



**instituto de energia  
e meio ambiente™**

**Avaliação dos efeitos da implantação de faixas exclusivas em SP:  
tempo de viagem, consumo de combustível e emissões de poluentes  
- 1ª etapa -**

São Paulo, Agosto de 2014



instituto de energia  
e meio ambiente™



Organização Não Governamental fundada em 2006 com a missão de apoiar a formulação e implementação de políticas públicas relacionadas à mobilidade urbana, melhoria da qualidade do ar, redução de emissões veiculares e gases de efeito estufa

# Apresentação

Os congestionamentos provocados pelo crescente uso do automóvel têm afetado negativamente o desempenho operacional do transporte público de passageiros nas grandes cidades brasileiras, reduzindo sua confiabilidade e aumentando seus custos. Medidas de priorização do transporte coletivo nas vias tem sido apontadas por especialistas como necessárias para reverter esta situação. Em termos concretos, é preciso retirar os ônibus dos congestionamentos.

A implantação de faixas exclusivas é uma medida de priorização simples e de baixo custo que, se adequadamente planejada, tem o potencial de produzir efeitos positivos, tais como, diminuição dos tempos de viagem, economia de combustível e redução de emissão dos poluentes que afetam a qualidade do ar e a saúde pública.

Reconhecendo a importância desta medida, o Instituto de Energia e Meio Ambiente (IEMA), com o apoio de Latin America Regional Climate Initiative (LARCI), está elaborando estudos sobre faixas exclusivas de ônibus com a finalidade de quantificar alguns de seus benefícios.

Este documento apresenta os resultados da primeira fase destes estudos, focada na quantificação dos ganhos de velocidade, economia de combustível e redução de emissões de gases de efeito estufa e poluentes atmosféricos decorrentes da implantação de três faixas exclusivas na cidade de São Paulo – Brigadeiro Luís Antonio, Radial Leste (trecho) e Corredor Norte-Sul (Av. 23 de Maio).

## **1. Faixas exclusivas avaliadas**

1.1 Critérios para avaliação de viagens e linhas

## **2. Redução dos tempos de viagem dos ônibus**

2.1 Método de cálculo das velocidades médias

2.2 Resultados – ganhos de velocidade nos trechos de faixa e nas horas pico

2.3 Efeito das faixas exclusivas na extensão total das linhas de ônibus avaliadas

## **3. Economia no consumo de combustível e CO2**

3.1 Metodologia

3.2 Resultados

## **4. Redução nas emissões de poluentes locais**

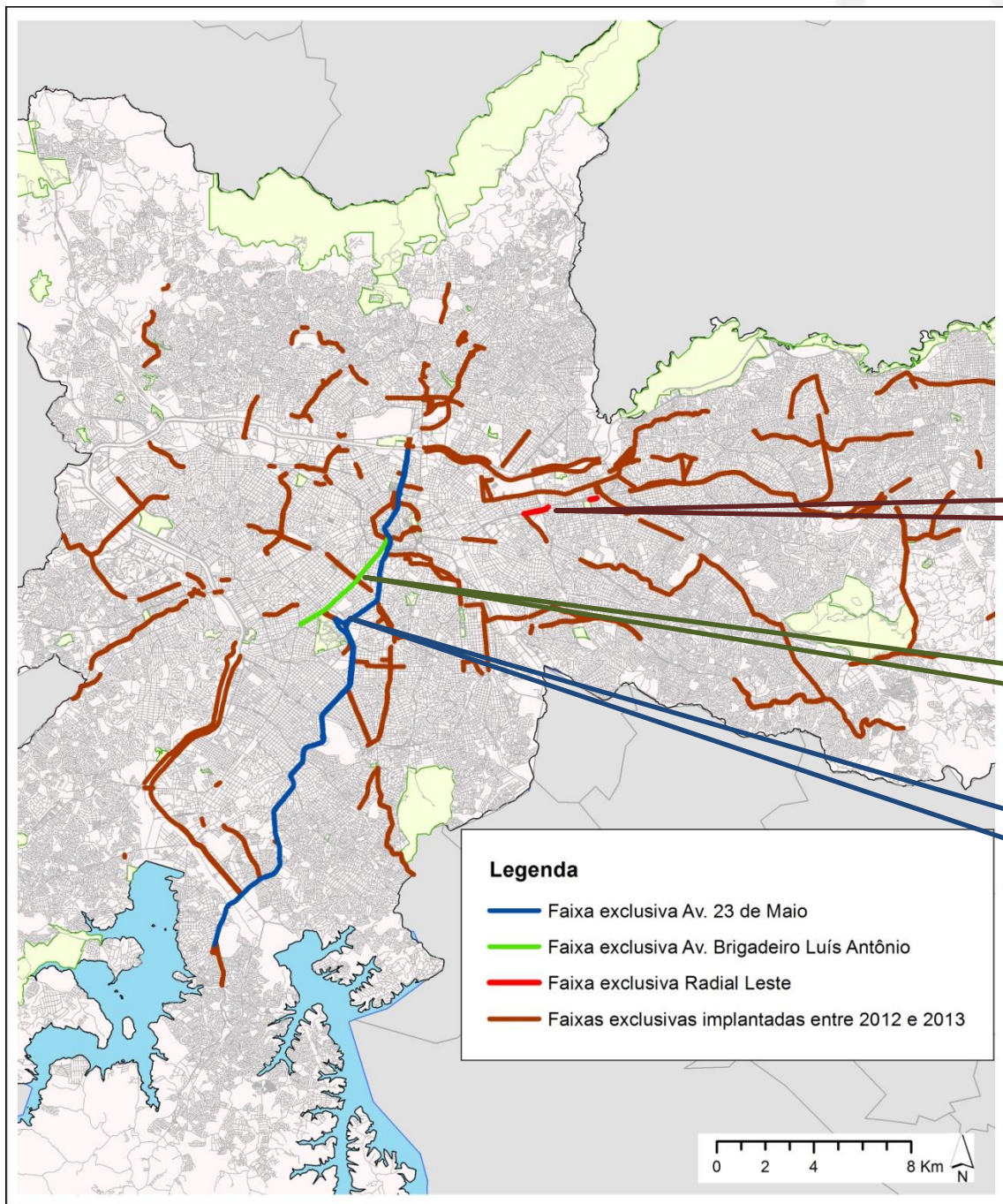
4.1 Metodologia

4.2 Resultados

## **5. Conclusões preliminares**



## 1. Faixas exclusivas avaliadas



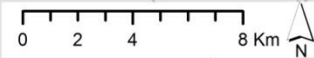
**Trecho Av.  
Radial Leste**

**Brigadeiro L.  
Antonio**

**Corredor Norte-  
Sul (23 de Maio)**

**Legenda**

- Faixa exclusiva Av. 23 de Maio
- Faixa exclusiva Av. Brigadeiro Luís Antônio
- Faixa exclusiva Radial Leste
- Faixas exclusivas implantadas entre 2012 e 2013



# Faixa Exclusiva: Av. Brigadeiro Luís Antônio

- Sentido Bairro-Centro (4,5 km)

Extensão (km)	Quantidade de linhas
4,5	34



# Faixa Exclusiva: Trecho da Radial Leste

- Mais importante conexão viária da Zona Leste ao Centro
- Via paralela ao sistema de trilhos (metrô e trem) no sentido Bairro-Centro, o que garante menor interrupção do fluxo de tráfego
- Faixas exclusivas implantadas em momentos distintos, grande parte da faixa já existia antes do período selecionado.



Extensão (km)*	Quantidade de linhas
1,5	37

(\*) Trecho implantado entre Setembro de 2012 e Setembro de 2013



# Faixa Exclusiva: Corredor Norte-Sul (Av. 23 de Maio)

- Mais importante conexão viária Norte-Sul
- Características físicas variáveis ao longo de sua extensão
- Faixa exclusiva analisada com 23 km (da Ponte das Bandeiras ao Autódromo de Interlagos)

Extensão (km)	Quantidade de linhas
<b>23</b>	<b>186</b>



# 1.1 Critérios para validação de viagens e linhas

## 1. Seleção de Linhas

- Linhas operantes em set/2012 e set/2013;
- Linhas que tiveram o seu trajeto mantido entre set/2012 e set/2013;
- Exclusão de linhas com características específicas: somente ida, circulares, noturnas;
- Linhas que passam pelas faixas exclusivas selecionadas em trechos de no mínimo 1 km.

## 2. Definições dia/horário

- Escolha de duas semanas no mês de setembro, não afetadas por feriado e desconsiderando os finais de semana (10-14, 17-21 set/2012 e 9-13, 16-20 set/2013);
- Viagens com partidas ocorridas entre 5h00 e 23h59.

## 3. Validação de viagens

- Exclusão de viagens com intervalos de dados de GPS maiores do que 10min;
- Exclusão de viagens com mais de 5 sinais GPS no mesmo minuto;
- São válidas apenas as viagens que passam pelo Ponto Intermediário do itinerário das linhas;
- As viagens com início no Terminal Principal deve ter fim no Terminal Secundário e vice-versa.

## 4. Validação de linhas por espaço amostral

- São válidas as linhas com pelo menos 20 viagens válidas para cada ano, para cada combinação de Linha, Sentido, Período do dia (pico-manhã, pico-tarde e fora-pico) e tipo de veículo.

# Universo da amostra

Para os 20 dias analisados em 2012 e 2013

Faixas Exclusivas	Linhas			Viagens de ônibus*			Extensão percorrida em faixas (km)**		
	Total	Avaliadas	%	Total	Avaliadas	%	Total	Avaliada	%
23 Maio	186	37	19,9%	424.120 (21.206/dia)	145.220 (7.261/dia)	34,2%	1.331.020 (66.551/dia)	663.000 (33.150/dia)	49,8%
Brigadeiro	34	7	20,6%	75.580 (3.779/dia)	27.940 (1.397/dia)	37,0%	230.440 (11.522/dia)	102.040 (5.102/dia)	44,3%
Trecho Radial	37	3	8,1%	62.400 (3.120/dia)	13.240 (662/dia)	21,2%	222.260 (11.113/dia)	52.480 (2.624/dia)	23,6%

\*Soma do número de partidas diárias de cada linha

\*\* Soma dos produtos do número de partidas diárias de cada linha pelo comprimento do trecho em faixa exclusiva daquela linha

De acordo com os critérios adotados para exclusão de linhas, foram desconsideradas no estudo linhas que realizavam poucas viagens e linhas que percorriam um trecho muito pequeno das faixas exclusivas. Assim, as linhas escolhidas para análise realizam mais partidas e percorrem trechos maiores da faixa exclusiva, por isso apesar de não representar um total muito grande das linhas que passam pelas faixas, a amostra é muito representativa do total de quilômetros percorridos na faixa exclusiva ao longo do dia.

