29	38	44	34	33		31	34		
07-set-17		30	28	30	31	40	28	29	37	46	29	32		24	29		
08-set-17		37	34	35	45	59	42	36	44	59	41	31		33	41		
09-set-17		36	33	35	36	38	47	38	44	45	43	31		32	38		
10-set-17	27	28	27	30	30	30	36	31	45	37	31	24		24	34	31	
11-set-17		29	27	38	28	28	34	30	37	36	26	26		26	33		
12-set-17		25	28	28	29	39	37	30	34	37	31	27		27	32		
13-set-17		37	38	43	33	45	43	38	43	38	36	29		30	33		
14-set-17		39	37	53	35	32		34	50	41	37	30		31	31		
15-set-17		40	44	47	38	47		50	56	42	34	25		34	33		
16-set-17	29	26	30	26	34	36		31	33	41	29	31		31		28	
17-set-17		29	31	28	37	37		39		43	55	32		33	36		
18-set-17		22	30	17	35	33		31	30	31	31	32		30	33		
19-set-17		35	40	29	39	37		37	43	41	38	40		32	37		
20-set-17		31	38	27	37	40		33	41		35	34		33	34		
21-set-17		36	40	36	36	41		37	43		30			36	37		
22-set-17	30	29	30	53	31	42		37	42					39	32	35	
23-set-17		28	30	38	35	41		43	30					35	33		
24-set-17		12	18	13	26	25		24	17	23				15	18		
25-set-17		23	26	17	21	21		18	28	28		24		25	25		
26-set-17		28	31	22	28	31		26	32	28		29		26	27		
27-set-17		39	38	33	39	45		44	44	43	42	32		35	39		
28-set-17	33	33	38	24	44	54		47	47	41	40	36		36	36	37	



DISEASES DUE TO:

- PM2.5 AIR POLLUTION
- O₃

- Heart attacks
- Strokes, heart disease
- Congestive heart failure

- Lung cancer
- Chronic bronchitis
- Asthma
- Emphysema
- Scarred lung tissue

- Low birth weight

Globally, **air pollution** is the **2nd** leading risk factor for the global burden of disease in 2010, behind high blood pressure, and together with **tobacco smoking**, including second hand smoke.

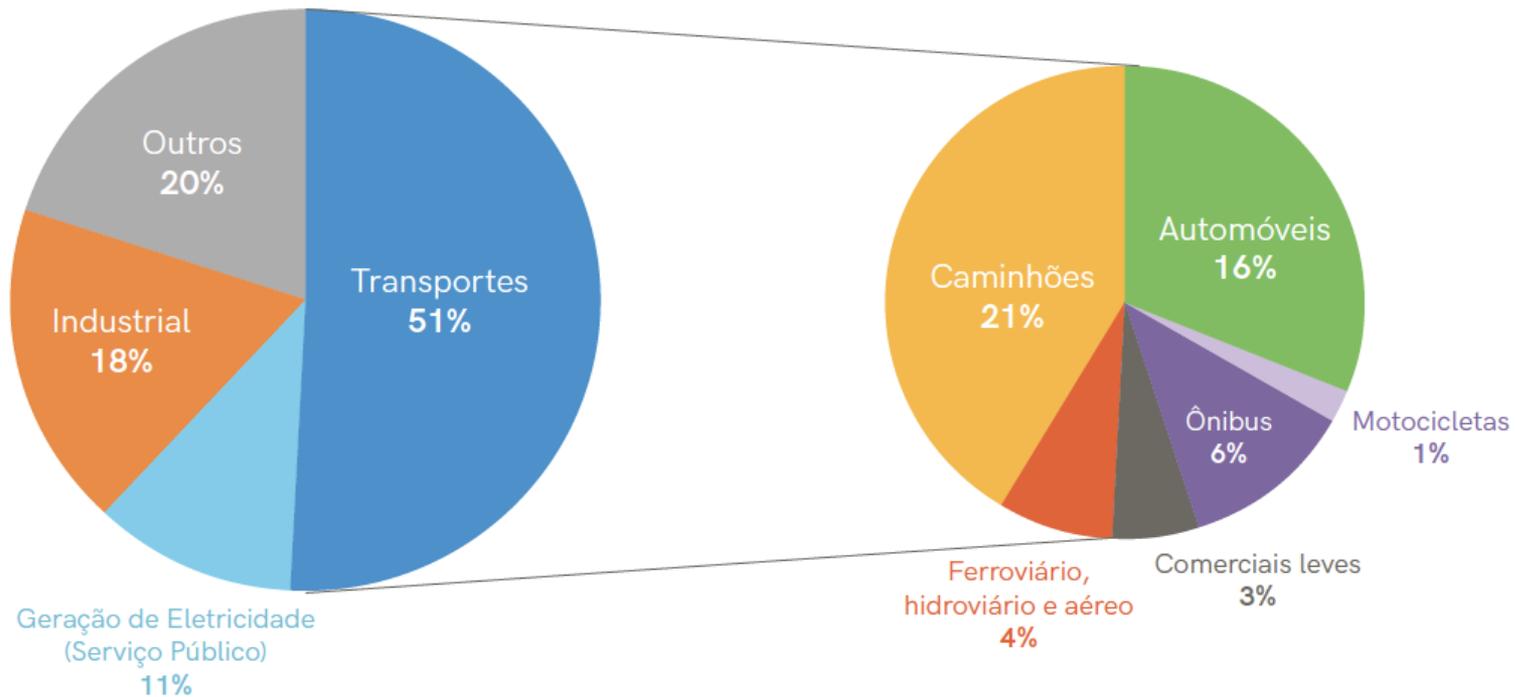
As emissões veiculares estão diretamente associadas a efeitos negativos à saúde

Na RMSP, onde vivem mais de 21 milhões de habitantes, os limites recomendados pela OMS foram ultrapassados em 2016:

- **Ozônio:** o padrão foi ultrapassado em 1.034 dias somando-se todas as estações. Há estações com mais de 70 ultrapassagens, e o nível de emergência ($160 \mu\text{g}/\text{m}^3$) foi ultrapassado 61 vezes.
- **Material particulado:**
 - **MP₁₀:** houve ultrapassagens dos padrões recomendados pela OMS em 48 estações automáticas (92% das estações) totalizando 872 dias de ultrapassagens em todas as estações;
 - **MP_{2,5}:** O padrão anual de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ foi ultrapassado em todas as estações automáticas da RMSP. O padrão diário foi ultrapassado em diversas estações, algumas em quase 100 ultrapassagens em 2016.

Fonte: Saldiva, P. H. N., & Vormitagg, E. M. P. A. (2017). Qualidade do ar no estado de São Paulo sob a visão da saúde.

99% da frota de ônibus de São Paulo é movida a combustível fóssil

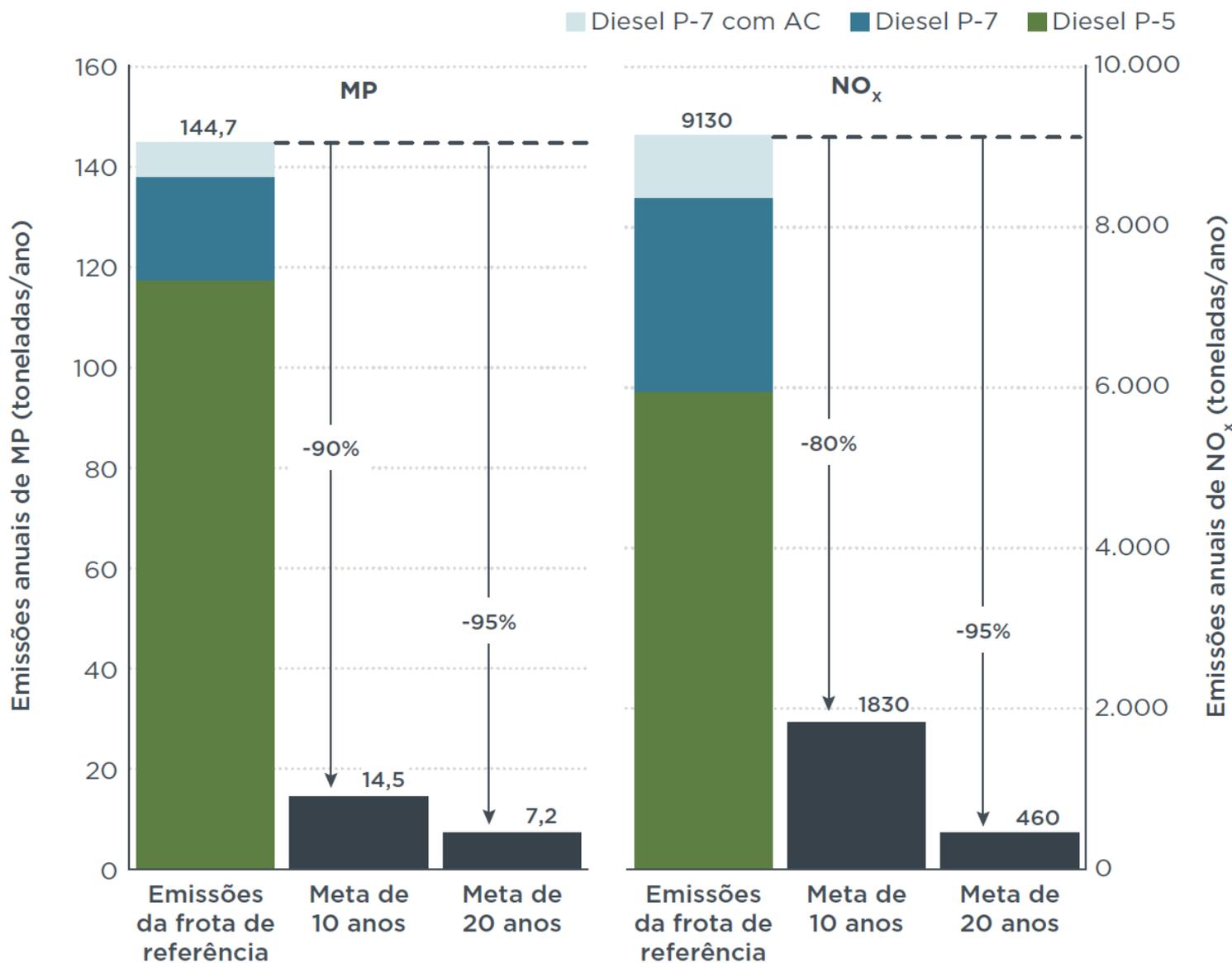


Emissões de GEE pela queima de combustíveis no Brasil (2016)

