



2016

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



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

RELATÓRIO FINAL

EMITIDO EM: 04/03/2016

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

1. Introdução

Este estudo 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 para todos 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 em veículos da frota de empresa Rodoviária Âncora Matias Ltda, dados históricos e dados coletados em tempo real por meio de dispositivos de telemetria e enviados pela empresa M2M *solutions*. Já os dados referentes ao ônibus do tipo 4, em veículos da frota da empresa Viação Redentor Ltda, obtidos pelo sistema Volvo Bus Telematica, não necessitando a instalação de dispositivos, pois os ônibus já possuem esta tecnologia embarcada e dispõe de comunicação sem fio de fábrica.

2. Metodologia

Para atingir o objetivo deste estudo foi elaborado um procedimento que pode ser observado na Figura 1. O procedimento é composto por 3 fases, sendo estas: (i) cálculo preliminar do rendimento energético e do coeficiente de consumo médios (com base no histórico); (ii) planejamento para avaliação dos resultados e (iii) cálculo do rendimento energético e coeficientes de consumo médios (com base em dispositivos que permitem avaliar o consumo em tempo real).

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 analisados foram tabulados em uma planilha do *Microsoft Excel*.

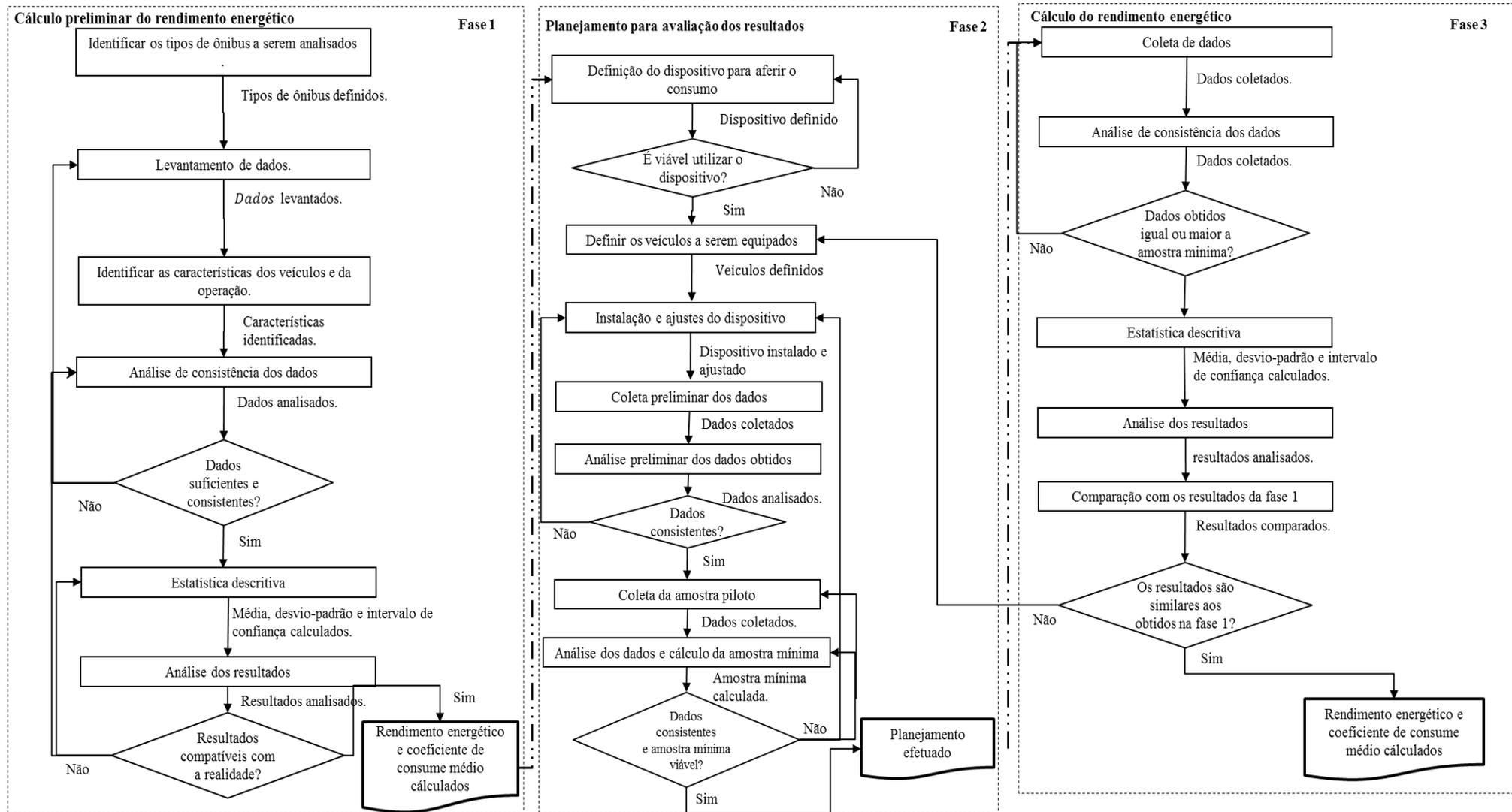


Figura 1: Procedimento para o cálculo do rendimento energético e coeficiente de consumo médios.

2.1 Cálculo preliminar do rendimento energético e coeficiente de consumo médios

O objetivo da primeira fase é calcular o rendimento energético (km/l) e os coeficientes de consumo (l/km) dos ônibus em estudo, com base no histórico obtido das empresas responsáveis pela sua operação. Para atingir este objetivo, esta fase foi dividida em seis etapas, detalhadas a seguir.

2.1.1 Identificação dos ônibus a serem analisados

Para iniciar o estudo é necessário identificar quais tipos de ônibus serão analisados. Estes podem ser: ônibus urbano convencional, ônibus urbano com ar condicionado, micro-ônibus urbano, micro-ônibus rodoviário com ar condicionado, ônibus semi rodoviário, ônibus rodoviário com ar condicionado, ônibus urbanos articulados e biarticulados.

2.1.2 Obtenção dos dados

Após ter identificado os tipos de ônibus a serem analisados, deve-se entrar em contato com empresas parceiras responsáveis por sua operação a fim de obter séries históricas de quilometragem percorrida e volume de combustível abastecido em uma situação de operação real, de preferência do maior número possível de veículos e de diversas semanas de operação ao longo do ano.

2.1.3 Identificação da característica do veículo

Ao obter empresas parceiras que forneçam dados referentes a operação diária de seus ônibus, devem ser levantadas e destacadas as características de cada veículo e sua respectiva linha, características como: o número da linha em que o ônibus opera, o número do chassi do ônibus, tipo do motor, o ano de fabricação, a marca e o modelo da carroceria etc.

2.1.4 Análise de consistência dos dados

De posse dos dados cedidos pelas empresas e com os tipos e características do veículo e sua operação organizados, é necessário que haja um olhar crítico sobre os dados para avaliar se os mesmos são consistentes. Em casos de *outlier* (dados discrepantes) analisar se há a necessidade de retirá-los ou não. Dias atípicos, como finais de semana e feriados, devem ser removidos. Ambas as remoções têm o objetivo de obter a média mais próxima da realidade e um dia operacional típico e menor desvio-padrão.

2.1.5 Estatística descritiva

O processo de estatística descritiva consiste em realizar um conjunto de técnicas estatísticas a fim de resumir informações provenientes dos conjuntos dos dados. Dentre essas técnicas estão presentes o cálculo da média amostral (equação 1), cálculo da variância amostral (equação 2), tamanho da amostra, cálculo do desvio-padrão (equação 3), identificação dos valores máximos e mínimos e o termo de posição em 50% da amostra, chamado de mediana.

$$\bar{X} = \frac{\sum x_i}{n}, \text{ em que } i = 1 \dots n \text{ (n tamanho da amostra)} \quad (1)$$

$$\sigma^2 = \frac{\sum(x_i - \bar{x})^2}{n - 1} \quad (2)$$

$$\sigma = \frac{\sum(x_i - \bar{x})}{n - 1} \quad (3)$$

Se a amostra for proveniente de uma distribuição Normal e os dados forem oriundos de experimentos independentes entre si, ou se for possível utilizar o Teorema Central do Limite, o intervalo de confiança para a média a um nível de 5% de significância pode ser calculado por meio da equação 4. Dado que a variância foi estimada pela variância amostral, utilizou-se o quantil da distribuição T-student para calcular o intervalo de confiança.

$$IC = \left(\bar{X} \pm t_{1-\frac{\alpha}{2}} \frac{S}{\sqrt{n}} \right) \quad (4)$$

Em que

IC é o intervalo de confiança.

\bar{X} é a média amostral.

$t_{1-\frac{\alpha}{2}}$ é o quantil da distribuição t-student.

S é o desvio-padrão amostral.

2.1.6 Análise dos dados

Ao efetuar a estatística descritiva é possível analisar os dados por meio de gráficos que auxiliam a ter melhor entendimento no comportamento dos dados.

O histograma é um gráfico que fornece a distribuição de frequência dos dados, os em classes de valores e, por meio de contagem, fornecendo a frequência dos dados em cada classe de valores.

Com a técnica *boxplot* é possível ter bom entendimento acerca da simetria dos dados por meio de gráficos. Nesta forma de exposição, calcula-se os quântis de 25%, 50% e 75% da amostra, o valor máximo e mínimo da amostra e os dados discrepantes (caso existam) são informados.

O cálculo da densidade de frequência relativa, pode ser feito por meio da equação 5.

$$\frac{\text{Frequência relativa}}{\text{Total de observações}} \quad (5)$$

$$\text{Cota superior} - \text{cota inferior}$$

Em que:

Frequência relativa é a quantidade de vezes que uma observação está contida em um intervalo;

Total de observações é o número total de observações;

Cota superior é o valor máximo estipulado por cada intervalo do histograma;

Cota inferior é o valor mínimo estipulado por cada intervalo do histograma.

2.2 Planejamento para avaliação dos resultados

O objetivo da segunda fase é de realizar o planejamento da avaliação do resultado da fase anterior. Essa avaliação será realizada por meio de dispositivos capazes de aferir em tempo real o consumo de combustível. Para atingir este objetivo, esta fase foi dividida em sete etapas, detalhadas a seguir.

2.2.1 Definição do dispositivo para aferir o consumo

Devem ser levantados os instrumentos que estão disponíveis no mercado capazes de aferir o consumo de combustível e se possível mais detalhes da operação dos veículos. Os equipamentos podem ser sensor de fluxo de combustível, sensor de nível de combustível e dispositivo de telemetria. É fundamental identificar as características dos veículos pois a escolha do equipamento pode ser influenciada pelos seguintes fatores: características dos veículos, tempo de instalação e confiabilidade do equipamento, sistema de envio dos dados coletados (GPS ou GPRS), interface do sistema, forma dos *outputs* a serem gerados, além do o valor de aquisição e manutenção e sistema.

2.2.2 Definição dos veículos a serem equipados

Tendo definido o equipamento a ser instalado nos veículos e a empresa que será responsável pela coleta e/ou envio dos dados, é necessário indicar quais os ônibus irão receber o equipamento. Essa escolha deve ser feita com base nas análises realizadas na fase 1, sendo escolhido o veículo que apresentou a menor variação histórica dos dados e que esteja disponível.

2.2.3 Instalação e ajustes do equipamento

Ao determinar qual o equipamento será instalado nos ônibus e identificar quais os ônibus receberam os equipamentos, é fundamental que os equipamentos sejam instalados corretamente, bem ajustados e calibrados para que a informação passe a chegar de forma coerente, representando a realidade.

2.2.4 Coleta preliminar

Após instalar e realizar o ajustar preliminar do equipamento, deve-se coletar e acompanhar os dados.

2.2.5 Análise da coleta preliminar

Após ter coletado os dados teste, é indispensável averiguar se os mesmos estão sendo gerados e disponibilizados de forma clara e coerente. Se isso não ocorrer, deve-se retornar ao item 2.2.3, refazer os ajustes e calibrações necessárias no equipamento ou no sistema de envio de dados e coletar uma nova amostra preliminar.

2.2.6 Coleta da amostra piloto

De posse de um conjunto de dados consistentes e coerentes, deve-se retirar uma amostra piloto em um curto espaço de tempo. Trata-se de uma amostra menor do que a desejável e que servirá de base para calcular qual deve ser o tamanho da amostra mínima, tal que seja obtida normalidade nos dados com um nível de significância de 5%.

2.2.7 Análise dos dados e cálculo da amostra mínima.

De posse da amostra piloto é possível calcular o tamanho mínimo da amostra. Caso o objetivo seja estimar a média populacional μ da variável Y por meio de uma amostra aleatória simples segundo a equação 6.

$$P(|\bar{Y} - \mu| < erro) = 1 - \alpha \quad (6)$$

Em que α é o nível de significância.

Conforme apresentado a seguir, o tamanho da amostra a ser utilizado para que se possa garantir que a condição da equação 6 seja obedecida para uma população infinita é fornecido por meio da equação 7.

$$n_0 = \left(\frac{Z_{1-\alpha/2} \sigma}{erro} \right)^2 \quad (7)$$

Segue nas equações de 8 a 16 a demonstração por inferência.

$$P(|\bar{Y} - \mu| < erro) = 1 - \alpha \quad (8)$$

Multiplicando $\frac{\sqrt{n}}{\sigma}$ em ambos os lados se obtém a equação 9.

$$P\left(|\bar{Y} - \mu| \frac{\sqrt{n}}{\sigma} < erro \frac{\sqrt{n}}{\sigma}\right) = 1 - \alpha \quad (9)$$

Pelo teorema central do limite vale a equação 10.

$$\bar{Y} \sim \text{Normal}(\mu, \sigma^2/n) \quad (10)$$

Em que vale a equação 11 e 12.

$$E(\bar{Y}) = \mu \quad (11)$$

$$\text{Var}(\sigma^2/n) \quad (12)$$

Assim sendo segue a equação 13 e 14.

$$P\left(Z < \text{erro} \frac{\sqrt{n}}{\sigma}\right) = 1 - \alpha \quad (13)$$

$$Z_{1-\alpha/2} = \frac{\text{erro}\sqrt{n}}{\sigma} \quad (14)$$

Logo segue na equação 15 a formula para o tamanho da amostra se a população for infinita.

$$n_0 = \left(\frac{Z_{1-\alpha/2}\sigma}{\text{erro}}\right)^2 \quad (15)$$

Em que $Z_{1-\alpha/2}$ é o quantil da distribuição normal padrão à direita do qual há uma área $\alpha/2$. Seja N o tamanho da população, em casos que a população não seja infinita o tamanho de amostra a ser de fato usado é expresso pela equação 16.

$$n = \frac{n_0}{1 + \frac{n_0}{N}} \quad (16)$$

Com base no cálculo do tamanho da amostra, a fim de garantir a normalidade a um nível de significância de 5%, foi possível organizar o estudo e concluir um tamanho de amostra necessário para estimar qual o prazo final da coleta dos dados.

2.3 Cálculo do rendimento energético e do coeficiente de consumo médios

Realizado o planejamento proposto pela fase 2 e de posse dos resultados da fase 1, os novos valores médios de rendimento energético e do coeficiente de consumo podem ser obtidos. De posse dos resultados preliminares da fase 1, estes podem ser comparados a fim de comprovar a coerência dos resultados obtidos. Para atingir este objetivo, esta fase foi dividida em cinco etapas, detalhadas a seguir.

2.3.1 Coleta de dados

De posse do cálculo da amostra mínima viável, é possível realizar a coleta dos dados, de modo que seja possível retirar os feriados, finais de semanas e outros possíveis dias

atípicos e ainda assim atingir o tamanho da amostra necessária. Recomenda-se que seja realizado a coleta de pelo menos o dobro dos dados necessários para cada veículo.

2.3.2 Análise da consistência

De posse dos dados se deve averiguar se os dados estão consistentes, pois o equipamento pode apresentar problemas ao longo da coleta, sendo fundamental que os dados estejam sempre consistentes.