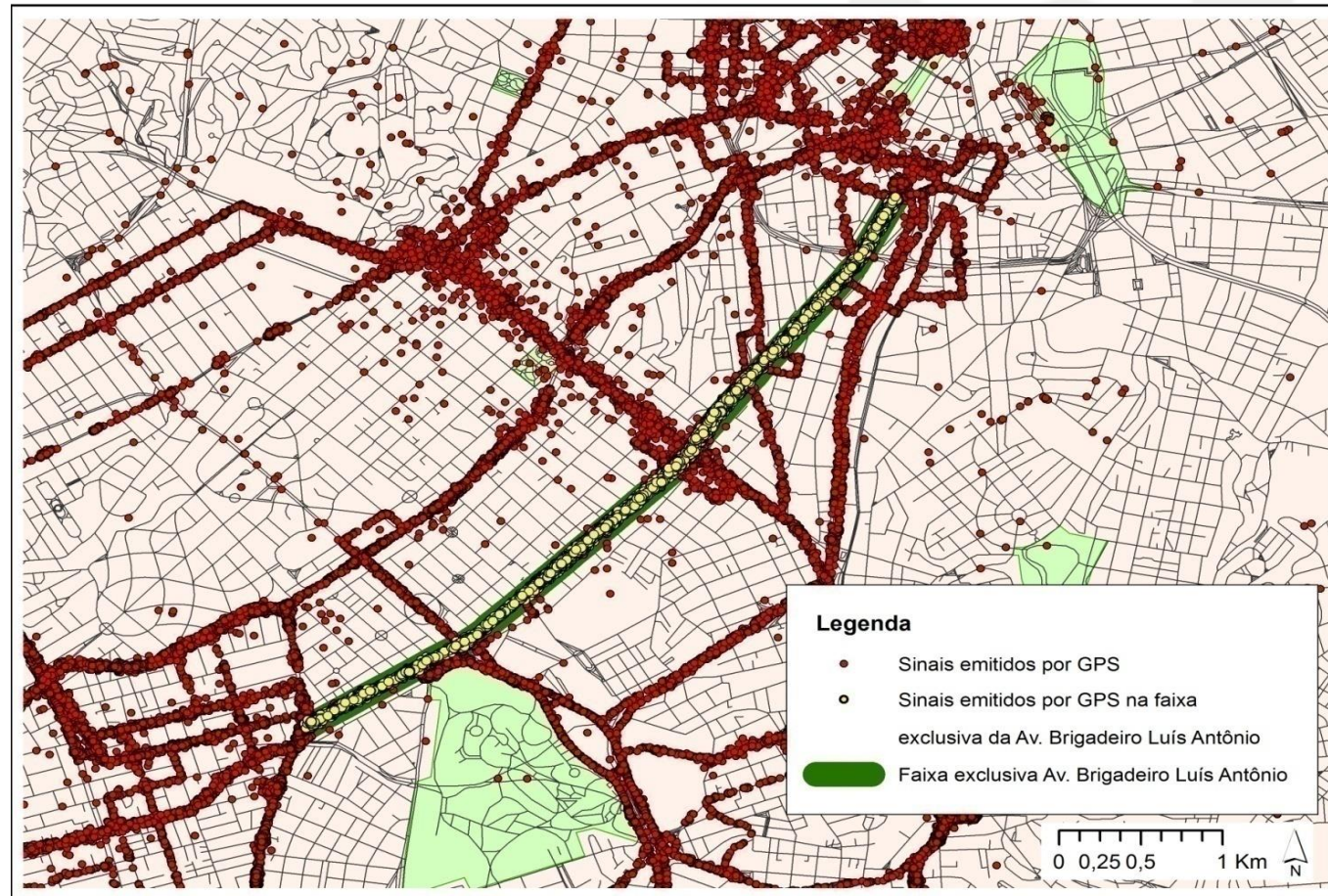


## 2. Redução dos tempos de viagem dos ônibus

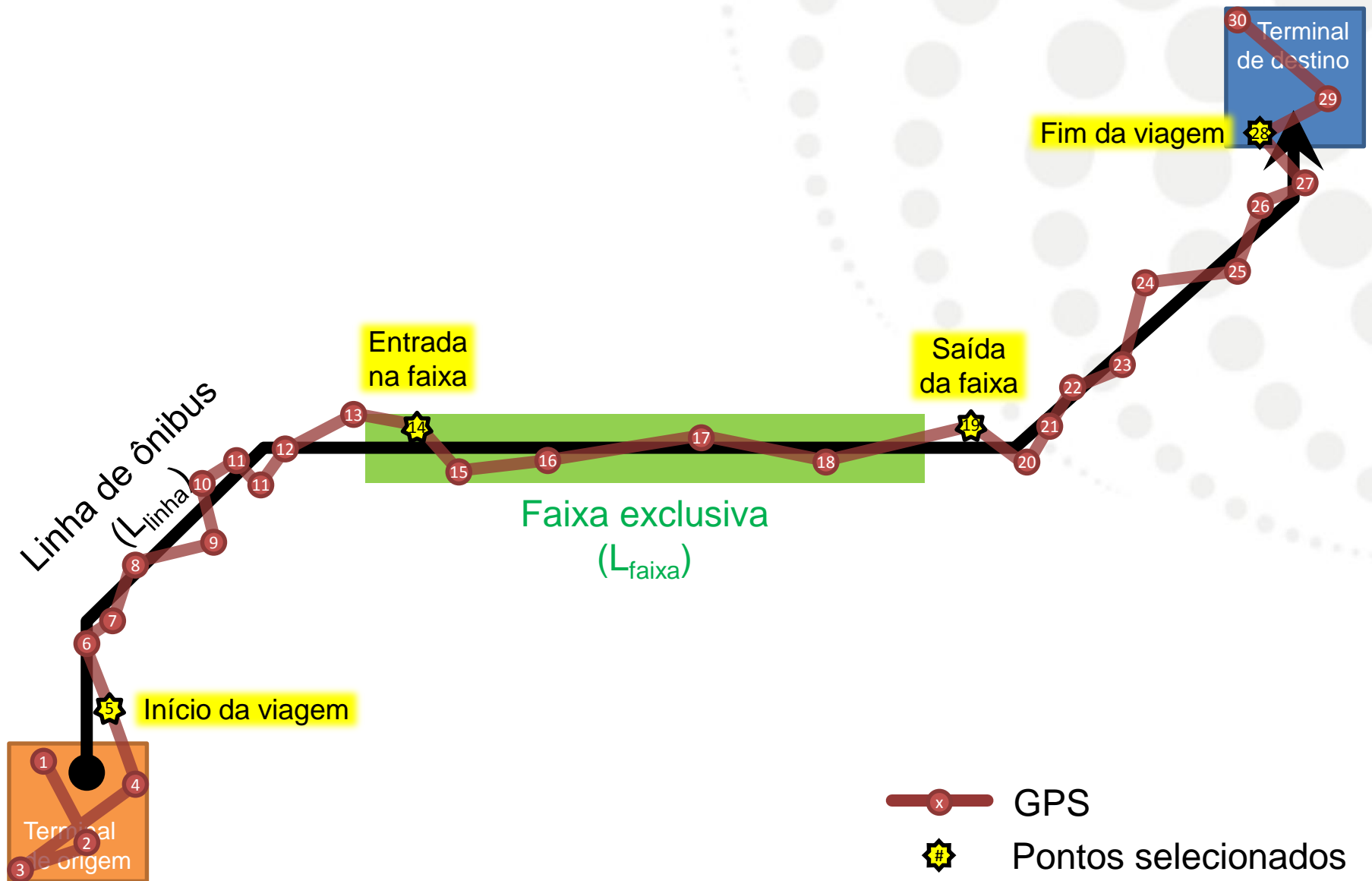
### 2.1 Metodologia de cálculo das velocidades médias

## 2.1 Metodologia de cálculo das velocidades médias

- **Avaliação comparativa:** “antes” vs. “depois” da implantação das faixas exclusivas (set/2012 x set/2013)
- **Material principal:** Dados GPS dos sistema de ônibus referentes a set/2012 e set/2013



## 2.1 Metodologia de cálculo das velocidades médias







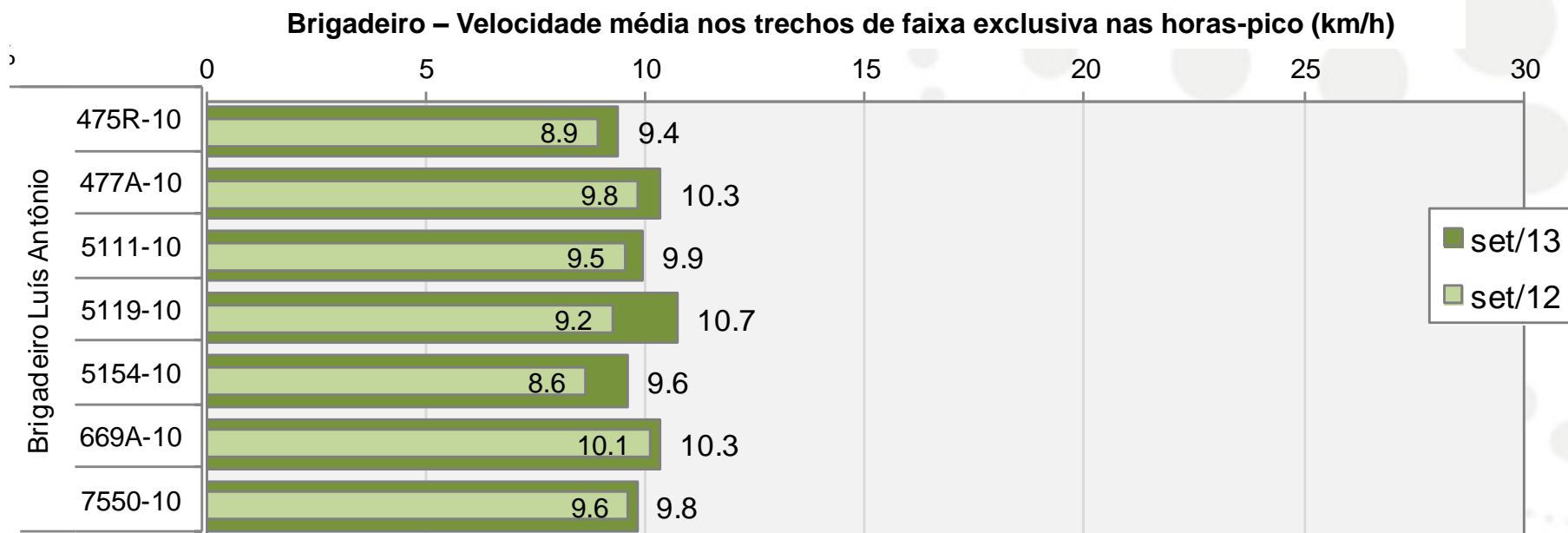
## 2. Redução dos tempos de viagem dos ônibus

2.2 Resultados – ganhos de velocidade nos trechos de faixa e nas horas pico



# Faixa Exclusiva Brigadeiro

Velocidades médias das linhas de ônibus nos trechos de faixa exclusiva nas horas pico (km/h)



Velocidade verificada para cada linha expressa em valores absolutos: km/h

## Valores médios para a faixa exclusiva Brigadeiro

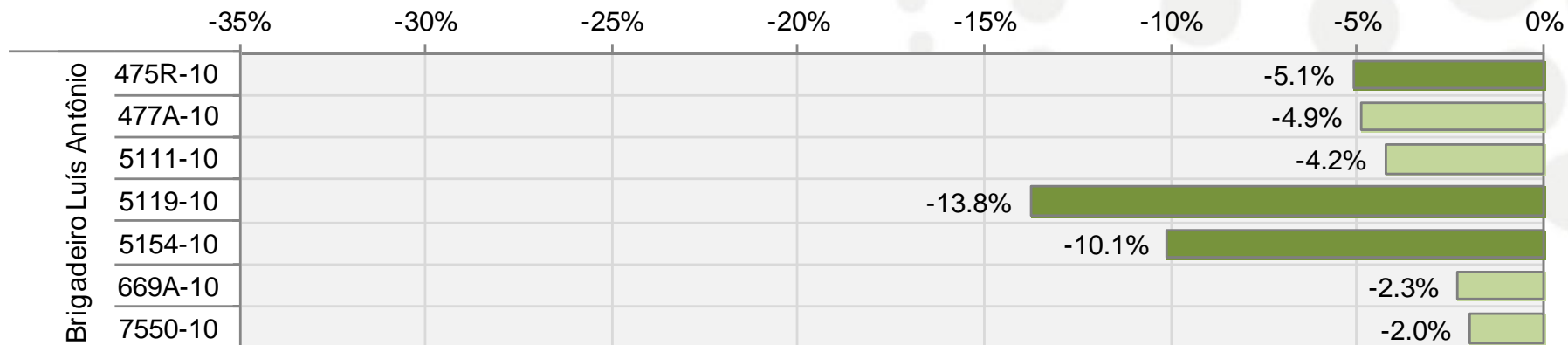
- Velocidade Média nas horas pico: 9,3 km/h em 2012 e 10,0km/h em 2013, aumento de 7,5%
- Velocidade Média no pico da manhã: 11,3 km/h em 2012 e 10,9 km/h em 2013, queda de 3,5%
- Velocidade Média no pico da tarde: 8,0 km/h em 2012 e 9,6 km/h em 2013, aumento de 20,0%

\* Para se calcular o valor da velocidade média da faixa como um todo, foi feita uma ponderação: quanto mais extenso o trecho que uma linha percorre na faixa exclusiva, mais peso esta linha tem no cálculo da velocidade média da faixa.

# Faixa Exclusiva Brigadeiro

Varição do tempo de percurso das linhas avaliadas nos trechos de faixa exclusiva nas horas pico (%)

**Brigadeiro - Variação no tempo de percurso no trecho de faixa implantado entre set/2012 e set/2013 (nas horas-pico)**



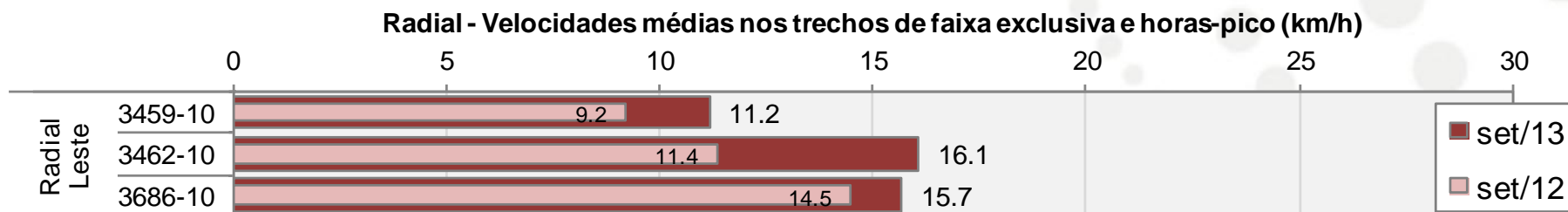
Varição de tempo verificada para cada linha entre os períodos de 2012 e 2013 expressa em valores percentuais

## Elementos que influenciam na diferença de velocidade entre as linhas:

- As linhas podem percorrer trechos distintos da faixa exclusiva (trechos com diferentes características podem afetar a velocidade – largura das faixas, número de faixas por sentidos, semáforos, acessos, interseções, volume de tráfego, etc. )
- As linhas têm diferentes demanda de passageiros por (sobe e desce de passageiros influencia o tempo de parada e, conseqüentemente, as velocidades médias)
- As variações nas características dos veículos mais usados em cada linha também pode afetar as velocidades.

# Faixa Exclusiva Trecho Radial

Velocidades médias das linhas de ônibus nos trechos de faixa exclusiva e nas horas pico (km/h)

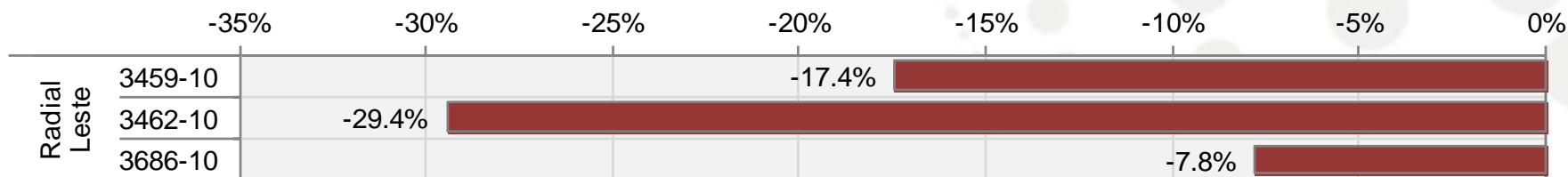


Velocidade verificada para cada linha expressa em valores absolutos: km/h

# Faixa Exclusiva Trecho Radial

Varição do tempo de percurso das linhas avaliadas nos trechos de faixa exclusiva nas horas pico (%)

Radial - Variação no tempo de percurso no trecho de faixa implantado entre set/2012 e set/2013 (nas horas-pico)



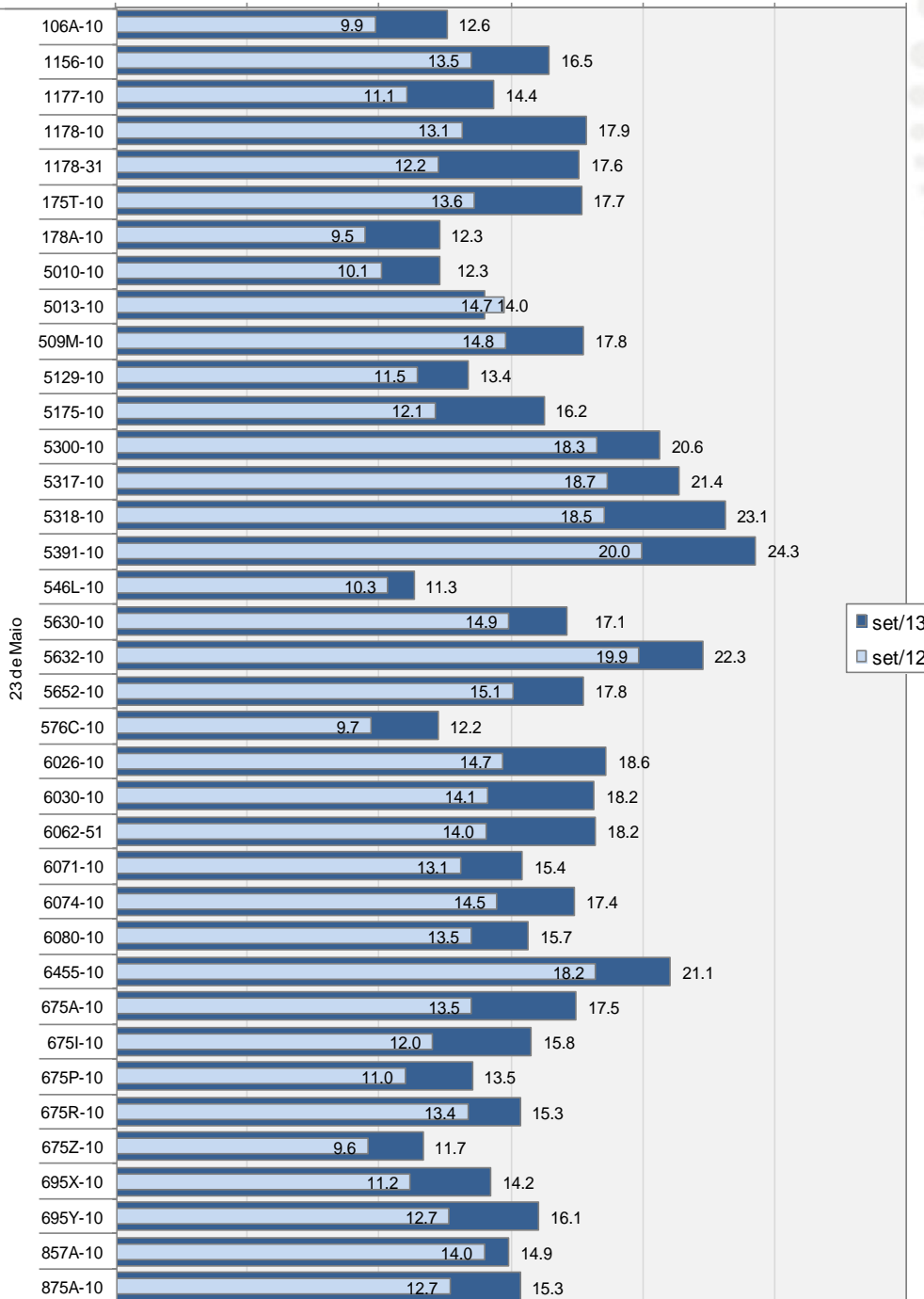
Varição de tempo verificada para cada linha entre os períodos de 2012 e 2013 expressa em valores percentuais