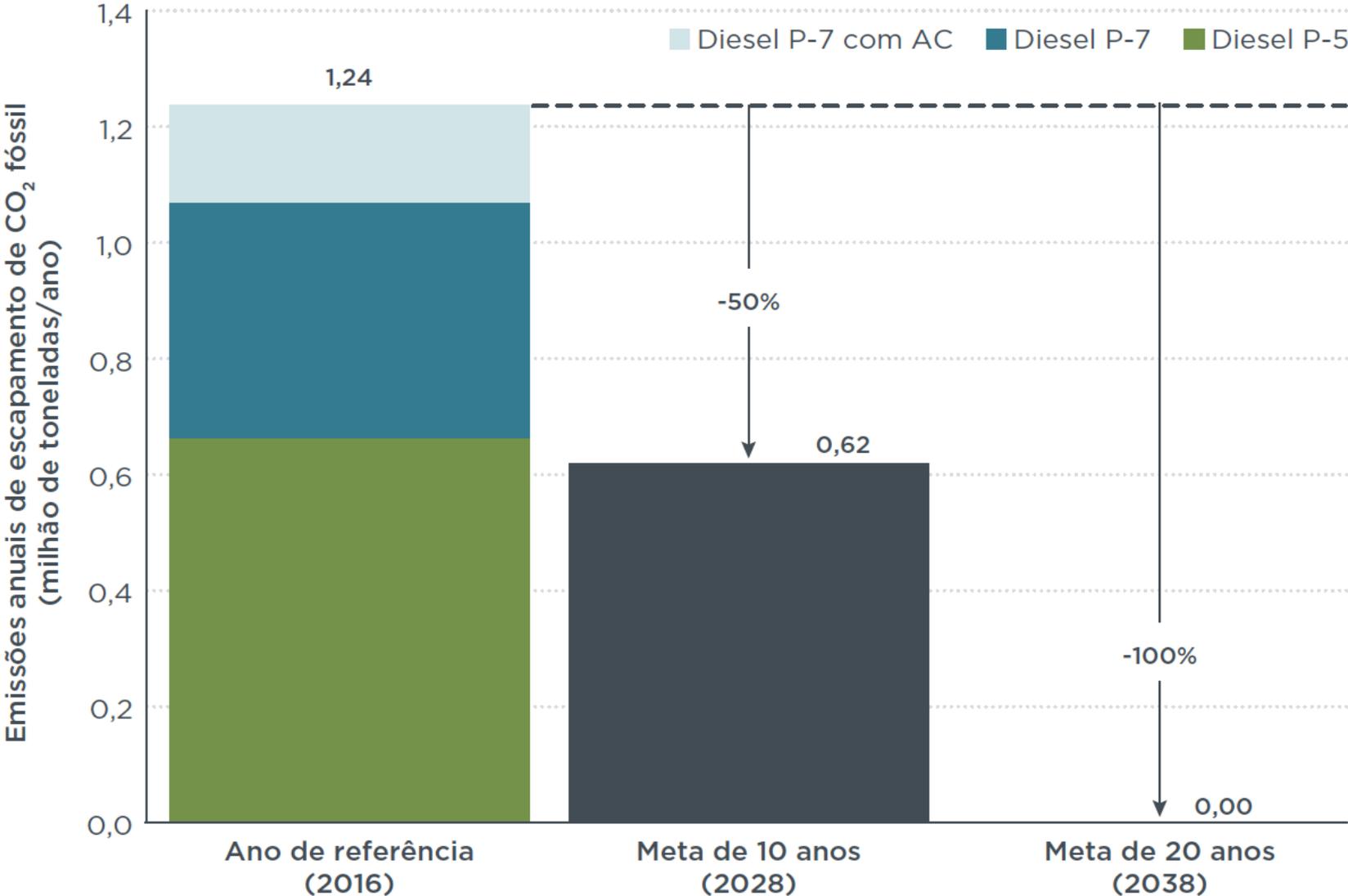
Lei do Clima de São Paulo

Lei nº 16.802/2018

Lei municipal de mudanças climáticas: induz ainda a introdução de tecnologias para baixas emissões de **MP** e **NO_x**



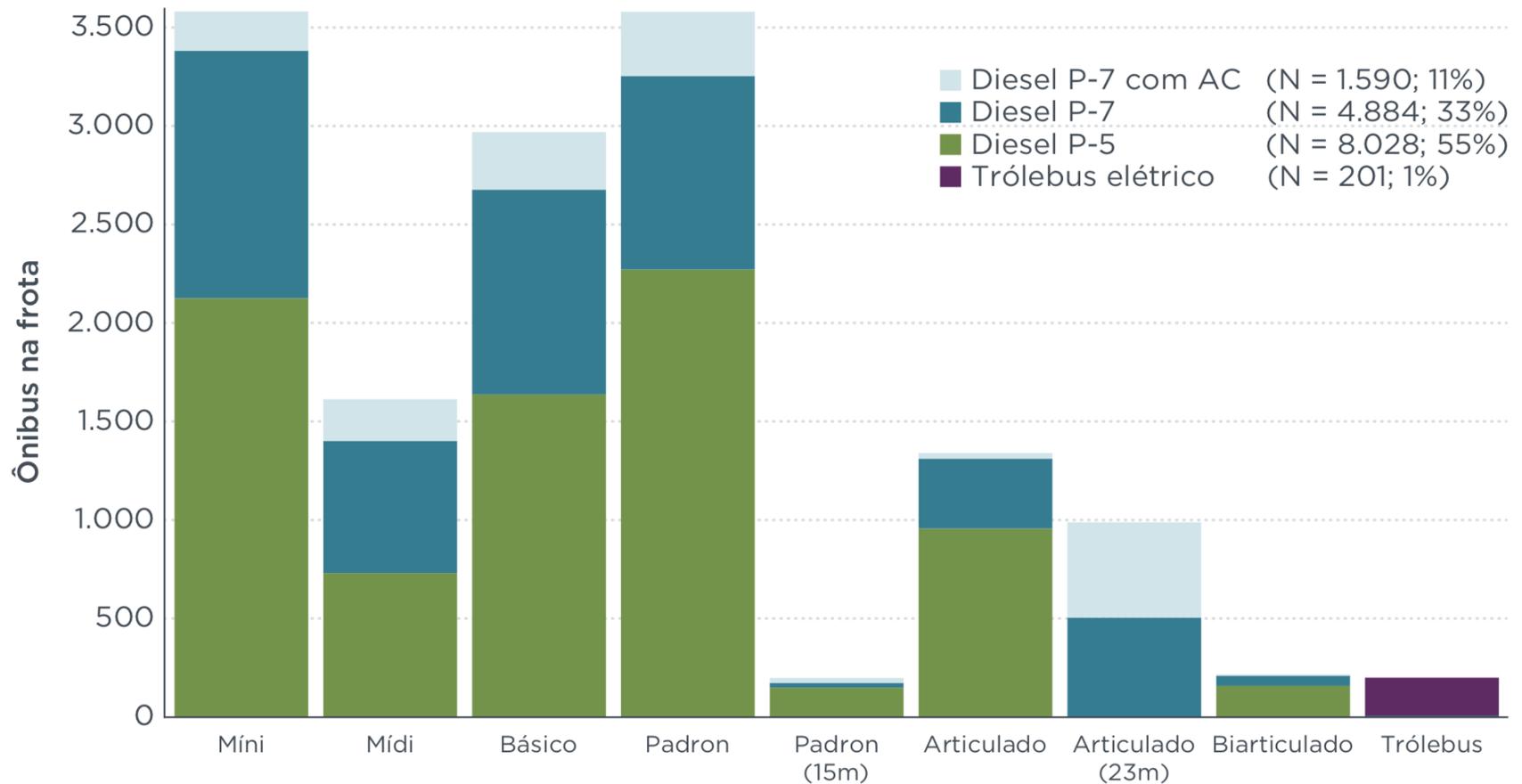
Lei municipal de mudanças climáticas: uma grande oportunidade para introdução de tecnologias para baixas emissões de CO₂



- **Comitê Gestor** do Programa de Acompanhamento da Substituição de Frota por Alternativas Mais Limpas;
- **A métrica utilizada;**
- **Relatório anual de emissões** apresentado anualmente pelas empresas operadoras e conferidos por **órgão público ou privado ou por auditoria externa independente, com ampla publicidade** .
- Os **custos incrementais** de aquisição de veículos e de operação das novas tecnologias **devem ser** claramente identificados e **objeto de engenharia financeira específica**, de modo a garantir o equilíbrio econômico-financeiro dos contratos.

Cenário *Business as Usual*

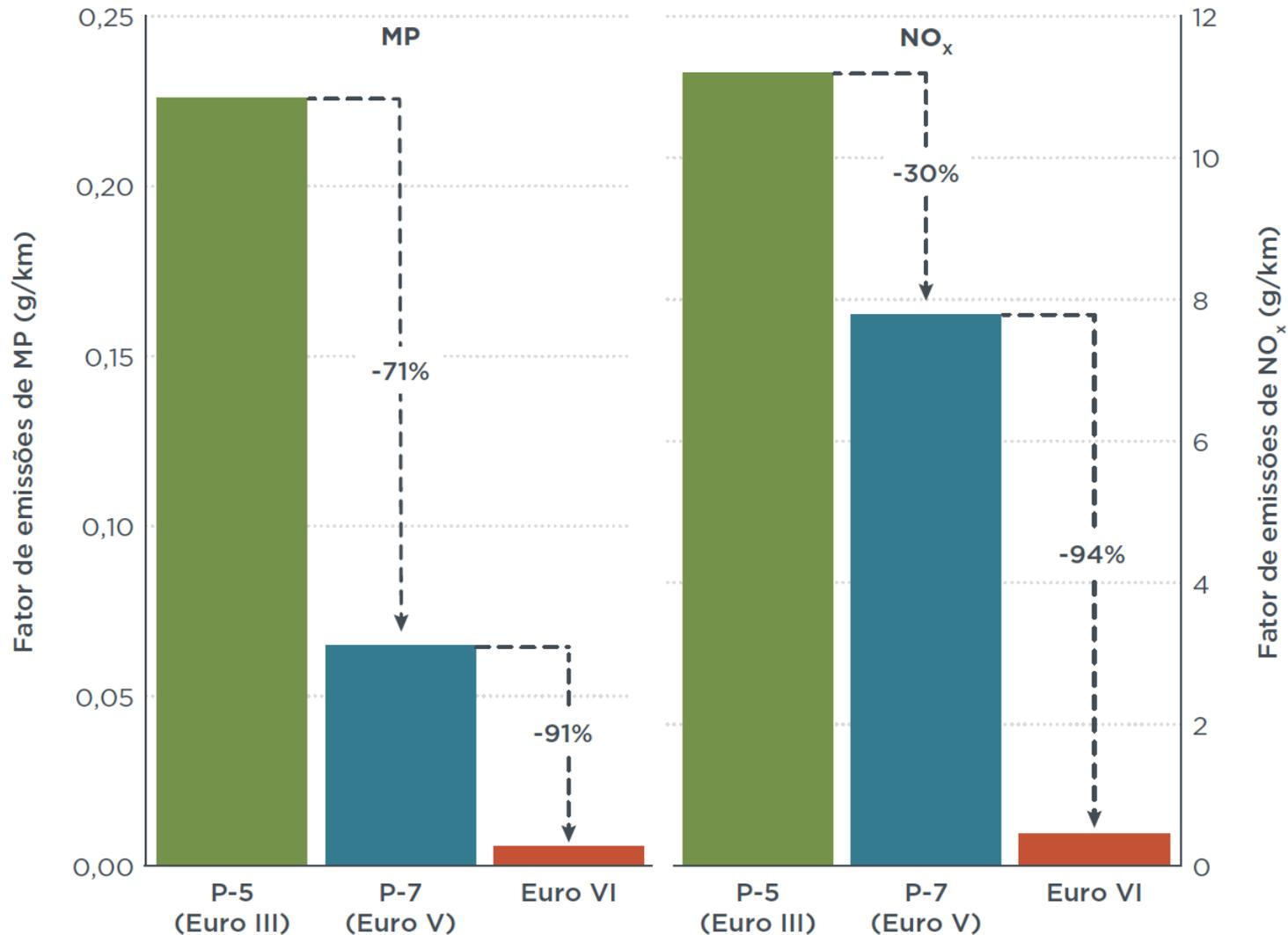
A frota de referência (2016) é composta por 99% de veículos a diesel, sendo partes quase iguais de P-6 e P-7



