PET 19566

COPPETEC
FUNDAÇÃO

2015

Comparativo de consumo de combustível entre ônibus equipados com aparelhos de ar condicionado e ônibus convencionais

COPPE
UFRJ

PET
L
T
C
COPPE/UFRJ

Comparativo de consumo de combustível entre ônibus equipados com aparelhos de ar condicionado e ônibus convencionais

RELATÓRIO PARCIAL 1

EMITIDO EM: 22/10/2015

EQUIPE TÉCNICA:

COORDENAÇÃO:

Profº. Márcio de Almeida D'Agosto

dagosto@pet.coppe.ufrj.br

PESQUISADORES:

Daniel Neves Schmitz Gonçalves

danielnsg@pet.coppe.ufrj.br

Rafael Carvalho de Queiroz

rafael@dme.ufrj.br

Laboratório de Transporte de Carga – LTC/PET/COPPE/UFRJ

Introdução

Este relatório tem como objetivo identificar o rendimento energético (km/l) e os coeficientes de consumo (l/km) dos ônibus equipados com aparelhos de ar condicionado, identificando o impacto deste equipamento em ambos os casos, considerando os seguintes tipos de veículo:

1) Ônibus urbano convencional;
2) Ônibus urbano convencional com ar condicionado;
3) Ônibus rodoviário com ar condicionado;
4) Ônibus urbanos articulados com ar condicionado.

Os dados referentes aos ônibus dos tipos 1,2 e 3 foram coletados pela Rodoviária Âncora Matias Ltda. Já os dados referente ao ônibus do tipo 4, pela Viação Redentor Ltda.

2. Metodologia

O rendimento energético dos veículos foi avaliado em quilômetros por litro (km/l), sendo obtido com base na relação entre a quilometragem que cada veículo rodou entre os abastecimentos e o volume abastecido em cada veículo. Já o coeficiente de consumo dos veículos foi avaliado em litro por quilômetro, sendo obtido com base na relação entre o volume abastecido em cada veículo e a quilometragem que cada veículo rodou entre os abastecimentos.

Para cada uma das medidas selecionadas, os dados levantados em campo (geração e coleta) foram tabulados em uma planilha Microsoft Excel. Foi realizado um tratamento de consistência dos dados, onde se verificou erros de coleta e foram feitos ajustes relacionados à sequência de preenchimento dos dados. Após esse tratamento, os dados foram encaminhados para o tratamento pela metodologia estatística.

Calculou-se a média ($\bar{X}$) de cada ônibus no período de cada mês de estudo, em seguida foi calculado a mensal referente ao mesmo ônibus, então efetuou-se o cálculo da média dos ônibus em pauta.

Os cálculos da média ($\bar{X}$) e do desvio padrão (σ) foram obtidos por meio das equações (1) e (2), respectivamente. O nível de significância adotado foi de 5%.

$$\bar{X} = \frac{\sum X_i}{n}, \text{ onde } i=1,\ldots,n \text{ (n tamanho da amostra)} \quad (1)$$

$$\sigma = \frac{\sum (X_i - \bar{X})}{n-1} \quad (2)$$

O intervalo de confiança para a média a um nível de 5% de significância foi determinado por meio da equação (3).

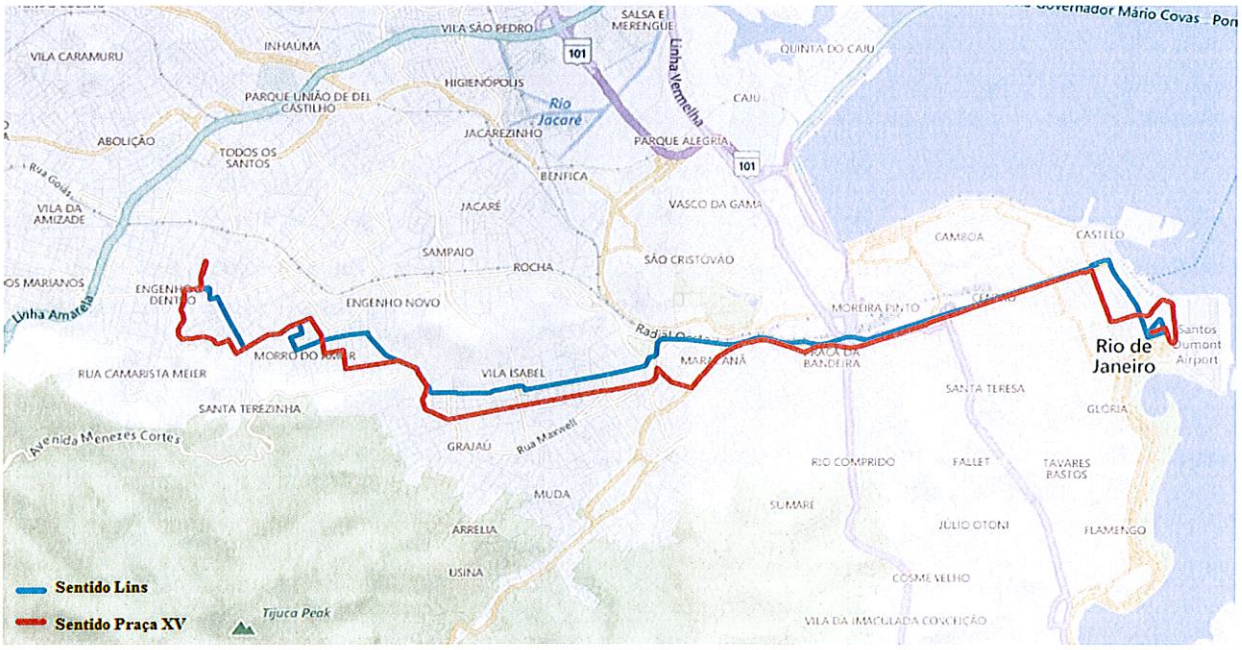
$$IC = \left(\bar{X} \pm t_{1-\frac{\alpha}{2}} \frac{S}{\sqrt{n}}\right) \quad (3)$$

3. Análises realizadas

Nos próximos subitens as análises para cada caso serão detalhadas.

3.1. Ônibus urbano convencional

Foram obtidos dados de operações diárias referentes aos meses de março, abril e maio de 2015, de um total de 50 veículos (ver tabela 1), divididos em três linhas: 232 (Lins x Praça XV), 249 (Circular: Agua Santa x Carioca) e 606 (Engenho de Dentro x Rodoviária). O itinerário referente as linhas 232, 249 e 606 são ilustrados nas figuras 1,2 e 3, respectivamente.

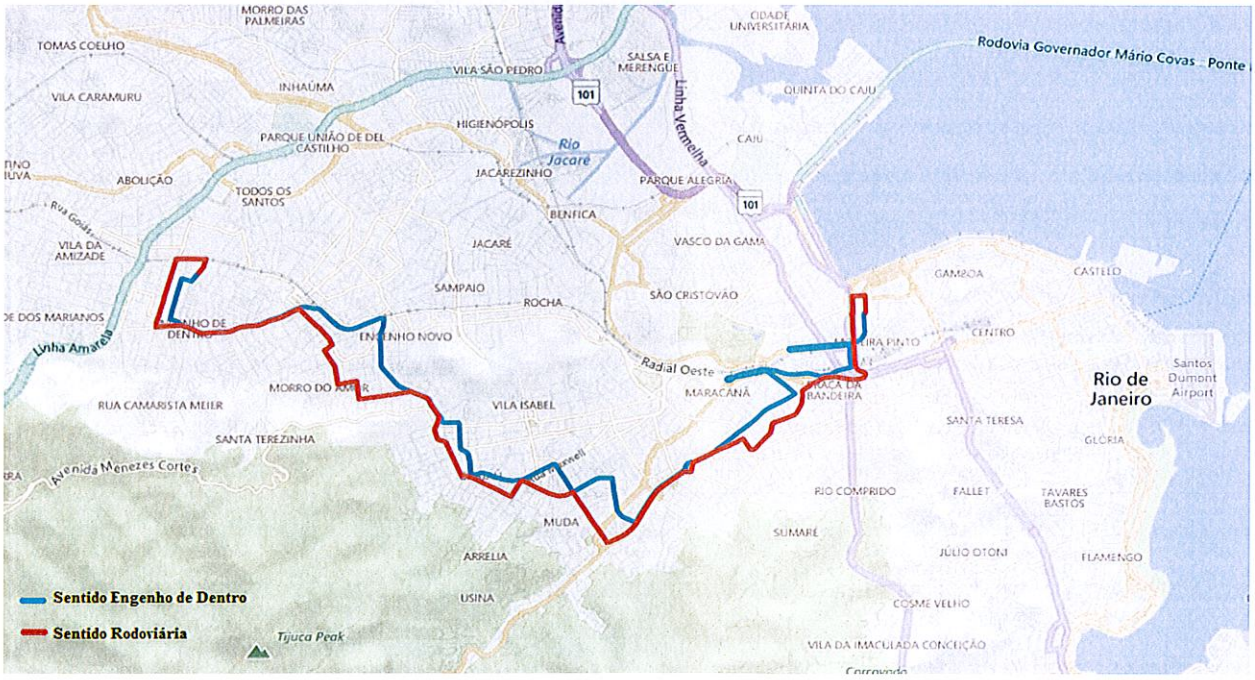


Fonte: adaptado de FETRANSPOR (2015).