## Elementos que influenciam na diferença de velocidade entre as linhas:

- As linhas podem percorrer trechos distintos da faixa exclusiva (trechos com diferentes características podem afetar a velocidade – largura das faixas, número de faixas por sentidos, semáforos, acessos, interseções, volume de tráfego, etc. )
- As linhas têm diferentes demanda de passageiros por (sobe e desce de passageiros influencia o tempo de parada e, conseqüentemente, as velocidades médias)
- As variações nas características dos veículos mais usados em cada linha também pode afetar as velocidades.

# Faixa Exclusiva 23 de Maio

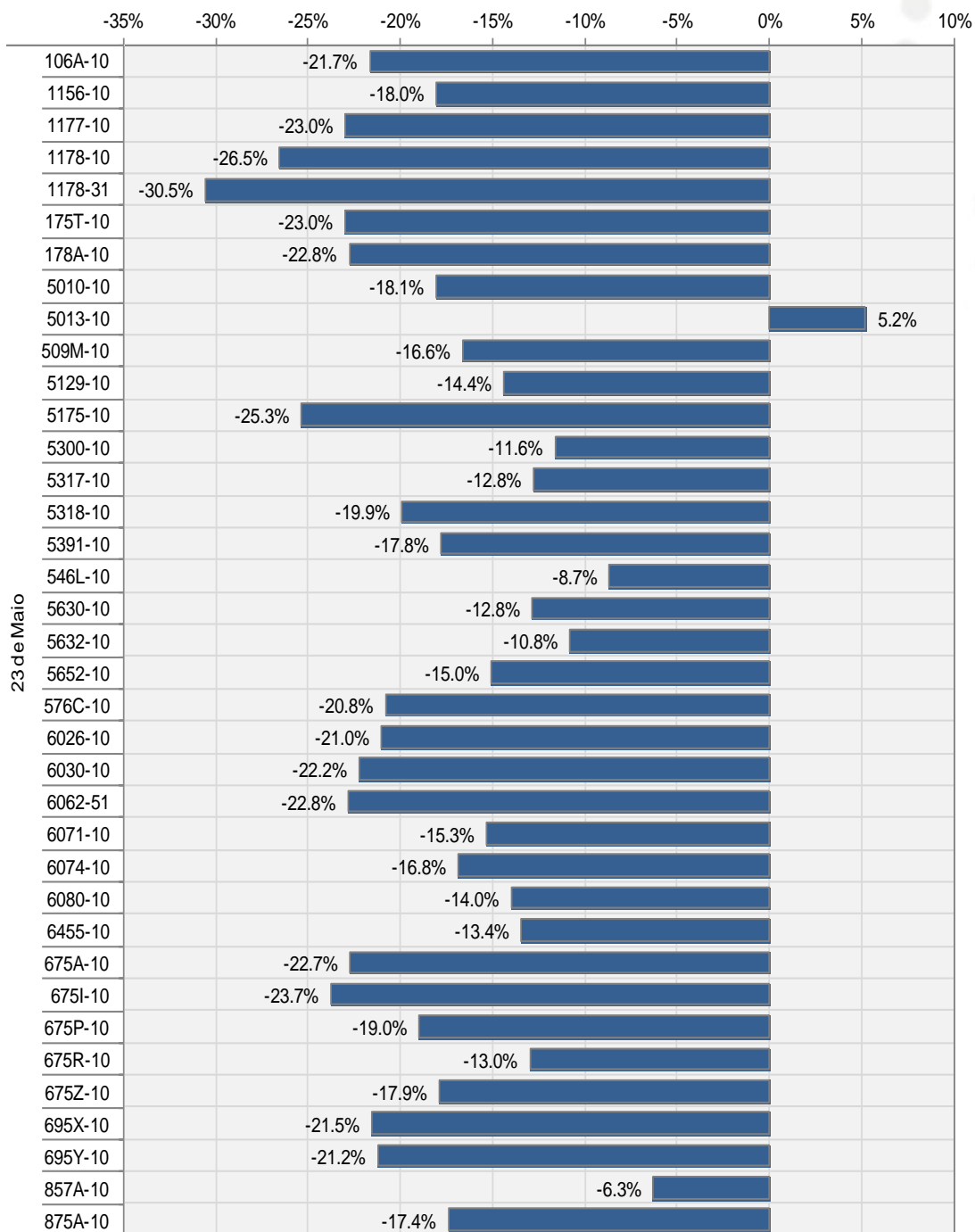
## Velocidades médias das linhas de ônibus nos trechos de faixa exclusiva e nas horas pico (km/h)



### Valores médios para a faixa exclusiva 23 de Maio

- Velocidade Média nas horas pico: 13,8 km/h em 2012 e 16,8 km/h 2013, aumento de 21,7%
- Velocidade Média no pico da manhã: 14,1 km/h em 2012 e 16,9 km/h em 2013, aumento de 17,7%
- Velocidade Média no pico da tarde: 13,6 km/h em 2012 e 16,6 km/h em 2013, aumento de 22,1%

\* Para se calcular o valor da velocidade média da faixa como um todo, foi feita uma ponderação: quanto mais extenso o trecho que uma linha percorre na faixa exclusiva, mais peso esta linha tem no cálculo da velocidade média da faixa.



## Faixa Exclusiva 23 de Maio

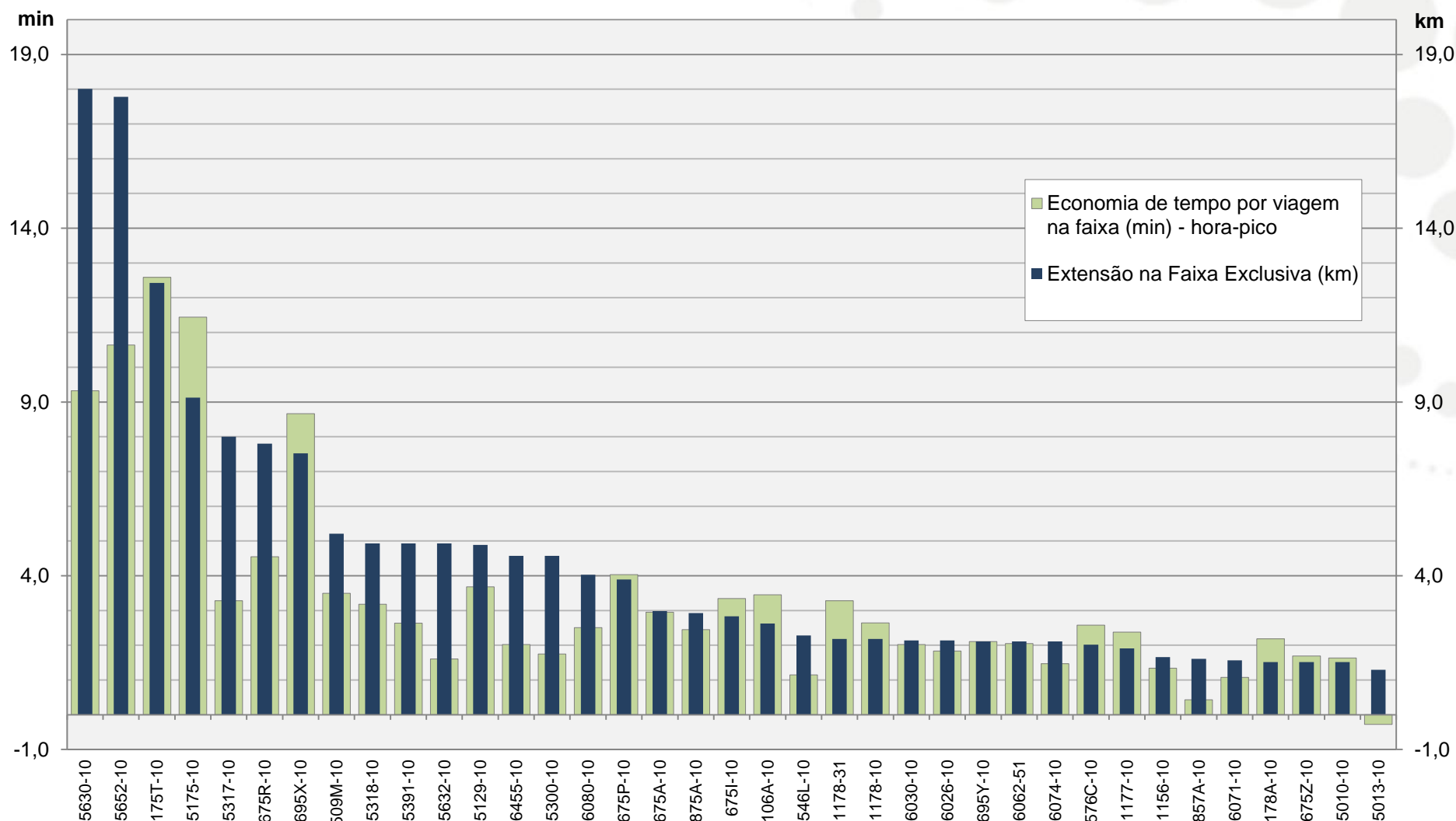
Varição do tempo de percurso das linhas avaliadas nos trechos de faixa exclusiva nas horas pico (%)

### Linha 5013-10:

- Linha com perda de velocidade atravessa o trecho de pior desempenho do Corredor Norte-Sul (Av. Interlagos, na altura do Shopping Interlagos, um trecho de tráfego carregado, com grande número de acessos e interseções semaforizadas).

Varição de tempo verificada para cada linha entre os períodos de 2012 e 2013 expressa em valores percentuais

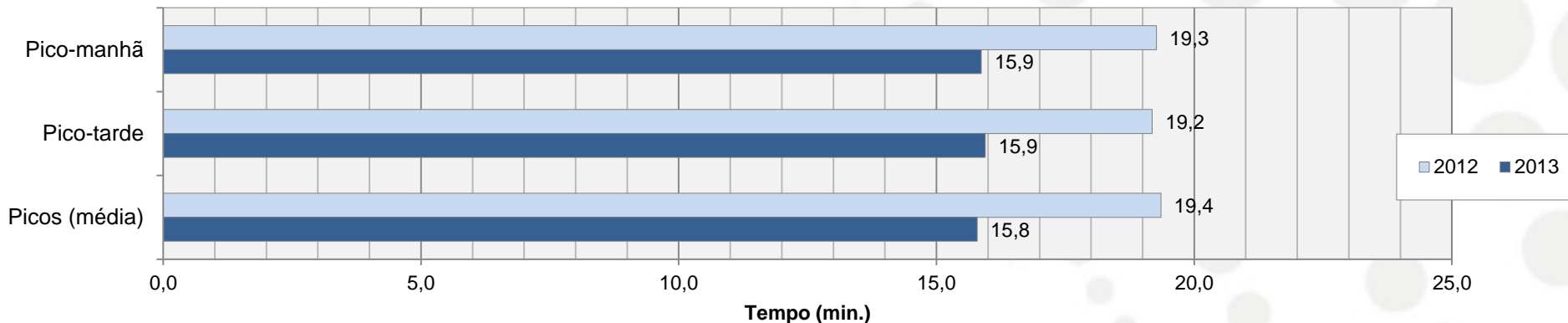
O efeito positivo da faixa fica evidente ao se observar que, em geral, a redução no tempo de viagem, em termos absolutos, é maior nas linhas que percorrem trechos maiores de faixa (por exemplo, 175T-10, 5175-10, 5630-10, 5652-10). As linhas que apresentam reduções menos significativas são, basicamente, as que percorrem trechos muito curtos de faixa.