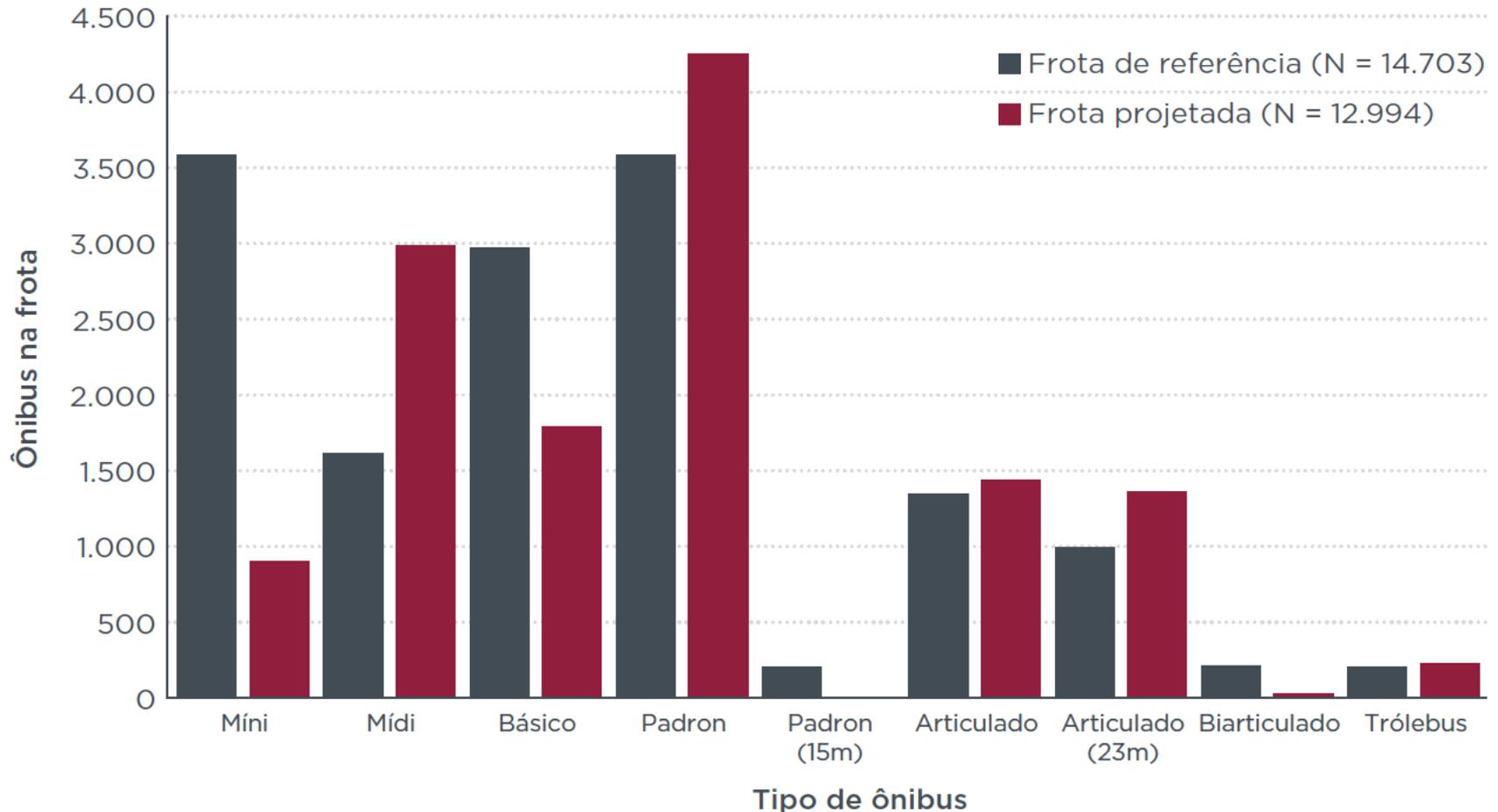
Cenário *Business as Usual*: alterações já estabelecidas em relação à frota de referência (2016)

Política/ Ação	Referência	Descrição	Efeito nas emissões	
			CO ₂ (fóssil)	MP e NOX
Proconve	Res. Conama 490/ 2018	Introdução da fase P-8 para novos modelos a partir de 2023	Reduz	Reduz
Biodiesel	Res. CNPE N° 16/ 2018	Incremento do percentual obrigatório de biodiesel-B15 até 2023	Reduz	—
Reorganização da frota	Edital de Licitação do Transporte Público por Ônibus	Redução da frota e da atividade total da frota (VKT)	Reduz	Reduz
Ônibus com ar condicionado em toda a frota	Edital de Licitação do Transporte Público por Ônibus	Todos os novos veículos devem ter ar condicionado	Aumenta	Aumenta

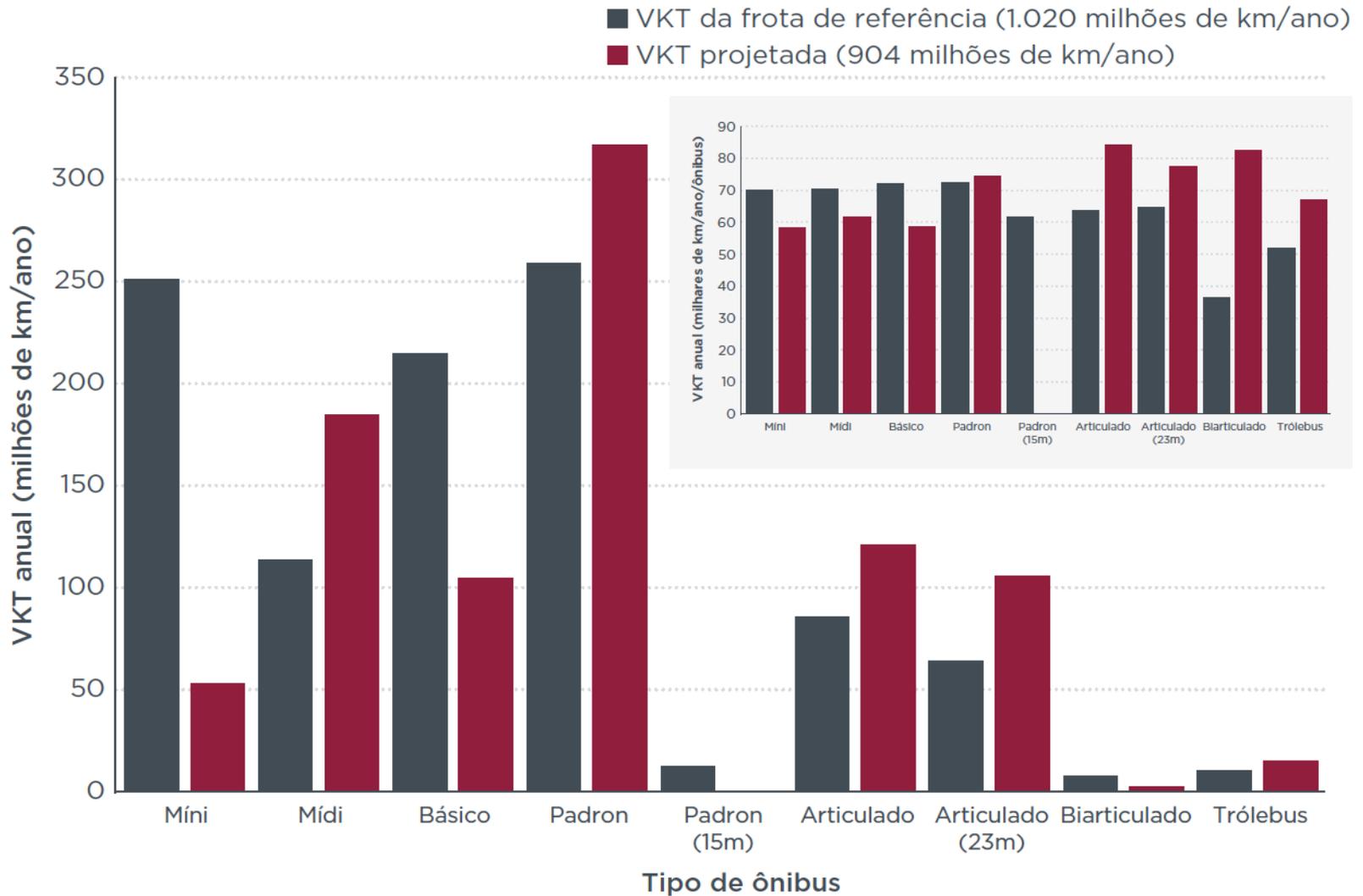
A introdução de novas fases do Proconve induz a reduções significativas de NOx e MP