Figura 1: Itinerário Linha 232 (Lins x Castelo).

Fonte: adaptado de FETRANSPOR (2015).

Figura 2: Itinerário Linha 249 (Água Santa x Carioca).



Fonte: adaptado de FETRANSPOR (2015).

Figura 3: Itinerário Linha 606 (Engenho de Dentro x Rodoviária).

Tabela 1: Características dos ônibus urbanos convencionais.

Carro	N° da linha	N°.Chassis	Marca/Modelo do Chassis	Tipo do Motor	Ano de Fabricação	Marca/Modelo da Carroceria
25529	232	9BM384078EB941031	MBB OF 1721/59 EURO5	OM 924LA	2013	MARCOPOLO TORINO
25530		9BM384078EB941037				
25604		9BM384078EB941063				
25514	249	9BM384078EB941003	MBB OF 1721/59 EURO5	OM 924LA	2013	MARCOPOLO TORINO
25540		9BM384078EB926346				
25565		9BM384078EB926363				
25574		9BM384078EB926425				
25575		9BM384078EB926584				
25576		9BM384078EB926591				
25590		9BM384078EB926593				
25592		9BM384078EB926600				
25593		9BM384078EB926614				
25597		9BM384078EB926818				
25607		9BM384078EB926824				
25502	606	9BM384078EB941013	MBB OF 1721/59 EURO5	OM 924LA	2013	MARCOPOLO TORINO
25509		9BM384078CB855738	MBB OF 1721/59 EURO5		2012	
25511		9BM384078CB855744	MBB OF 1721/59 EURO5		2012	
25513		9BM384078EB940957	MBB OF 1721/59 EURO5		2013	
25516		9BM384078CB855783	MBB OF 1721/59 EURO5		2012	
25517		9BM384078CB855796	MBB OF 1721/59 EURO5		2012	
25520		9BM384078EB941009	MBB OF 1721/59 EURO5		2013	
25521		9BM384078EB941011	MBB OF 1721/59 EURO5		2013	
25522		9BM384078CB855746	MBB OF 1721/59 EURO5		2012	
25525		9BM384078EB941017	MBB OF 1721/59 EURO5		2013	
25527		9BM384078EB941023	MBB OF 1721/59 EURO5		2013	
25535		9BM384078CB834860	MBB OF 1722/59		2012	
25536		9BM384078CB835299	MBB OF 1722/59		2012	
25539		9BM384078CB855750	MBB OF 1721/59 EURO5		2012	
25541		9BM384078CB835307	MBB OF 1722/59		2012	
25542		9BM384078CB857247	MBB OF 1721/59 EURO5		2012	
25546		9BM384078CB834061	MBB OF 1722/59		2012	
25547		9BM384078CB834067	MBB OF 1722/59		2012	
25548		9BM384078CB834069	MBB OF 1722/59		2012	
25549		9BM384078CB835315	MBB OF 1722/59		2012	
25550		9BM384078CB835317	MBB OF 1722/59		2012	
25552		9BM384078CB855755	MBB OF 1721/59 EURO5		2012	
25554		9BM384078CB857249	MBB OF 1721/59 EURO5		2012	
25556		9BM384078CB835327	MBB OF 1722/59		2012	
25559		9BM384078CB855761	MBB OF 1721/59 EURO5		2012	
25561		9BM384078CB855724	MBB OF 1721/59 EURO5		2012	
25562		9BM384078CB855726	MBB OF 1721/59 EURO5		2012	
25563		9BM384078CB855732	MBB OF 1721/59 EURO5		2012	
25564		9BM384078CB855734	MBB OF 1721/59 EURO5		2012	

25567	9BM384078CB835297	MBB OF 1722/59	2012
25569	9BM384078CB855764	MBB OF 1721/59 EURO5	2012
25588	9BM384078CB855776	MBB OF 1721/59 EURO5	2012
25594	9BM384078EB941043	MBB OF 1721/59 EURO5	2013
25605	9BM384078EB941066	MBB OF 1721/59 EURO5	2013
25613	9BM384078EB941440	MBB OF 1721/59 EURO5	2013
25560	9BM384078CB857252	MBB OF 1721/59 EURO5	2012

Analisando a tabela 1, pode-se observar que 72% dos veículos pertencem a linha 606, 22% a linha 249 e 6% a linha 232. Em relação aos anos de utilização do veículo, 54% estão a três anos em circulação e 46% a dois anos.

Para ambas a análise do rendimento energético e do coeficiente de consumo, foram considerados apenas os dias úteis, sendo removidos os dias não típicos (finais de semanas e feriados). O rendimento energético médio dos ônibus urbanos convencionais é de 2,567 km/l, com um desvio-padrão de 0.106 km/l, um mínimo de 2.549 km/ l e o máximo de 2,609 km/l, dado um intervalo de confiança a um nível de 5% de significância. A figura 4 ilustra o rendimento energético médio e sua variação ao longos dos meses.

A média do coeficiente de consumo dos ônibus urbanos convencionais é de 0,402 l/km, com um desvio-padrão de 0,019 l/km, um mínimo de 0,397 l/km e o máximo de 0,408 l/km, dado um intervalo de confiança a um nível de 5% de significância. A figura 5 ilustra o coeficiente de consumo médio e sua variação ao longos dos meses.