2.3.3 Estatística descritiva

O procedimento a ser adotado nesta subsecção é o mesmo utilizado na subsecção 2.1.5.

2.3.4 Análise dos dados

A análise dos dados consistentes extraídos dos equipamentos é equivalente a dos dados fornecidos pelas empresas (descritas na subsecção 2.1.6), porém se a amostra for pequena, deve-se efetuar os testes de normalidade para a amostra como meio de comprovação que o tamanho da amostra seja capaz de garantir a normalidade com nível de significância de 5%.

Deve-se analisar também se há dependência temporal na amostra, basta aplicar o teste Qui-quadrado para tabelas de contingência, onde é possível testar a independências entre as linhas e colunas de uma tabela de contingência. A estatística de teste é dada pela equação 17.

$$X^2 = \frac{\sum_{i,j} (f_{i,j} - e_{i,j})^2}{e_{i,j}} \quad (17)$$

Hipóteses do teste:

H_0 , que os dados da tabela de contingência possuem linhas e colunas independentes;

H_1 , que os dados da tabela de contingência não possuem linhas e colunas independentes.

Outro teste a ser realizado é o Shapiro-Wilk, proposto por Shapiro e Wilk em 1965. É um teste aplicado a fim de verificar normalidade de uma amostra ou uma população, muito utilizado para identificar normalidade em resíduos de regressão linear simples. Neste teste a estatística é dada pela equação 18.

$$W_c = \frac{g^2}{SD} \quad (18)$$

Tal que g e SD são expressas pelas equações 19 e 20.

$$g = \sum_{i=1}^m c_{i,n} (x_{n-i+1} - x_i) \quad (19)$$

$$SD = \sum_{i=1}^n x^2 \quad (20)$$

Sendo,

n o tamanho da amostra;

$m = n/2$ se n é par ou $m=(n-1)/2$ se n é ímpar;

$c_{i,n}$ é o coeficiente obtido na tabela do teste Shapiro;

Dado que $P(W>W_c) = p$ -valor

Hipóteses do teste:

H_0 : A amostra segue uma distribuição normal

H_1 : A amostra não segue uma distribuição normal

Tem-se que se p -valor $>$ nível de significância então não se rejeita H_0 , caso contrário rejeita-se H_0 .

Outro teste a ser utilizado é o de Jarque-Bera, proposto por Bera e Jarque em 1980. É um teste aplicado a fim de verificar normalidade de uma amostra ou uma população, muito utilizado em séries temporais. No teste, a estatística é dada pela equação 21.

$$JB = n \left(\frac{\widehat{a}_1}{6} + \frac{(\widehat{a}_2 - 3)^2}{24} \right) \quad (21)$$

Em que,

\widehat{a}_1 é o coeficiente de assimetria;

\widehat{a}_2 é o coeficiente de curtose e n é o tamanho da amostra;

Dado que $P(W>W_c) = p$ -valor

Hipóteses do teste:

H_0 : A amostra segue uma distribuição normal

H_1 : A amostra não segue uma distribuição normal

Tem-se que se p -valor $>$ nível de significância então não se rejeita H_0 , caso contrário rejeita-se H_0 .

2.3.5 Comparação com os resultados obtidos na fase 1

Com base na análise dos dados provenientes da etapa anterior, deve-se comparar os resultados obtidos nesta análise com os resultados obtidos pela análise do histórico fornecido pela empresa, obtidos na fase 1 e identificar se os valores encontrados se distribuem dentro de um intervalo de variação previamente definido como aceitável.

É importante destacar que se o equipamento estiver em um ônibus que possua rendimento energético acima da média, então se acredita que o dado extraído deste ônibus conduza a análise a obter valores próximos e possivelmente maiores que os valores obtidos na etapa 2.1.6.

Caso os resultados encontrados diverjam dos obtidos pela fase 1, deve-se instalar dispositivos em outros ônibus e realizar uma nova comparação. Caso o valor não seja

próximo a o resultado da fase 1 ou o da fase 2, recomenda-se que seja instalado um equipamento em um outro veículo para comprovar qual a média mais plausível. Caso todas as análises apresentarem-se muito diferentes das fases anteriores, deve-se optar por outro tipo ou modelo de equipamento, realizando novamente as fases 2 e 3.

3. Aplicação do procedimento

A seguir é feita a aplicação do procedimento apresentado na Figura 1. Tal aplicação teve como objetivo determinar o rendimento energético e o consumo de combustível para ônibus equipados com aparelhos de ar condicionado. Em particular, pretende-se identificar a redução de rendimento observada em ônibus urbanos com ar condicionado se comparado a ônibus urbanos convencionais.

3.1 Cálculo preliminar do rendimento energético e do coeficiente de consumo médios

A seguir aplicam-se as seis etapas da fase 1 do procedimento.

3.1.1 Identificação dos ônibus a serem analisados

Os ônibus a serem analisados são:

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

A escolha destes veículos está associada ao objetivo estabelecido para a aplicação do procedimento. Em particular, no caso dos ônibus urbanos, estes representam 81% da frota de ônibus do Município do Rio de Janeiro. No que se refere aos ônibus rodoviários, estes representam a frota de veículos do transporte rodoviário público urbano que realizam serviço diferenciado, por só admitirem transporte de passageiros sentados e serem obrigatoriamente equipados com aparelhos de ar condicionado. Por fim, a escolha dos ônibus urbanos articulados equipados com aparelhos de ar condicionado está relacionada a progressiva implantação dos BRT (*Bus Rapid Transit*), no Município do Rio de Janeiro, onde só se utilizam ônibus e estações climatizadas.

3.1.2 Obtenção dos dados

Os dados referentes aos ônibus dos tipos 1, 2 e 3 foram coletados e disponibilizados pela empresa Rodoviária Âncora Matias Ltda. Já os dados referentes ao ônibus do tipo 4, pela empresa Viação Redentor Ltda. Com isso foram disponibilizadas séries históricas de

volume de combustível abastecido e de quilometragem percorrida entre os abastecimentos de combustível em uma situação de operação normal.

A Rodoviária Âncora Matias Ltda disponibilizou dados de operações diárias referentes aos meses de março, abril e maio de 2015 de 118 ônibus, destes 50 são do tipo 1, 41 do tipo 2 e 27 do tipo 3.

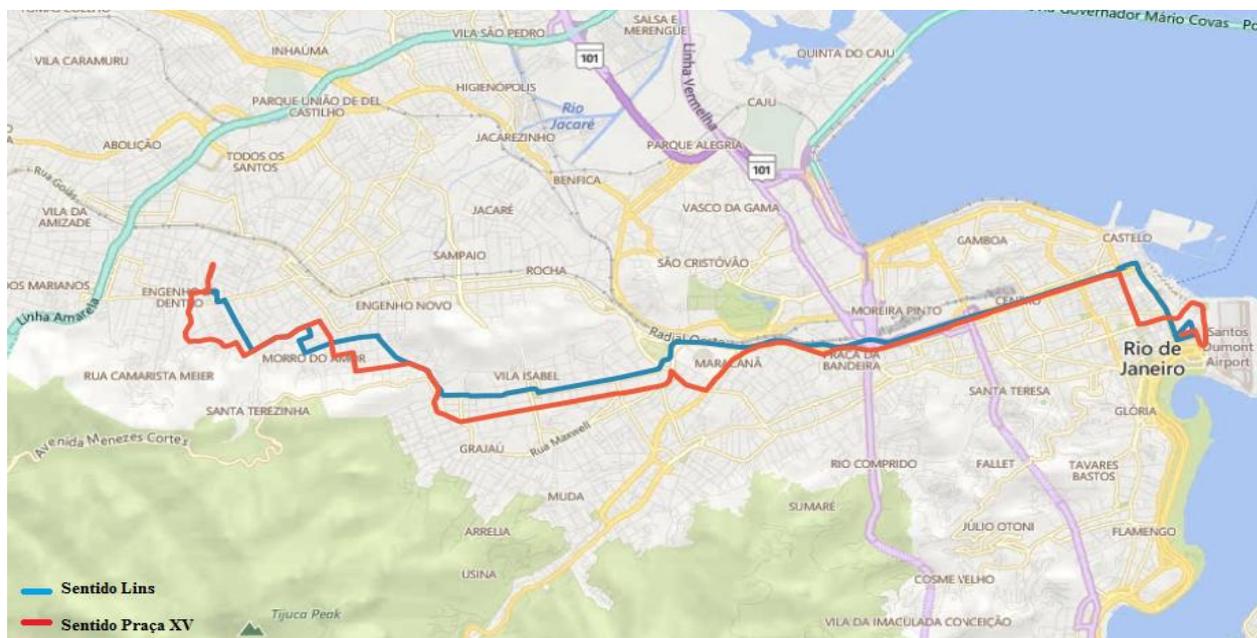
A Viação Redentor Ltda disponibilizou dados de operações diárias de um total de 9 ônibus urbanos articulados com ar condicionados, que compreenderam os meses de julho a dezembro de 2014 e janeiro de 2015.

3.1.3. Identificação da característica do veículo e sua operação

Nesta etapa faz-se a identificação das características dos veículos selecionados e da sua operação. Para estruturar a sua exposição, fez-se uma abordagem por tipo de veículo.

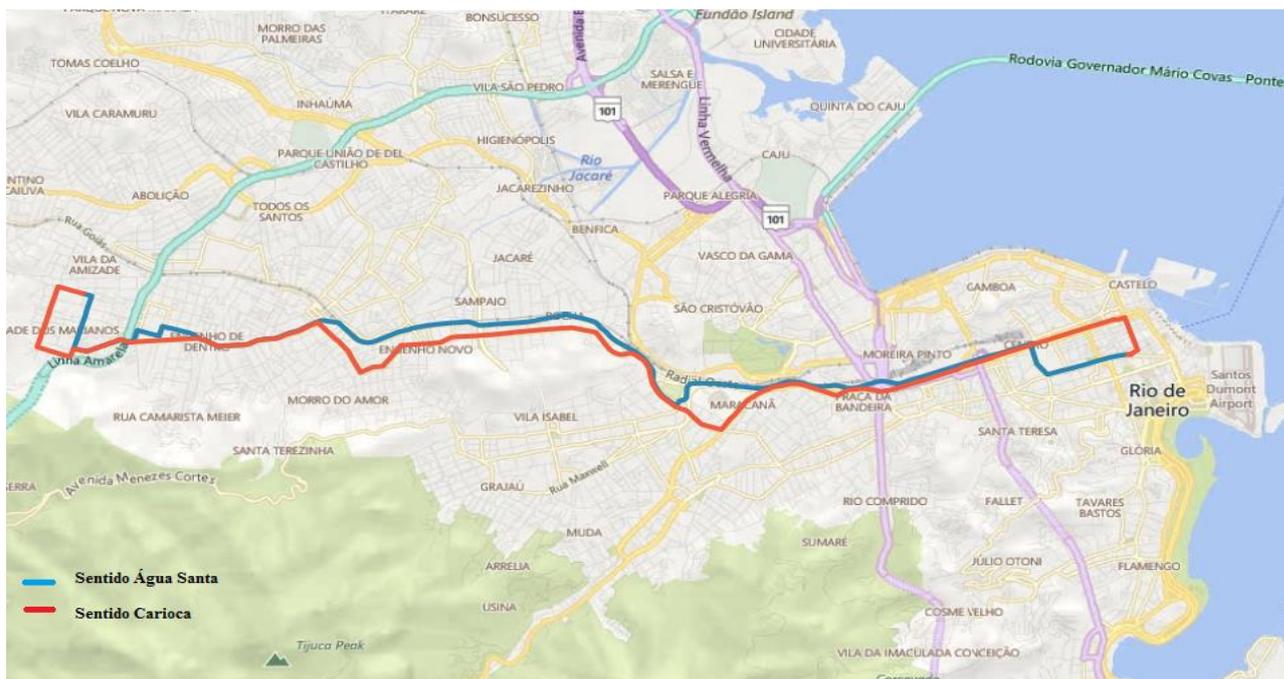
3.1.3.1. Identificação da característica do veículo e sua operação – ônibus urbano convencional

Foram obtidos dados de operação diária 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). Os itinerários referentes as linhas 232, 249 e 606 são ilustrados nas Figuras 2, 3 e 4, respectivamente.



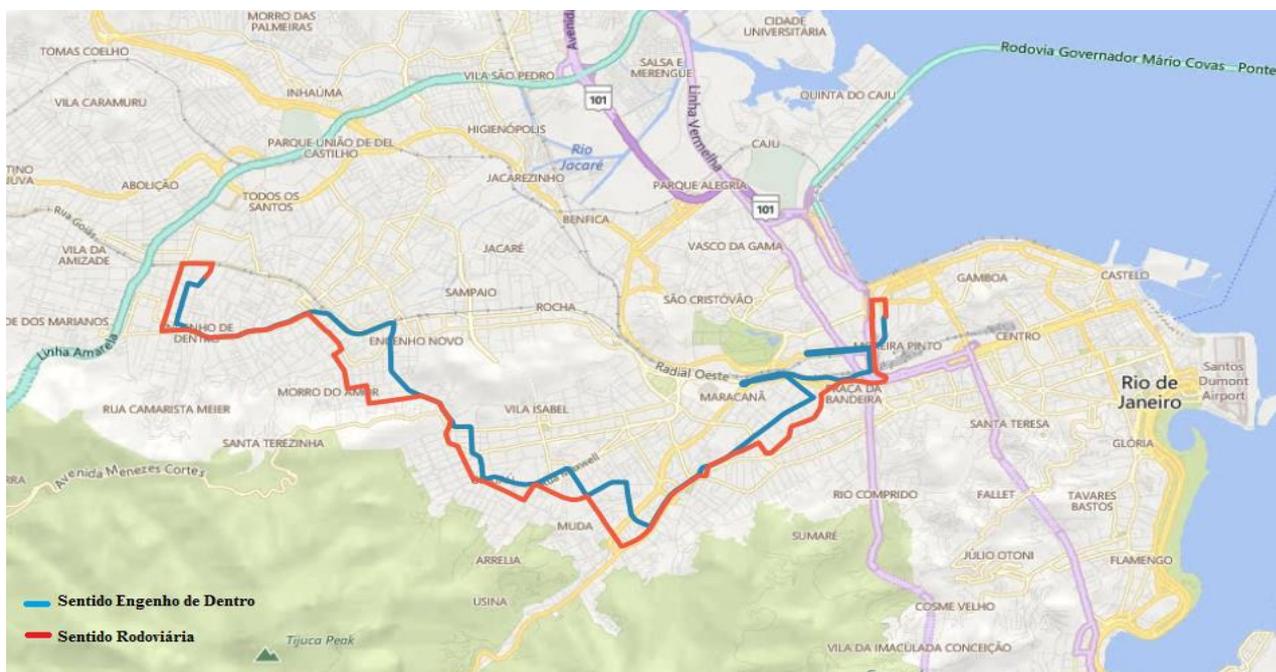
Fonte: adaptado de FETRANSPOR (2015).

Figura 2: Itinerário Linha 232 (Lins x Castelo).



Fonte: adaptado de FETRANSPOR (2015).

Figura 3: Itinerário Linha 249 (Água Santa x Carioca).



Fonte: adaptado de FETRANSPOR (2015).

Figura 4: Itinerário Linha 606 (Engenho de Dentro x Rodoviária).

Tabela 1: Características dos ônibus urbanos convencionais.