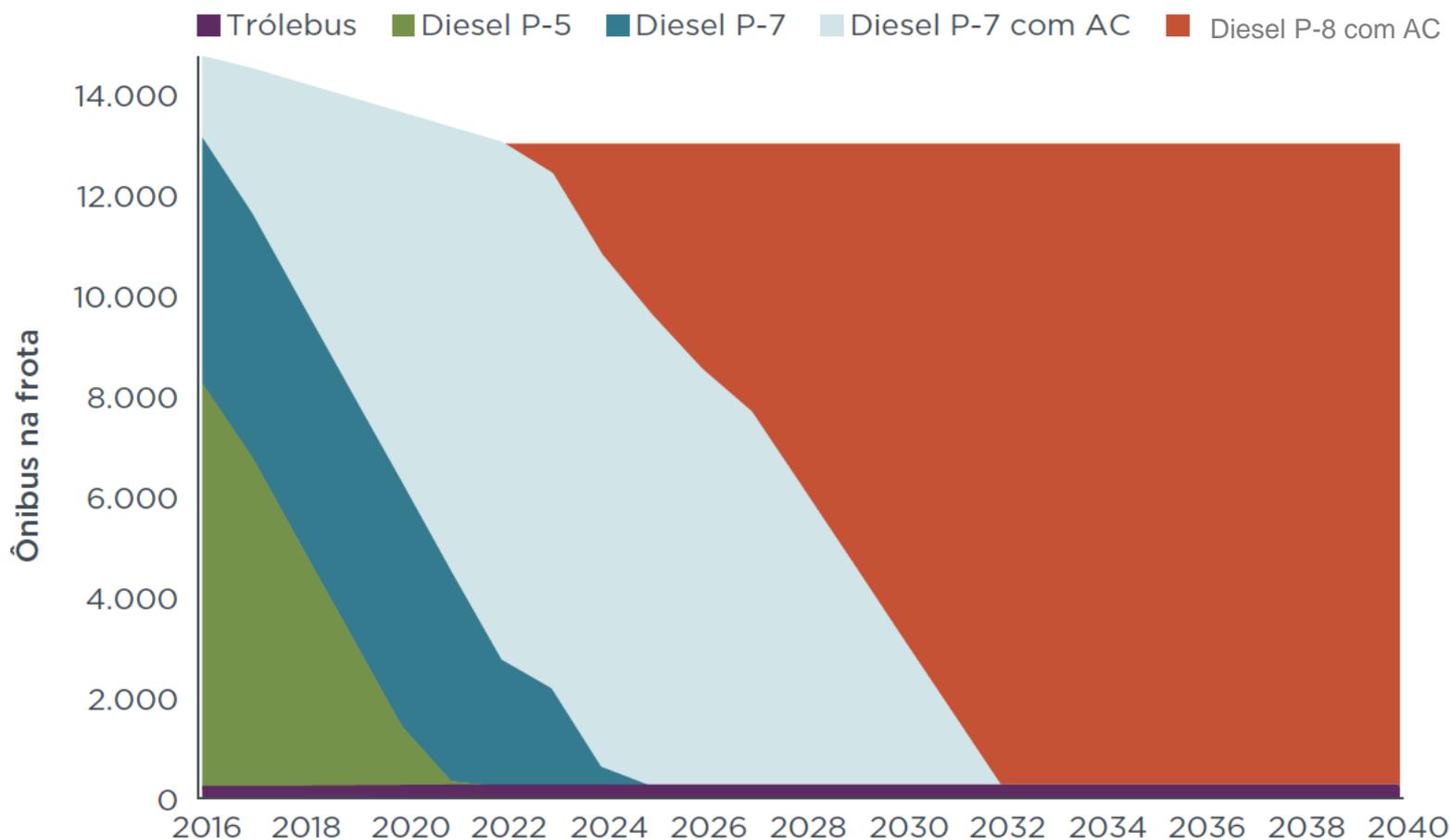
A reorganização estabelecida no Edital reduz a frota projetada



Há redução da atividade(VKT) com a reorganização

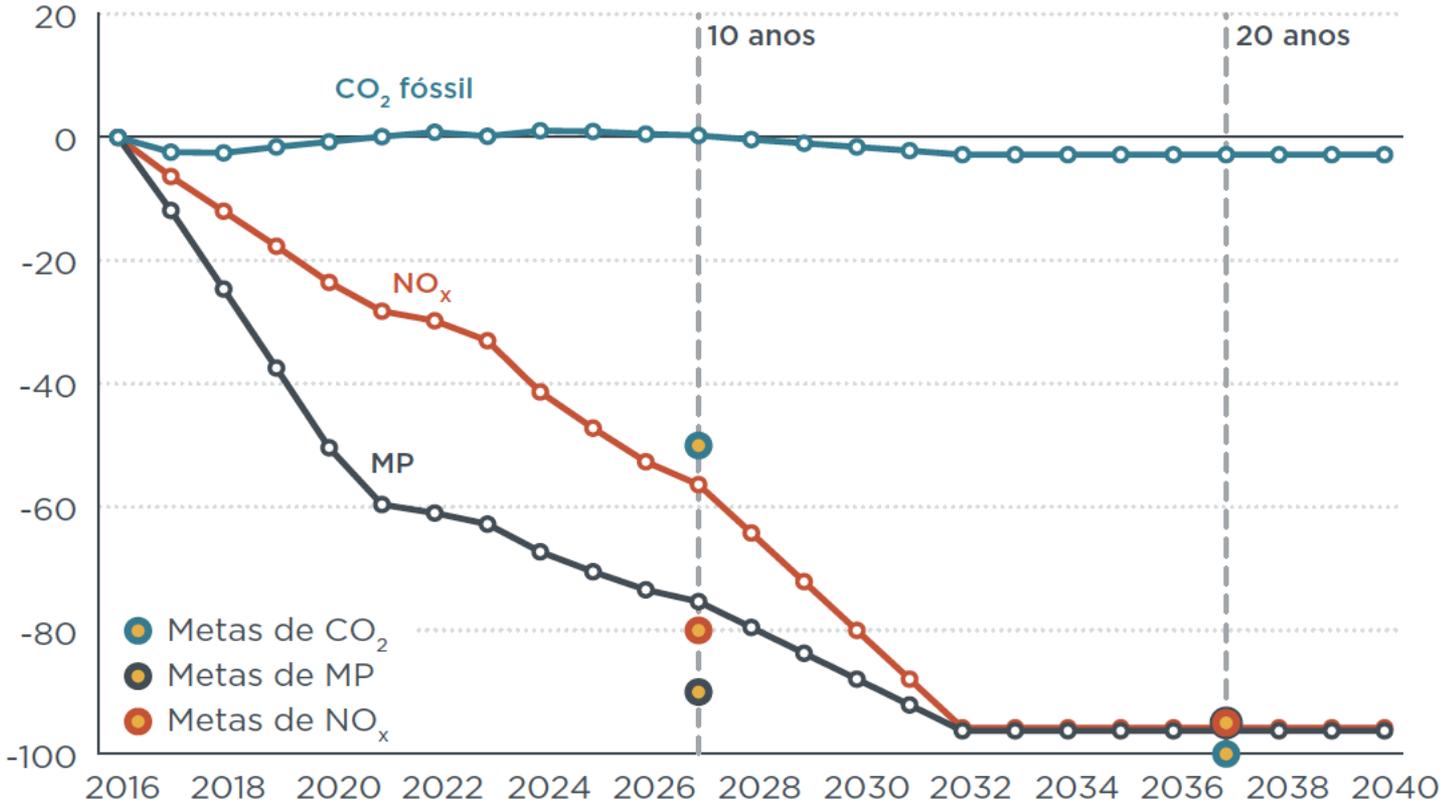


Cenário BAU: Proconve P-8 a partir de 2023 e ar condicionado em novos ônibus



Quais serão as emissões considerando do cenário Business as Usual?

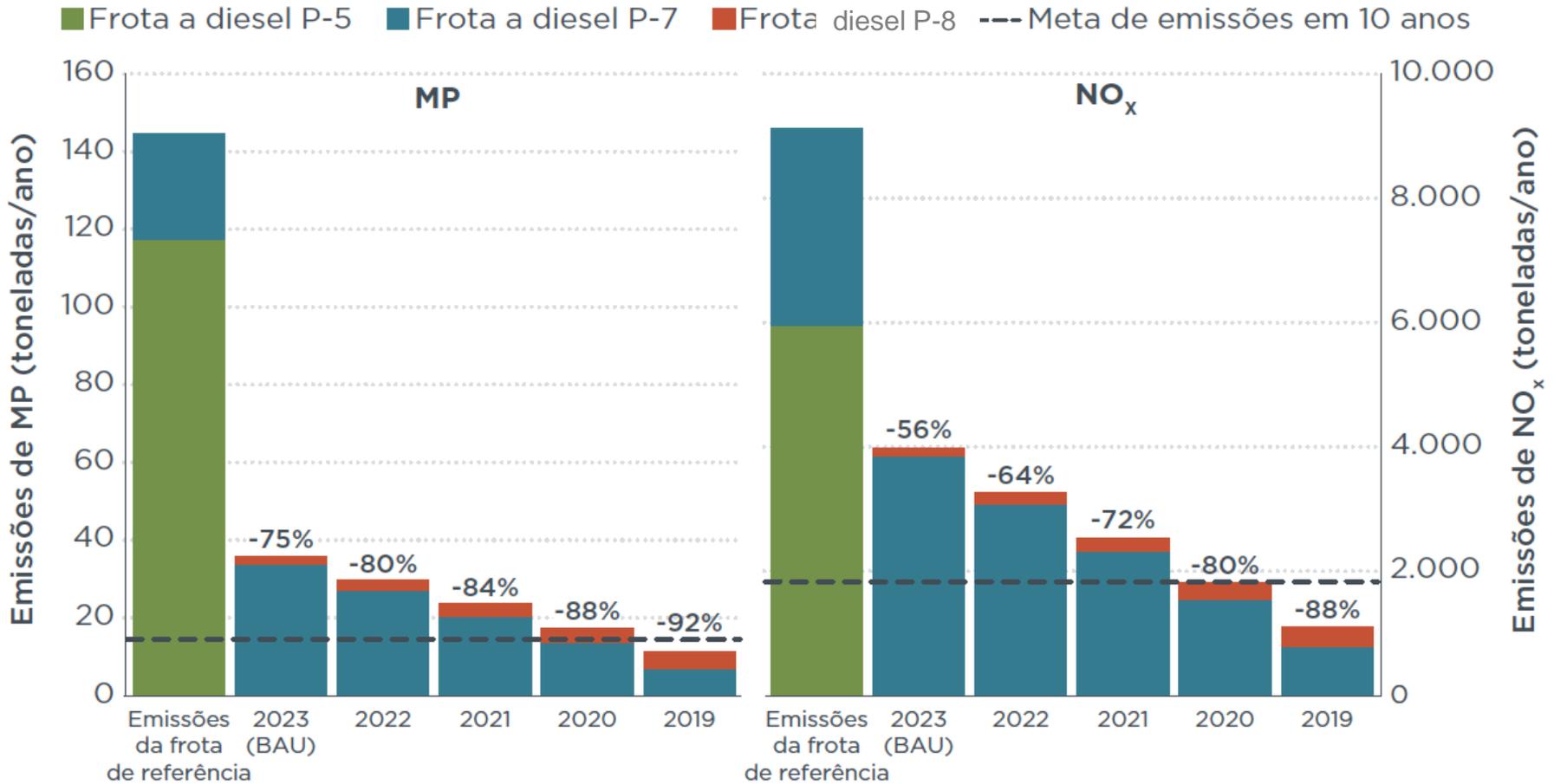
Mudanças nas emissões em relação a 2016 (%)



Quais são as tecnologias disponíveis
para atendimento à Lei do Clima?