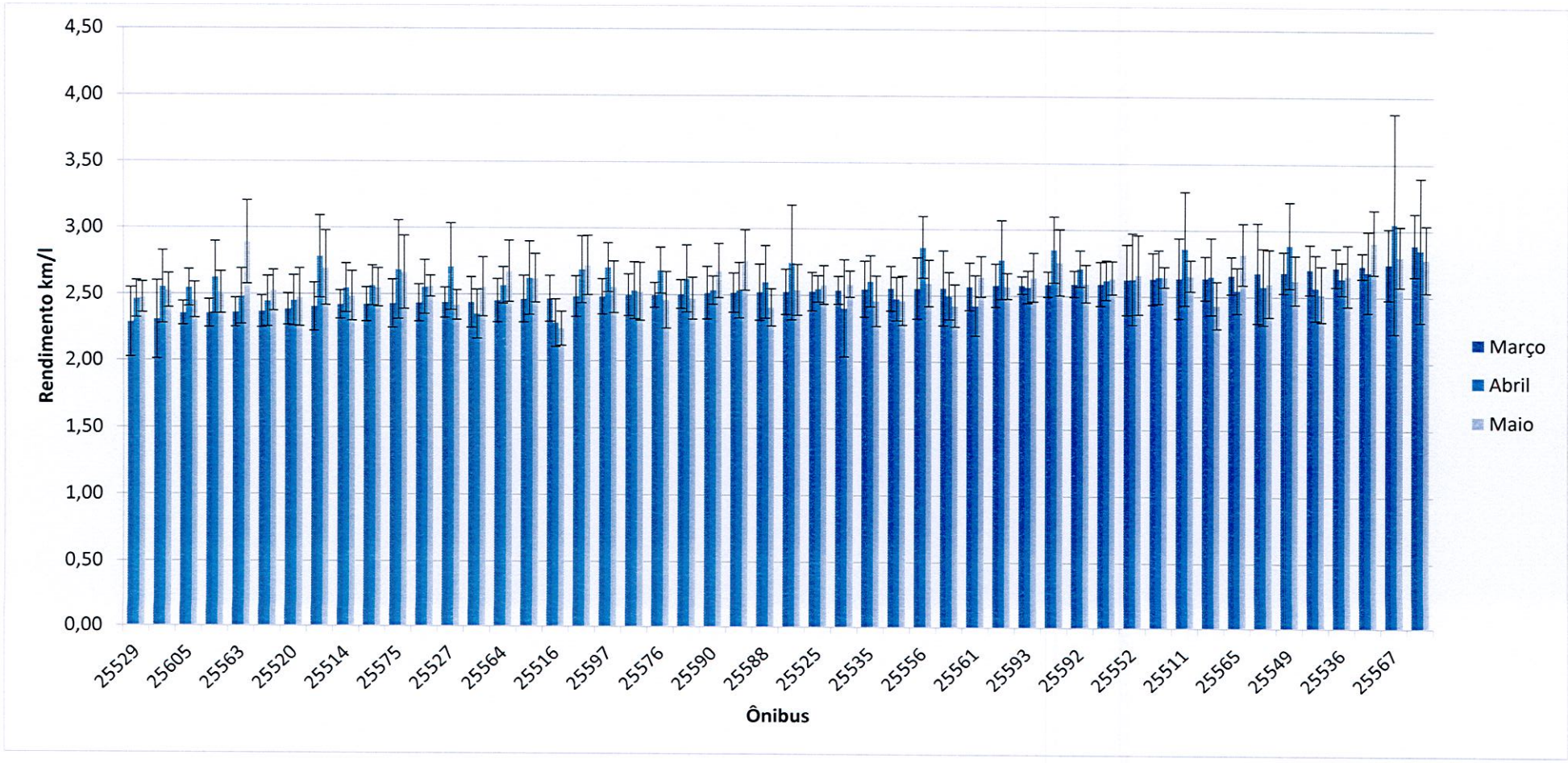


Figura 4: Rendimento energético médio do ônibus urbano convencional.

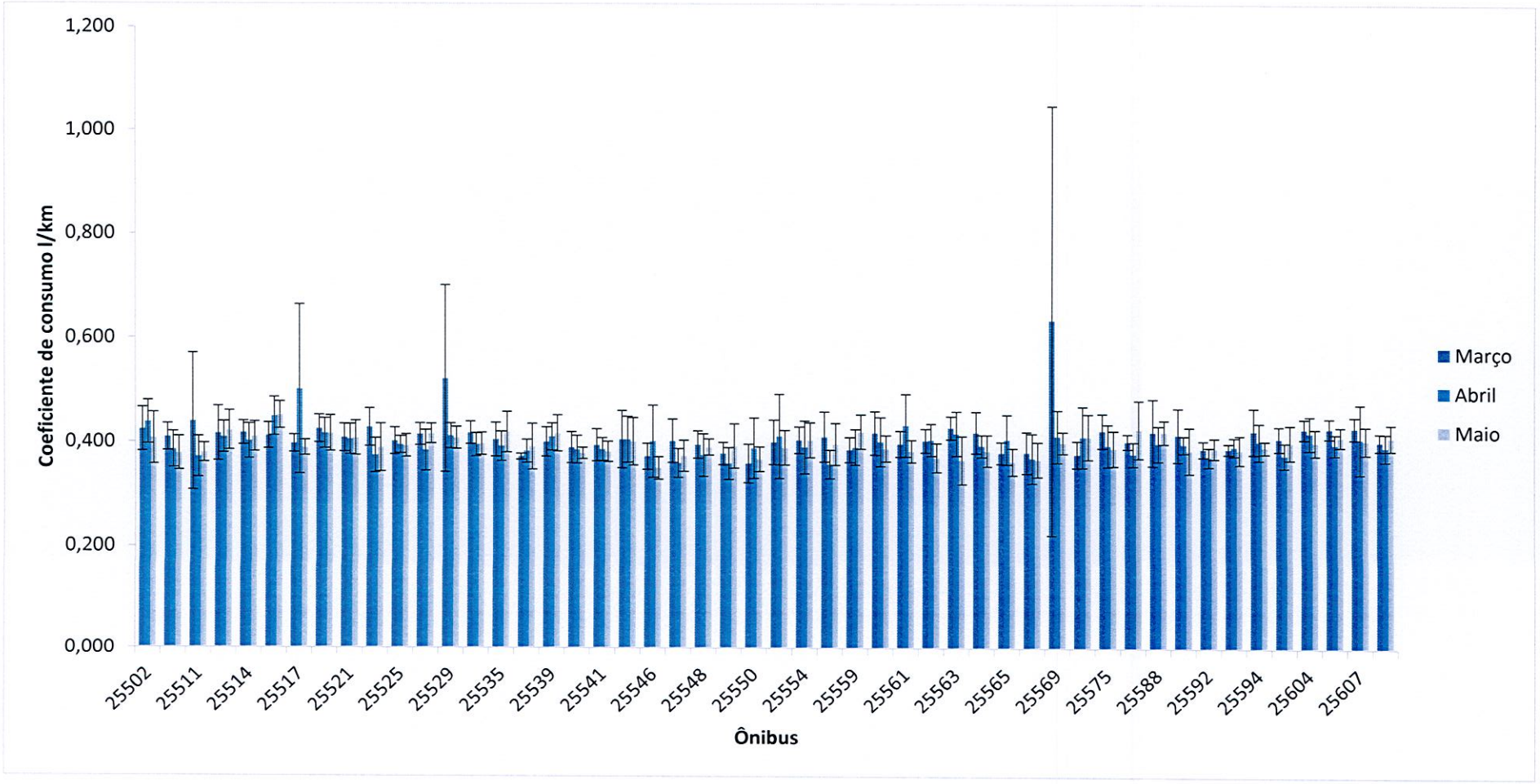


Figura 5: Coeficiente de consumo médio do ônibus urbano convencional.

3.2.Ônibus urbano convencional com ar condicionado

Quanto aos ônibus do tipo urbano convencional com ar condicionado, foram obtidos dados referentes ao mesmo período de tempo do ônibus convencional sem ar condicionado, de um total de 41 veículos (ver tabela 2), divididos em duas linhas: 232 (Lins x Praça XV) e 249 (Circular: Agua Santa x Carioca).

Tabela 2: Características dos ônibus urbanos convencionais com ar condicionado

Numero	Linha	N° Chassis	Marca/Modelo do Chassis	Tipo do Motor	Ano de Fabricação	Marca/Modelo da Carroceria
25501		9BM384078EB970945				
25507		9BM384078EB970949				
25508		9BM384078EB970964				
25519		9BM384078EB971172				
25523		9BM384078EB971190				
25531		9BM384078EB971218				
25543		9BM384078EB971222				
25577		9BM384078EB971572				
25579		9BM384078EB971578				
25581	232	9BM384078EB971588	OF 1721/59 EURO5 AR	OM 924LA	2014	MARCOPOLO TORINO
25582		9BM384078EB971598				
25584		9BM384078EB971610				
25585		9BM384078EB971612				
25587		9BM384078EB971617				
25609		9BM384078EB971620				
25610		9BM384078EB971625				
25612		9BM384078EB971627				
25614		9BM384078EB971630				
25615		9BM384078EB971638				
25616		9BM384078EB971644				
25545		9BM384078EB961242				
25570		9BM384078EB949375				
25571		9BM384078EB961248				
25572		9BM384078EB961251				
25578		9BM384078EB950083				
25580		9BM384078EB950127				
25583		9BM384078EB950138				
25586		9BM384078EB961254				
25589	249	9BM384078EB953943	OF 1721/59 EURO5 AR OM 924LA		2014 INDU APACHE	
25591		9BM384078EB961229				
25595		9BM384078EB961855				
25596		9BM384078EB961897				
25598		9BM384078EB961256				
25599		9BM384078EB961258				
25600		9BM384078EB961263				
25601		9BM384078EB961901				
25602		9BM384078EB961905				

25603	9BM384078EB961265
25606	9BM384078EB961267
25608	9BM384078EB961597
25611	9BM384078EB961910

Analisando a tabela 2, pode-se observar que 51% dos veículos pertencem a linha 249 e 49% a linha 232. Em relação aos anos de utilização do veículo, todos foram fabricados em 2014.

Para análise do rendimento e do coeficiente, assim como na análise anterior, foram considerados apenas os dias úteis. O rendimento energético médio dos ônibus urbanos convencionais é de 1,931 km/l, com um desvio-padrão de 0,070 km/l, um mínimo de 1,909 km/l e um máximo de 1,953 km/l. A figura 6 ilustra o rendimento energético médio e sua variação ao longo dos meses.

O coeficiente de consumo médio dos ônibus urbanos convencionais é de 0,538 l/km, com um desvio-padrão de 0,025 l/km, um mínimo de 0,530 l/km e um máximo de 0,546 l/km. A figura 7 ilustra o coeficiente de consumo médio e sua variação ao longos dos meses.