Carro	Nº da linha	Nº.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	2012	MARCOPOLO TORINO
25509		9BM384078CB855738				
25511		9BM384078CB855744				
25513		9BM384078EB940957				
25516		9BM384078CB855783				
25517		9BM384078CB855796				
25520		9BM384078EB941009				
25521		9BM384078EB941011				
25522		9BM384078CB855746				
25525		9BM384078EB941017				
25527		9BM384078EB941023				
25535		9BM384078CB834860				
25536		9BM384078CB835299				
25539		9BM384078CB855750				
25541		9BM384078CB835307				
25542		9BM384078CB857247				
25546		9BM384078CB834061				
25547		9BM384078CB834067				
25548		9BM384078CB834069				
25549		9BM384078CB835315				
25550		9BM384078CB835317				
25552		9BM384078CB855755				
25554		9BM384078CB857249				
25556		9BM384078CB835327				
25559		9BM384078CB855761				
25561		9BM384078CB855724				
25562		9BM384078CB855726				
25563		9BM384078CB855732				
25564		9BM384078CB855734				

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 dos veículos, 54% estão a três anos em circulação e 46% a dois anos.

3.1.3.2. Identificação da característica do veículo e sua operação – 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, 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	249	9BM384078EB961242	OF 1721/59 EURO5 AR		2014	INDU APACHE
25570		9BM384078EB949375	OM 924LA			
25571		9BM384078EB961248				

25572	9BM384078EB961251
25578	9BM384078EB950083
25580	9BM384078EB950127
25583	9BM384078EB950138
25586	9BM384078EB961254
25589	9BM384078EB953943
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.

3.1.3.3. Identificação da característica do veículo e sua operação – 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	Nº 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	OF 1721/59 EURO5 AR	OM 924LA	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

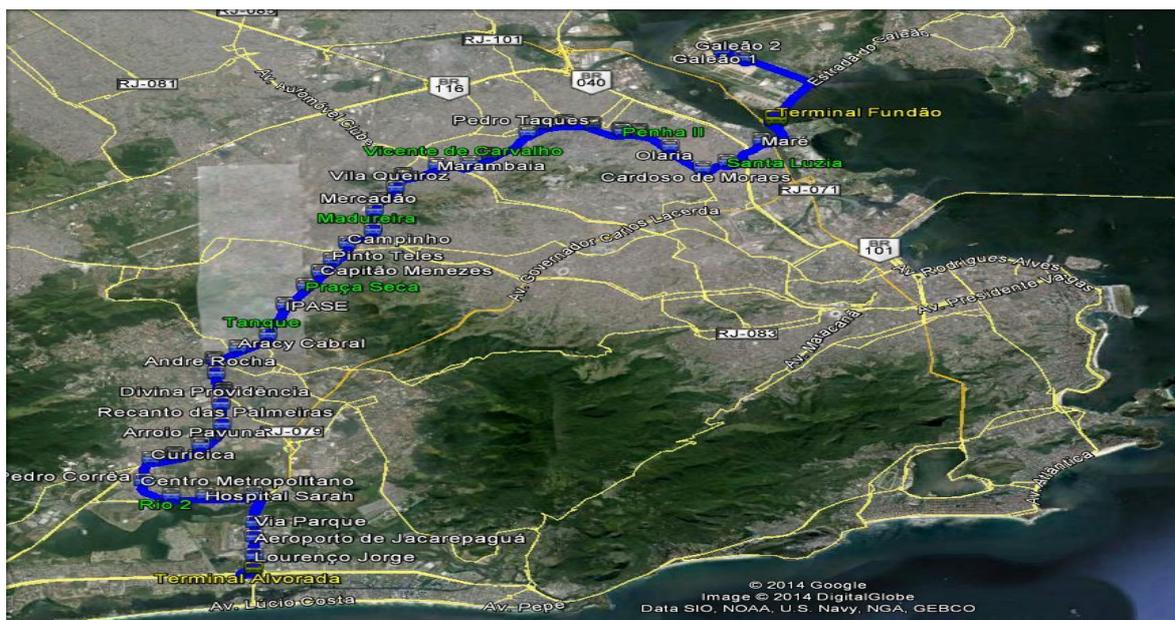
25814	9BM384078CB855799	2012	MARCOPOLO IDEALE
25815	9BM384078CB855762	2012	MARCOPOLO IDEALE
25816	9BM384078DB895022	2013	MARCOPOLO AUDACE
25817	9BM384078DB895025	2013	MARCOPOLO AUDACE
25818	9BM384078DB895468	2013	MARCOPOLO AUDACE
25819	9BM384078DB895491	2013	MARCOPOLO AUDACE
25820	9BM384078DB902540	2013	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

3.1.3.3. Identificação da característica do veículo e sua operação – ônibus articulado com ar condicionado

Foram obtidos dados de operações diárias dos ônibus urbanos articulados com ar condicionados que compreenderam os meses de julho a dezembro de 2014 e janeiro de 2015 um total de 9 veículos (Tabela 4) que circulam no corredor de BRT Transcarioca. Este corredor, possui 39 km de extensão e liga 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		9BVR9R321EE383871		2013	
47005		9BVR9R32XEE383643		2014	
13401		9BVR9R325EE383906		2013	
13403		9BVR9R327EE383907		2013	
13406	VOLVO	9BVR9R320EE383862	Volvo B340	2013	NeoBus Mega BRT
13407		9BVR9R322EE383863		2013	
13408		9BVR9R32XEE383769		2013	
13409		9BVR9R321EE383644		2013	
13412		9BVR9R323EE383645		2013	



Fonte: FETRANSPOR (2014).

Figura 5: Corredor do BRT Transcarioca.

3.1.4 Análise de consistência dos dados

De posse dos dados cedido pelas empresas e com os tipos e características dos veículos e de sua operação organizados, foram removidos os dados discrepantes e aqueles associados a dias atípicos, como finais de semana e feriados.

3.1.5 Estatística descritiva

Uma vez que se disponha de um conjunto de dados consistentes e coerentes, passa-se a aplicação da estatística descritiva na próxima etapa de aplicação do procedimento.

3.1.5.1. Estatística descritiva – ônibus urbano convencional

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 6 ilustra o rendimento energético médio e sua variação ao longo 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.

3.1.5.2. Estatística descritiva – ônibus urbano convencional com ar condicionado

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.

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.

3.1.5.3. Estatística descritiva – ônibus rodoviário com ar condicionado

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.

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.

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 menos abertura das portas, que também são em menor número e dimensão (largura) que as portas dos ônibus urbanos convencionais.

3.1.5.4. Estatística descritiva – ônibus articulado com ar condicionado

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.

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.

3.1.6 Análise dos dados

Com base nos cálculos de estatística descritiva foi possível identificar o rendimento energético e o coeficiente de consumo de combustível dos ônibus urbanos convencionais, ônibus urbanos com ar condicionado, ônibus rodoviários com ar condicionado e dos ônibus urbanos articulados com ar condicionado, que são ilustrados na Figura 6 e 7, respectivamente.

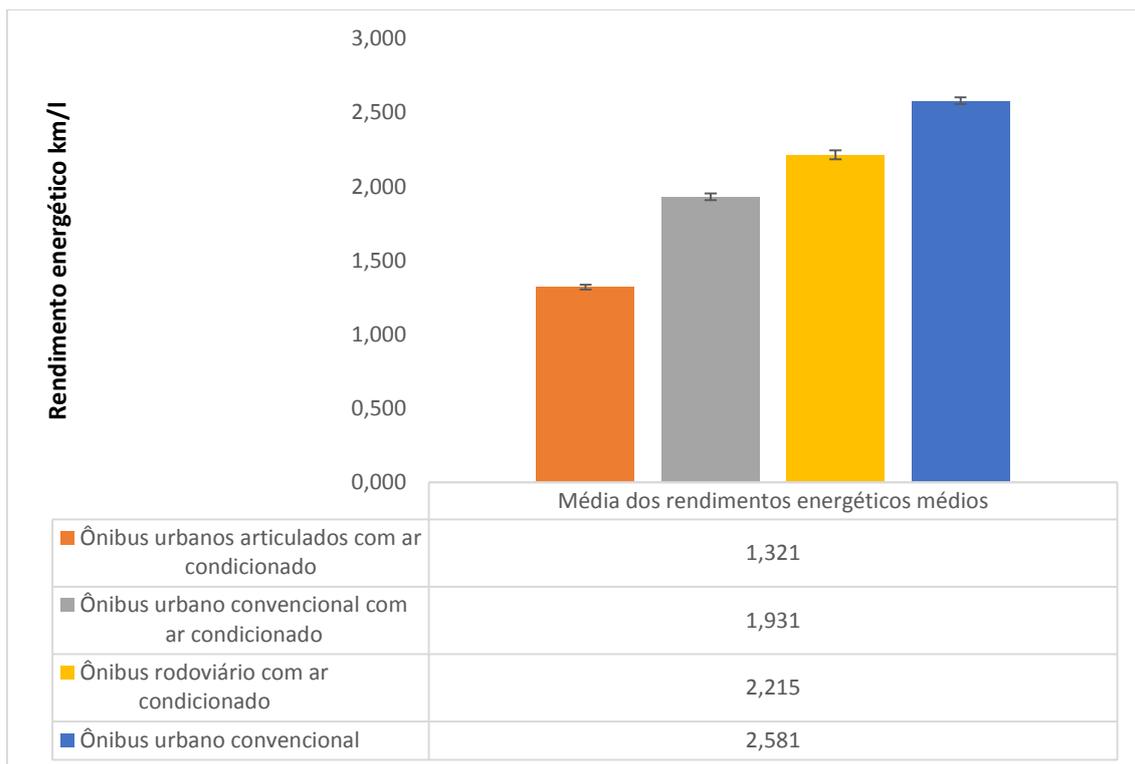


Figura 6: Média dos rendimentos energéticos médios dos ônibus avaliados.

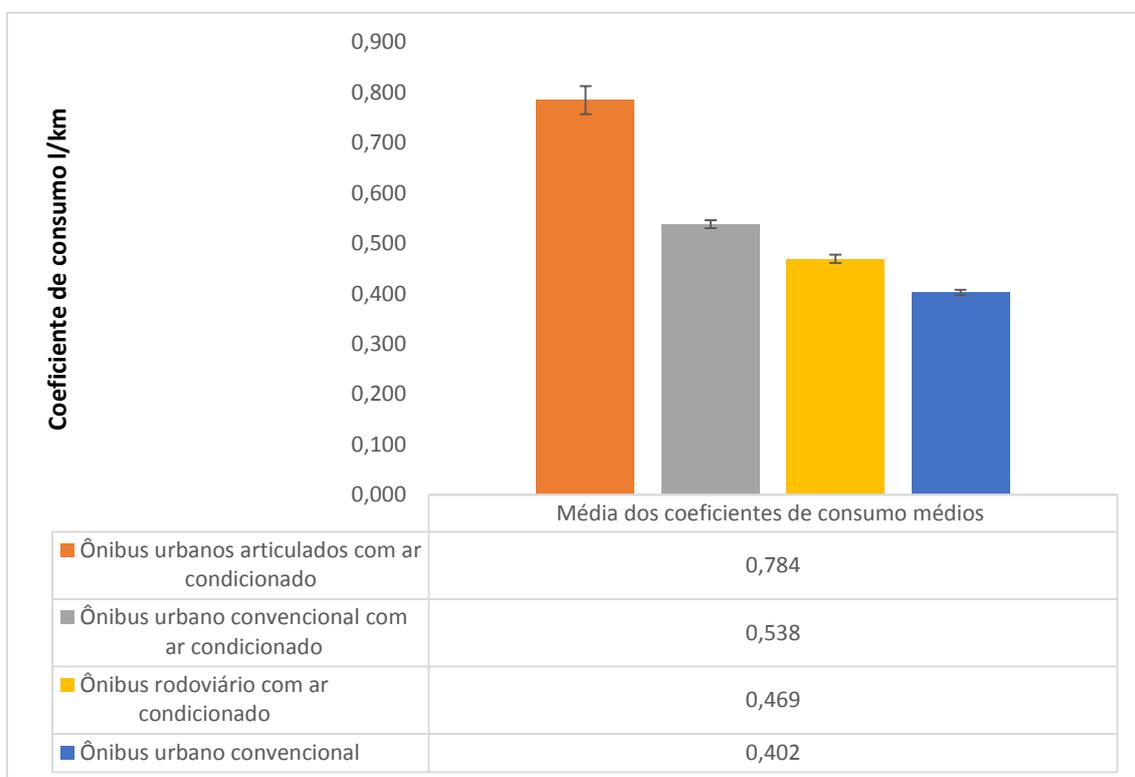


Figura 7: Média dos coeficientes de consumo médios dos ônibus avaliados.

As Figuras 8 e 9 ilustram a distribuição das medidas das variáveis e suas médias. 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.

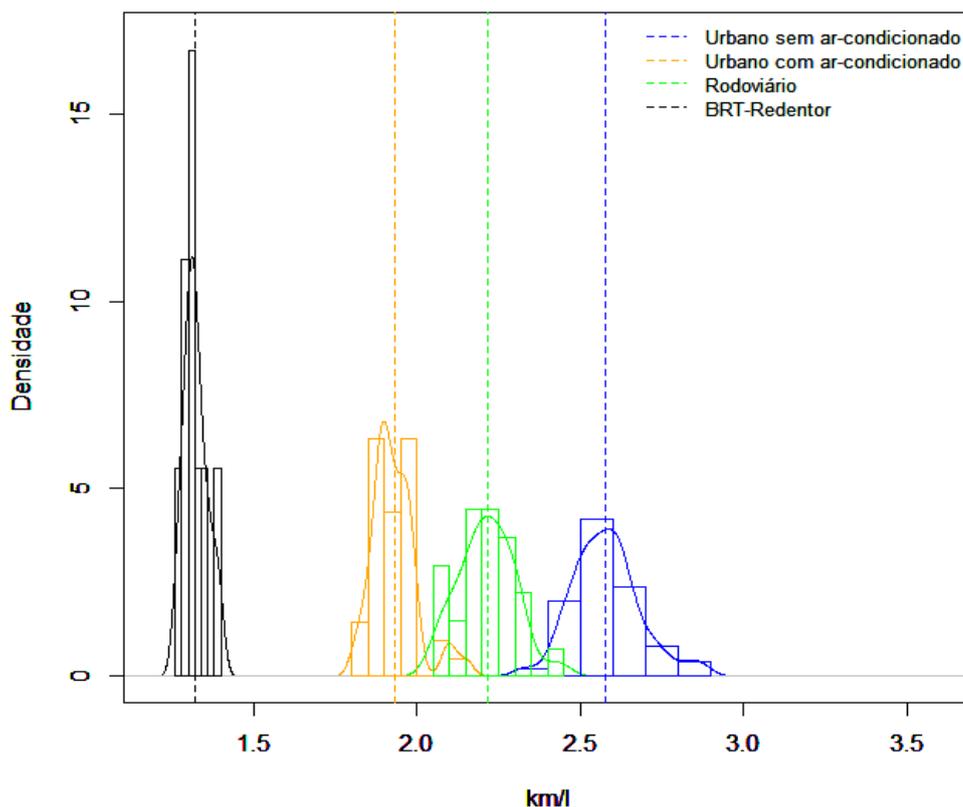


Figura 8: Distribuição das medidas do variável rendimento energético e suas médias.