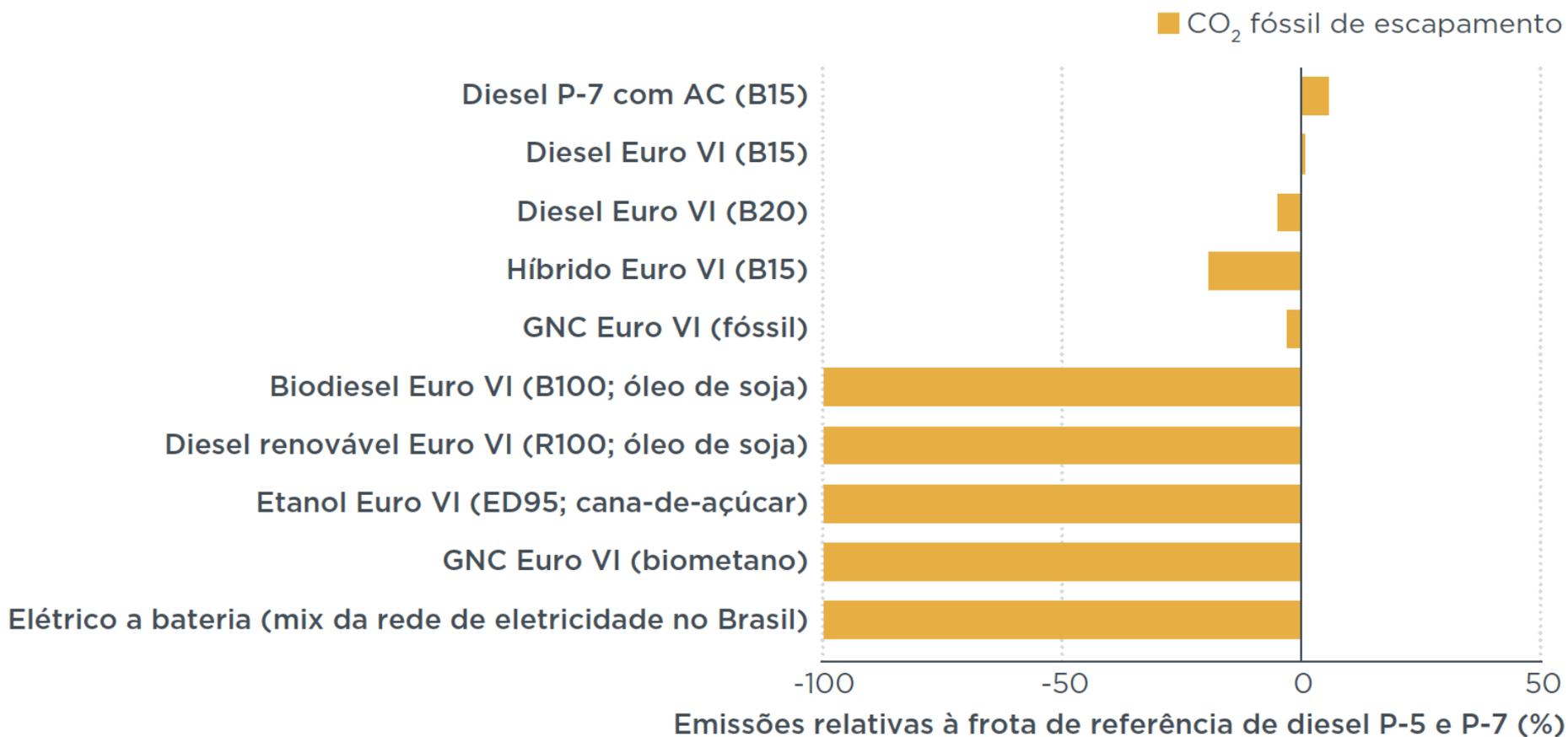
- Introdução antecipada de P-8
- Outra alternativa: ônibus elétrico a bateria

De acordo com os cenários simulados, será necessário introduzir P-8 em 2019 ou retirar precocemente veículos da frota



Ano de transição para a aquisição de ônibus P-8

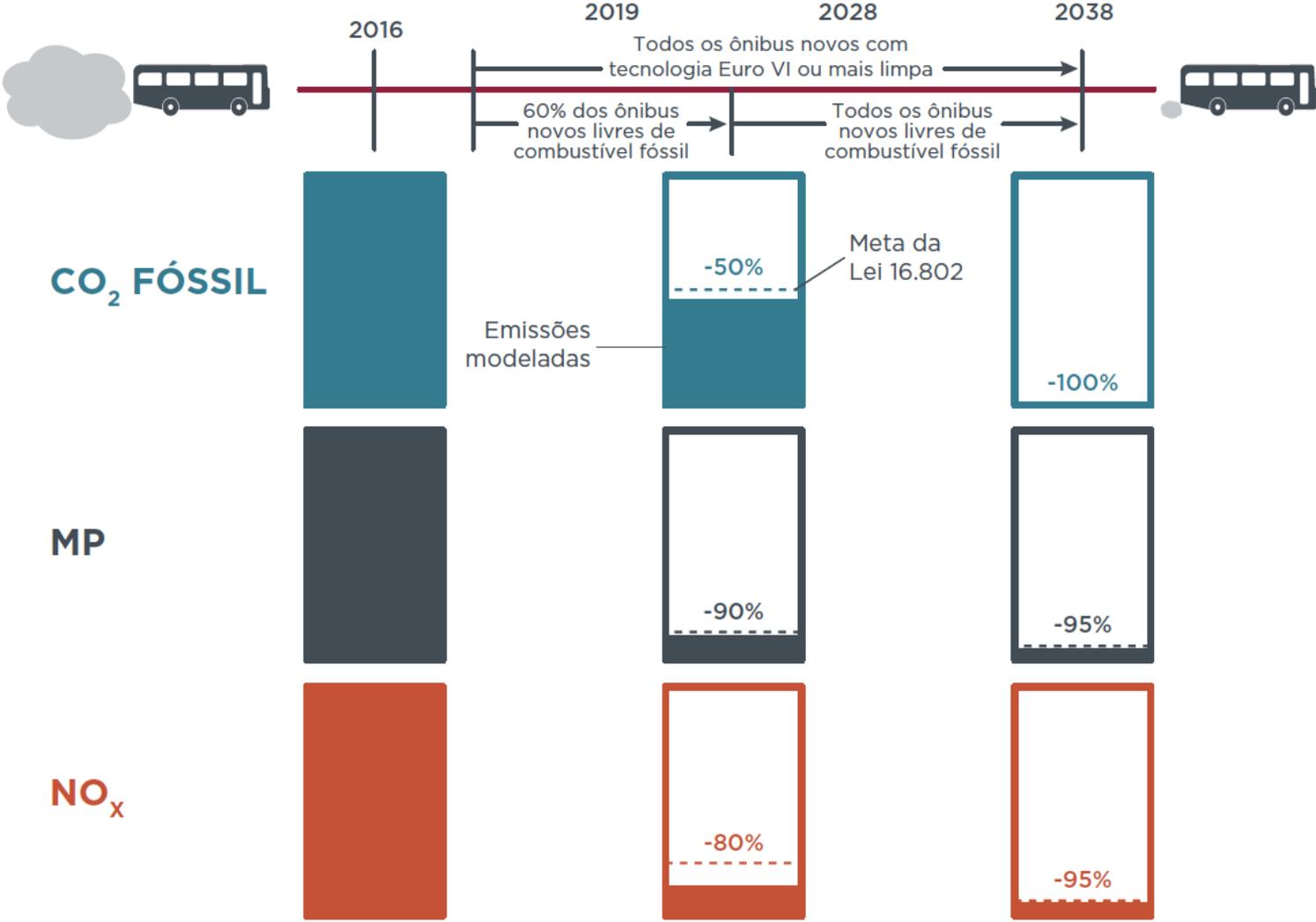
Mudanças nas emissões de escapamento de CO₂ fóssil em relação à frota de referência



OBS.: Euro VI = P-8

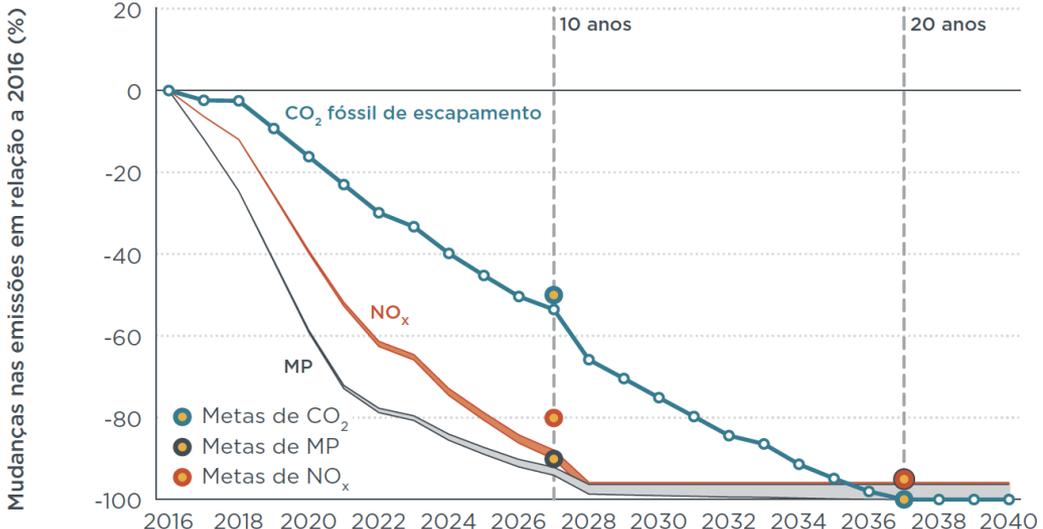
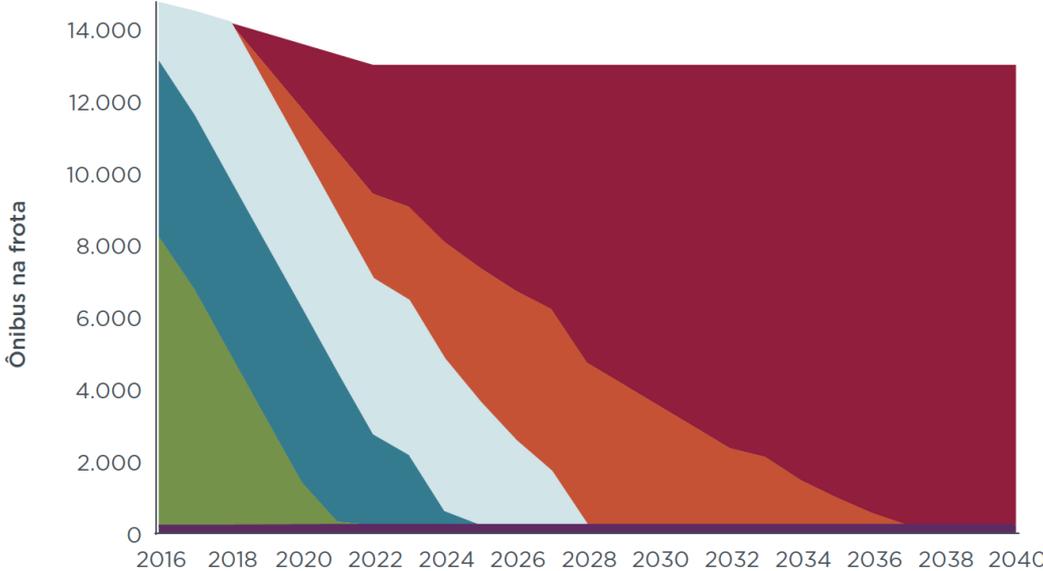
- Utilização de combustíveis não fósseis
 - Biocombustíveis: biodiesel, diesel renovável, etanol, biometano
- Ônibus elétrico a bateria

Estratégia de aquisição proposta: 60% dos ônibus novos entre 2019 e 2027 são livres de combustíveis fósseis e 40% são P-8 utilizando diesel comercial