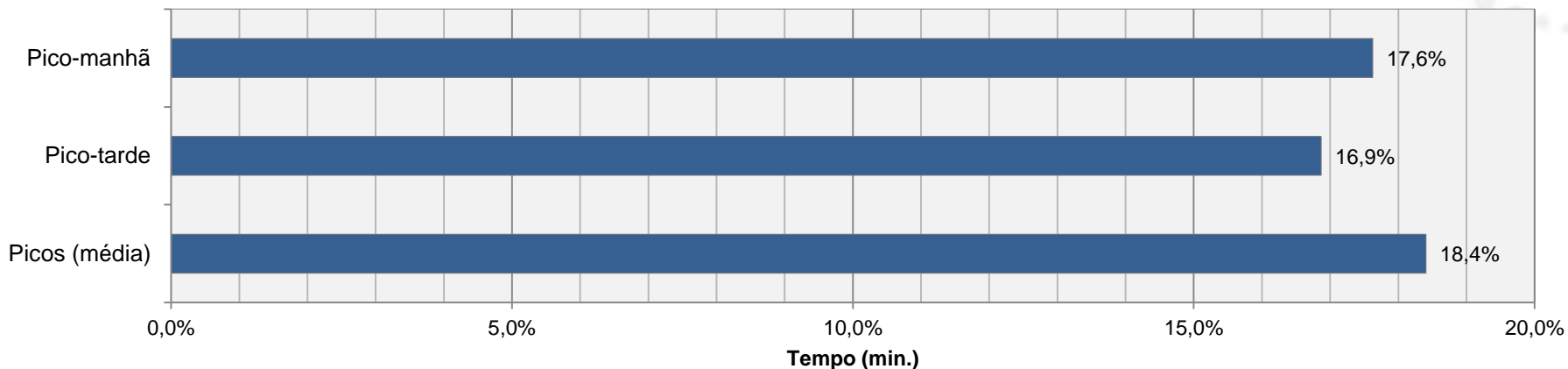
# Efeito da faixa exclusiva no tempo de viagem

Corredor Norte/Sul – 23 de Maio

Tempos médios de percurso, no trecho de faixa exclusiva por viagem



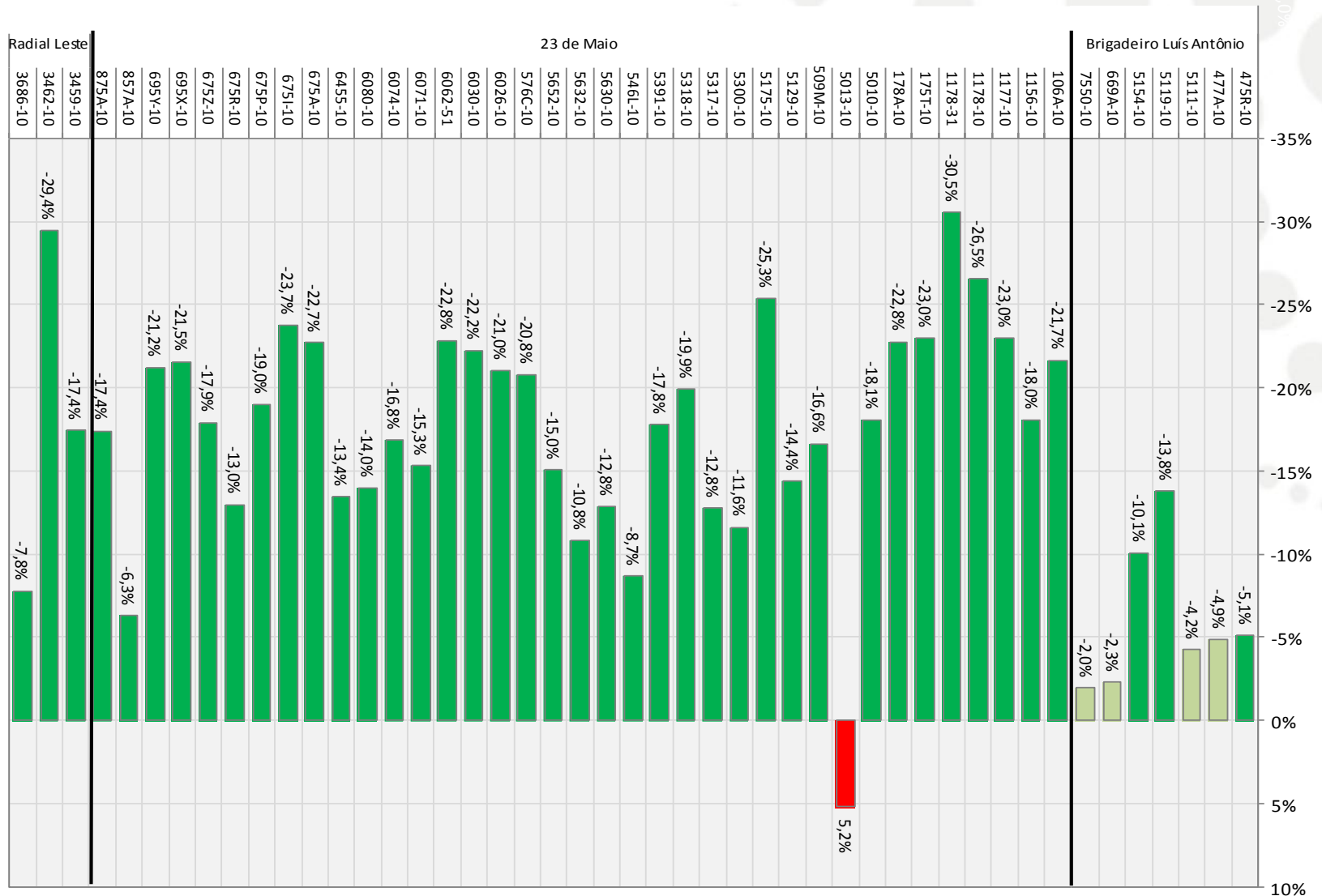
Redução dos tempos médios de percurso no trecho de faixa exclusiva por viagem (entre 2012 e 2013)



**A redução estimada total de tempo de viagem nas 37 linhas avaliadas é de 252 horas/dia.**

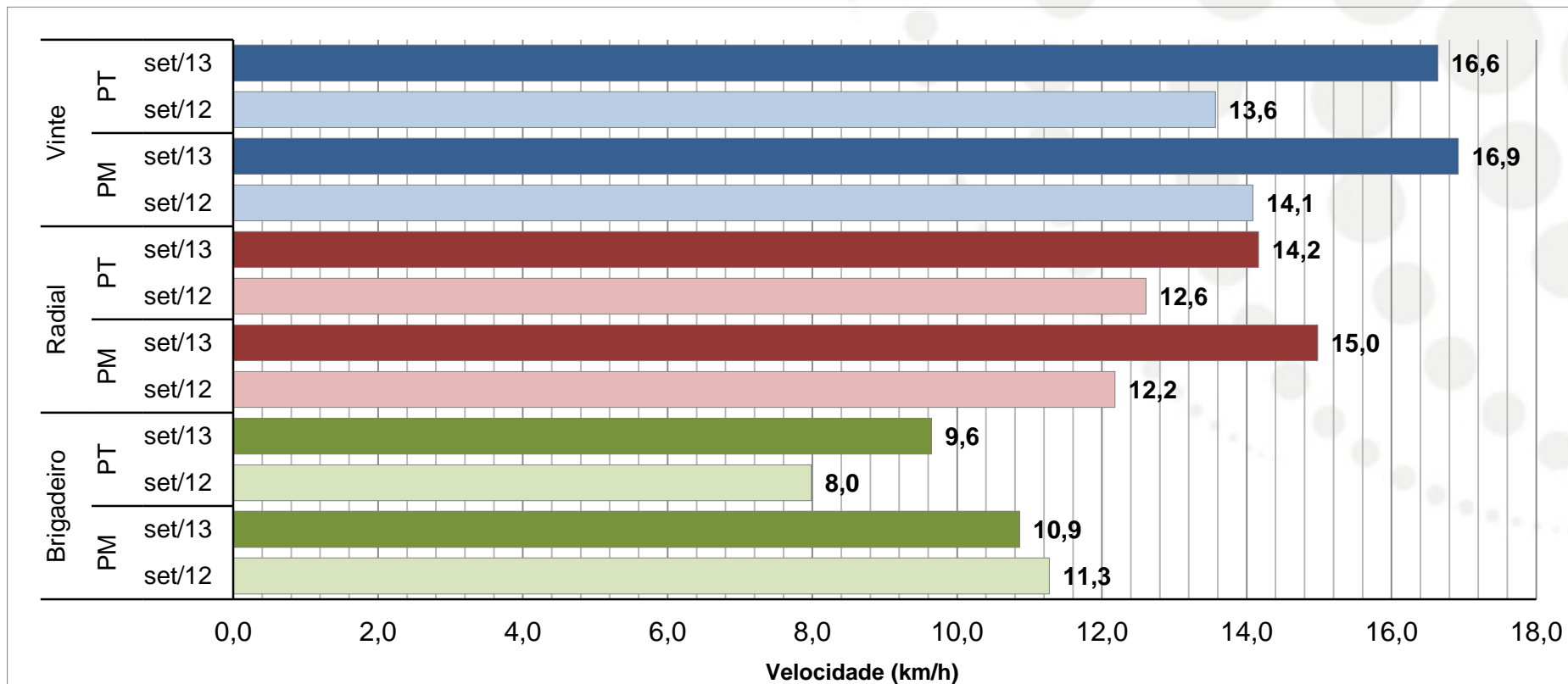


# Variação nos tempos de percurso relativo aos dos trechos de faixa exclusiva nas horas pico, entre set/2012 e set/2013



Variação de tempo verificada para cada linha entre os períodos de 2012 e 2013 expressa em valores percentuais

# Velocidades médias do total de linhas analisadas por grupos de faixas exclusivas (médias ponderadas pelas distâncias)



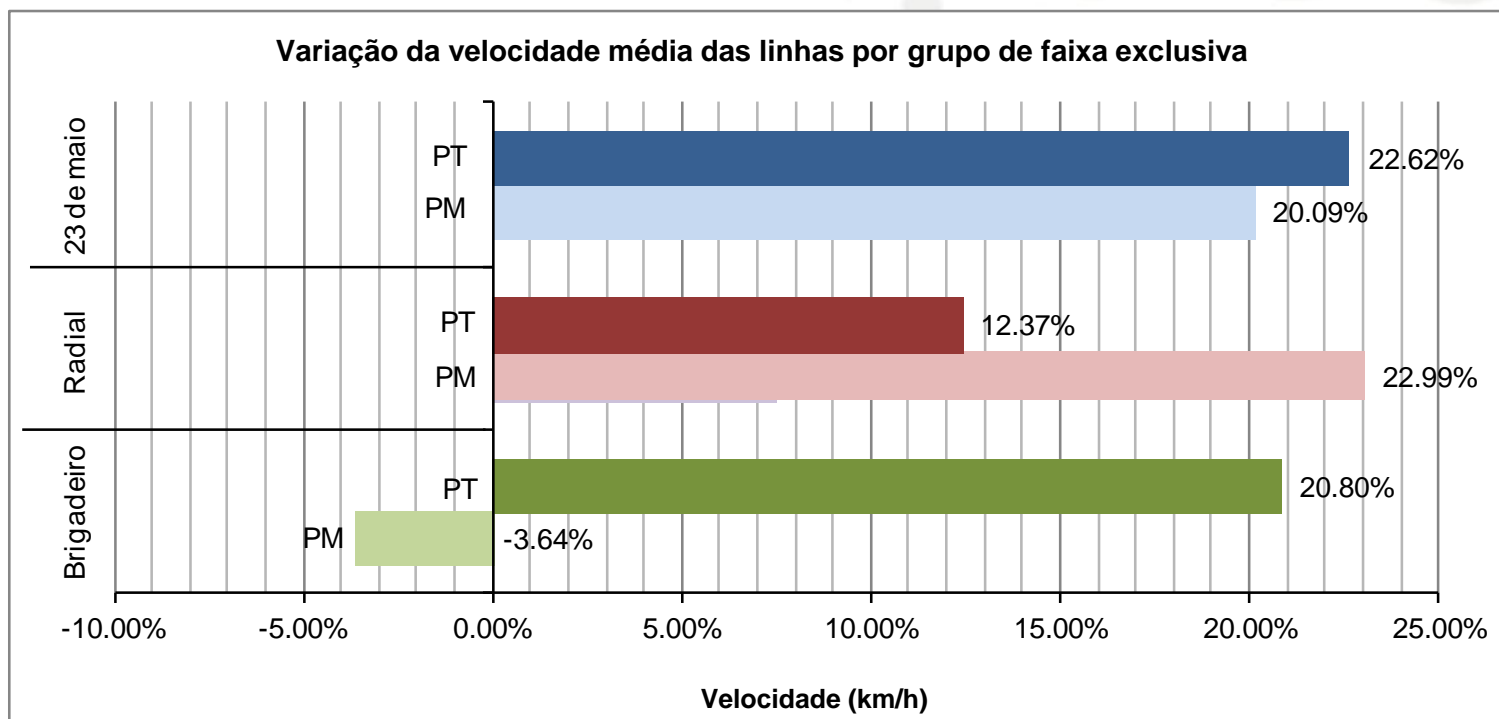
Valores absolutos expressos em km/h

PM = Pico Manhã

PT = Pico Tarde

# Varição da velocidade média do total de linhas analisadas por grupos de faixas exclusivas (%)

(média ponderada pelas viagens e pela quilometragem percorrida)



Foi registrado a redução da velocidade média na Av. Brigadeiro Luís Antônio no pico da manhã. Tal condição está associada ao volume de tráfego intenso de veículos na via e da dificuldade de ultrapassagem dos ônibus nos pontos de parada.

Algumas linhas que passam pela avenida apresentam carregamento intenso, necessitando de maior tempo nos pontos. As linhas com embarques mais ágeis, que seguem atrás daquelas, necessitam aguardar a operação da anterior para poder seguir viagem, uma vez a faixa exclusiva reduziu a permeabilidade do ônibus frente ao tráfego geral, pois as faixas restantes para o automóvel tornaram-se mais compactas, com menos possibilidades (espaço) de ultrapassagens pelos ônibus.

Tal condição deve ser encarada com atenção pela prefeitura. Em vias mais estreitas, com volumes elevados de tráfego e grande número de linhas de ônibus é preciso garantir a possibilidade de ultrapassagem dos ônibus nos pontos de parada.

# Variação da velocidade média do total de linhas analisadas por grupos de faixas exclusivas (%)

(média ponderada pelas viagens e pela quilometragem percorrida)

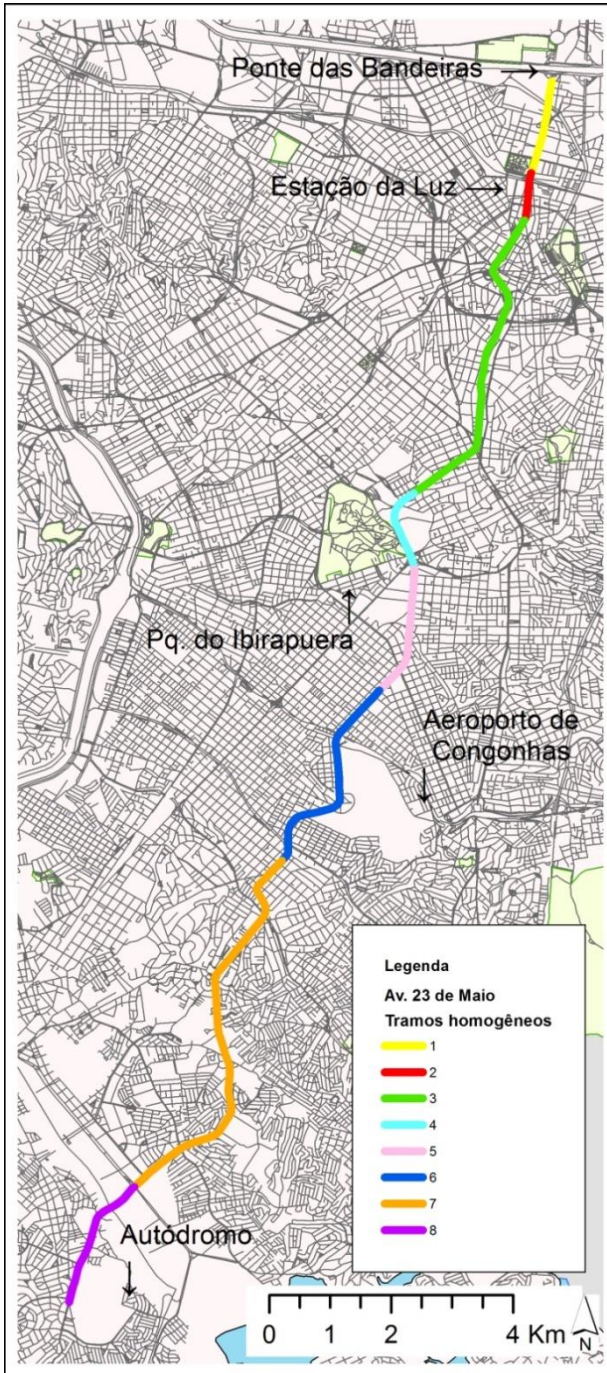
## **Faixa Brigadeiro**

Foi registrado a redução da velocidade média na Av. Brigadeiro Luís Antônio no pico da manhã. Tal condição está associada ao volume de tráfego intenso de veículos na via e da dificuldade de ultrapassagem dos ônibus nos pontos de parada.