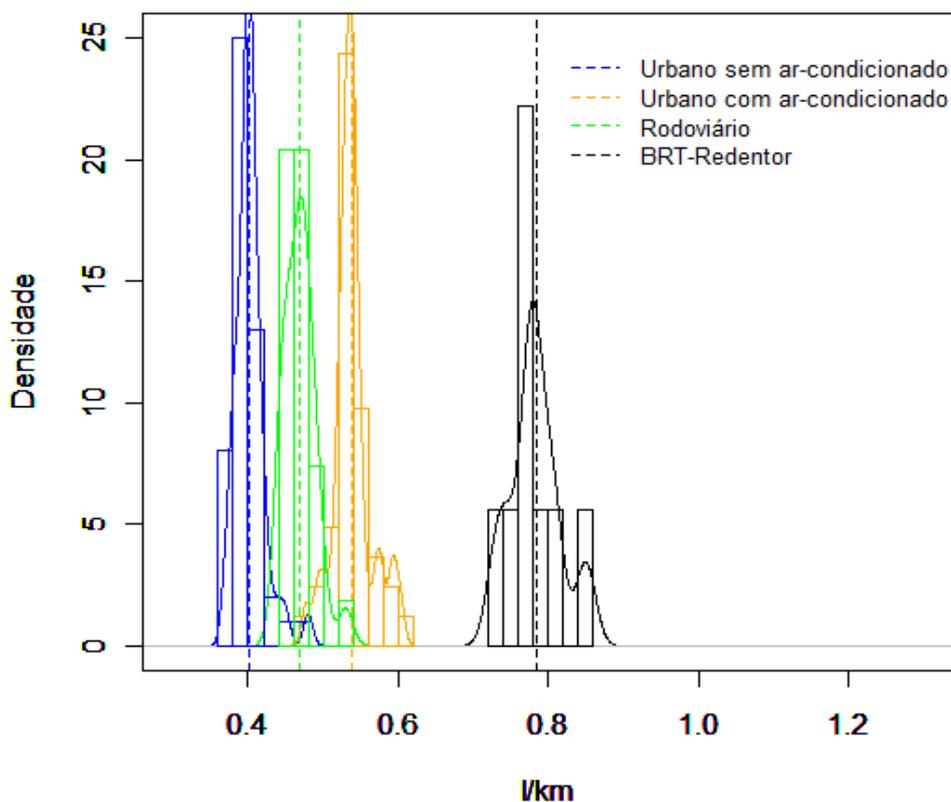


Figura 9: Distribuição das medidas do variável coeficiente de consumo e suas médias.

Analisando as Figuras 8 e 9, é possível ver que a curva de densidade do rendimento energético para os ônibus urbano convencional apresenta valores maiores que a as demais (Figura 8) e um menor coeficiente de consumo (Figura 9). A mesma é expressa pela cor azul no gráfico. É possível ver também que o ônibus urbano articulado com ar condicionado, cuja curva de densidade é expressa pela cor preta, foi o que obteve o pior rendimento energético e maior coeficiente de consumo.

3.1.6.1. Análise dos dados – ônibus urbano convencional

As Figuras 10 e 11 ilustram o rendimento energético e o coeficiente de consumo médios dos ônibus urbano convencionais e suas variações ao longo dos meses.

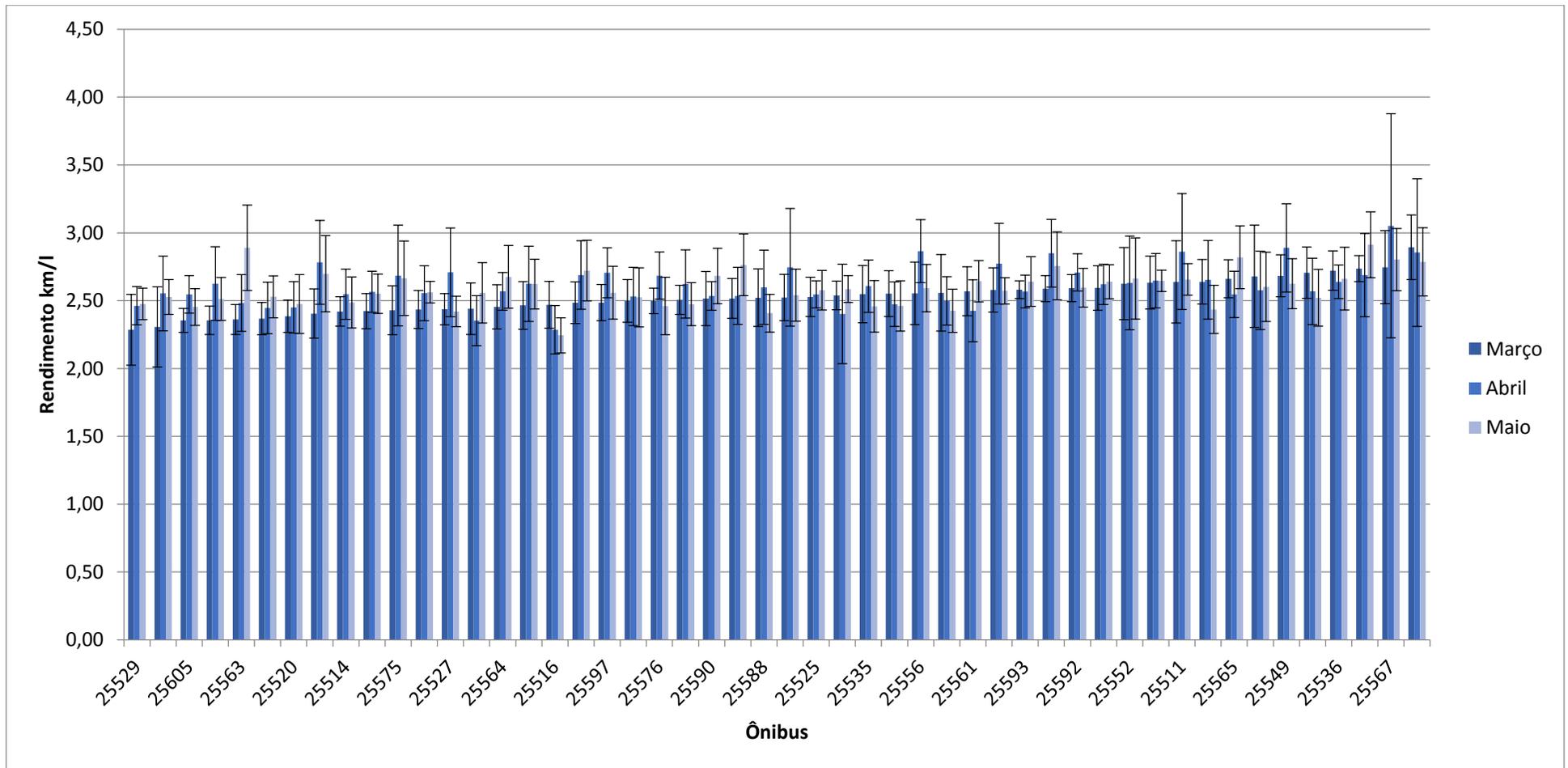


Figura 10: Rendimento energético médio do ônibus urbano convencional.

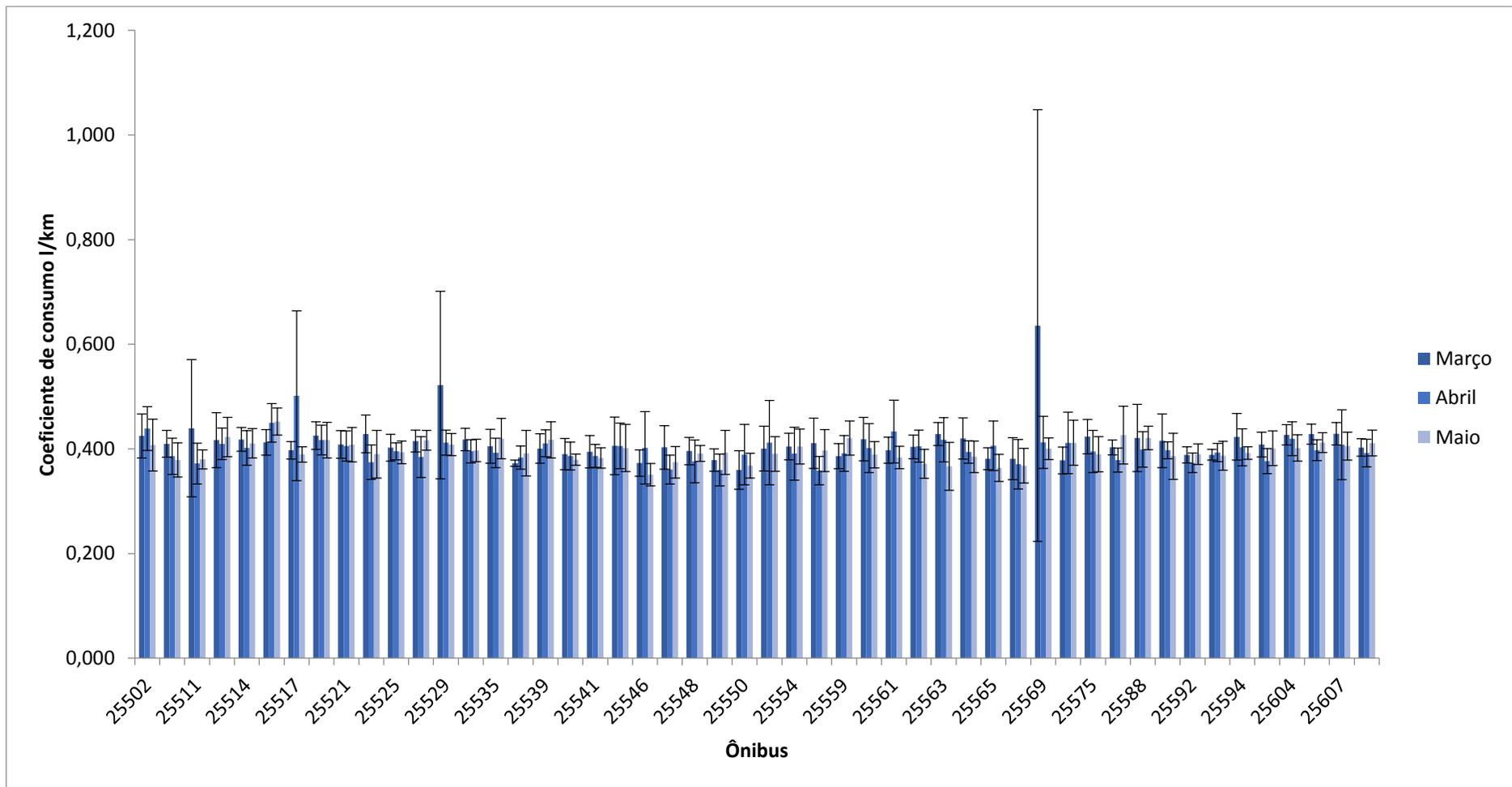


Figura 11: Coeficiente de consumo médio do ônibus urbano convencional.

3.1.6.2. Análise dos dados – ônibus urbano convencional com ar condicionado

As Figuras 12 e 13 ilustram o rendimento energético e o coeficiente de consumo médios dos ônibus urbano convencionais com ar condicionado e suas variações ao longo dos meses.

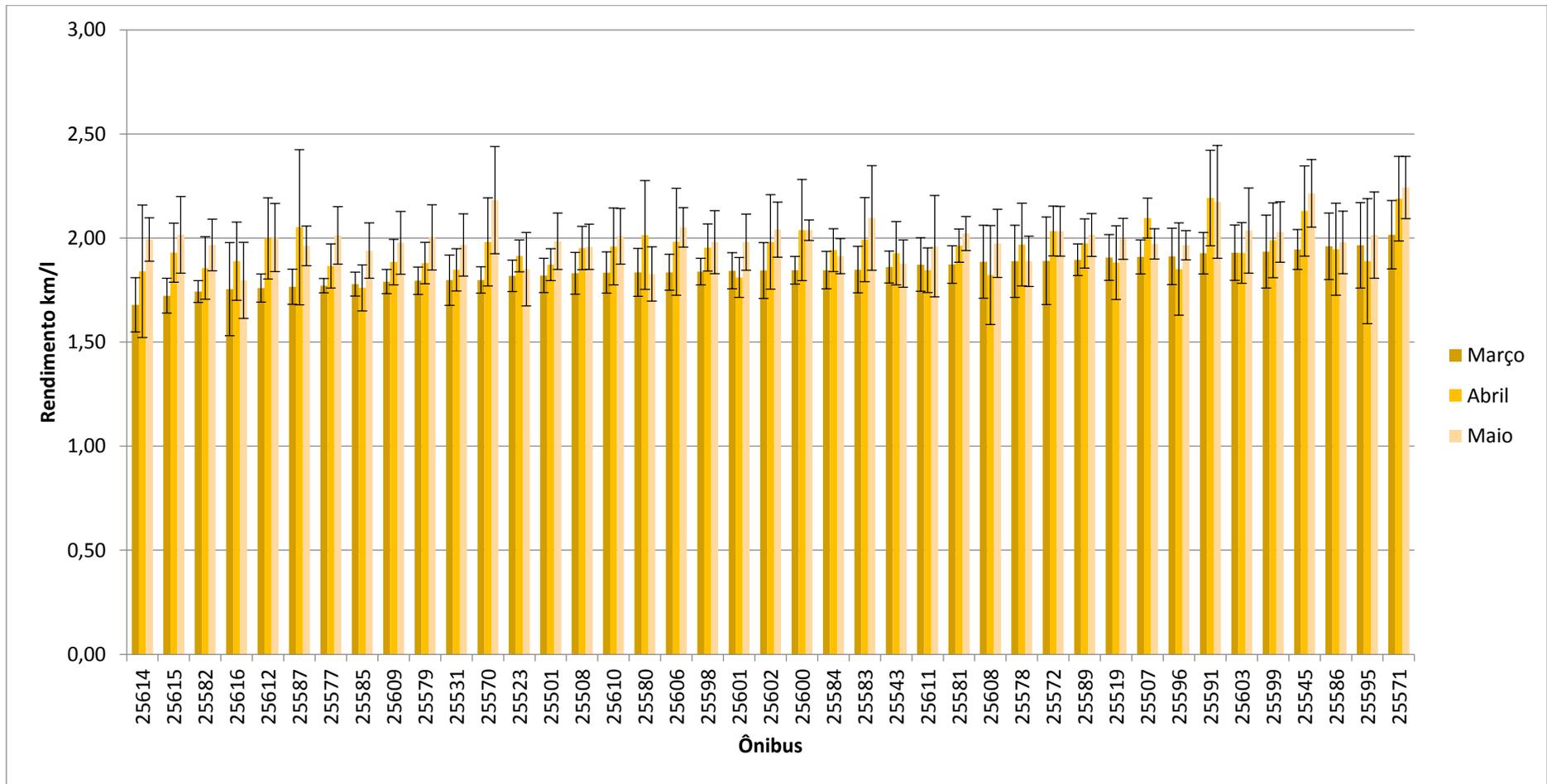


Figura 12: Rendimento energético médio do ônibus urbano convencional com ar condicionado.