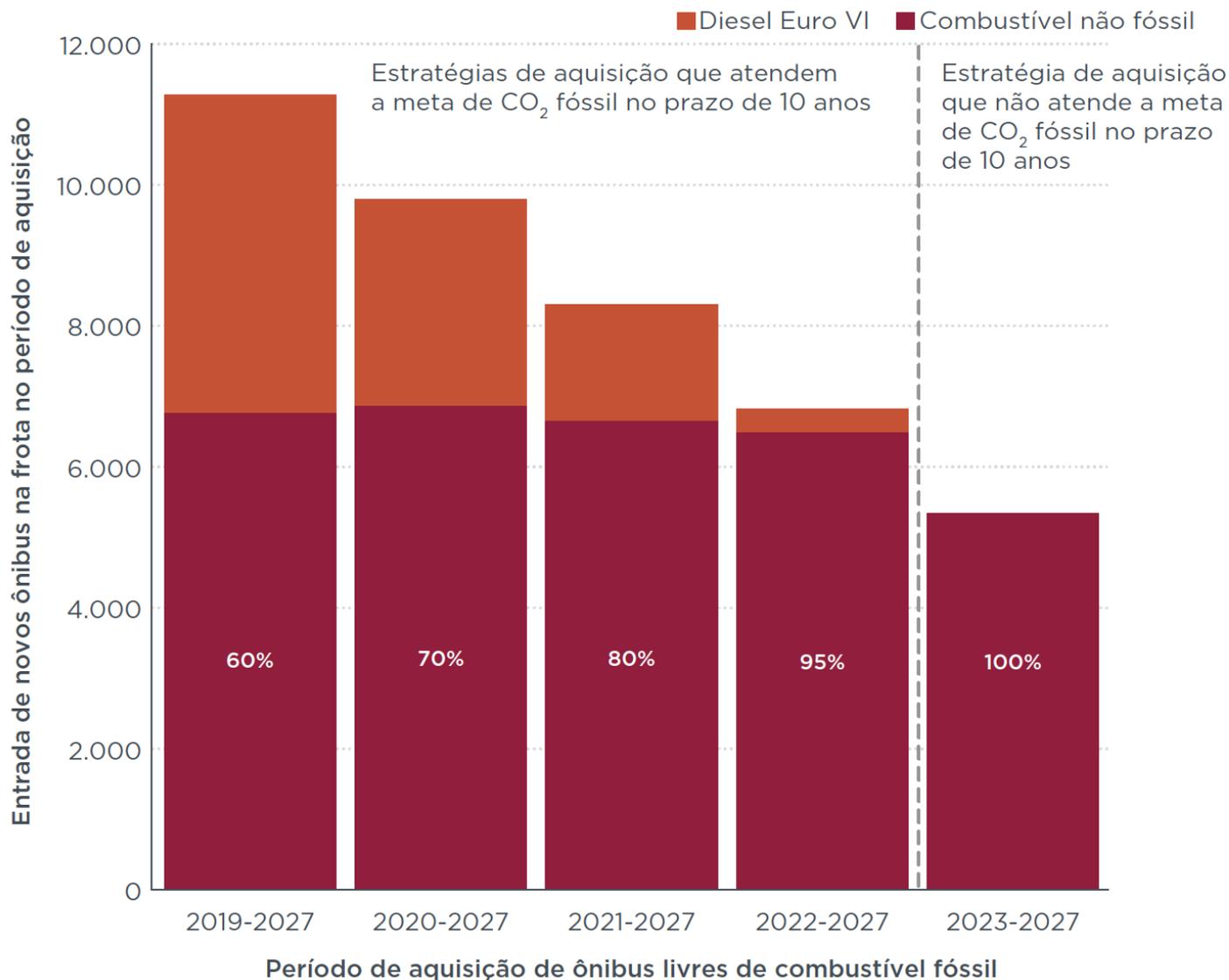


Frota e emissões para a estratégia de aquisição proposta

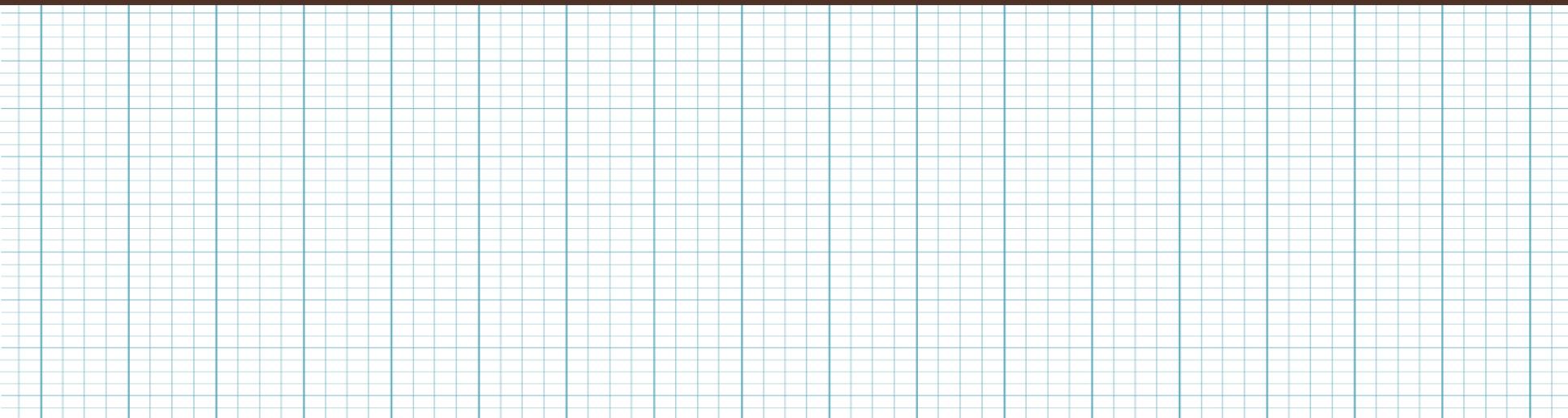
■ Trólebus
 ■ Diesel P-5
 ■ Diesel P-7
 ■ Diesel P-7 com AC
 ■ Diesel Euro VI
 ■ Livre de combustível fóssil



Se a transição para veículos livres de combustível fóssil adiada, exigirá maiores percentuais desses veículos nos anos seguintes



Quais são os impactos climáticos?



Impactos climáticos: é necessário considerar outros poluentes além do CO₂ e as emissões do ciclo de vida dos combustíveis.

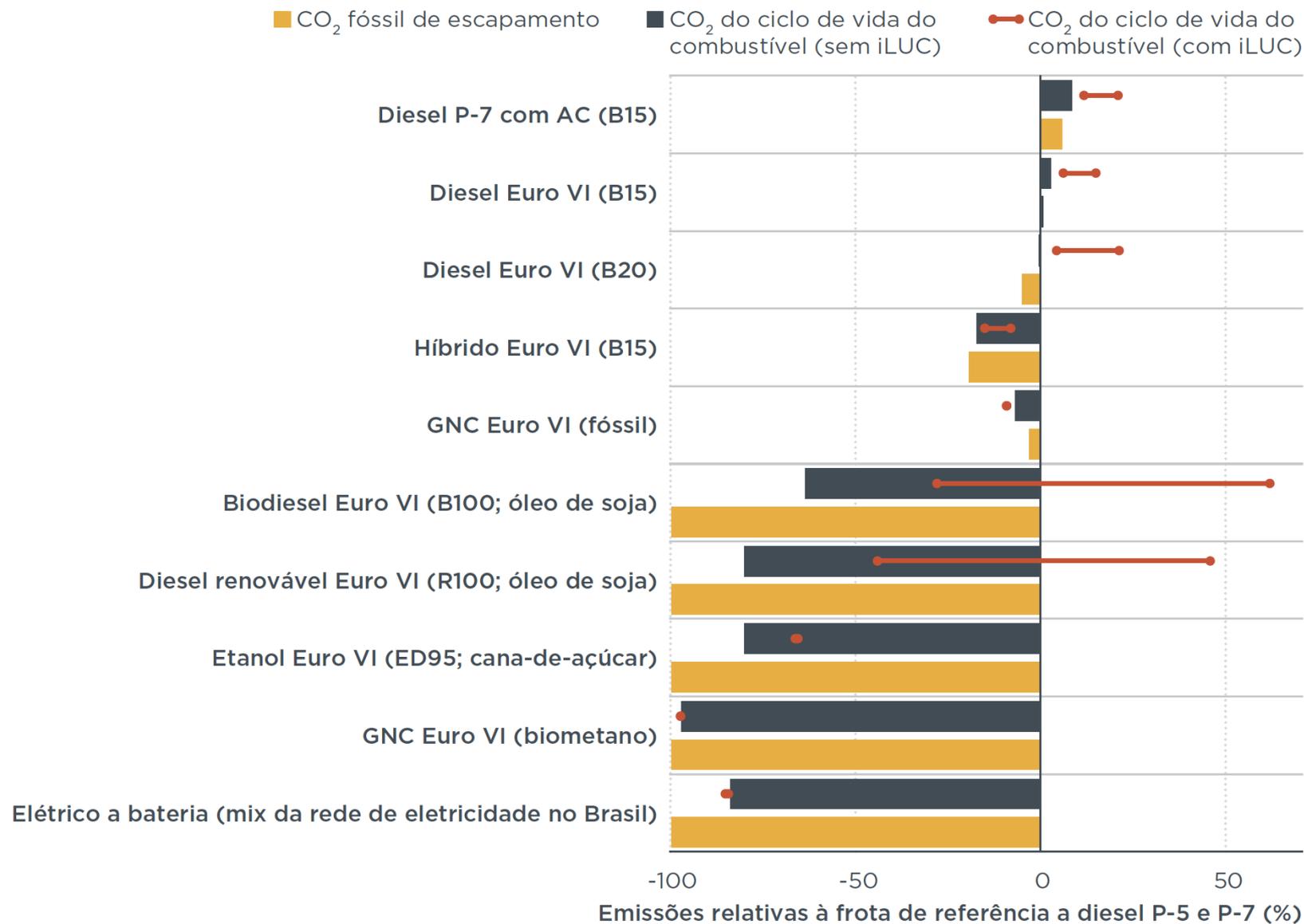
- O que diz a lei:

...