Pôde-se observar que o ônibus urbano convencional com ar condicionado possui um coeficiente de consumo (l/km) 33,83% superior ao convencional sem ar condicionado. Valor próximo ao obtido por Jaybhay, Nagarhalli, Tadigadapa e Hari Kapoor (2015), que realizaram um estudo na Índia comparando o rendimento de micro-ônibus (estrada e cidade) e ônibus urbano convencional (intermunicipal) com e sem aparelho de ar condicionado, chegando à conclusão que o rendimento do micro-ônibus com ar condicionado foi inferior entre 25-28% na estrada e entre 28-32% na cidade. Já o ônibus urbano convencional com ar condicionado teve um rendimento inferior entre 17-18%.

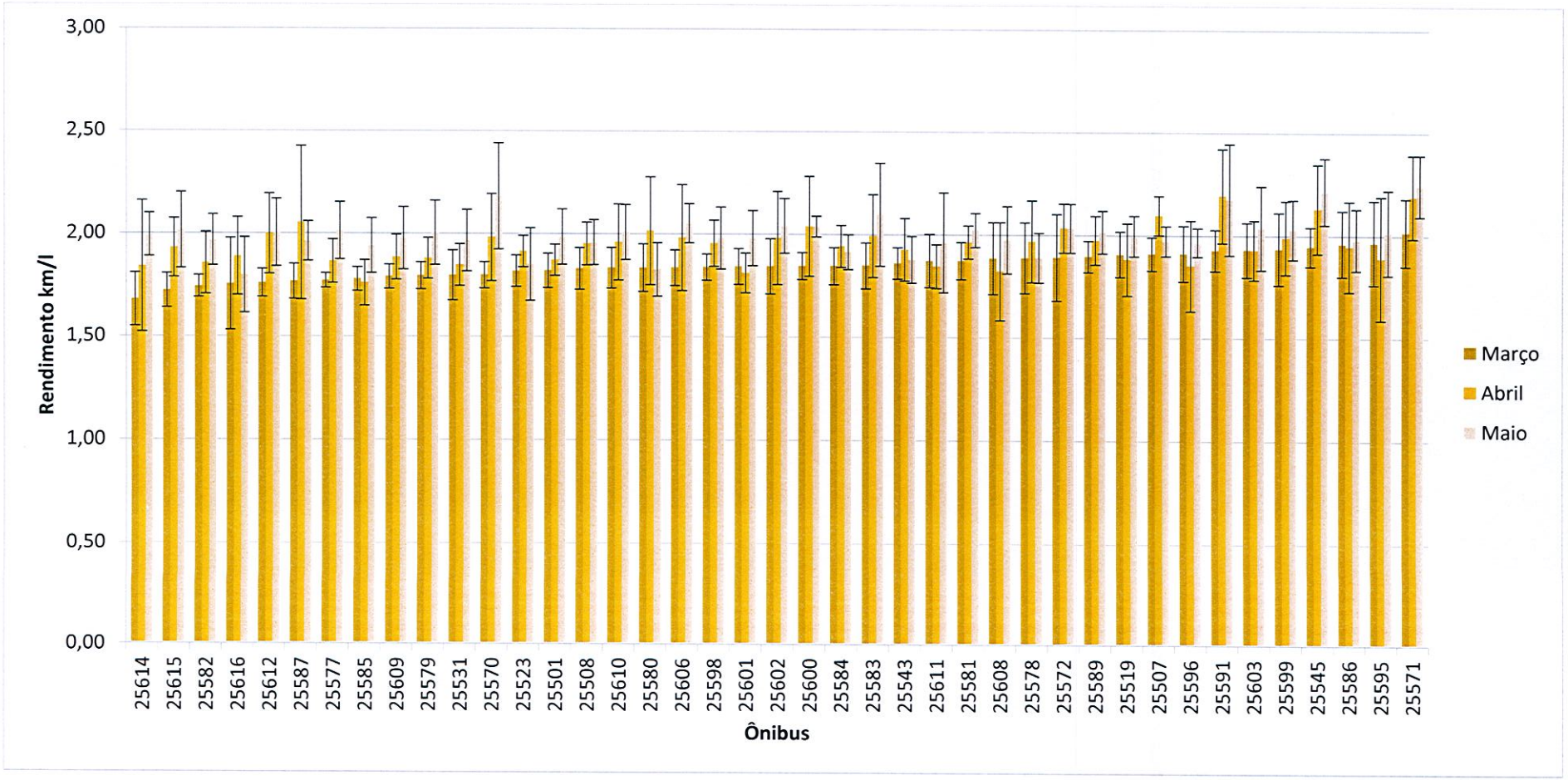


Figura 6: Rendimento energético médio do ônibus urbano convencional com ar condicionado

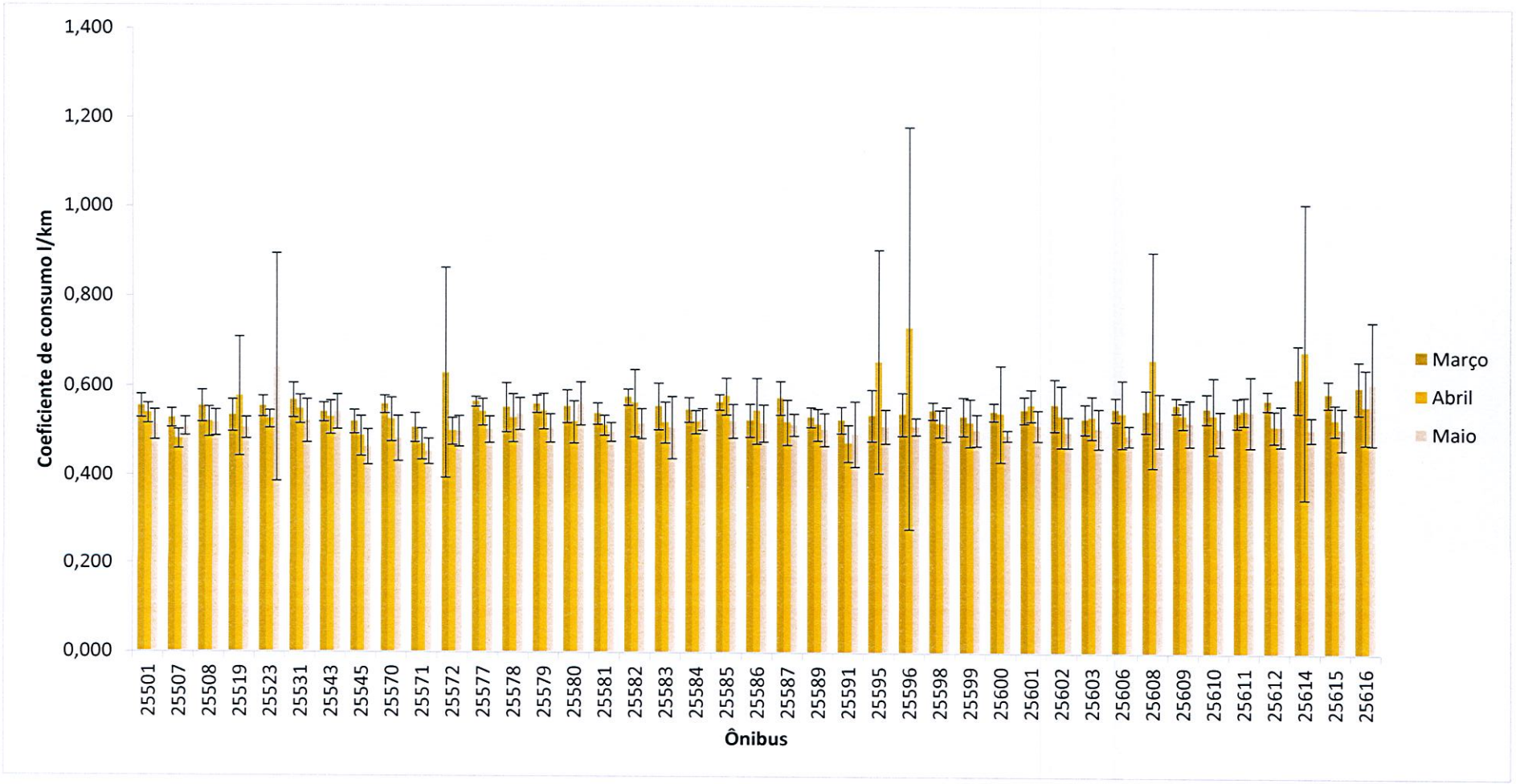


Figura 7: Coeficiente de consumo médio do ônibus urbano convencional com ar condicionado

3.3. Ônibus Rodoviário com ar condicionado

Foram obtidos dados referentes ao mesmo período de tempo dos ônibus convencionais, de um total de 27 veículos, que são detalhados na tabela 3. Analisando a tabela identifica-se que 55,55% dos veículos foram fabricados em 2013, 25,93% em 2014 e 18,52% em 2012, sendo 81,48% com o modelo da carroceria Audace e 18,52% Ideale.