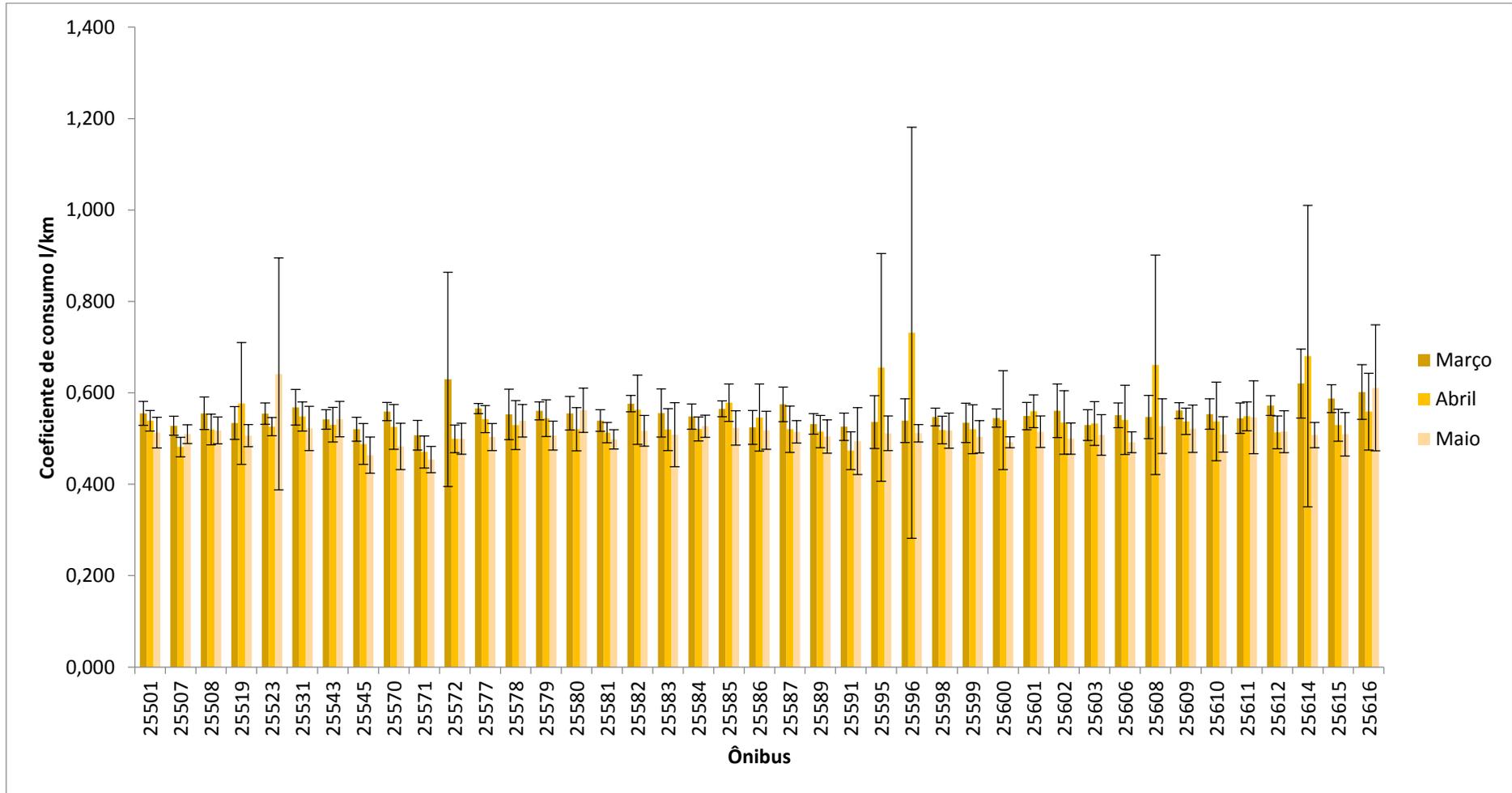


Figura 13: Coeficiente de consumo médio do ônibus urbano convencional com ar condicionado.

3.1.6.3. Análise dos dados – ônibus rodoviário com ar condicionado

As Figuras 14 e 15 ilustram o rendimento energético e o coeficiente de consumo médios dos ônibus urbano convencionais com ar condicionado e suas variações ao longo dos meses.

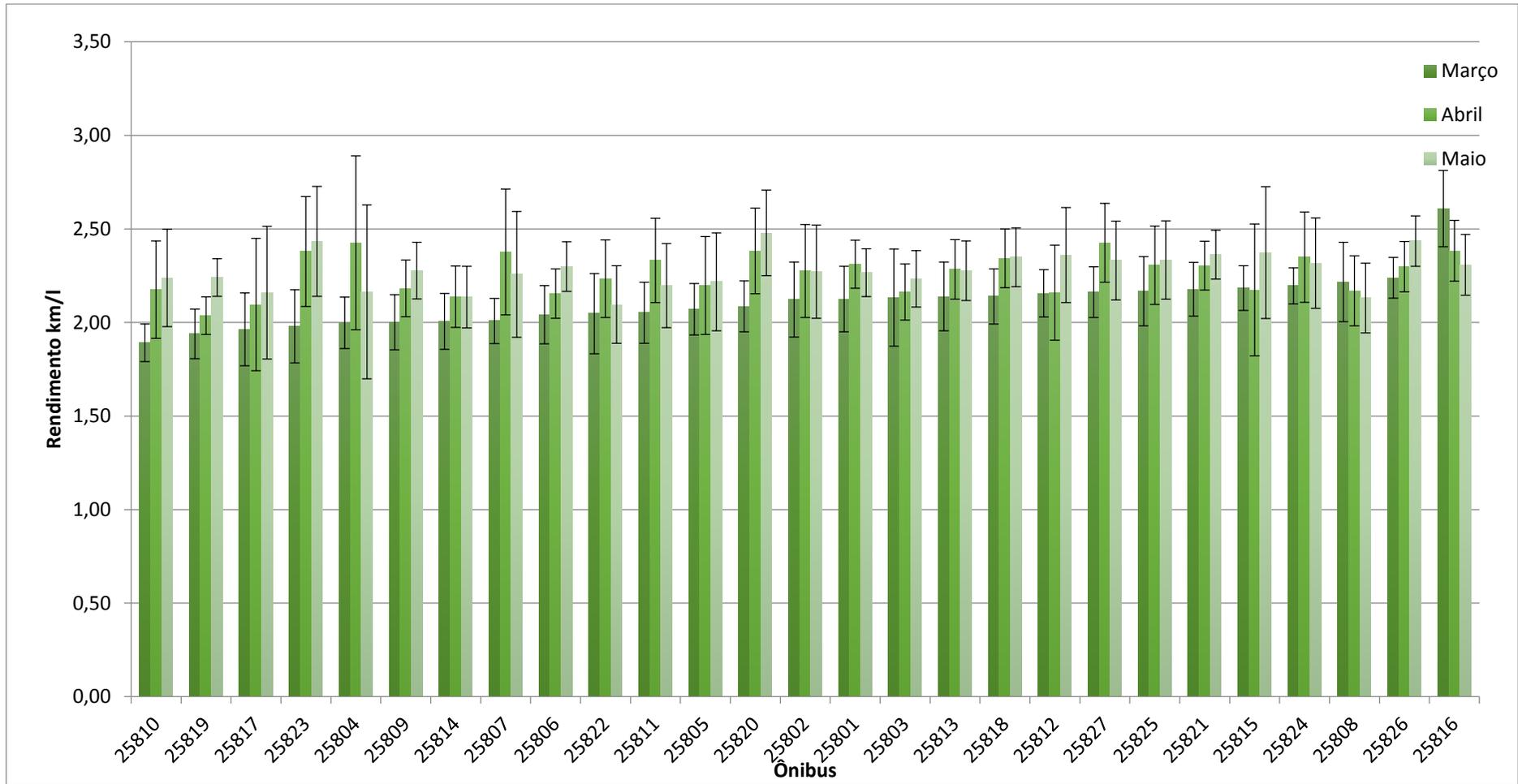


Figura 14: Rendimento energético médio do ônibus rodoviário.

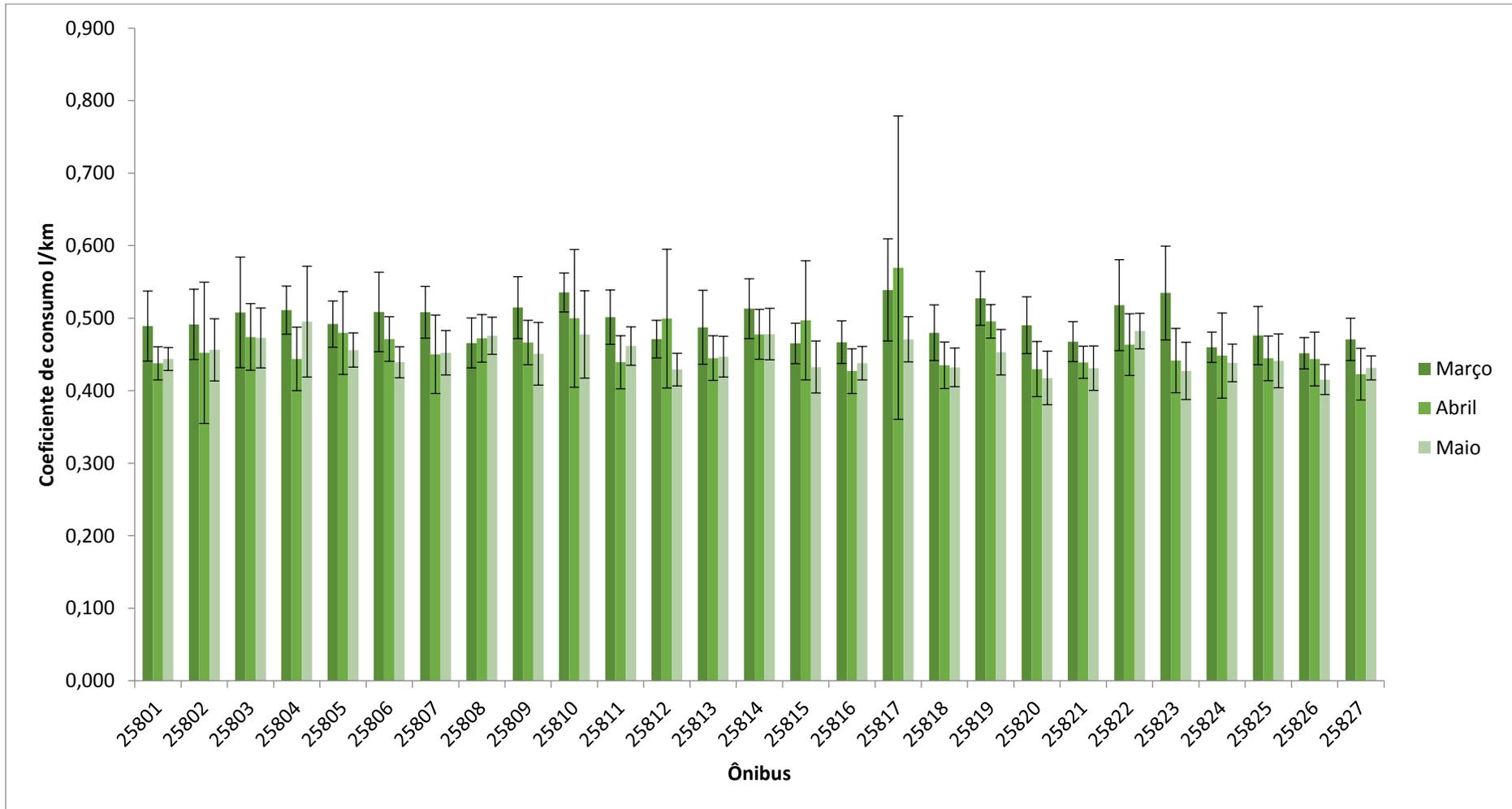


Figura 15: Coeficiente de consumo médio do ônibus rodoviário.

3.1.6.4. Análise dos dados – ônibus articulado com ar condicionado

As Figuras 16 e 17 ilustram o rendimento energético e o coeficiente de consumo médios dos ônibus urbano convencionais com ar condicionado e suas variações ao longo dos meses.

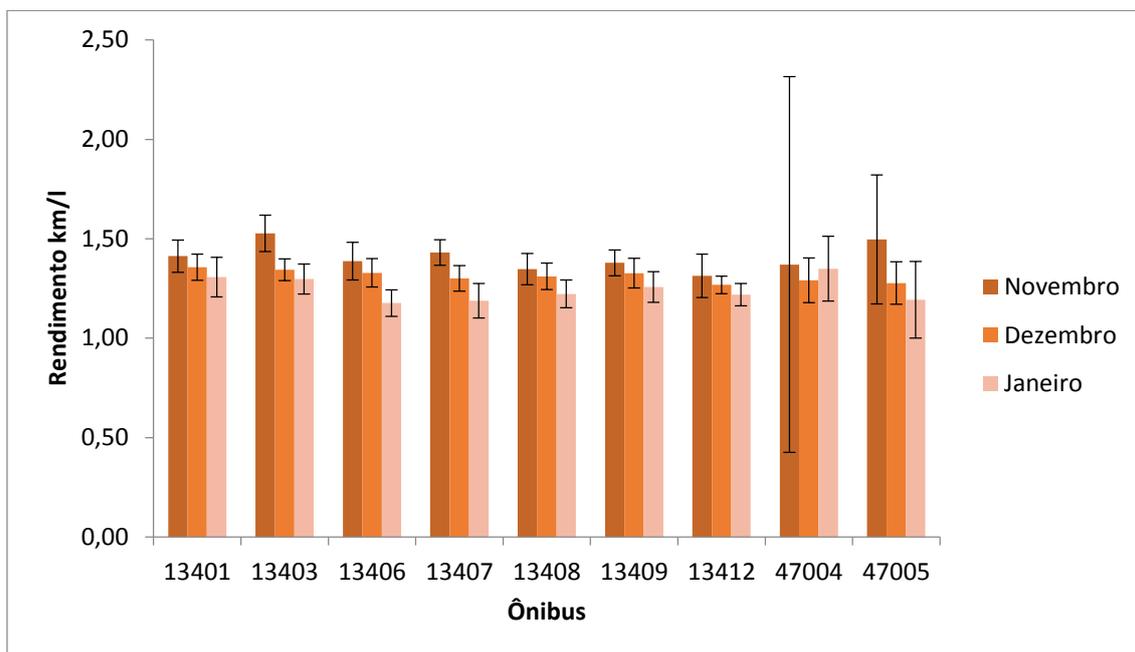


Figura 16: Rendimento energético médio do ônibus urbanos articulados com ar condicionado.

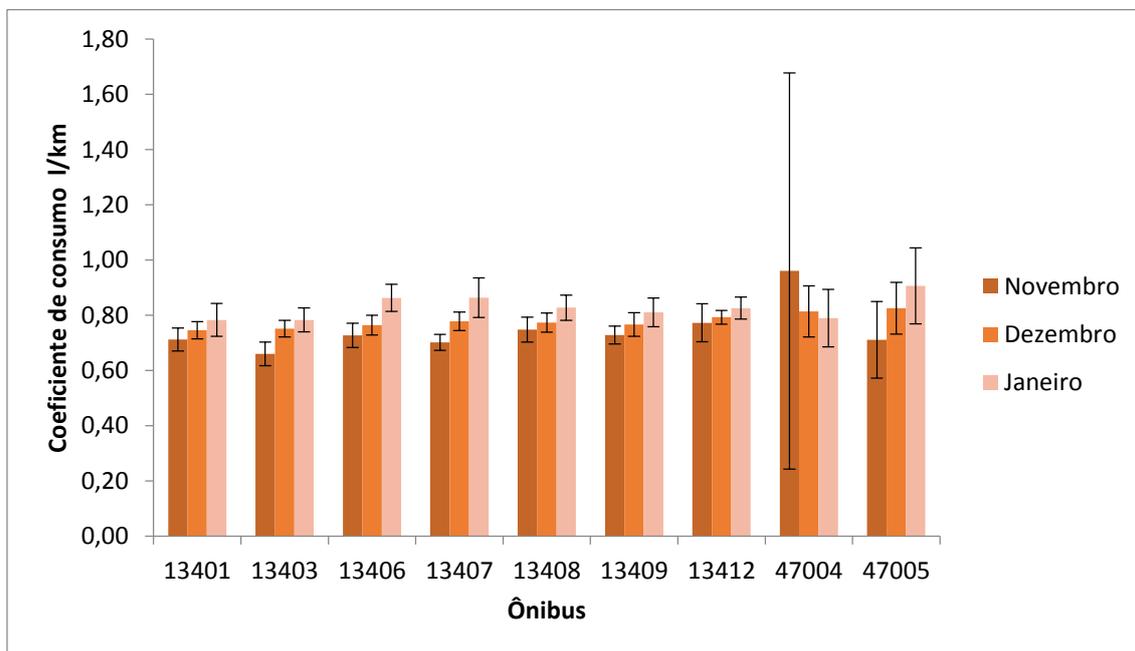


Figura 17: Coeficiente de consumo médio do ônibus urbanos articulados com ar condicionado.

3.2 Planejamento para avaliação dos resultados

Uma vez concluída a fase 1 do procedimento, inicia-se a fase 2, cujas etapas são apresentadas a seguir.