Algumas linhas que passam pela avenida apresentam carregamento intenso, necessitando de maior tempo nos pontos. As linhas com embarques mais ágeis, que seguem atrás daquelas, necessitam aguardar a operação da anterior para poder seguir viagem, uma vez a faixa exclusiva reduziu a permeabilidade do ônibus frente ao tráfego geral, pois as faixas restantes para o automóvel tornaram-se mais compactas, com menos possibilidades (espaço) de ultrapassagens pelos ônibus.

Tal condição deve ser encarada com atenção pela prefeitura. Em vias mais estreitas, com volumes elevados de tráfego e grande número de linhas de ônibus é preciso garantir a possibilidade de ultrapassagem dos ônibus nos pontos de parada.

## Divisão da Av. 23 de Maio em tramos homogêneos



Como as características viárias a que é submetida a faixa exclusiva da 23 de Maio são tão divergentes e as velocidades resultantes verificadas pelas linhas foram igualmente variáveis, entendeu-se a necessidade de investigar com mais detalhes a influência que tal elemento promove no desempenho da operação do sistema de transporte coletivo. Assim, o Corredor Norte-Sul foi dividido em oito tramos homogêneos, sendo esses segmentos viários que preservam características básicas similares.

# Tramos homogêneos da Av. 23 de Maio

Tramos	Localização	Descrição	
<b>Tramo 1</b>	Ponte das Bandeiras ao Parque da Luz	Muitas faixas por sentido porém com interseções semaforizadas em via importantes.	
<b>Tramo 2</b>	Parque da Luz à Rua Cap-mor. Jerônimo Leitão	Circulação em vias locais, saída da via principal pela maioria dos ônibus. Muitos semáforos e tráfego lento.	
<b>Tramo 3</b>	Rua Cap-mor. Jerônimo Leitão à Rua Tutóia	Circulação em via expressa, acessos por agulhas, sem semáforo, tráfego intenso mas em alta velocidade.	
<b>Tramo 4</b>	Rua Tutóia à Rua Ipê/ Rua Estado de Israel	Circulação em via expressa mas com excessivo número de acessos em viadutos, grande número de entrelaçamentos.	

# Tramos homogêneos da Av. 23 de Maio

Tramos	Localização	Descrição	
<b>Tramo 5</b>	Rua Ipê/ Rua Estado de Israel à Av. Jurema	Circulação em pista local da via expressa, sujeita à semáforos , conversões e acessos de lotes lindeiros	
<b>Tramo 6</b>	Av. Jurema à Av. Jônia	Volume intenso de veículos porém a via não é expressa, possui acesso aos lotes lindeiros e conversões, mas não há semáforos	
<b>Tramo 7</b>	Av. Jônica à Av. Nações Unidas	Via com muitas interferências: semáforos, acessos a lotes lindeiros e conversões. Intenso volume de tráfego	
<b>Tramo 8</b>	Àv. Nações Unidas à Av. Teutônio Vilela	Via com acessos a lotes lindeiros mas reduzido número de conversões e semáforos.	



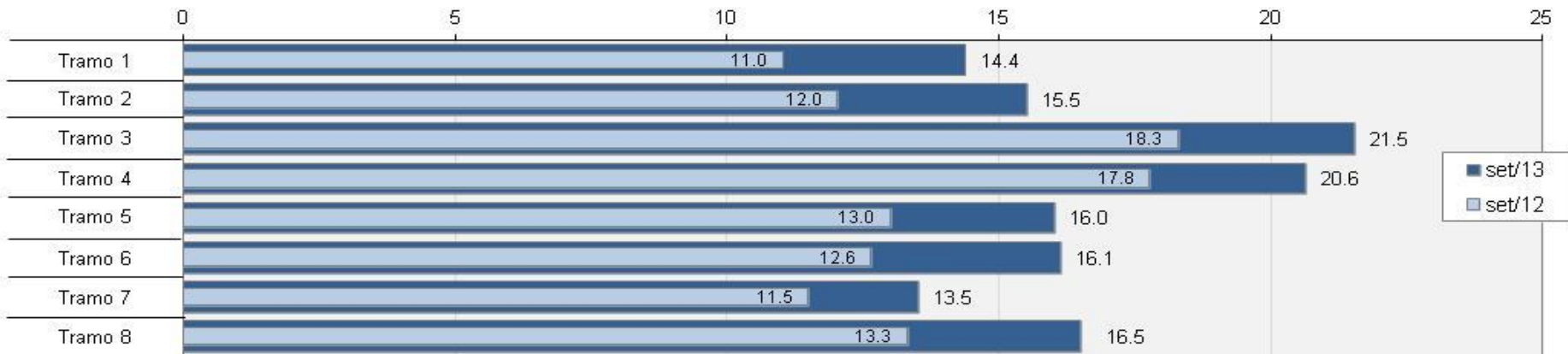






# Velocidade média das linhas analisadas por grupos de tramos homogêneos (média ponderada pela distância)

Velocidades médias nos tramos homogêneos da Av. 23 de Maio (km/h)



Os resultados obtidos mostram maior variação na velocidade nos dois primeiros tramos (Av. Tiradentes), que consiste em um trecho bastante carregado em relação ao volume de veículos que por ele circulam. Por sua vez o Tramo 4 apresentou as menores variações de velocidade em razão da implantação da priorização do transporte coletivo, sendo esse um trecho que apesar de apresentar características de via expressa é drasticamente afetado pela intensa quantidade de acessos viários que promovem inúmeros movimentos entrelaçantes.

<b>Tramo 1</b>	<b>30.91%</b>
<b>Tramo 2</b>	<b>29.17%</b>
<b>Tramo 3</b>	<b>17.49%</b>
<b>Tramo 4</b>	<b>15.73%</b>
<b>Tramo 5</b>	<b>23.08%</b>
<b>Tramo 6</b>	<b>27.78%</b>
<b>Tramo 7</b>	<b>17.39%</b>
<b>Tramo 8</b>	<b>24.06%</b>

**Reduções no tempo de viagem  
verificados em cada trecho decorrentes  
da implantação da faixa exclusiva  
(entre 2012 e 2013)**



## 2. Redução dos tempos de viagem dos ônibus

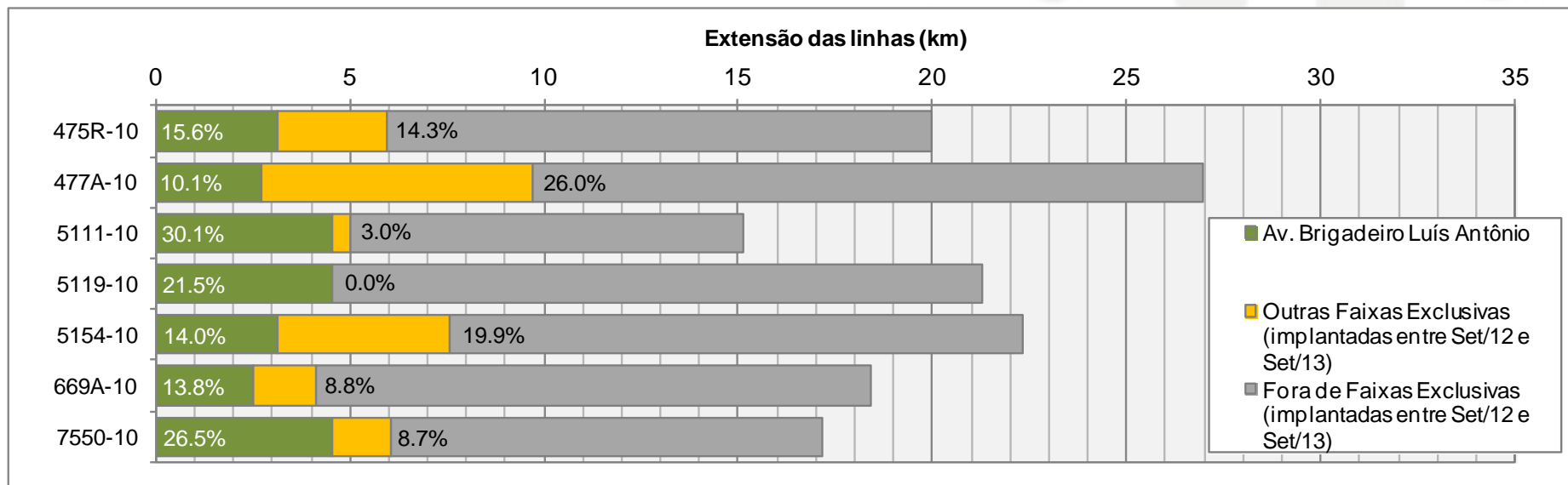
2.2 Efeito das faixas exclusivas na extensão total das linhas de ônibus

**Apenas uma pequena parte da extensão total percorrida pelas linhas de ônibus avaliadas é servida pelas faixas exclusivas. Assim, não é razoável esperar que os ganhos de velocidade verificados nos trechos de faixas também sejam significativos quando se avalia a linha como um todo.**

**Ganhos mais perceptíveis para o conjunto dos usuários de ônibus na cidade de São Paulo dependem, evidentemente, da expansão, em extensão e quantidade, das faixas exclusivas.**

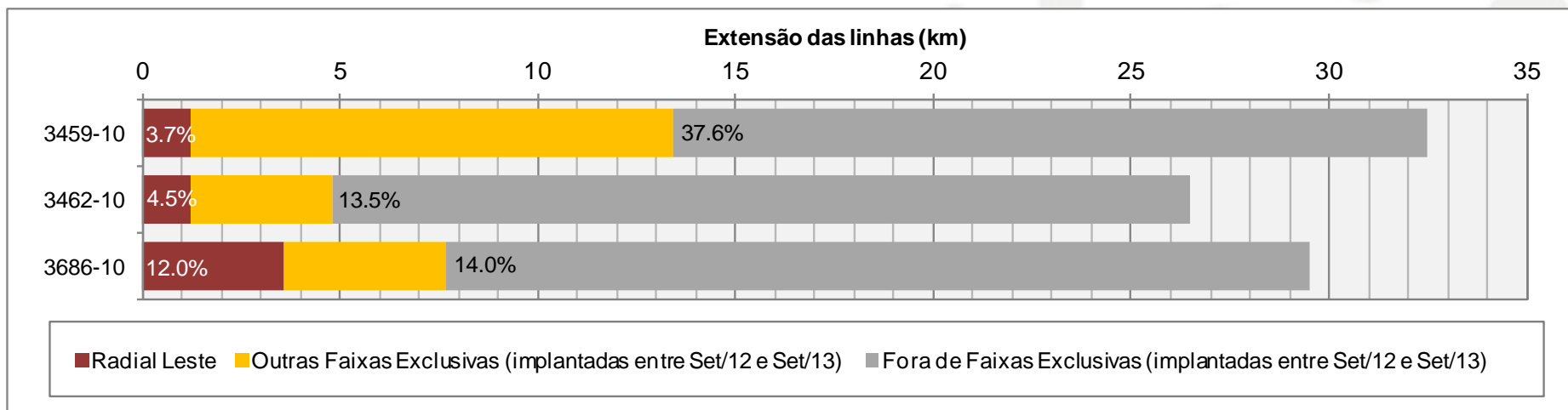
# Faixa exclusiva Brigadeiro

Extensão das linhas: total e nos trechos de Faixas Exclusivas



# Faixa exclusiva Trecho Radial

Extensão das linhas: total e nos trechos de Faixas Exclusivas

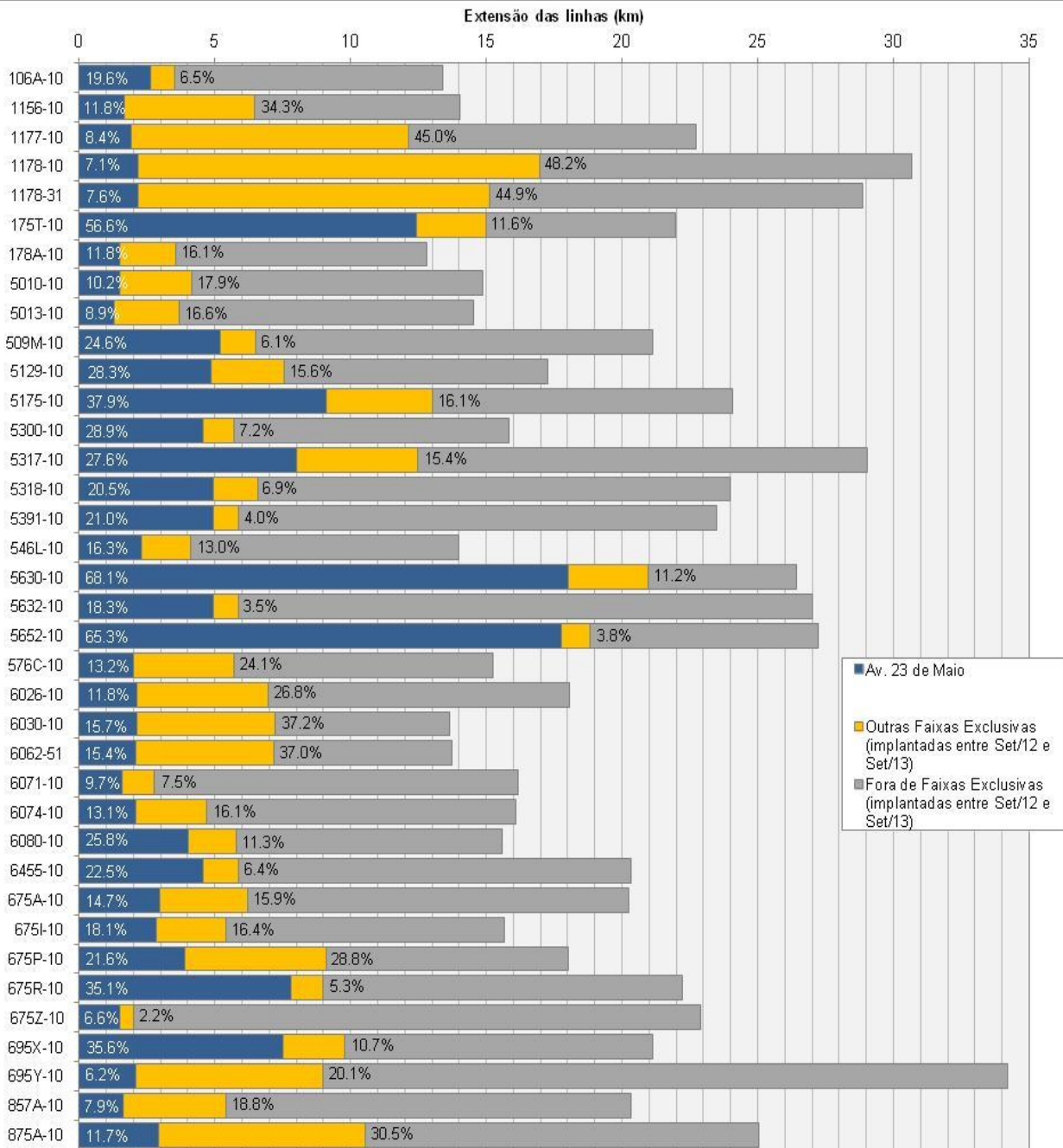


## Radial Leste:

- Comprimento médio das linhas: 29,5 km
- Trecho médio na faixa exclusiva da Radial Leste: 2,0 km (6,8% do comprimento médio)
- Trecho médio em outras faixas exclusivas: 6,6 km (22,4% do comprimento médio)