Tabela 3: Características dos ônibus rodoviários

Número	N° Chassis	Marca/Modelo do Chassis	Tipo do Motor	Ano de Fabricação	Marca/Modelo da Carroceria
25801	9BM384078DB904367			2013	MARCOPOLO AUDACE
25802	9BM384078DB904374			2013	MARCOPOLO AUDACE
25803	9BM384078DB904396			2013	MARCOPOLO AUDACE
25804	9BM384078DB904369			2013	MARCOPOLO AUDACE
25805	9BM384078DB904381			2013	MARCOPOLO AUDACE
25806	9BM384078DB904388			2013	MARCOPOLO AUDACE
25807	9BM384078DB904392			2013	MARCOPOLO AUDACE
25808	9BM384078DB904383			2013	MARCOPOLO AUDACE
25809	9BM384078DB904768			2013	MARCOPOLO AUDACE
25810	9BM384078DB904843			2013	MARCOPOLO AUDACE
25811	9BM384078CB855752			2012	MARCOPOLO IDEALE
25812	9BM384078CB855778			2012	MARCOPOLO IDEALE
25813	9BM384078CB855757			2012	MARCOPOLO IDEALE
25814	9BM384078CB855799	OF 1721/59 EURO5 AR	OM 924LA	2012	MARCOPOLO IDEALE
25815	9BM384078CB855762			2012	MARCOPOLO IDEALE
25816	9BM384078DB895022			2013	MARCOPOLO AUDACE
25817	9BM384078DB895025			2013	MARCOPOLO AUDACE
25818	9BM384078DB895468			2013	MARCOPOLO AUDACE
25819	9BM384078DB895491			2013	MARCOPOLO AUDACE
25820	9BM384078DB902540			2013	MARCOPOLO AUDACE
25821	9BM384078EB950140			2014	MARCOPOLO AUDACE
25822	9BM384078EB950142			2014	MARCOPOLO AUDACE
25823	9BM384078EB950146			2014	MARCOPOLO AUDACE
25824	9BM384078EB950151			2014	MARCOPOLO AUDACE
25825	9BM384078EB950153			2014	MARCOPOLO AUDACE
25826	9BM384065EB958769			2014	MARCOPOLO AUDACE
25827	9BM384065EB958757			2014	MARCOPOLO AUDACE

Assim como nas análises anteriores, foram considerados apenas os dias úteis. O rendimento energético médio dos ônibus urbanos convencionais é de 2,215 km/l, com um desvio-padrão de 0,085 km/l, um mínimo de 2,182 km/l e um máximo de 2,249 km/l. A figura 8 ilustra o rendimento energético médio e sua variação ao longos dos meses.

O coeficiente de consumo médio dos ônibus urbanos convencionais é de 0,469 l/km, com um desvio-padrão de 0,021 l/km, um mínimo de 0,460 l/km e um máximo de 0,477 l/km. A figura 9 ilustra o coeficiente de consumo médio e sua variação ao longos dos meses.

Nota-se que o ônibus rodoviário com ar condicionado teve um coeficiente de consumo inferior em 14,71% ao ônibus urbano convencional com ar condicionado, podendo ser justificado pela menor lotação, já que o ônibus rodoviário só transporta passageiros sentados e pelo fato de possuir menos paradas em seu itinerário, o que também implica em uma menos abertura das portas, que também são em menor número e dimensão (largura) que as portas dos ônibus urbanos convencionais.