3.2.1 Definição do dispositivo para aferir o consumo

Foram levantados diversos equipamentos para esta finalidade, tais como o sensor de fluxo de combustível, o sensor de nível de combustível e os dispositivos de telemetria. Optou-se pela escolha do dispositivo de telemetria pois o mesmo fornece um número maior de informações, sendo elas: consumo de combustível, RPM (rotações por minuto do motor), temperatura do motor, velocidade do veículo, ocorrência de frenagem bruscas, localização geográfica do veículo, volume do tanque de combustível, tempo ligado, tempo de operação em cada faixa de RPM, dados do hodômetro, tempo parado, tempo em movimento e diversos avisos.

A limitação dos sensores de fluxo e de nível de combustível é que estes, apesar de serem precisos, medem o apenas consumo de combustível.

Para os ônibus da empresa Matias foram instalados o dispositivo de telemetria MTC – 700, fabricado pela *Maxtrack* Industrial, uma empresa do Grupo MXT. Os dados foram extraídos e enviados pela empresa *M2M Solutions*.

Já para o ônibus articulado com ar condicionado não foi necessário a instalação do dispositivo, pois os ônibus já possuem esta tecnologia embarcada e dispõe de comunicação sem fio de fábrica. A Volvo Bus Telemática possibilita diagnósticos remotos de frotas e veículos que podem ser acessados em tempo real.

3.2.2 Definição dos veículos a serem equipados

De posse da caracterização dos veículos e com o histórico da operação de cada ônibus, foi possível realizar o procedimento de estatística descritiva mencionado na secção 2.1.5 e identificar os ônibus que possuíram dados com menor variabilidade. Isso foi feito com base no histórico fornecido (secção 3.1.3). Os ônibus selecionados foram: o veículo 25529, do tipo ônibus urbanos convencionais; 25585, para o tipo ônibus urbano convencional com ar condicionado; 25817, para o tipo ônibus rodoviários e 13406, para o tipo ônibus urbano articulado.

3.2.3 Instalação e ajustes do dispositivo

Após definir os ônibus que receberiam os equipamentos, no caso dos ônibus da empresa Matias, iniciou-se a instalação do equipamento no dia 03 de julho de 2015. Este equipamento, passou por um período de reparos e ajustes que perdurou até o dia 12 de novembro de 2015.

3.2.5 Coleta preliminar dos dados

Após instalados e ajustados os dispositivos nos ônibus em estudo, foram extraídas amostras preliminares dos dias de operação. Os arquivos gerados estavam no formato *Comma Separated Values* (CSV).

3.2.5 Análise preliminar dos dados coletados

De posse dos dados preliminarmente coletados foi possível realizar uma análise de consistência e avaliá-los. Os dados apresentaram algumas inconsistências para os valores de consumo, RPM e quilometragem percorrida. Logo, novos ajustes foram realizados nos dispositivos e no sistema. Este processo se repetiu até que os dados estivessem consistentes e pudessem ser processados.

Já no caso do ônibus articulado da empresa Redentor, não houve a necessidade de ajustes no dispositivo ou no sistema, uma vez que os dados obtidos são consistentes.

3.2.6 Coleta da amostra piloto

Após os dados se apresentarem consistentes foi extraída uma amostra piloto com o objetivo de identificar um tamanho de amostra que garantisse uma distribuição normal padrão a um nível de significância de 5% para o rendimento energético diário dos ônibus. Esta amostra piloto continha observações do dia 12 de novembro de 2015 até o dia 08 de dezembro de 2015. Foram calculados o rendimento energético e o coeficiente de consumo da operação diária dos ônibus da empresa Matias a cada quinze (15) minutos e posteriormente se calculou a média e o desvio-padrão do rendimento energético e do coeficiente de consumo. O mesmo foi feito para o ônibus articulado, porém a cada uma hora.

3.2.7 Análise preliminar da amostra piloto

A aplicação do procedimento para o cálculo da amostra mínima com base na amostra piloto resultou em tamanho da amostra mínima de 17 observações (dias úteis) para o ônibus urbano convencional, 9 observações para o ônibus urbano convencional com ar condicionado e 16 observações para o ônibus rodoviário com ar condicionado e para o ônibus urbano articulado com ar condicionado, porém foi possível adquirir uma amostra maior que a amostra mínima e o tamanho desta amostra está expressa na tabela 5 e 6.

3.3 Cálculo do rendimento energético e do coeficiente de consumo médio

Realizado o planejamento proposto pela fase 2 e de posse dos resultados da fase 1, os novos valores médios de rendimento energético e do coeficiente de consumo puderam ser obtidos.

3.3.1 Coleta de dados

De posse do cálculo da amostra mínima, foi possível realizar a coleta dos dados, garantindo a exclusão de dias atípicos e ainda assim atingir o tamanho da amostra necessária.

Os dados dos ônibus da empresa Matias foram coletados do dia 15/11/2015 até o dia 23/12/2015 e os dados referentes ao ônibus articulado da empresa Redentor do dia 01/09/2015 até o dia 30/11/2015.

3.3.2 Análise da consistência

De posse dos dados verificou a consistência dos dados e foram removidos os dias atípicos (feriados e finais de semana), *outliers* e os dados que apresentaram erros.

3.3.3 Estatística descritiva

A análise por meio da estatística descritiva foi realizada com base no item 2.1.5. As Tabelas 5 e 6 apresentam a média, variância, desvio-padrão, amostra utilizada, mediana e menores e maiores valores identificados para o rendimento energético e o coeficiente de consumo, respectivamente.

Tabela 5: Resultados para o rendimento energético.

Estatística descritiva	Ônibus			
	Urbano convencional	Urbano convencional com ar condicionado	Rodoviário com ar condicionado	Articulado com ar condicionado
Média	2,416 km/l	1,839 km/l	1,977 km/l	1,213 km/l
Variância	0,047 km/l	0,013 km/l	0,038 km/l	0,018 km/l
Desvio-padrão	0,216 km/l	0,114 km/l	0,195 km/l	0,135 km/l
Amostra mínima	17	9	16	16
Amostra utilizada	23	17	25	63
Máximo	2,986 km/l	2,081 km/l	2,420 km/l	1,550 km/l
Mínimo	1,986 km/l	1,694 km/l	1,562 km/l	0,906 km/l
Mediana	2,378 km/l	1,791 km/l	1,996 km/l	1,228 km/l

Tabela 6: Resultados para o coeficiente de consumo.

Estatística descritiva	Ônibus			
	Urbano convencional	Urbano convencional com ar condicionado	Rodoviário com ar condicionado	articulado com ar condicionado
Média	0,417 l/km	0,547 l/km	0,511 l/km	0,835 l/km
Variância	0,001 l/km	0,001 l/km	0,003 l/km	0,009 l/km
Desvio-padrão	0,036 l/km	0,031 l/km	0,051 l/km	0,097 l/km
Amostra mínima	17	9	16	16
Amostra utilizada	23	17	25	63
Máximo	0,503 l/km	0,590 l/km	0,640 l/km	1,104 l/km
Mínimo	0,335 l/km	0,480 l/km	0,413 l/km	0,645 l/km
Mediana	0,420 l/km	0,558 l/km	0,501 l/km	0,814 l/km

3.3.4 Análise dos dados

Uma vez que os dados tenham sido coletados e tratados, por meio da estatística descritiva, é possível realizar a análise dos resultados, como será feito na próxima etapa do procedimento.

3.3.4.1 Análise dos resultados – ônibus urbano convencional

Efetuiu-se o histograma para observar como os dados estavam distribuídos. O histograma pode ser analisado por meio da Figura 18. É possível ver que o intervalo 2,200 km/l e 2,400 km/l obteve maior frequência de observações e que os dados estão variando entre 1,800 km/l a 3,000 km/l.

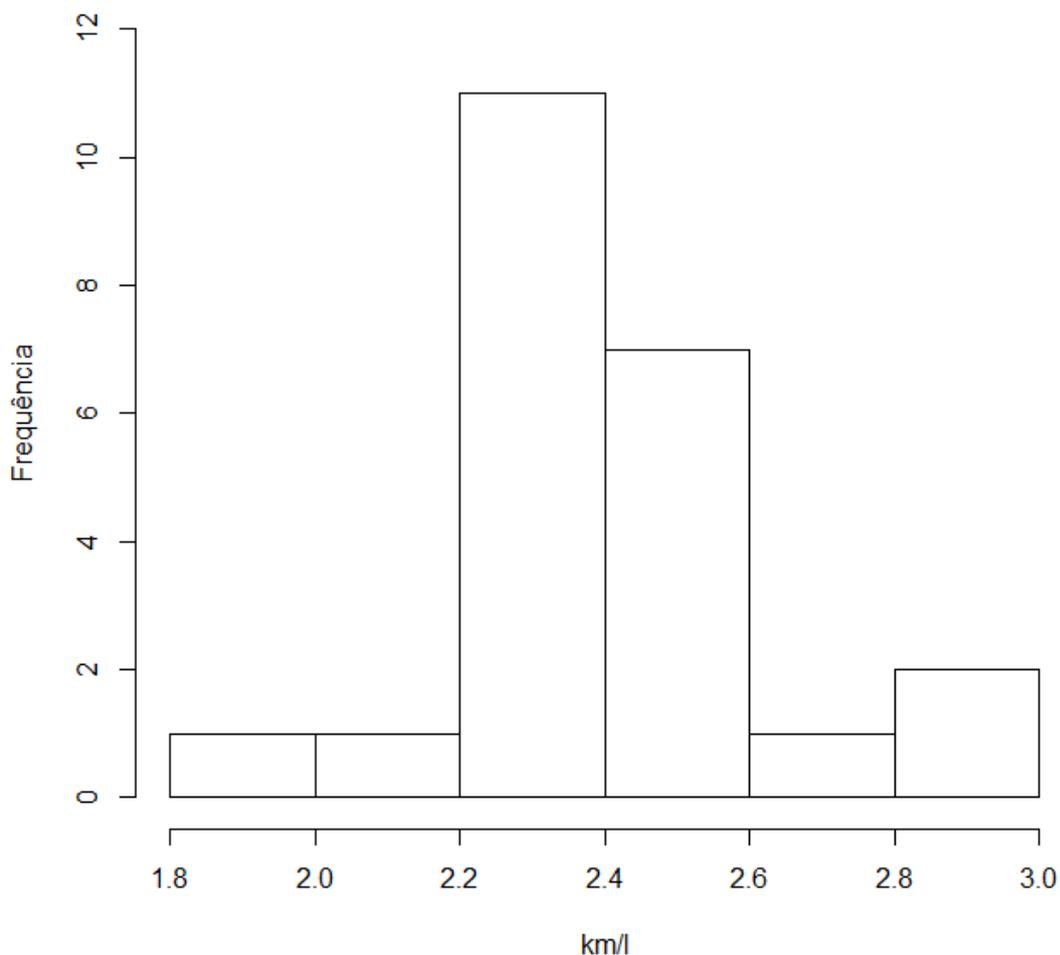


Figura 18: Histograma do rendimento energético - ônibus urbano convencional.

A Figura 19 apresenta o gráfico *boxplot*, a finalidade de obter melhor entendimento a respeito da assimetria dos dados. É possível ver simetria nos dados, pois a mediana está no centro da caixa. Observam-se também alguns valores discrepantes que não foram removidos da amostra, uma vez que estes não influenciaram. No cálculo da média do rendimento energético. .

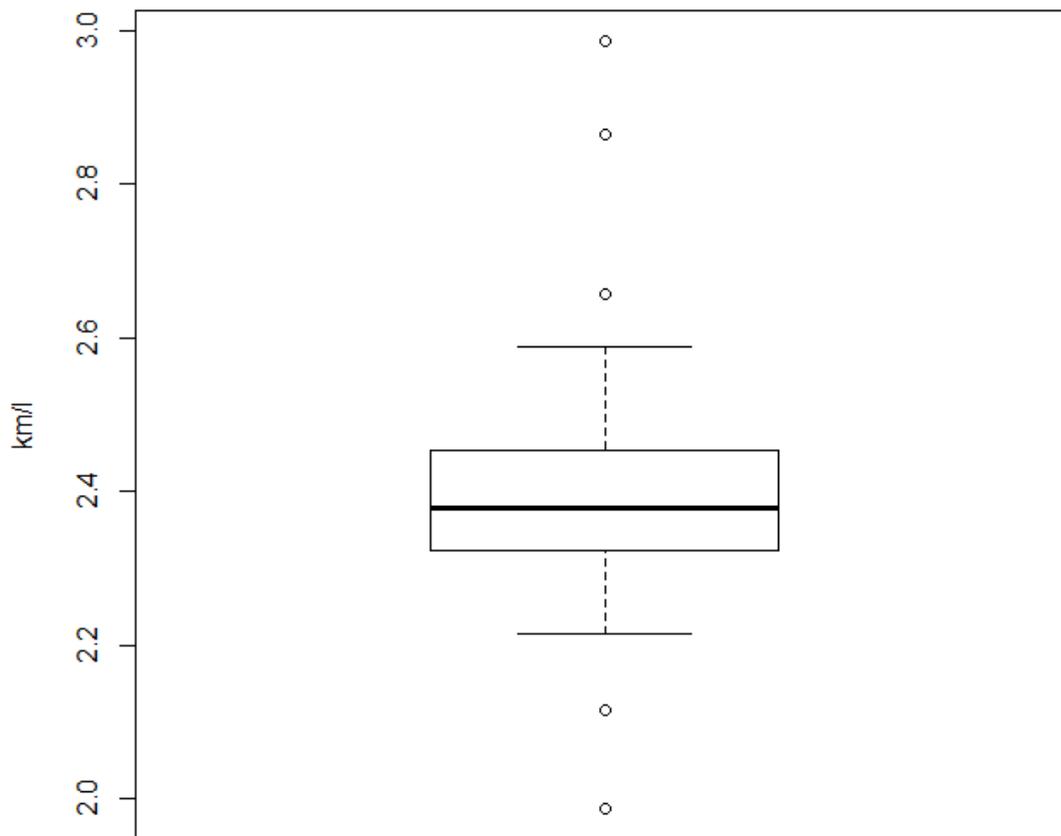


Figura 19: *Boxplot* do rendimento energético - ônibus urbano convencional.

Na Figura 20 é possível ver a distribuição de densidade da amostra para os dados de rendimento energético do ônibus urbano convencional. É possível ver que o máximo da densidade da amostra está próximo ao intervalo entre 2,20 km/l e 2,40 km/l. Logo, o máximo da densidade dos dados está correspondendo ao intervalo em que se obtém maior frequência de observações.