# Faixa exclusiva 23 de Maio

Extensão das linhas: total e nos trechos de Faixas Exclusivas







# 3. Economia de consumo de combustível e redução de emissões de CO<sub>2</sub>

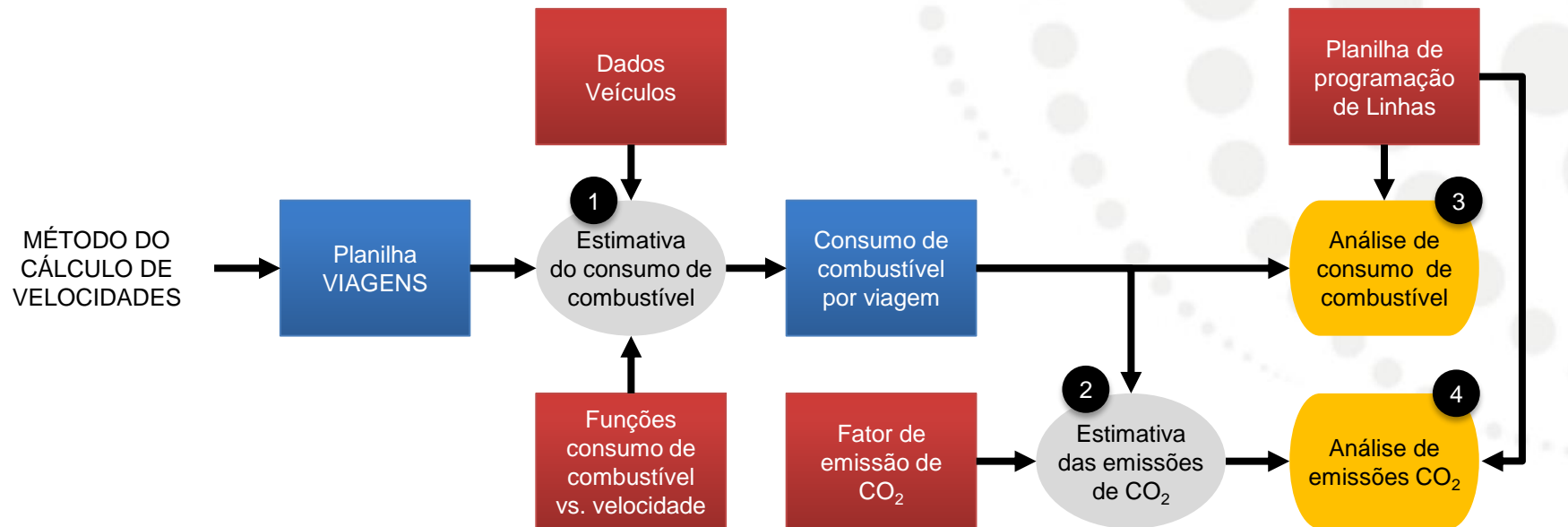
## 3.1 Metodologia

## 3.1 Metodologia para estimar o consumo de combustível

Segmento de viagem	Equações
Viagem (total)	$C_{viagem} = L_{linha} \times Ce(v_{viagem})$
Faixas selecionadas	$C_{faixa} = L_{faixa} \times Ce(v_{faixa})$
Outras faixas	$C_{outras} = L_{outras} \times Ce(v_{outras})$
Fora das faixas	$C_{fora} = C_{viagem} - \sum C_{faixa} - C_{outras}$

- $C$ : consumo de diesel estimado (em litros);
- $L$ : extensão viária considerada (em km);
- $Ce(v)$ : consumo específico de diesel por quilômetro em função da velocidade média, para um determinado porte de veículo e fase tecnológica (em L/km).

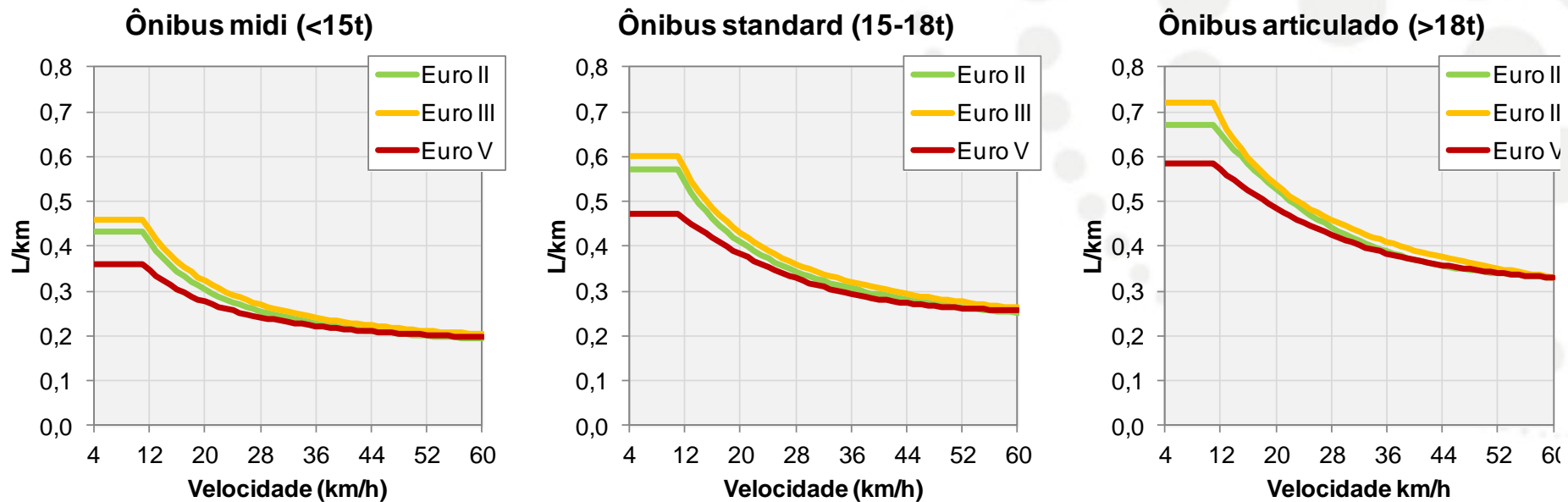
# Etapas de trabalho: estimativa do consumo de combustível e emissões de CO<sub>2</sub>



## Legenda:

- Dados de entrada
- Dados de saída
- Processamento de dados
- Análise

# Variação do consumo de combustível em função da velocidade e tipo de veículo



**Consumo de combustível por quilômetro em função da velocidade, por porte de veículo e fase tecnológica (elaborado a partir de dados do ARTEMIS)**

# Tipologia de veículos adotada

## Correlação adotada entre as categorias de veículos definidas pela SPTrans e aquelas apresentadas no ARTEMIS

<b>Categorias SPTrans</b>	<b>Categorias ARTEMIS</b>
Miniônibus	Ônibus midi (<15t)
Microônibus	
Básico	Ônibus standard (15-18t)
Midiônibus	
Padron	
Articulado	Ônibus articulado (>18t)
Biarticulado	

## Fases tecnológicas de motores PROCONVE e Euro segundo o ano de fabricação do veículo

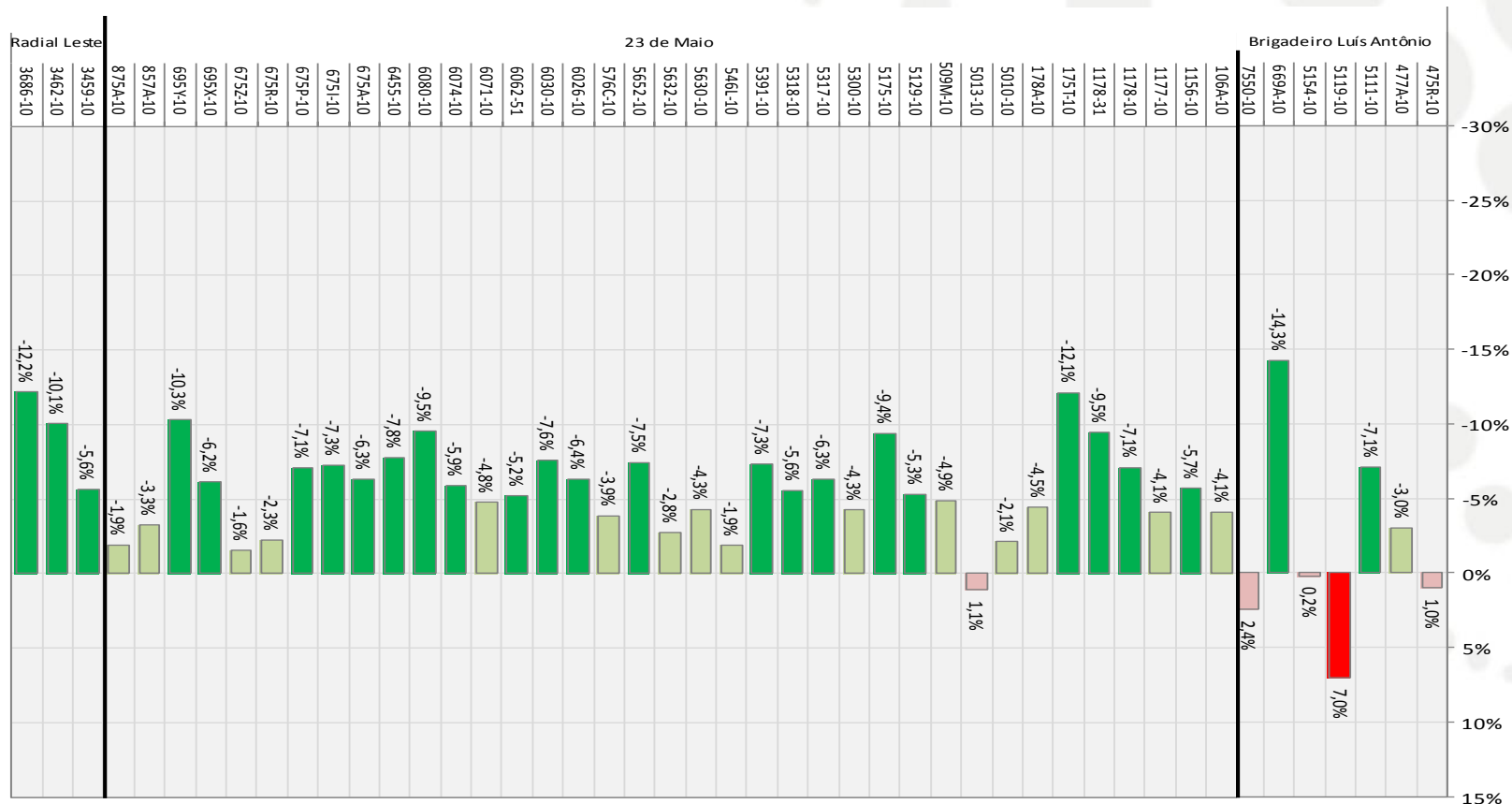
<b>Ano de fabricação do veículo</b>	<b>Fase PROCONVE</b>	<b>Fase EURO</b>
2002-2003	P4	Euro II
2004-2011	P5	Euro III
2012-2013	P7	Euro V