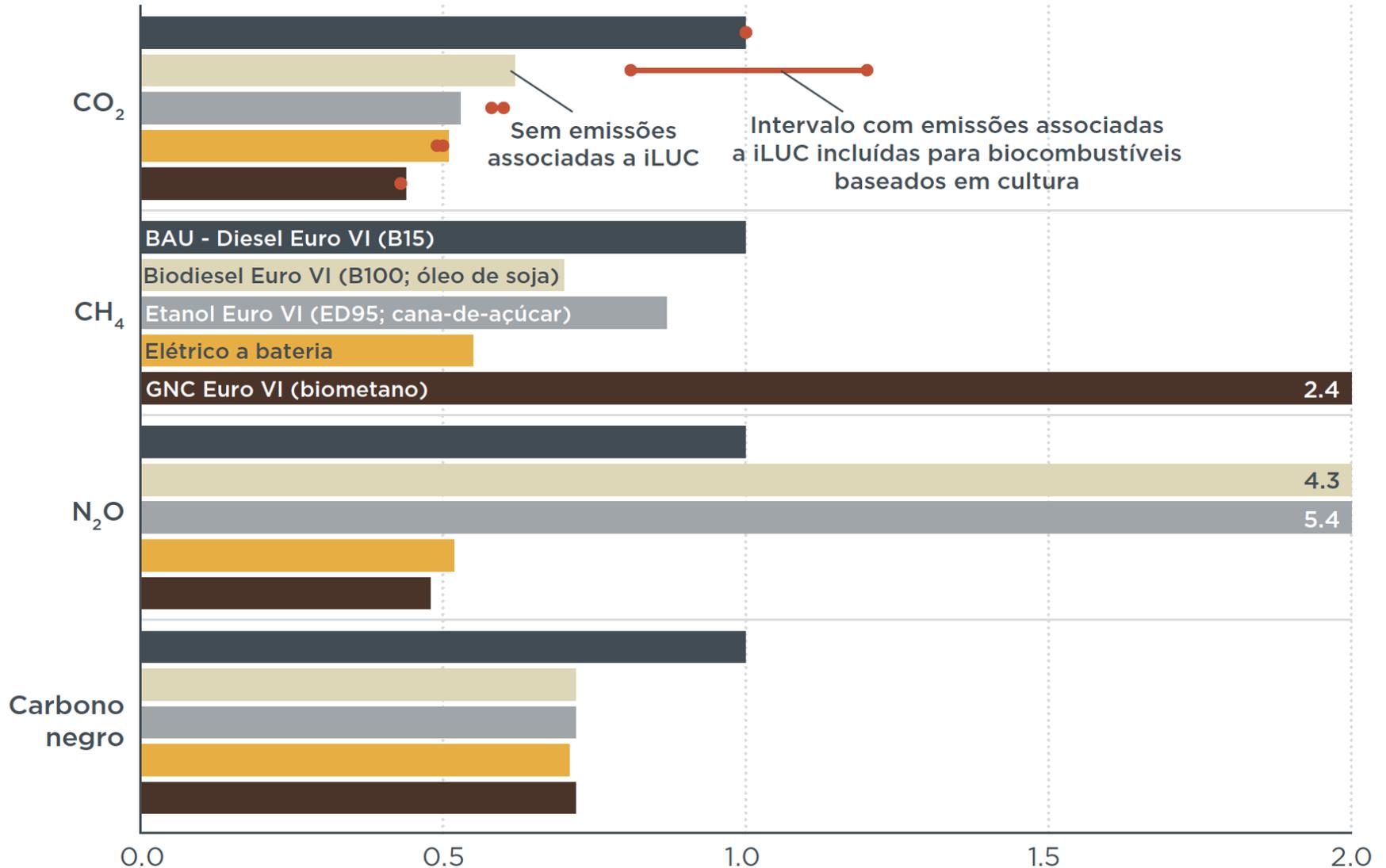
§ 1º As reduções do CO₂ de origem fóssil mencionadas no "caput" **referem-se exclusivamente às emissões no uso final dos insumos energéticos.**

§ 2º A escolha dos combustíveis e fontes de energia alternativas deve ser feita sempre mediante aconselhamento das autoridades técnicas municipais, à luz de informação científica consistente, que indique a possibilidade de **maximização das reduções das emissões de origem fóssil em todo ciclo de vida do combustível/ energia a ser utilizado, dentro de custos aceitáveis.**

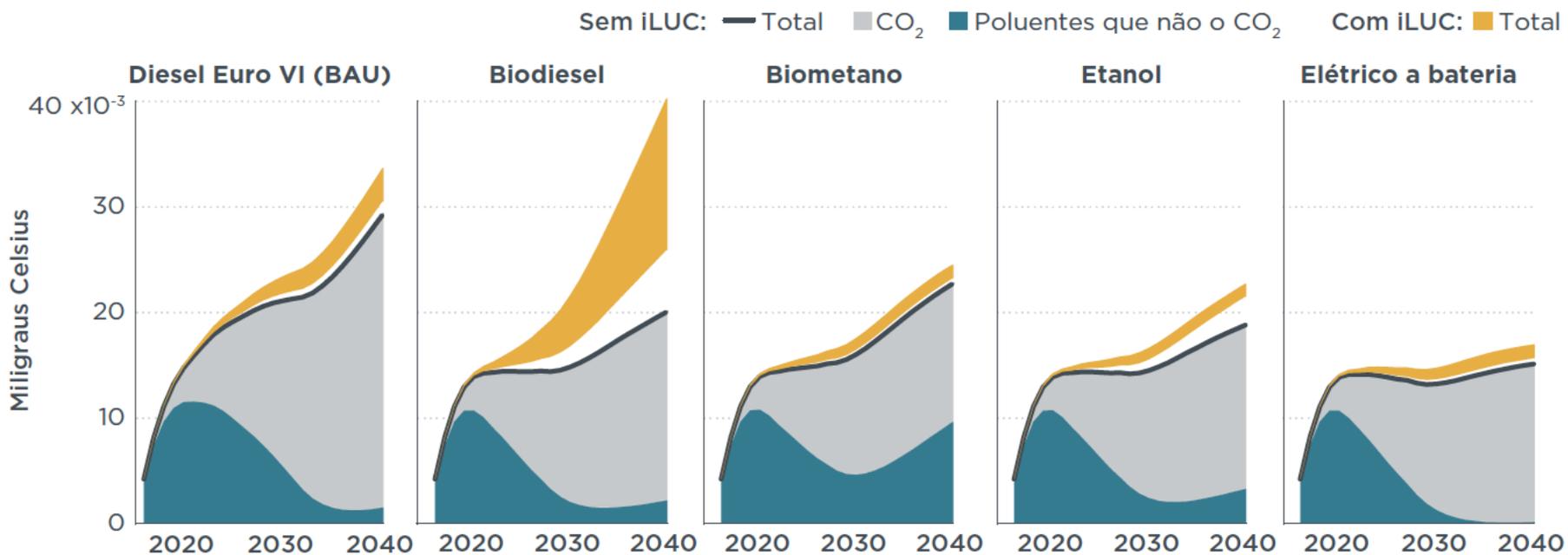
Alterações nas emissões de escapamento e do ciclo de vida do CO₂



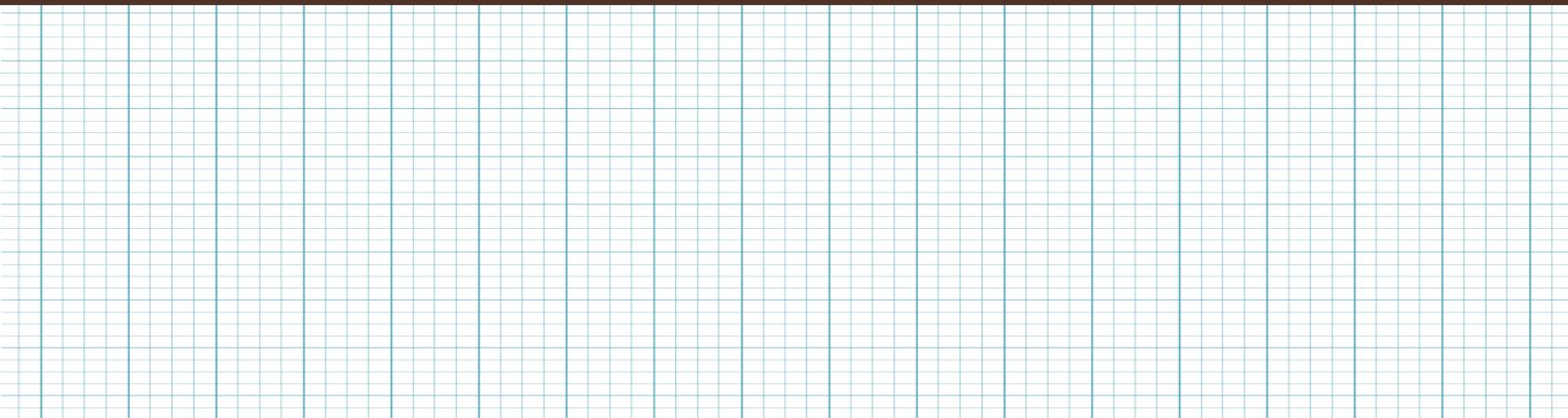
Incluindo outros poluentes climáticos além do CO₂: emissões acumuladas de 2016 a 2040 para os cenários de aquisição indexados ao cenário BAU.



A análise do impactos climáticos associados às tecnologias indicam maiores reduções com ônibus elétrico a bateria