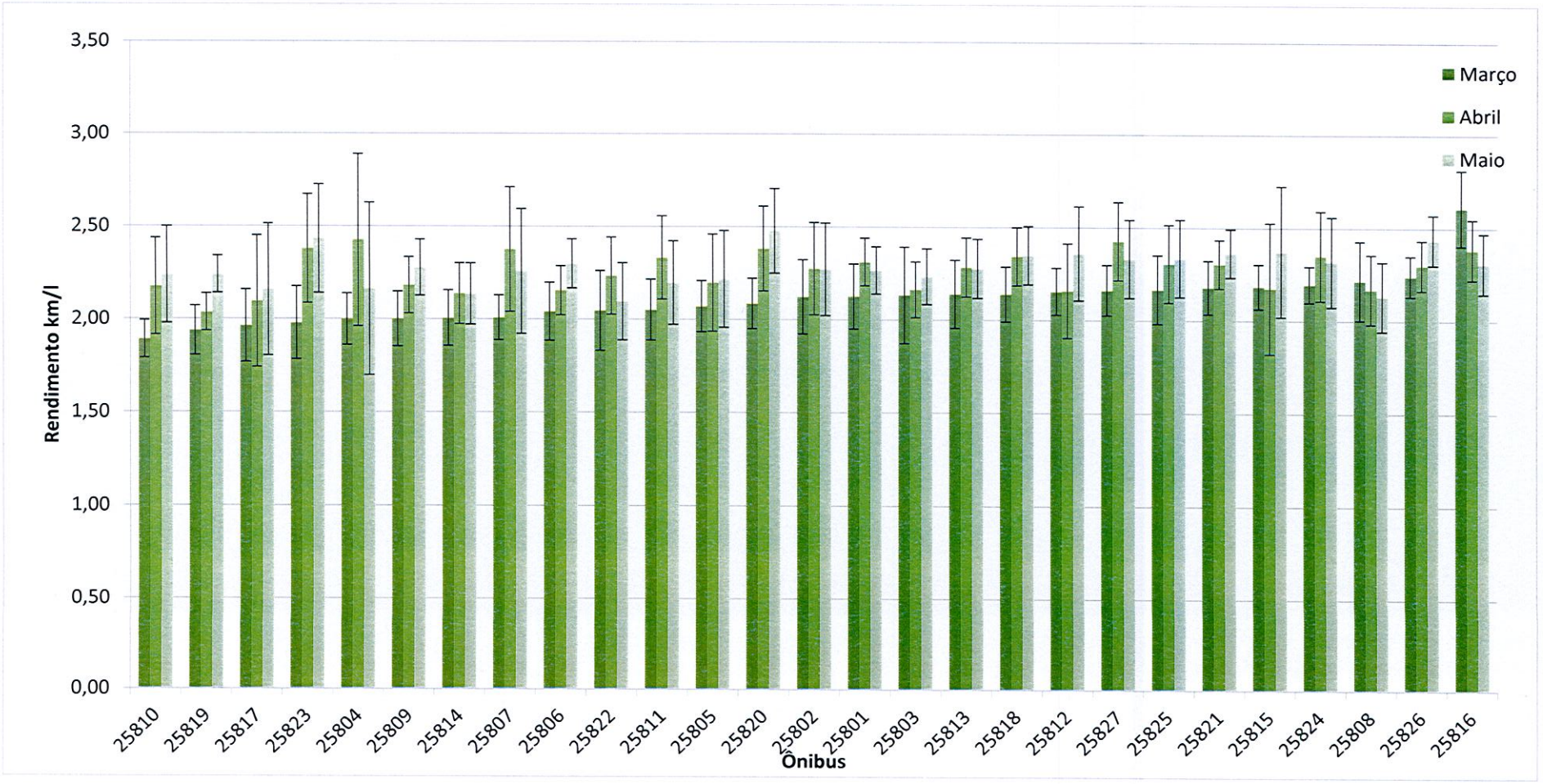


Figura 8: Rendimento energético médio do ônibus rodoviário

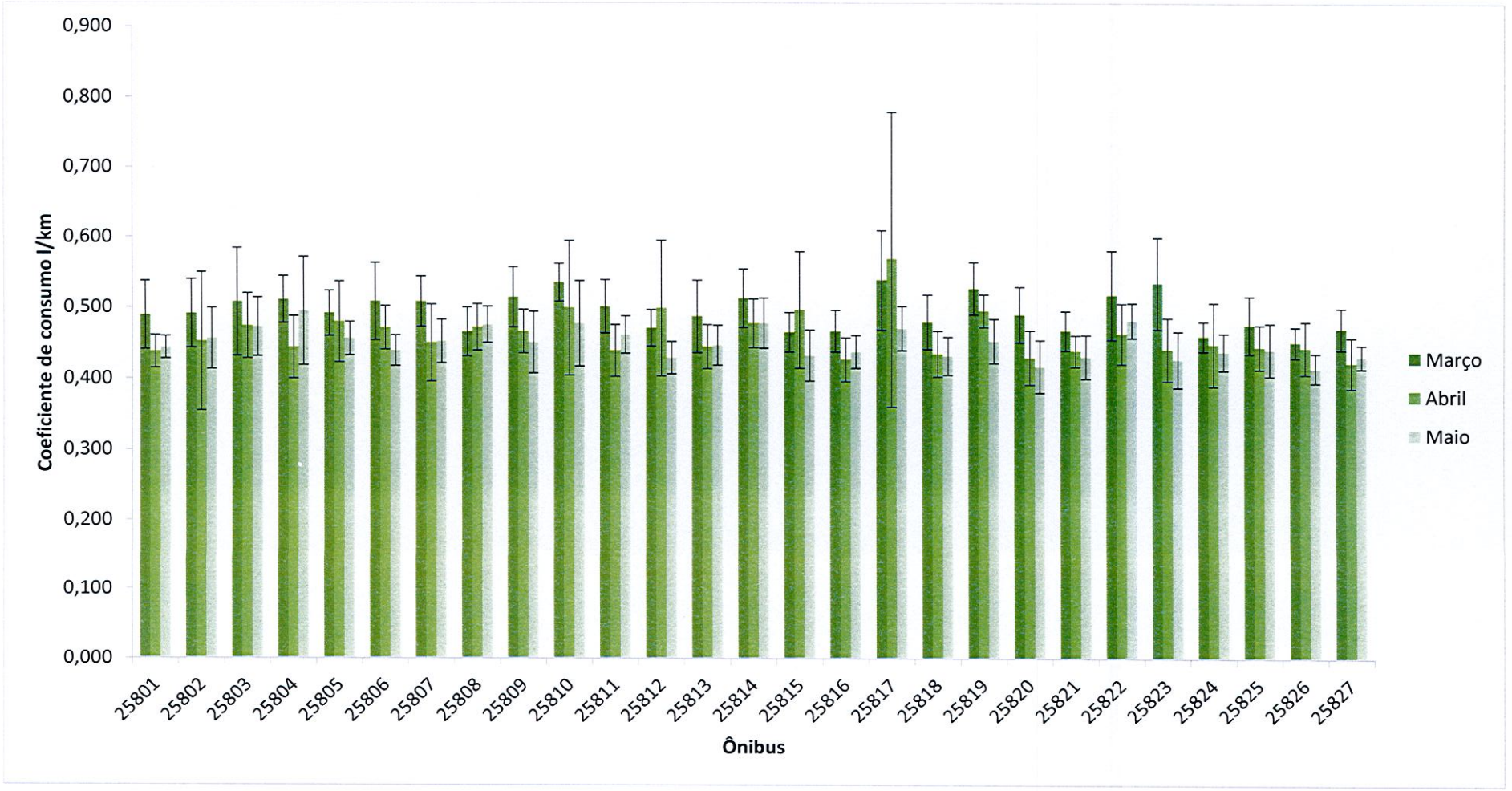


Figura 9: Coeficiente de consumo médio do ônibus rodoviário.

3.4. Ônibus urbanos articulados com ar condicionado

Foram obtidos dados de operações diárias do ônibus urbanos articulados com ar condicionados, que compreenderam os meses de julho a dezembro de 2014 e janeiro de 2015, de um total de 9 veículos (ver tabela 4), que circulam no corredor de BRT Transcarioca, que possui 39 km de extensão, ligando o bairro da Barra da Tijuca ao Aeroporto do Galeão. O corredor, ilustrado na Figura 10, possui 47 estações e 5 terminais, interligando 27 bairros: Barra da Tijuca, Jacarepaguá, Curicica, Cidade de Deus, Taquara, Tanque, Praça Seca, Campinho, Madureira, Cascadura, Engenheiro Leal, Turiaçu, Vaz Lobo, Vicente de Carvalho, Irajá, Vila da Penha, Vila Kosmos, Brás de Pina, Penha Circular, Penha, Olaria, Ramos, Bonsucesso, Complexo do Alemão, Maré, Fundão e Galeão.

Tabela 4: Ônibus urbanos articulados com ar condicionado

Número	Marca	Nº Chassis	Marca/Modelo do Chassis	Ano de Fabricação	Marca/Modelo da Carroceria
47004	VOLVO	9BVR9R321EE383871	Volvo B340	2013	NeoBus Mega BRT
47005		9BVR9R32XEE383643		2014	
13401		9BVR9R325EE383906		2013	
13403		9BVR9R327EE383907		2013	
13406		9BVR9R320EE383862		2013	
13407		9BVR9R322EE383863		2013	
13408		9BVR9R32XEE383769		2013	
13409		9BVR9R321EE383644		2013	
13412		9BVR9R323EE383645		2013	

Fonte: FETRANSPOR (2014).

Figura 10: Corredor do BRT Transcarioca.

Para análise do rendimento energético e do coeficiente de consumo, assim como nas análises anteriores, foram considerados apenas os dias úteis. O rendimento energético médio dos urbanos articulados com ar condicionado é de 1,321 km/l, com um desvio-padrão de 0,037 km/l, um mínimo de 1,293 km/l e um máximo de 1,350 km/l. A figura 11 ilustra o rendimento energético médio e sua variação ao longos dos meses.

O coeficiente de consumo médio dos ônibus urbanos articulados com ar condicionado é de 0,784 l/km, com um desvio-padrão de 0,036 l/km, um mínimo de 0,757 l/km e um máximo de 0,812 l/km. A figura 12 ilustra o coeficiente de consumo médio e sua variação ao longos dos meses.

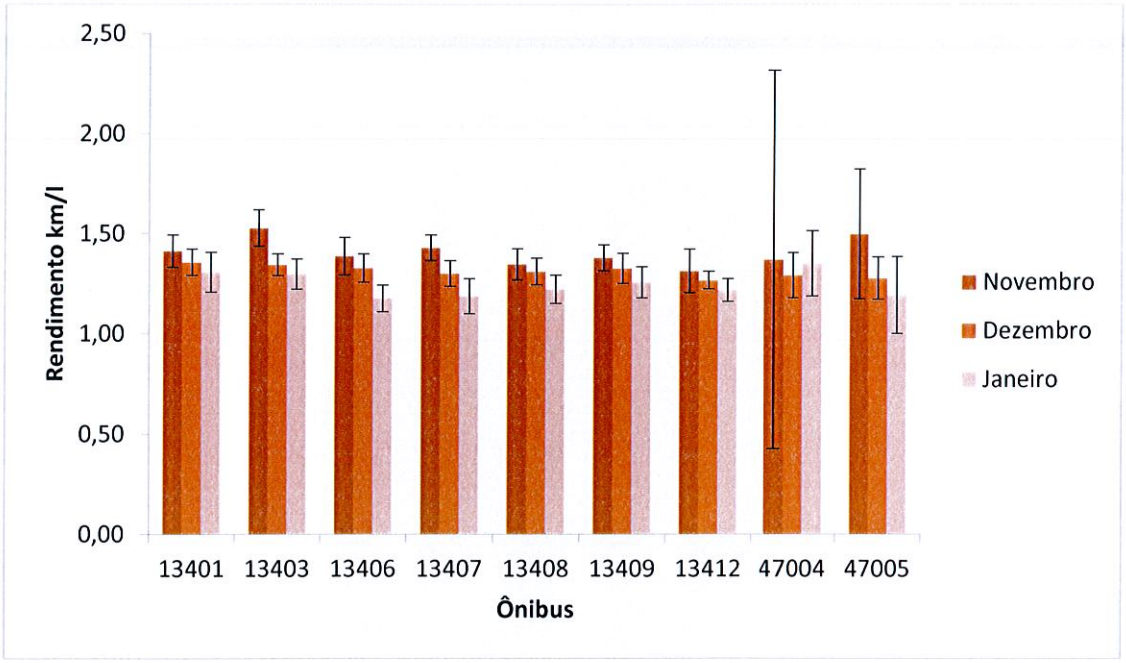


Figura 11: Rendimento energético médio do ônibus urbanos articulados com ar condicionado.