# 3. Economia de consumo de combustível e redução de emissões de CO<sub>2</sub>

## 3.1 Resultados

# Redução no consumo de diesel e emissões de CO<sub>2</sub> nas horas-pico, em %

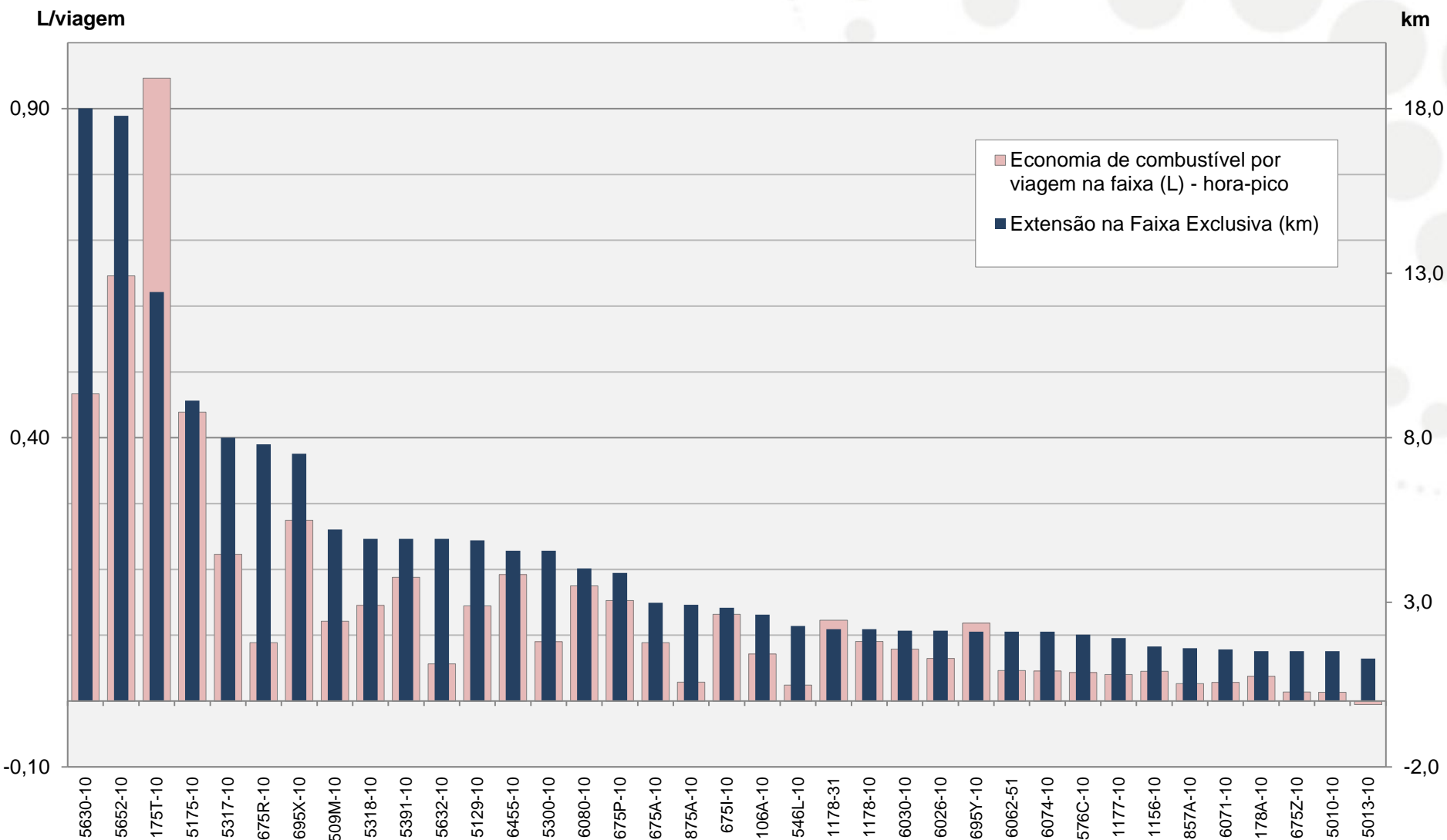


A redução estimada da queima de óleo diesel apenas nas 37 linhas avaliadas na faixa da 23 de maio (Corredor Norte-Sul) é de 756 l/dia. No que se refere à emissões de CO<sub>2</sub>, a redução é de 1,9 tonelada/dia .

A grande maioria das linhas estudadas tem melhorias no consumo de óleo diesel que acompanham o aumento na velocidade média dos ônibus. O aumento no consumo das linhas que operam na faixa da Av. Brigadeiro decorrem de mudanças ocorridas no perfil tecnológico da frota, e não da implantação das faixas.

# Corredor Norte-Sul (23 de maio)

Relação entre economia de combustível e a extensão dos trechos percorridos em faixa exclusiva pelas linhas avaliadas







## 4. Redução nas emissões de poluentes locais

### 4.1 Metodologia

## 4.1 Metodologia para estimar a redução das emissões de CO<sub>2</sub>

Segmento de viagem	Equações
Viagem (total)	$E_{viagem}^{CO_2} = C_{viagem} \times Fe_{CO_2}$
Faixas selecionadas	$E_{faixa}^{CO_2} = C_{faixa} \times Fe_{CO_2}$
Outras faixas	$E_{outras}^{CO_2} = C_{outras} \times Fe_{CO_2}$
Fora das faixas	$E_{fora}^{CO_2} = C_{fora} \times Fe_{CO_2}$

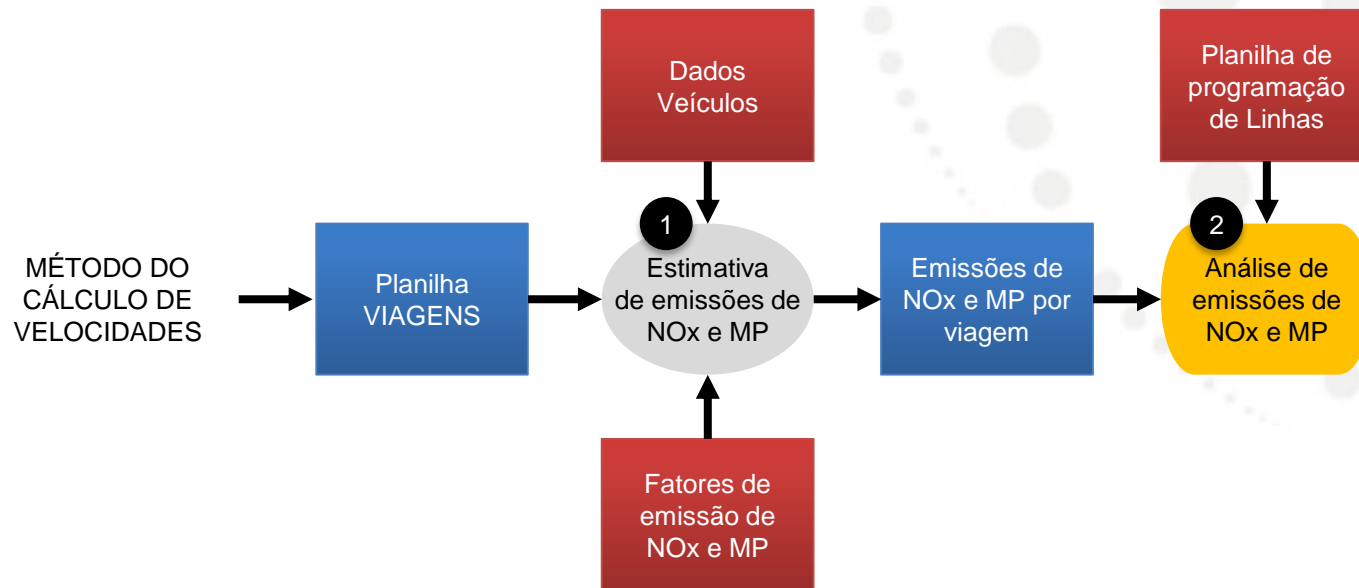
- $C$  é o consumo de diesel estimado (em litros);
- $E^{CO_2}$  é a emissão estimada de CO<sub>2</sub> (em gramas);
- $Fe_{CO_2}$  é o fator de emissão de CO<sub>2</sub> (em gramas de CO<sub>2</sub> por litro de diesel).

# Estimativa das emissões de NOx e MP<sub>10</sub>

Parâmetro	Segmento de viagem	Equações
Emissões de óxidos de nitrogênio (NOx)	Viagem (total)	$E_{viagem}^{NOx} = L_{linha} \times Fe_{NOx}(v_{viagem})$
	Faixas selecionadas	$E_{faixa}^{NOx} = L_{faixa} \times Fe_{NOx}(v_{faixa})$
	Outras faixas	$E_{viagem}^{NOx} = L_{outras} \times Fe_{NOx}(v_{outras})$
	Fora das faixas	$E_{fora}^{NOx} = E_{viagem}^{NOx} - \sum E_{faixa}^{NOx} - E_{outras}^{NOx}$
Emissões de material particulado (MP <sub>10</sub> )	Viagem (total)	$E_{viagem}^{MP} = L_{linha} \times Fe_{MP_{combustão}}(v_{viagem}) + L_{linha} \times Fe_{MP_{desgaste}}$
	Faixas selecionadas	$E_{faixa}^{MP} = L_{faixa} \times Fe_{MP_{combustão}}(v_{faixa}) + L_{faixa} \times Fe_{MP_{desgaste}}$
	Outras faixas	$E_{outras}^{MP} = L_{outras} \times Fe_{MP_{combustão}}(v_{outras}) + L_{outras} \times Fe_{MP_{desgaste}}$
	Fora das faixas	$E_{fora}^{MP} = E_{viagem}^{MP} - \sum E_{faixa}^{MP} - E_{outras}^{MP}$

- $L$  é a extensão viária considerada (em km);
- $E^{NOx}$  é a emissão estimada de NOx (em gramas);
- $Fe_{NOx}(v)$  é o fator de emissão de NOx em função da velocidade, para um determinado porte de veículo e fase tecnológica (em g/km);
- $E^{MP}$  é a emissão estimada de MP<sub>10</sub> (em gramas);
- $Fe_{MP_{combustão}}(v)$  é o fator de emissão de MP<sub>10</sub> por combustão em função da velocidade, para um determinado porte de veículo e fase tecnológica (em g/km);
- $Fe_{MP_{desgaste}}$  é o fator de emissão de MP<sub>10</sub> por desgaste de pneus, pista e freio (em g/km).

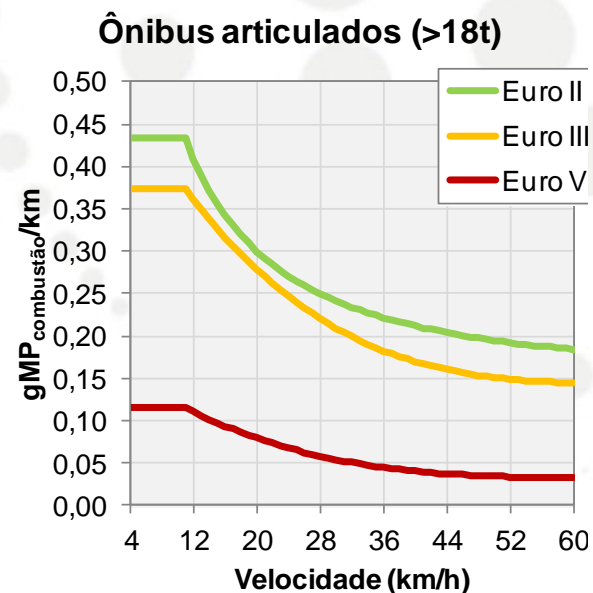
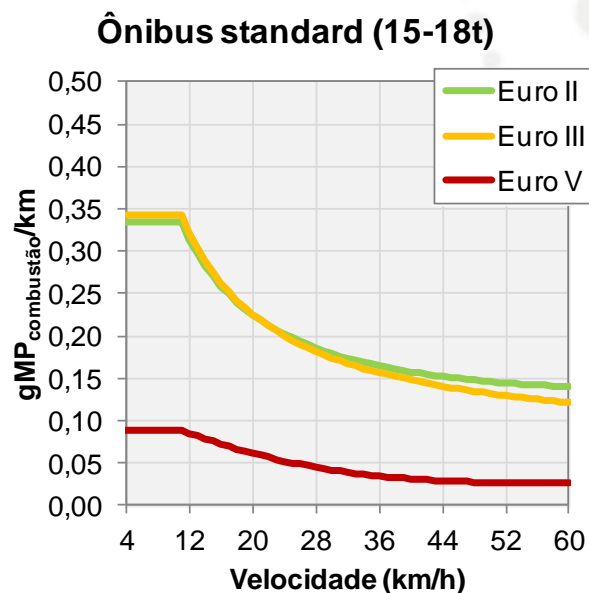
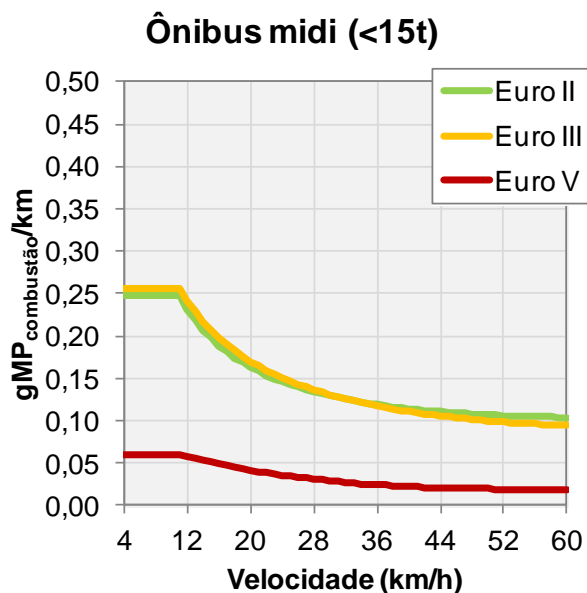
# Etapas de trabalho: estimativa de emissões de NOx e MP



## **Legenda:**

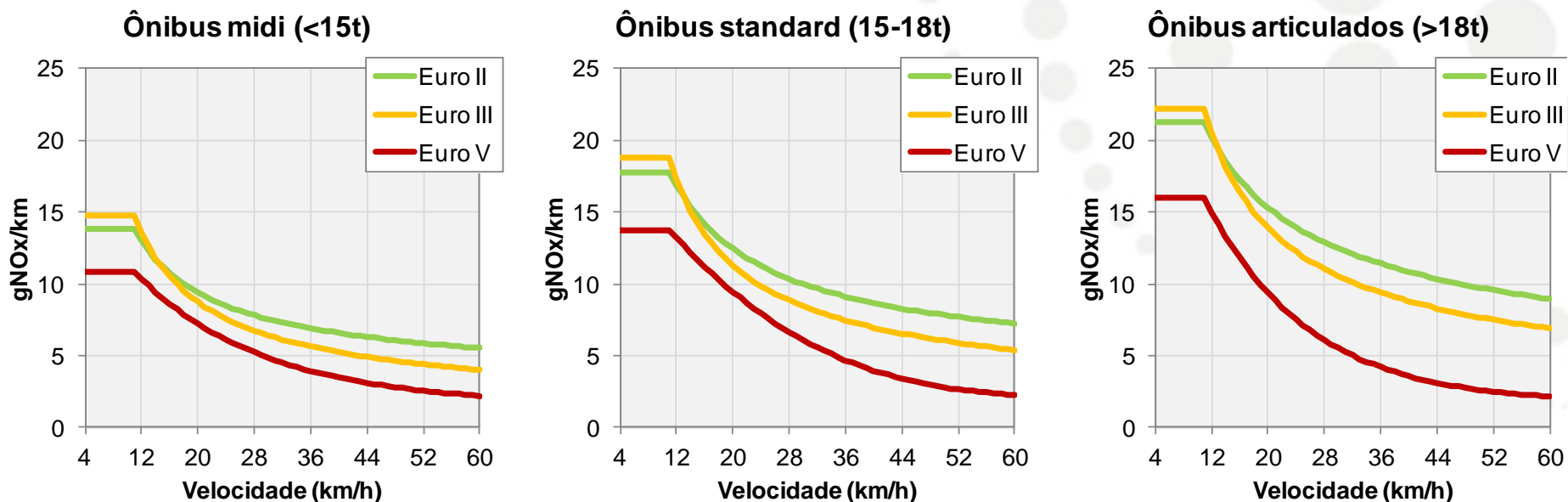
- Dados de entrada
- Dados de saída
- Processamento de dados
- Análise

# Fatores de emissão de $MP_{\text{escapamento}}$ em função da velocidade



Fatores de emissão de  $MP_{\text{combustão}}$  em função da velocidade, por porte de veículo e fase tecnológica (elaborado a partir de dados do ARTEMIS)

# Fatores de emissão de NOx em função da velocidade



Fatores de emissão de NOx em função da velocidade, por porte de veículo e fase tecnológica (elaborado a partir de dados do ARTEMIS)