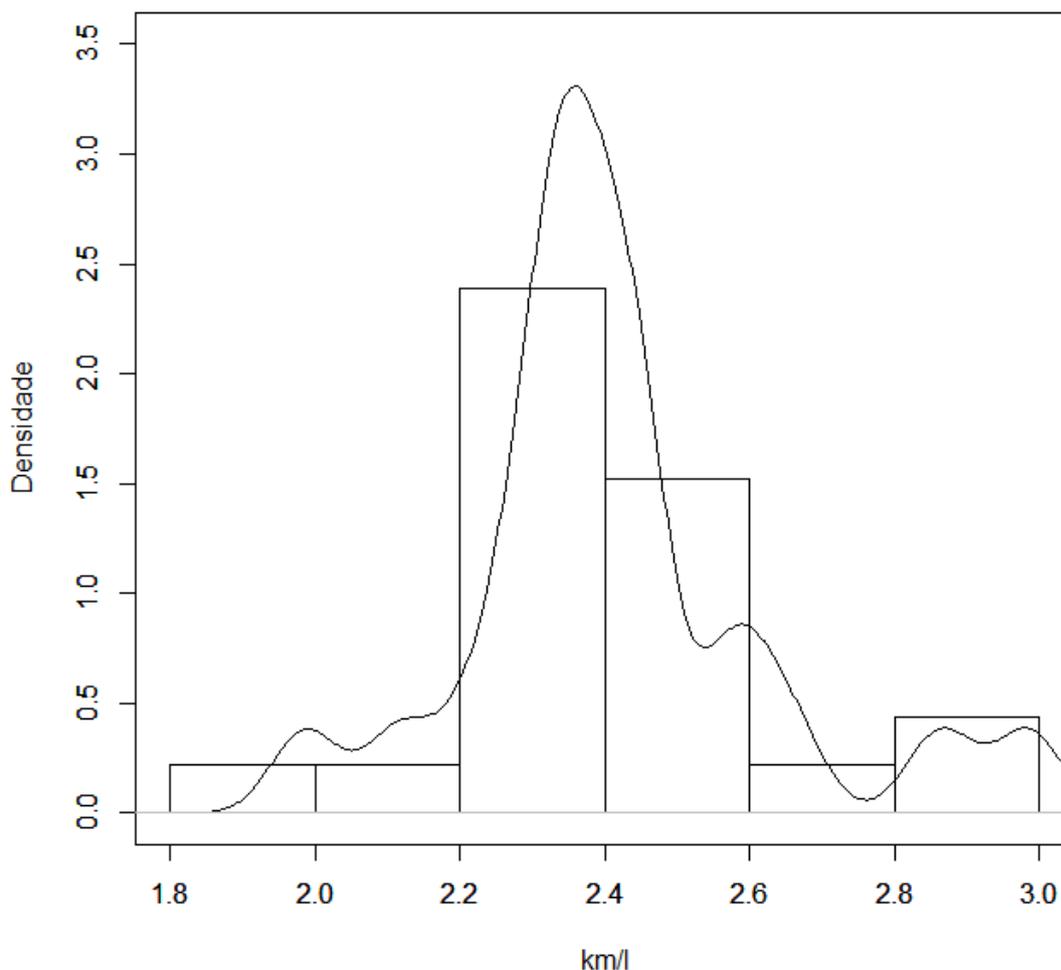


Figura 20: Densidade do rendimento energético - ônibus urbano convencional.

Executou-se dois testes de normalidade sobre os dados da amostra coletada para os valores de rendimento energético para o ônibus urbano convencional. O teste Shapiro-Wilk e o teste Jarque-Bera serviram para conferir se a amostra de dados extraída para o ônibus em questão segue uma distribuição normal padrão. O p-valor extraído no resultado dos testes pode ser conferido na Tabela 7.

Tabela 7: Testes de normalidade para o ônibus urbano convencional.

Teste	P-valor
Shapiro-Wilk	0,067
Jarque-Bera	0,134

Analisando a Tabela 7 é possível ver que o p-valor para o teste Shapiro-Wilk é de 0,067 e para o teste Jarque-Bera é de 0,134. Como estes resultados são superiores a 0,05 o que representa 5% do nível de significância, pode-se concluir que não será rejeitada a hipótese nula mencionada na seção 2.3.4, ou seja, não será rejeitada a hipótese de normalidade.

Realizou-se o gráfico de autocorrelação temporal presente na Figura 21 e foi possível identificar que os dados são independentes, pois a autocorrelação não ultrapassa a área delimitada (curva tracejada em azul). Nota-se que a autocorrelação para o primeiro valor foi igual a um, pois trata-se da autocorrelação dele com ele mesmo, por isso é aceitável que ele ultrapasse a área delimitada. Sendo assim é possível dizer que a observação de um dia não tem influência na observação do dia seguinte e assim sucessivamente.

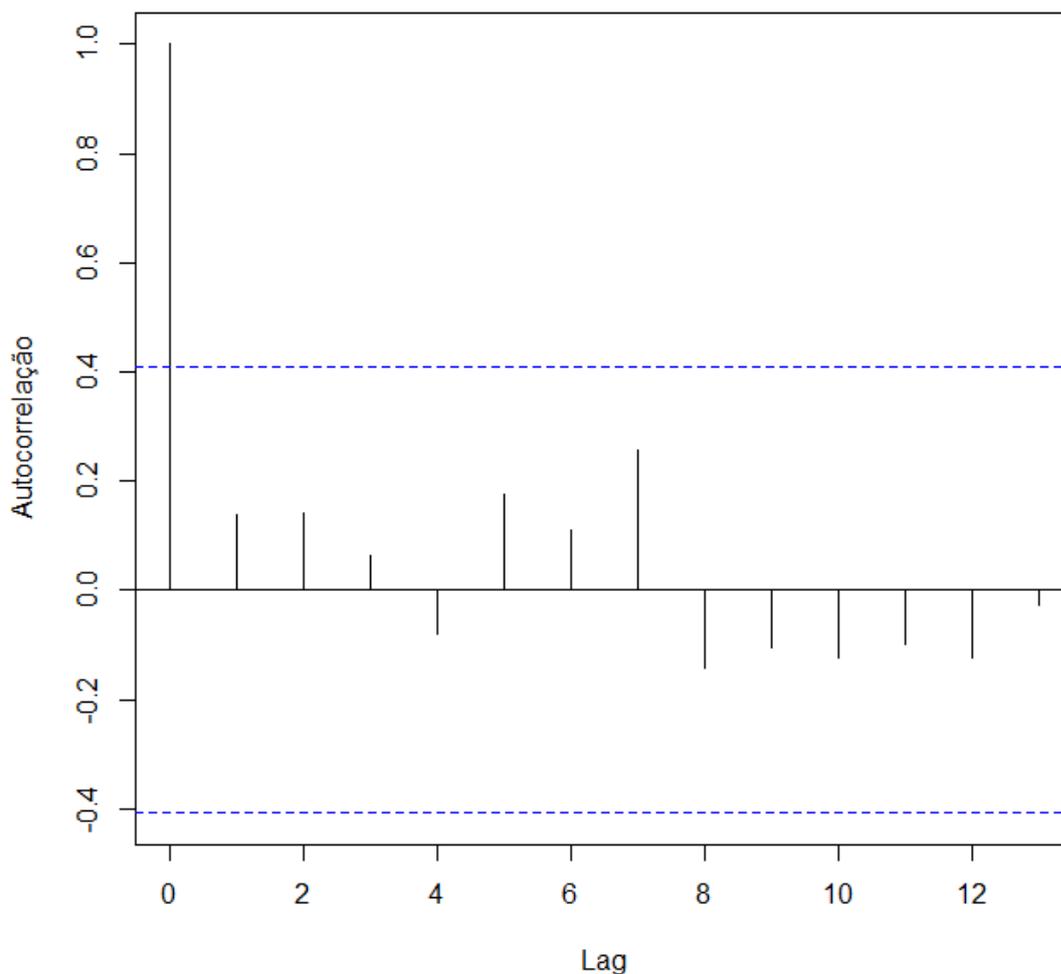


Figura 21: Gráfico Autocorrelação - ônibus urbano convencional.

O resultado de independência também pode ser conferido pelo teste Qui-quadrado. Como o p-valor do teste foi de 1 se tem forte evidência que os dados são independentes.

Então se calculou o intervalo de confiança a um nível de significância de 5% para a média da amostra extraída para os valores de rendimento energético para o ônibus urbano convencional. Como a variância é desconhecida foi utilizado o quantil da distribuição t de Student.

A Figura 22 apresenta o intervalo de confiança. A um nível de significância de 5% para a média da amostra extraída do ônibus urbano convencional que variou entre 2,322 e 2,509. É possível afirmar que 95% dos intervalos construídos desta forma vão conter a média de 2,416 km/l.

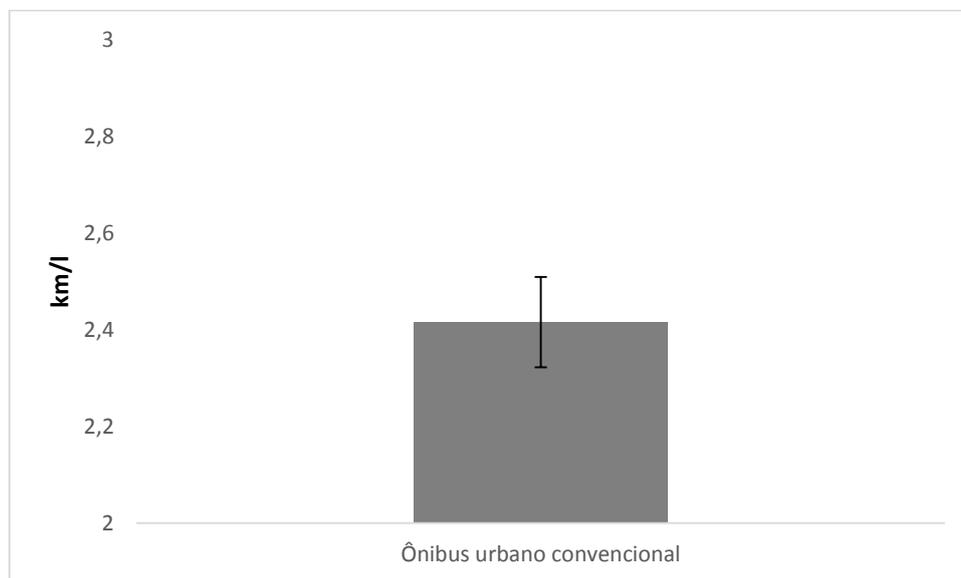


Figura 22: Intervalo de confiança do rendimento energético - ônibus urbano convencional.

Efetuiu-se também o histograma para o coeficiente de consumo, com o objetivo de observar como os dados estavam distribuídos. O histograma pode ser analisado na Figura 23. É possível ver que o intervalo de 0,400 l/km a 0,450 l/km obteve maior frequência de observações e que os dados estão variando entre 0,300 l/km e 0,550 l/km.

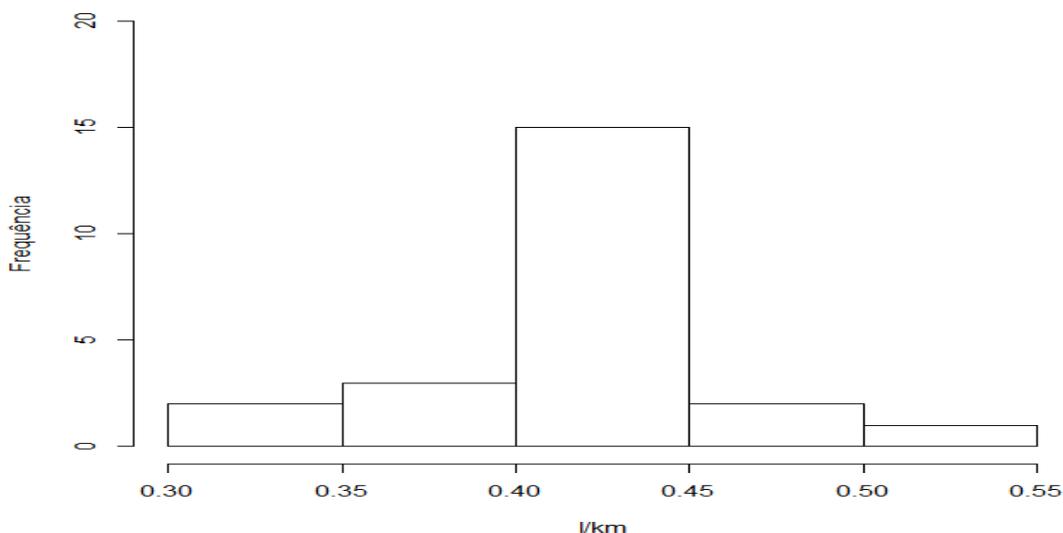
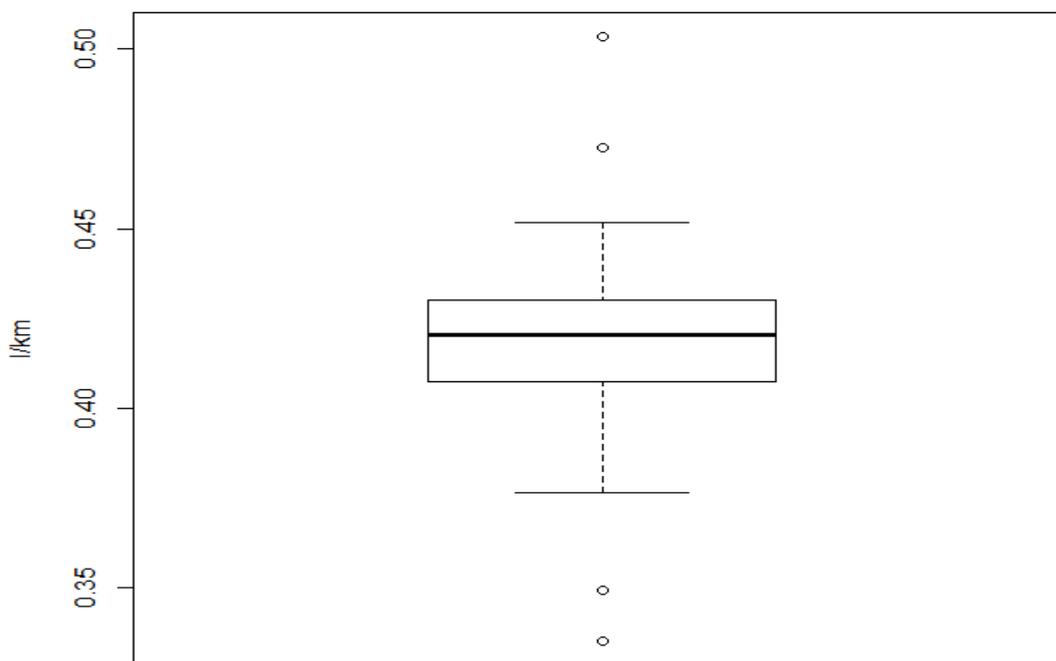


Figura 23: Histograma do coeficiente de consumo - ônibus urbano convencional.

A Figura 24 apresenta o gráfico *boxplot* para o coeficiente de consumo do ônibus urbano convencional que permite obter melhor entendimento da assimetria dos dados. É possível ver simetria nos dados, pois a mediana está no centro da caixa. Observam-se também alguns valores discrepantes que não foram removidos da amostra, pois não influenciaram no cálculo da média do coeficiente de consumo.

Figura 24: *Boxplot* do coeficiente de consumo ônibus urbano convencional.



Na Figura 25 é possível ver a densidade da amostra dos dados de coeficiente de consumo para o ônibus estudados. É possível ver que o máximo da densidade da amostra está próximo ao intervalo que vai de 0,400 l/km a 0,450 l/km. Logo o máximo da densidade dos dados está correspondendo ao intervalo em que se obtém maior frequência de observações.

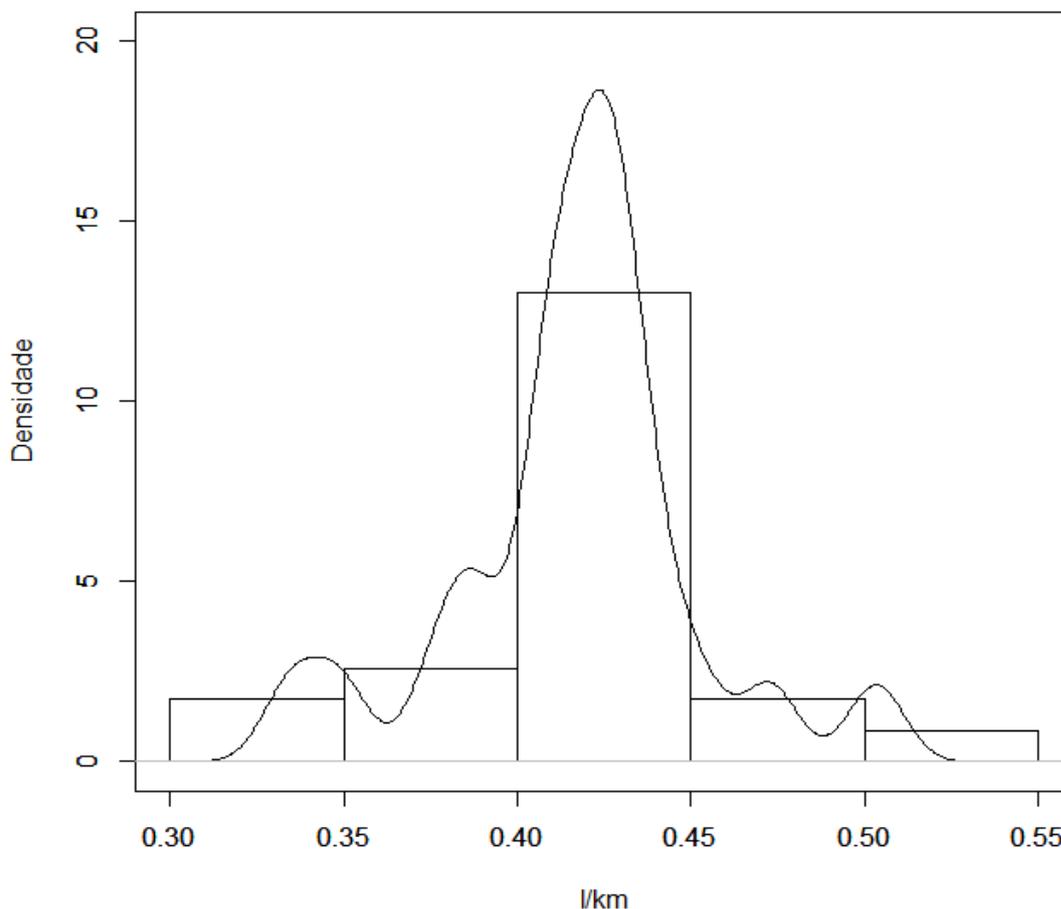


Figura 25: Densidade do coeficiente de consumo - ônibus urbano convencional.