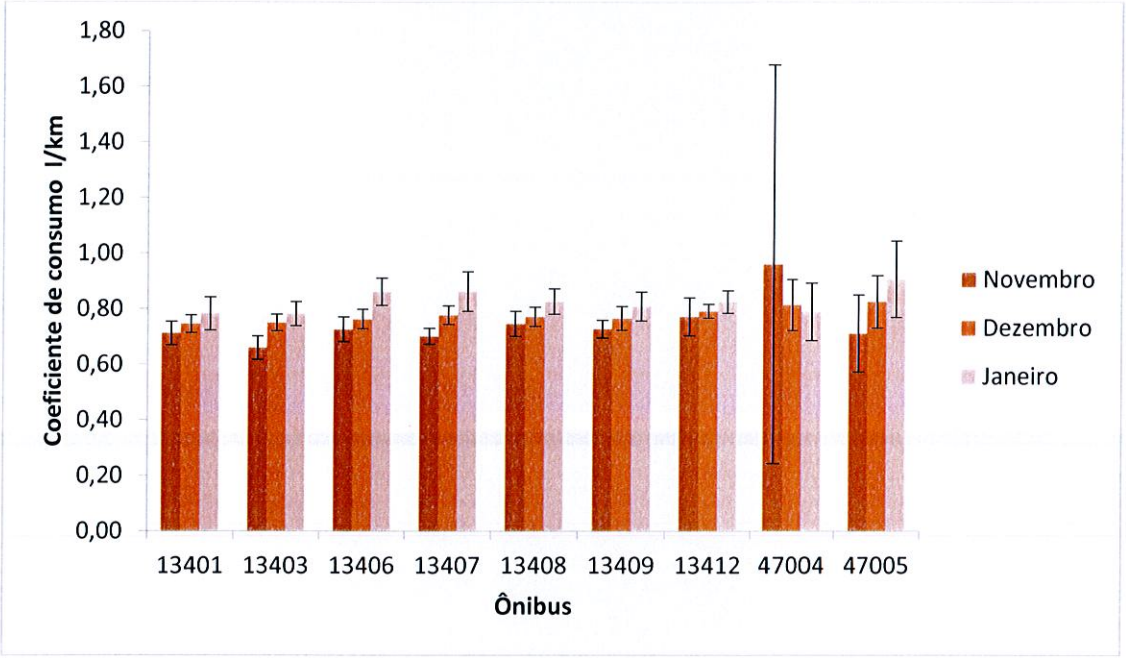


Figura 12: Coeficiente de consumo médio do ônibus urbanos articulados com ar condicionado.

4. Conclusão

Com base nas análises realizadas foi possível identificar o rendimento energético e o coeficiente de consumo de combustível dos ônibus urbanos tradicionais, ônibus urbanos com ar condicionado, ônibus rodoviários com ar condicionado e dos ônibus urbanos articulados com ar condicionado, que são ilustrados na figura 13 e 14, respectivamente.

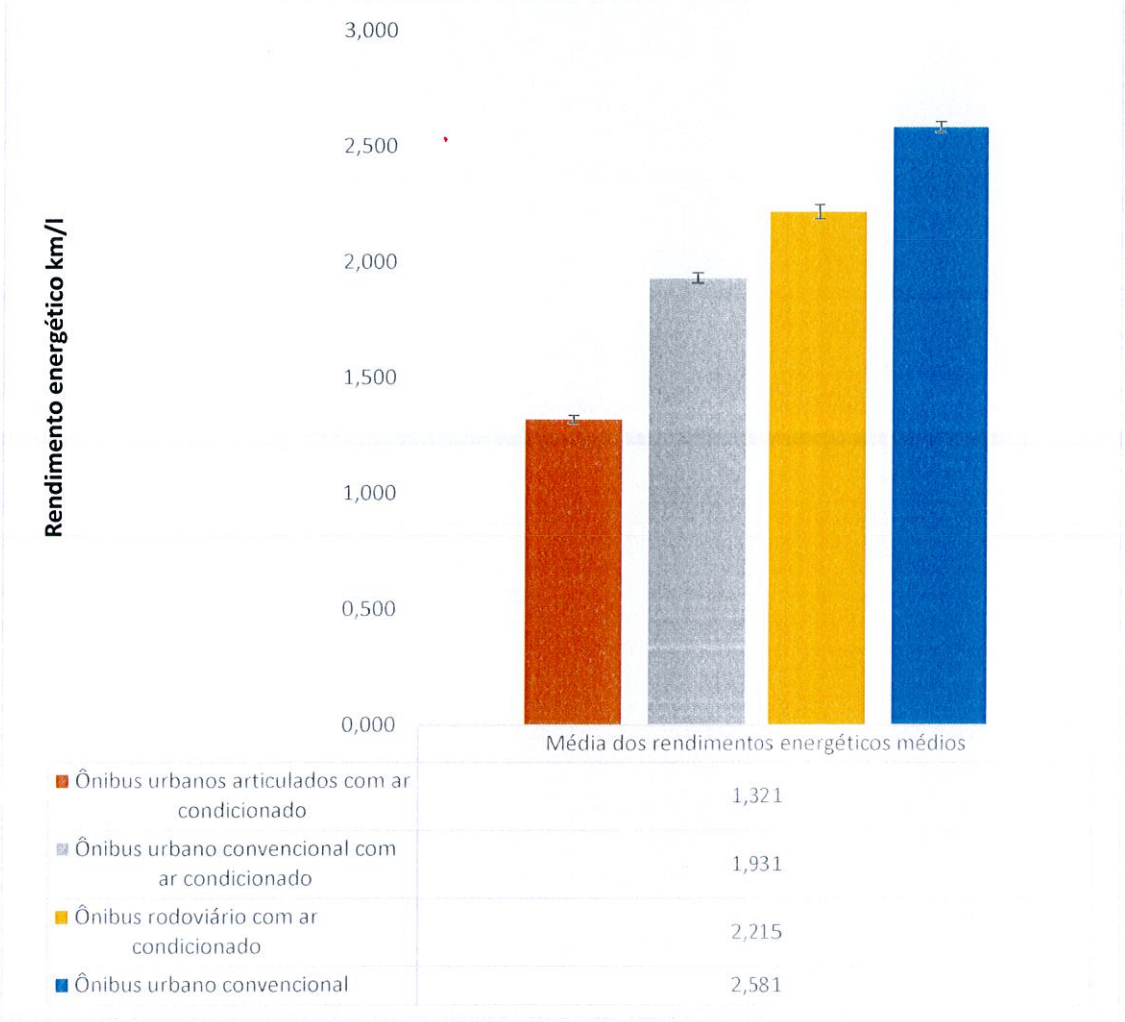


Figura 13: Média dos rendimentos energéticos médios dos ônibus avaliados.

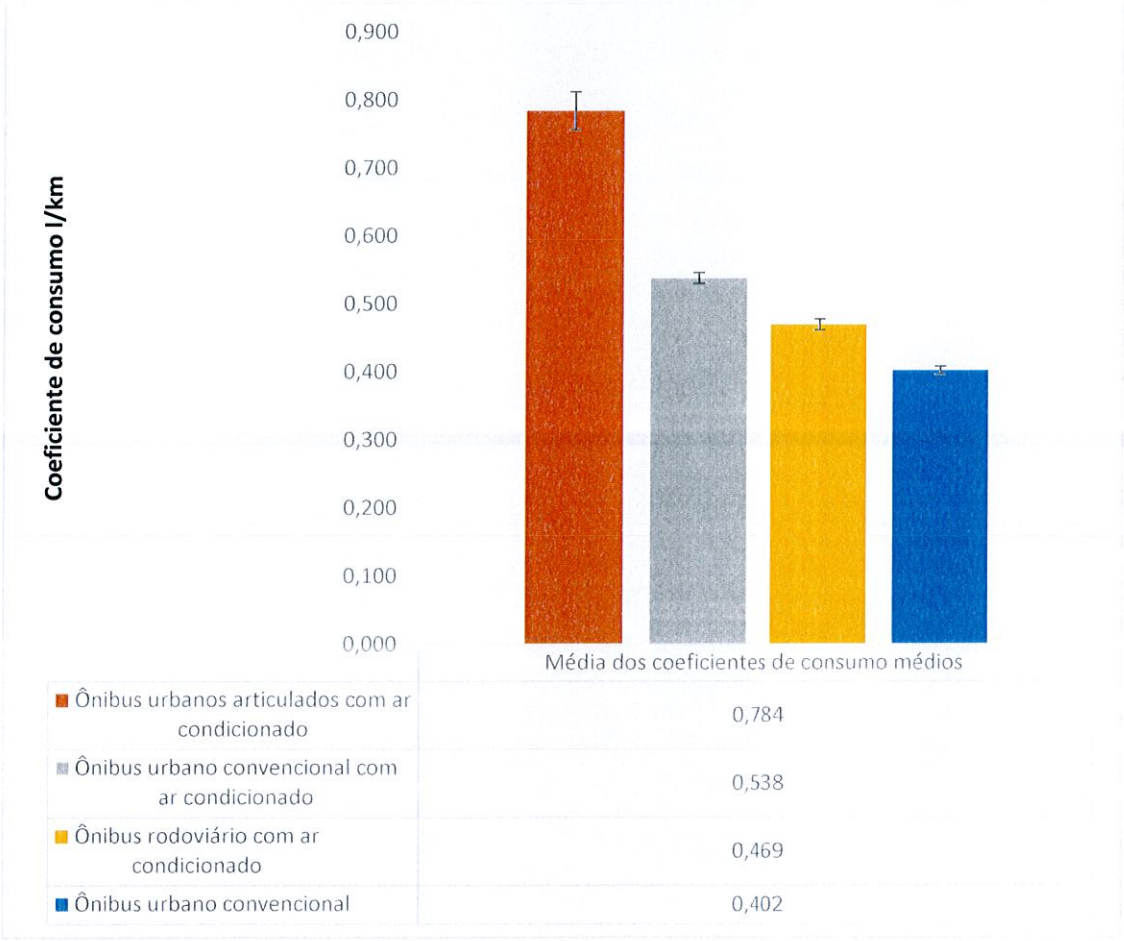


Figura 14: Média dos coeficientes de consumo médios dos ônibus avaliados

As figuras 15 e 16 ilustram a distribuição das medidas das variáveis e suas média. O cálculo da densidade de frequência relativa, medida do eixo vertical nas figuras 14 e 15, foram calculados por meio da equação 4.