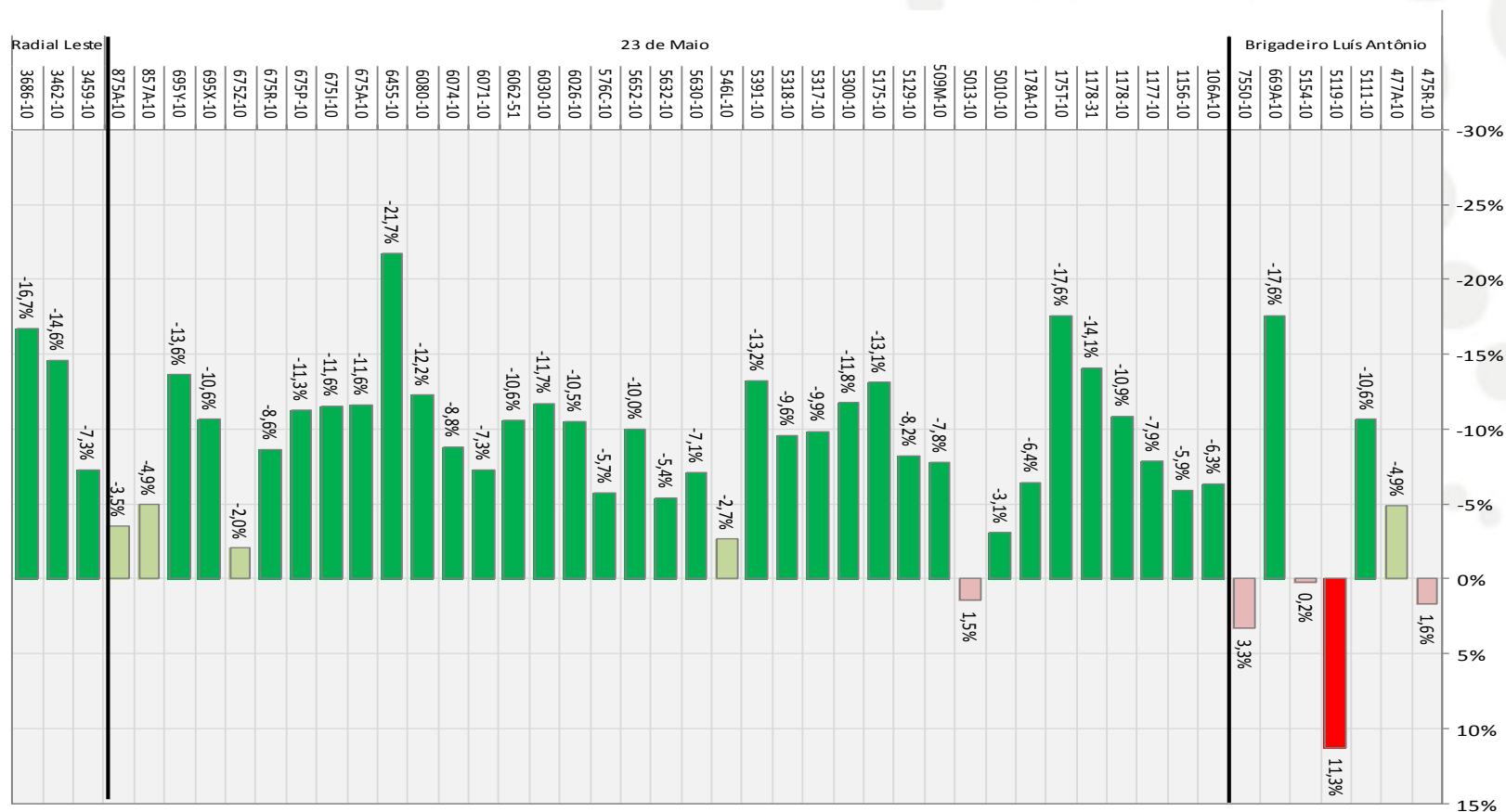
Fonte: COPERT 4 (EEA - *European Environment Agency*)



## 4. Redução nas emissões de poluentes locais

### 4.1 Resultados

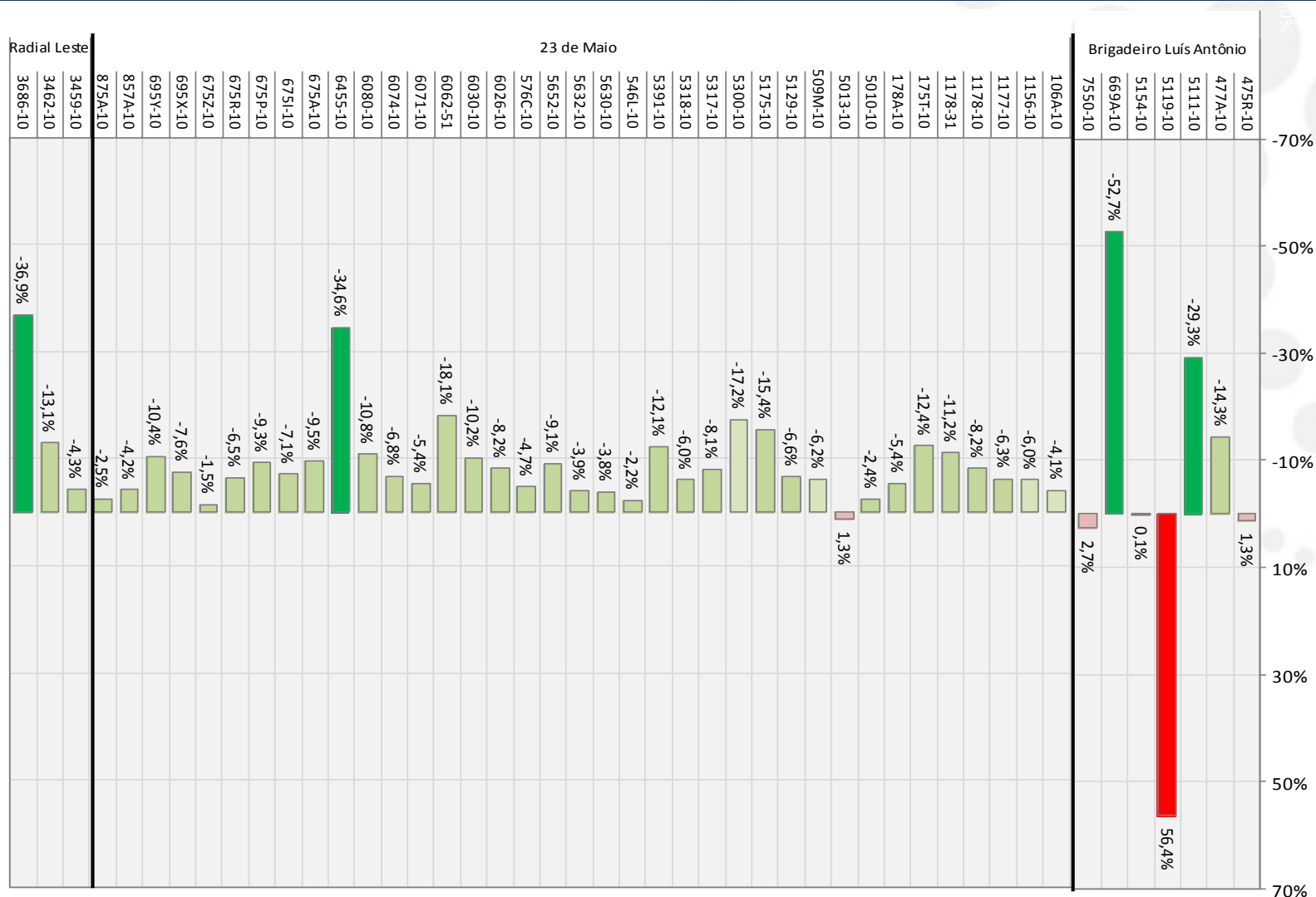
# Varição nas emissões de NOx (óxidos de nitrogênio) nos trechos de faixa nas horas-pico, em %



O aumento nas emissões de óxidos de nitrogênio das linhas que operam na faixa da Av. Brigadeiro decorrem de mudanças ocorridas no perfil tecnológico da frota, e não da implantação das faixas.

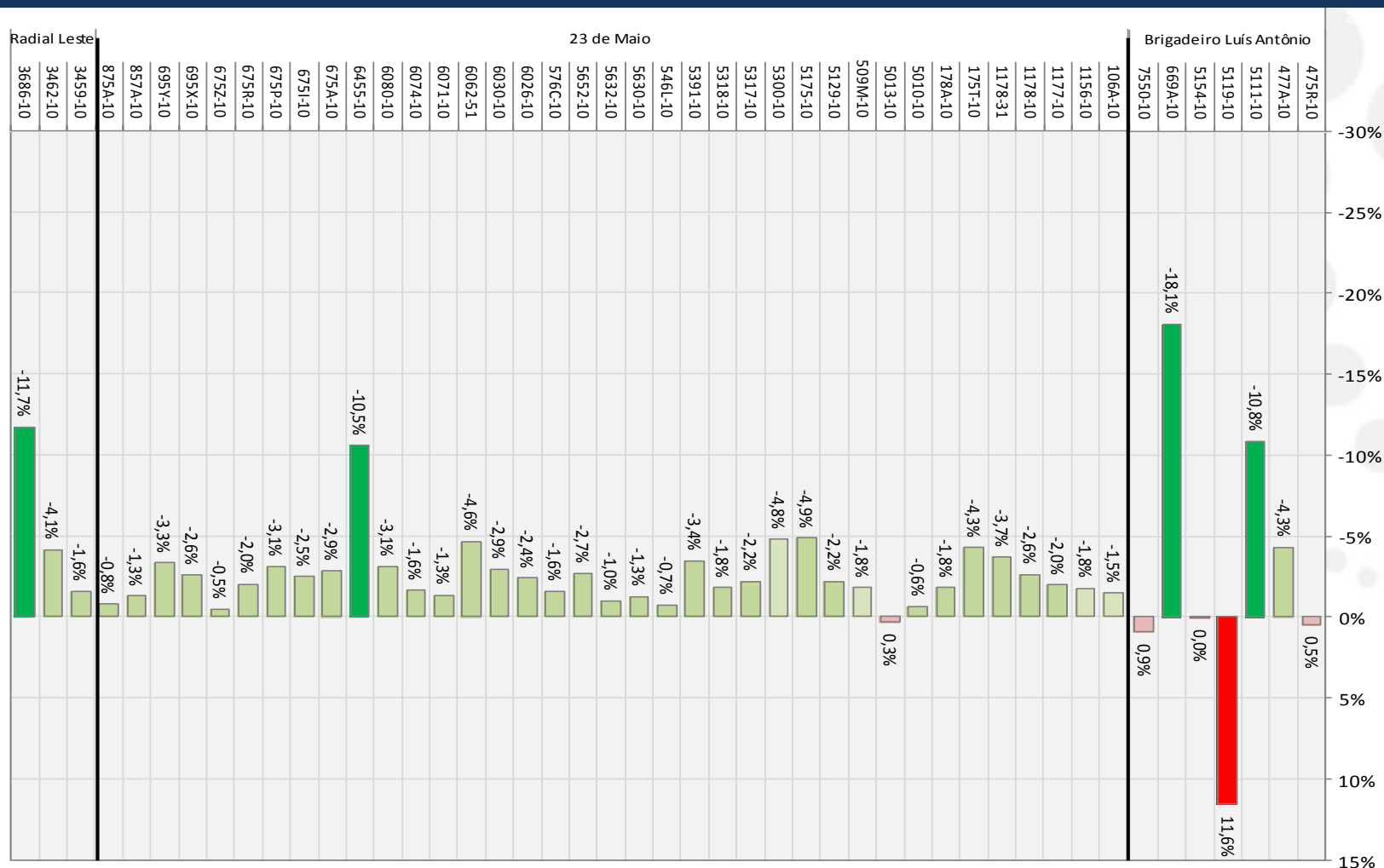


# Varição nas emissões de MP<sub>escapamento</sub> nos trechos de faixa nas horas-pico, em %, entre set/2012 e set/2013



O aumento nas emissões de material particulado das linhas que operam na faixa da Av. Brigadeiro decorrem de mudanças ocorridas no perfil tecnológico da frota, e não da implantação das faixas.

# Varição nas emissões de MP<sub>total</sub>\* nos trechos de faixa nas horas-pico, em %, entre set/2012 e set/2013



O aumento nas emissões de material particulado das linhas que operam na faixa da Av. Brigadeiro decorrem de mudanças ocorridas no perfil tecnológico da frota, e não da implantação das faixas.

\*Inclui material particulado (MP) proveniente do desgaste de pneus, freios e pista.



## 5. Conclusões preliminares

**1. A implantação das faixas exclusivas tiveram um efeito positivo, especialmente nos horários de pico. Nas linhas de ônibus que utilizam as faixas verificou-se reduções no tempo de viagem, no consumo de combustível e nas emissões de poluentes atmosféricos (NOx, MP) e gases de efeito estufa (CO2).**

**2. Existe uma grande variação no desempenho das faixas e das linhas (ganhos de velocidade), em função das especificidades quanto a:**

- ***Condições das vias:** declividade, número de interseções, tempos de semáforo, número de faixas por sentido, volume de tráfego*
- ***Características das linhas** que por elas circulam: trajeto, pontos de parada, sobe e desce, tempo de embarque e desembarque (linhas que circulam pela mesma faixa exclusiva demonstram comportamentos variados)*

**3. É recomendável avaliar detalhadamente alguns fatores que influenciam o desempenho das faixas – faixas de ultrapassagem, tratamento dos pontos de parada, sinalização semafórica, etc. - de modo a:**

- (i) identificar as intervenções necessárias para ampliar os benefícios das faixas já implantadas e,
- (ii) subsidiar o planejamento da necessária expansão das faixas, em quantidade e extensão.

André Luís Ferreira – [andre@energiaambiente.org.br](mailto:andre@energiaambiente.org.br)

David Tsai – [david@energiaambiente.org.br](mailto:david@energiaambiente.org.br)

Hellem Miranda – [hellem@energiaambiente.org.br](mailto:hellem@energiaambiente.org.br)

Júlio Caldeira – [julio@energiaambiente.org.br](mailto:julio@energiaambiente.org.br)

Marcelo Cremer – [marcelo@energiaambiente.org.br](mailto:marcelo@energiaambiente.org.br)

Renato Boareto – [boareto@energiaambiente.org.br](mailto:boareto@energiaambiente.org.br)

---

**Instituto de Energia e Meio Ambiente**

**[www.energiaambiente.org.br](http://www.energiaambiente.org.br)**

**Rua Ferreira de Araújo, 202 · 10º and. · cj.101, 05428-000 · Pinheiros · São Paulo · SP · Brasil**

**Tel. 55 11 3476 2850 · Fax 55 11 3476 2853**