Custo total de propriedade

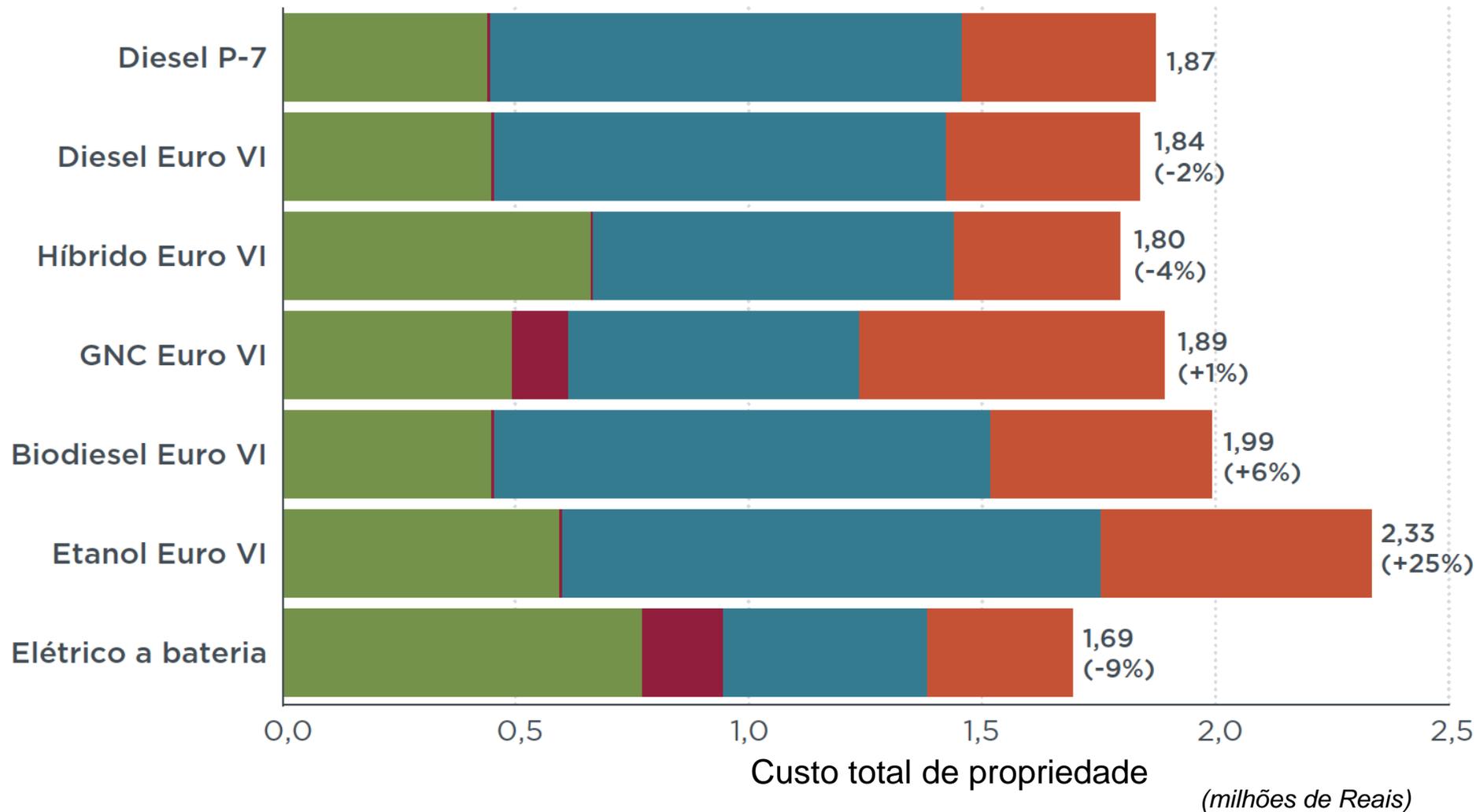


Componentes do custo total de propriedade

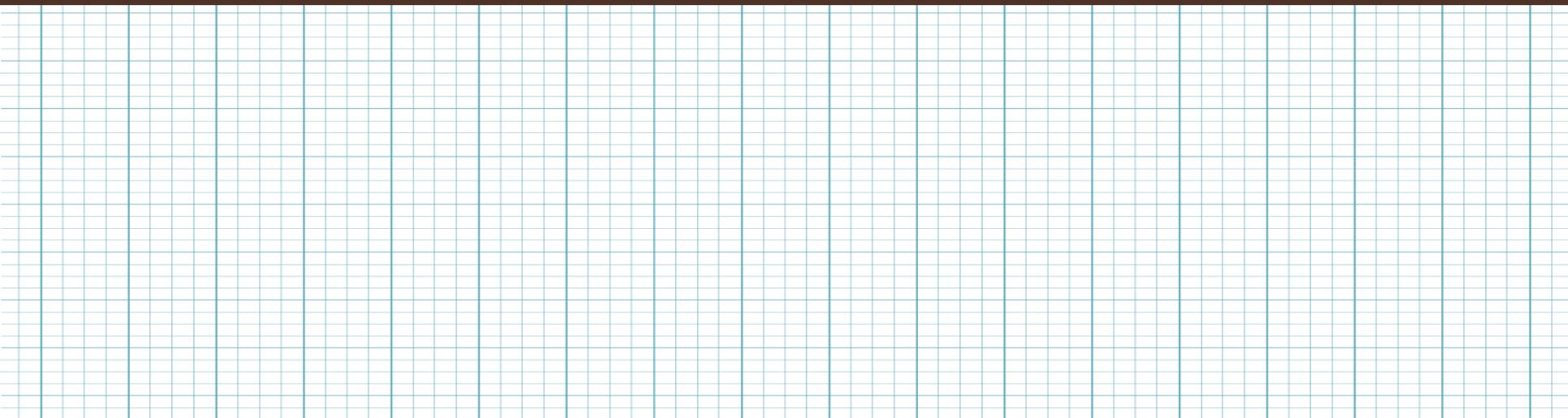
Categoria	Componente	Definição
Aquisição do ônibus e da infraestrutura	Entrada	Pagamento inicial para a compra do ônibus ou da infraestrutura. Considera-se que o valor remanescente é financiado.
	Financiamento	Pagamentos de amortização e juros por determinado período.
	Valor de revenda	Se o tempo de operação planejado for menor que a vida útil do ônibus, esse fluxo de caixa positivo considera o valor de revenda do veículo depreciado.
Operação e manutenção	Abastecimento	Custo anual para abastecer o veículo, determinado pela eficiência do combustível, pela distância percorrida e pelo preço do combustível.
	Outros custos operacionais	Inclui o custo do ARLA 32 para ônibus a diesel e híbridos diesel-elétricos com sistemas de redução catalítica seletiva.
	Manutenção do ônibus	Custo de manutenção regular de ônibus. Inclui pneus, peças, lubrificantes etc. Não inclui custos com pessoal.
	Manutenção da infraestrutura	Custo de manutenção da infraestrutura e operações, quando não incluído no preço de varejo do combustível.
	Revisão	Para aquisições de ônibus que não incluem uma garantia vitalícia, uma revisão geral na metade da vida útil inclui o custo de substituição da bateria, para ônibus elétricos, e uma revisão de motor para outros ônibus. Para esta análise, assumimos que a garantia da bateria cobre toda a vida útil do veículo.

O custo total de propriedade em 10 anos é 9% menor para veículos elétricos a bateria em relação à tecnologia P-7 diesel

■ Aquisição do ônibus ■ Aquisição da infraestrutura ■ Operação ■ Manutenção



Conclusões e recomendações



- **É necessário agir rapidamente** para incorporar as tecnologias P-8 e livres de combustível fóssil a partir de 2019;
- A transição mais imediata para o atendimento às metas é para a tecnologia P-8. **Quatro dos maiores fabricantes de ônibus e motores do mundo já se comprometeram a produzir tecnologias de motor livres de fuligem a partir de 2018** (*Volvo, Scania, Cummins e BYD*). De fato, fabricantes no Brasil já estão produzindo ônibus a diesel Euro VI para exportação para Santiago, no Chile.
- As decisões para **aquisição de tecnologias livre de combustível fóssil** são mais desafiadoras, uma vez que ainda não foram utilizadas amplamente em São Paulo e **podem exigir mudanças sistemáticas na maneira como os ônibus são comprados e operados.**

- As práticas tradicionais de aquisição, que privilegiam a aquisição mais barata de tecnologia de ônibus, podem desfavorecer as tecnologias que têm um preço de compra mais alto, mas custos operacionais reduzidos de forma substancial e custos líquidos potencialmente menores ao longo da vida útil.

Mudanças nessas práticas de aquisição e modelos inovadores de financiamento, que considerem a economia operacional ao longo da vida útil das tecnologias alternativas de ônibus, podem ser necessárias para acelerar a aceitação dessas opções tecnológicas.

- Pela análise, serão necessários **6.770 ônibus livres de combustíveis fósseis até o início de 2028** para cumprir a meta de redução de CO2 fóssil da Lei 16.802. Embora ofereçam os maiores benefícios, ainda é incerta a viabilidade da introdução de ônibus elétricos na frota nessa proporção. É necessário um esforço coordenado para que isso aconteça;
- Caso seja necessário complementar as opções com a utilização de biocombustíveis, **devem ser priorizados os de menor impacto climático**, considerando as emissões no ciclo de vida de todos os poluentes climáticos, sob o risco de não alterarem ou mesmo aumentarem esses impactos em relação à frota de referência.

- A cidade de São Paulo deu um passo importante em direção a frotas de ônibus de transporte coletivo mais limpas com a aprovação da Lei 16.802.
- **Atingir as ambiciosas metas de redução de emissões estabelecidas na lei vai exigir um alto nível de comprometimento e coordenação entre a administração da cidade, a SPTrans, as operadoras de transporte coletivo e outras partes interessadas.**

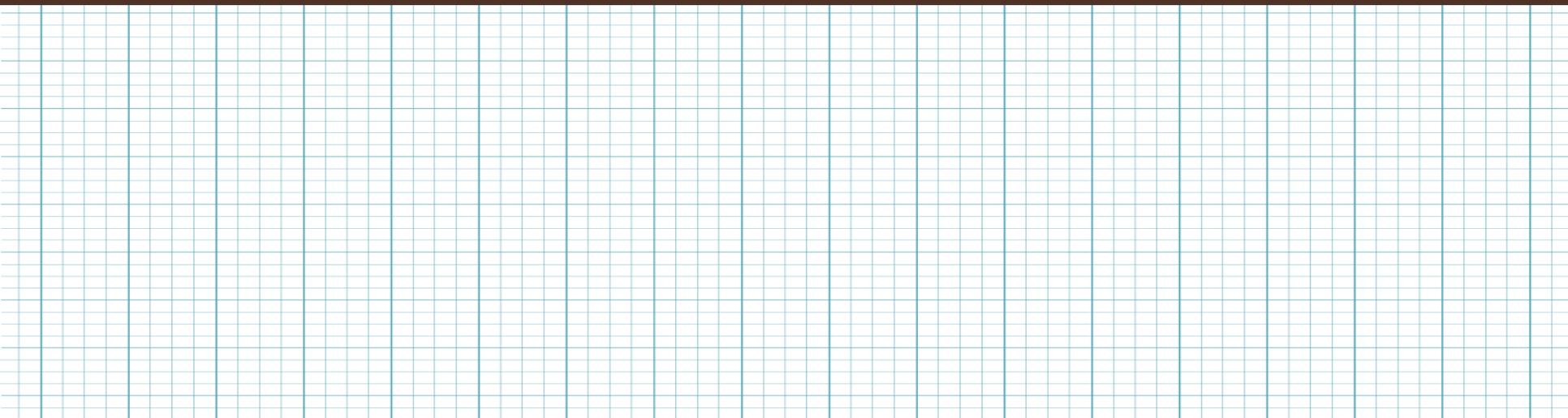


Obrigada

Carmen Araujo
carmen.araujo@theicct.org

www.theicct.org

Anexos



 RELATÓRIO TÉCNICO

FEVEREIRO DE 2019

BENEFÍCIOS DE TECNOLOGIAS DE ÔNIBUS EM TERMOS DE EMISSÕES DE POLUENTES DO AR E DO CLIMA EM SÃO PAULO

Tim Dallmann

icct
THE INTERNATIONAL COUNCIL
ON CLEAN TRANSPORTATION

www.theicct.org
communications@theicct.org

Disponível em: <https://www.theicct.org/publications/climate-and-air-pollutant-emissions-benefits-bus-technology-options-sao-paulo>

Ações de promoção governamental para eletromobilidade

Categoria	Ação
Políticas regulatórias para veículos e combustíveis limpos	<ul style="list-style-type: none">• Cotas de veículos limpos• Normas de eficiência de combustível• Normas de combustível limpo que dão crédito aos VEs
Incentivos ao consumidor	<ul style="list-style-type: none">• Incentivos para a compra de veículos (subsídios e isenções fiscais)• Isenções de taxas anuais• Acesso preferencial às faixas de rodagem• Acesso preferencial a estacionamentos• Carga com desconto/gratuita• Programas de financiamento
Infraestrutura de recarga	<ul style="list-style-type: none">• Protocolos-padrão para equipamentos de recarga de veículos elétricos (EVSE)• Incentivos ou financiamento de EVSEs• Implementação direta• Códigos de construção prontos para VEs
Planejamento, política e outras promoções	<ul style="list-style-type: none">• Metas de compras• Estratégia de mobilidade elétrica• Alcance e conscientização• Projetos de demonstração• Iniciativas de frotas• Zonas de veículos de baixa emissão

Fonte: *International Council on Clean Transportation, 2018. Avaliação internacional de políticas públicas para eletromobilidade em frotas urbanas. Disponível em: <https://www.theicct.org/publications/avaliação-internacional-de-pol%C3%ADticas-p%C3%BAlicas-para-eletromobilidade-em-frotas-urbanas>*