$$\frac{\frac{Frequência\ relativa}{Total\ de\ observações}}{Cota\ superior - cota\ inferior} \tag{4}$$

Em que:

Frequência relativa: Quantidade de vezes que uma observação está contida em um intervalo.

Total de observações: Número total de observações.

Cota superior: Valor máximo estipulado por cada intervalo do histograma.

Cota inferior: Valor mínimo estipulado por cada intervalo do histograma.

Assim, se pode comparar o rendimento energético/coeficiente de consumo, em seus respectivos casos, e a densidade de frequência relativa dos dados coletados e observar que são bem ajustadas.

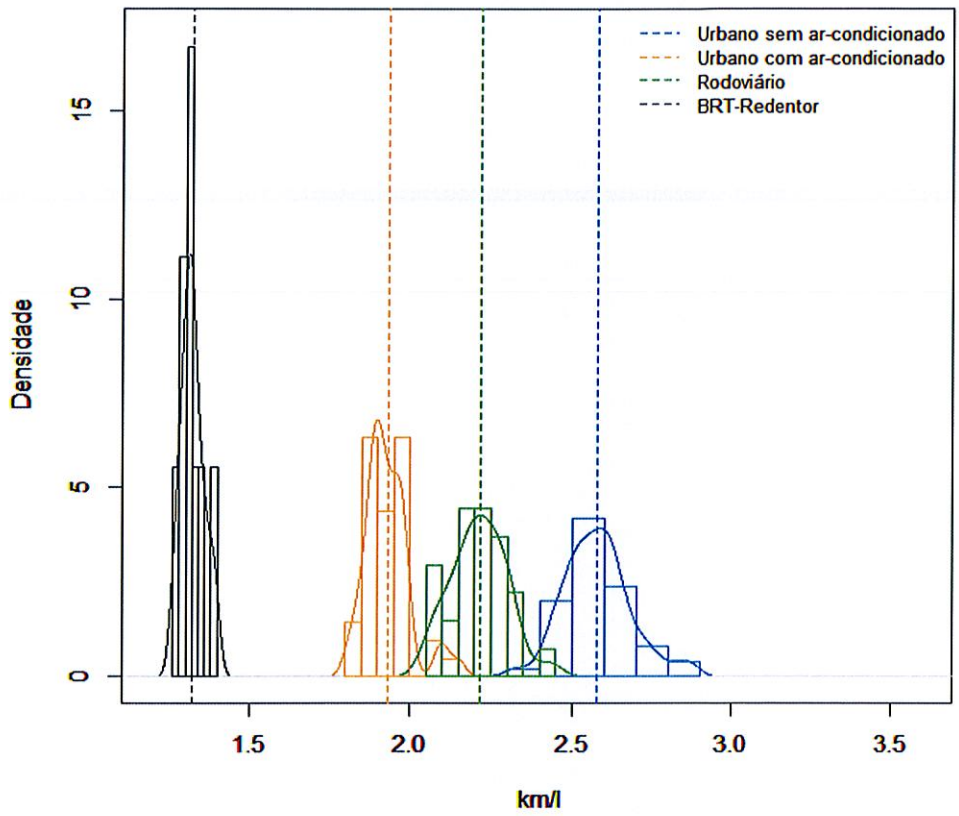


Figura 15: Distribuição das medidas da variável rendimento energético e suas médias.

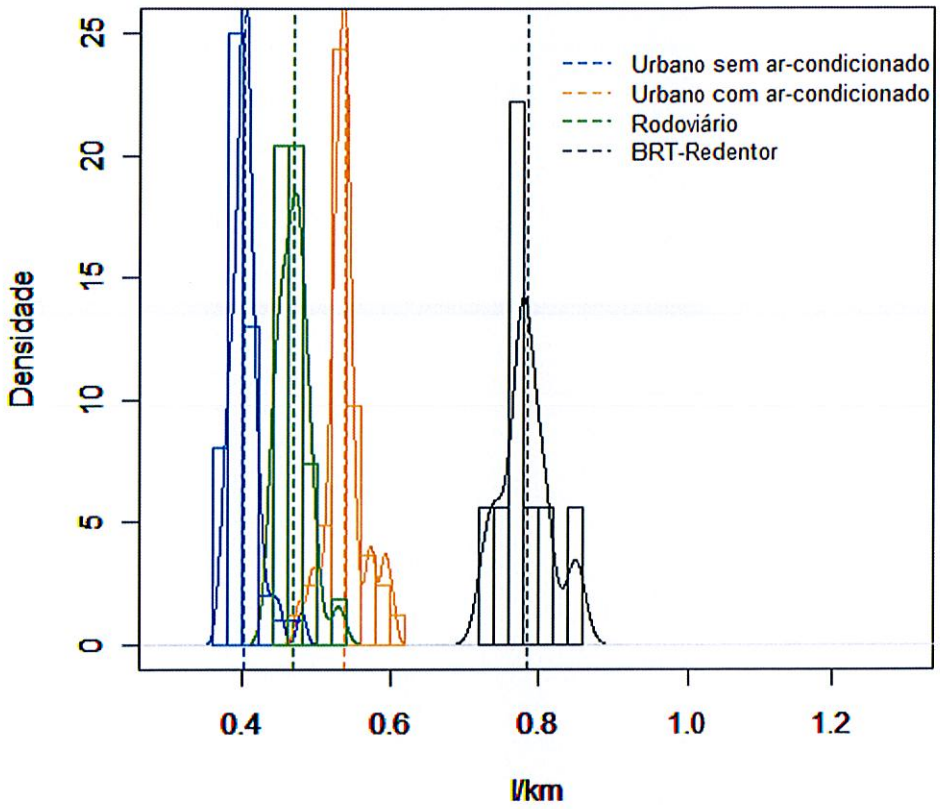


Figura 16: Distribuição das medidas da variável coeficiente de consumo e suas médias.

Analisando as figuras 15 e 16, é possível ver que a curva de densidade do rendimento energético para os ônibus sem ar-condicionado apresenta valores maiores que a as demais (figura 15) e um menor coeficiente de consumo (figura 16), a mesma é expressa pela cor azul no gráfico. É possível ver também que o ônibus urbano articulado com ar condicionado, expressa pela cor preta, foi o que obteve o pior rendimento energético e maior coeficiente de consumo.

Referencias

FETRANSPOR - Federação das Empresas de Transportes de Passageiros do Estado do Rio de Janeiro (2014). Dados sobre frota utilizada no teste de veículos, abastecimentos e distâncias percorridas. Rio de Janeiro, RJ.

FETRANSPOR – Federação das Empresas de Transportes de Passageiros do Estado do Rio de Janeiro (2015). Vá de ônibus – Rio de Janeiro. Disponível em: http://www.vadeonibus.com.br/, data de acesso: 14/10/2015.

Jaybhay, S.; Nagarhalli, P.; Tadigadapa, S.; e Hari Kapoor, S. (2015) Energy EfficientAir Conditioned Buses. SAE Technical Paper. 2015-26-0044.

Comparativo de consumo de combustível entre ônibus equipados com aparelhos de ar condicionado e ônibus convencionais

Rio de Janeiro, 22 de outubro de 2015.

Márcio de Almeida D´Agosto

Coordenador do Projeto e do Programa de Engenharia de Transportes

Fernando Alves Rochinha

Diretor Superintendente da Fundação COPPETEC