Foi calculado o intervalo de confiança do coeficiente de consumo a um nível de significância de 5% para a média da amostra extraída para os ônibus em questão. Como a variância é desconhecida foi utilizado o quantil da distribuição t de Student.

A Figura 26 apresenta o intervalo de confiança a um nível de significância de 5% para a média da amostra extraída para os valores do coeficiente de consumo para o ônibus urbano convencional que variou de 0,401 a 0,432. Com isso, entende-se que em 95% dos intervalos construídos desta forma conterão a média de 0,417 l/km.

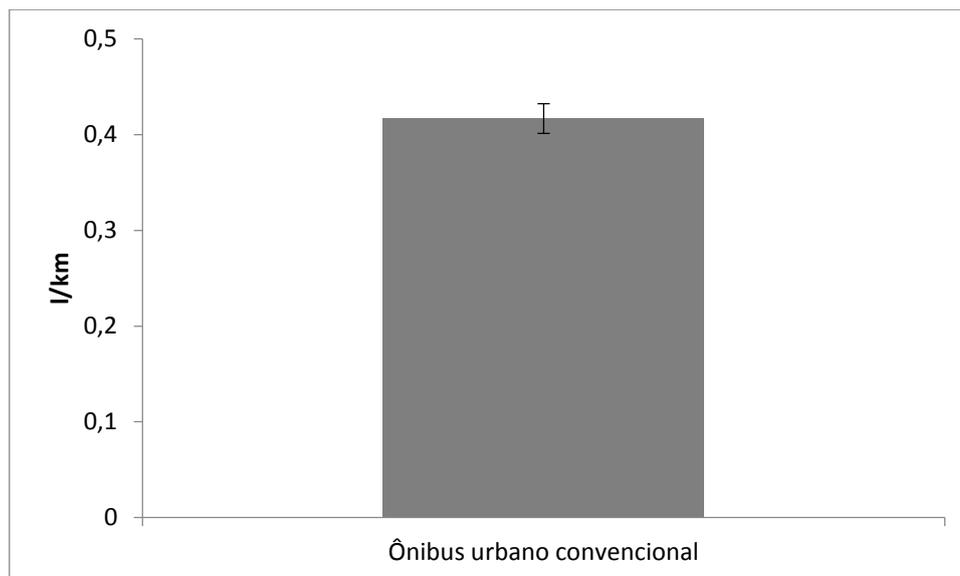


Figura 26: Intervalo de confiança do coeficiente de consumo - ônibus urbano convencional.

3.3.4.2 Análise dos resultados – ônibus urbano convencional com ar condicionado

Efetou-se também para o ônibus urbano convencional com ar condicionado o histograma para observar como os dados estavam distribuídos. O histograma pode ser analisado por meio da Figura 27. É possível ver que o intervalo 1,750 km/l e 1,800 km/l obteve maior frequência de observações e que os dados estão variando entre 1,650 km/l a 2.100 km/l.

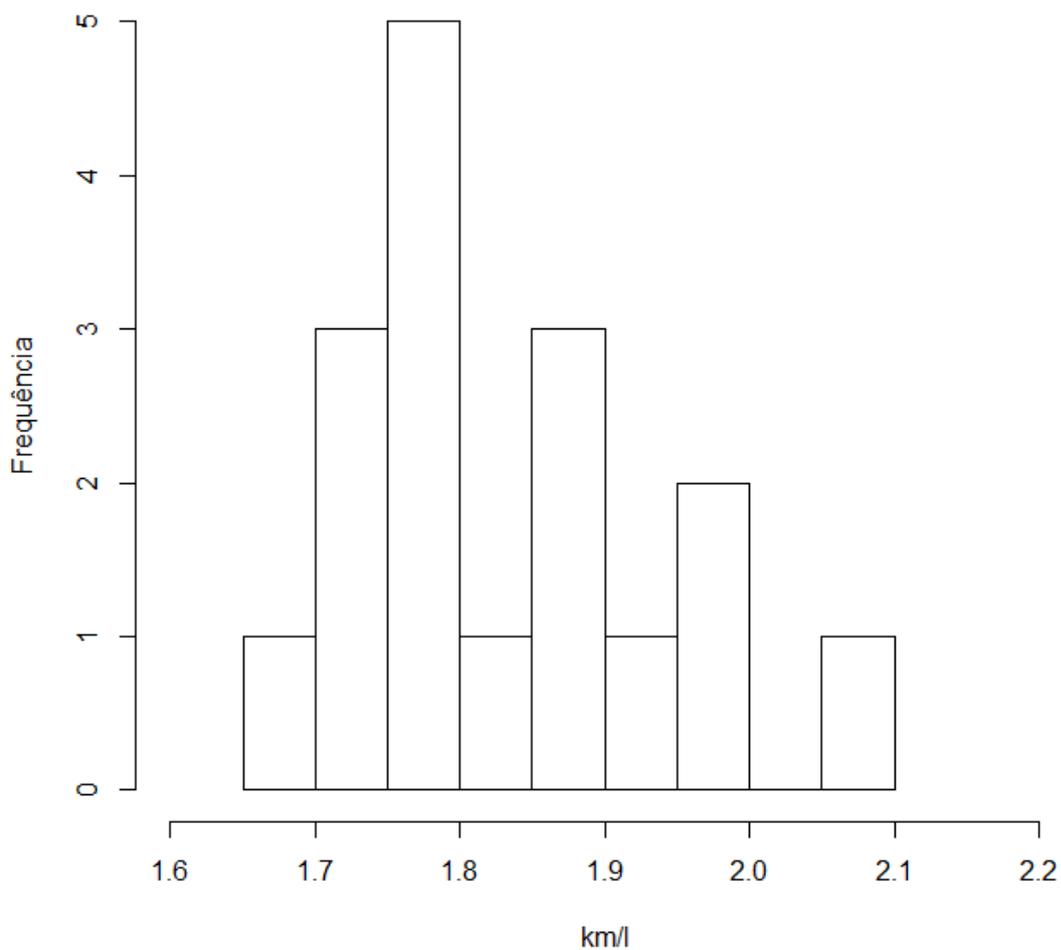


Figura 27: Histograma do rendimento energético - ônibus urbano convencional com ar condicionado

A Figura 28 apresenta o gráfico *boxplot*, a finalidade de obter melhor entendimento da assimetria dos dados. É possível ver que maior parte dos dados está concentrado abaixo da mediana e apresenta maior variabilidade acima da mediana.

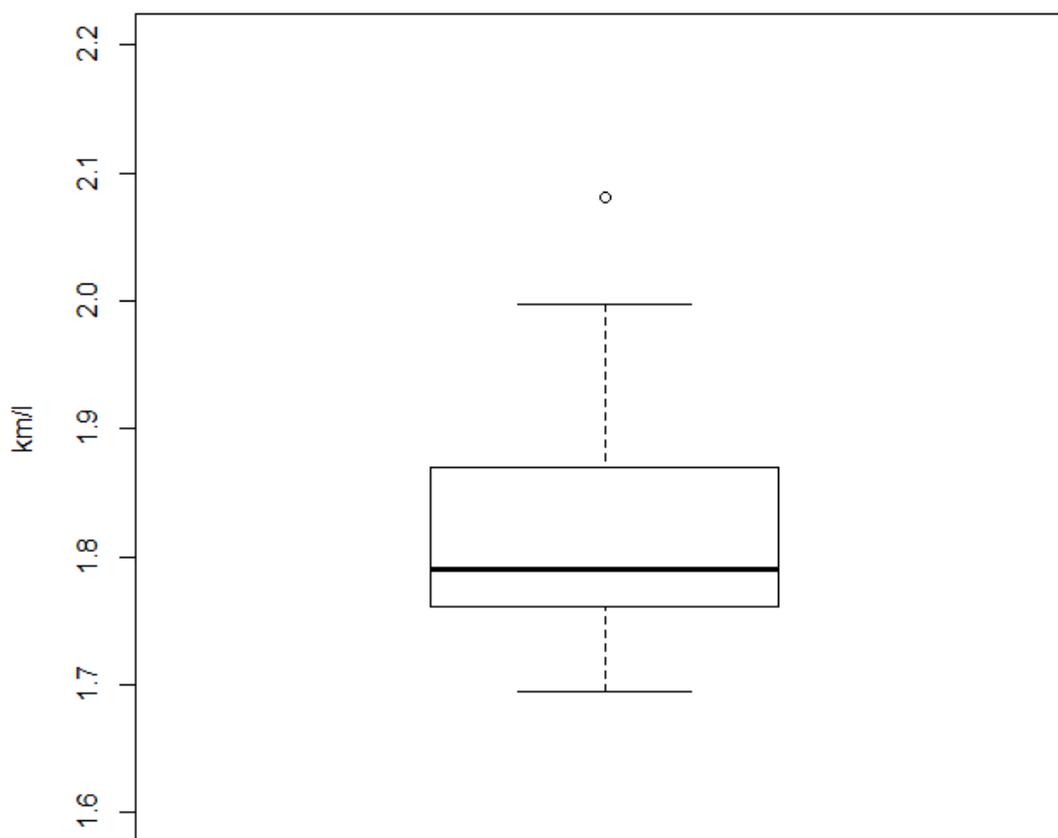


Figura 28: *Boxplot* do ônibus urbano convencional com ar condicionado

Na Figura 29 é possível ver a distribuição de densidade da amostra para os dados de rendimento energético do ônibus em questão. É possível ver que o máximo da densidade da amostra está próximo ao intervalo entre 1,750 km/l e 1,800 km/l. Logo, o máximo da densidade dos dados está correspondendo ao intervalo em que se obtém maior frequência de observações.

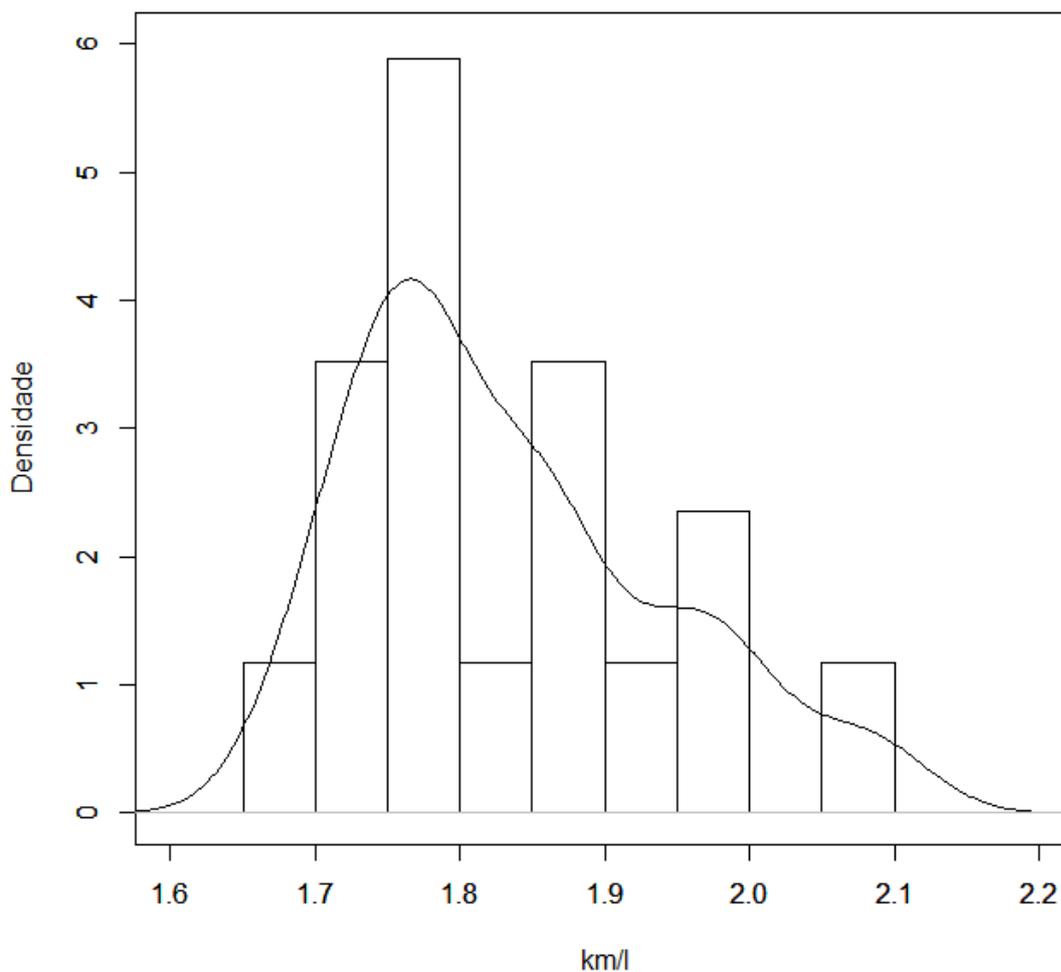


Figura 29: Densidade do coeficiente de consumo - ônibus urbano convencional com ar condicionado

Executou-se dois testes de normalidade, sobre os dados da amostra coletada para os valores de rendimento energético para o ônibus urbano convencional com ar condicionado. O teste Shapiro-Wilk e o Jarque-Bera serviram para conferir se a amostra de dados extraída para o ônibus urbano convencional com ar condicionado segue uma distribuição normal padrão. O p-valor extraído no resultado dos testes pode ser conferido na Tabela 8.

Tabela 8: Testes de normalidade para o ônibus urbano convencional com ar condicionado.

Teste	P-valor
Shapiro-Wilk	0,104
Jarque-Bera	0,408

Segundo a Tabela 8 é possível ver que o p-valor para o teste Shapiro-Wilk é de 0,104 e para o teste Jarque-Bera é de 0,408. Como estes resultados são superiores a 0,05 o que representa 5% do nível de significância, pode-se concluir que não será rejeitada a hipótese nula mencionada na secção 2.3.4, ou seja, não será rejeitada a hipótese de normalidade.

Realizou-se o gráfico de autocorrelação temporal presente na Figura 30 e foi possível identificar que os dados são independentes, pois a autocorrelação não ultrapassa a área delimitada (curva tracejada em azul). Nota-se que a autocorrelação para o primeiro valor foi igual a um, pois trata-se da autocorrelação dele com ele mesmo, por isso é aceitável que ele ultrapasse a área delimitada. Sendo assim é possível dizer que a observação de um dia não tem influência na observação do dia seguinte e assim sucessivamente.

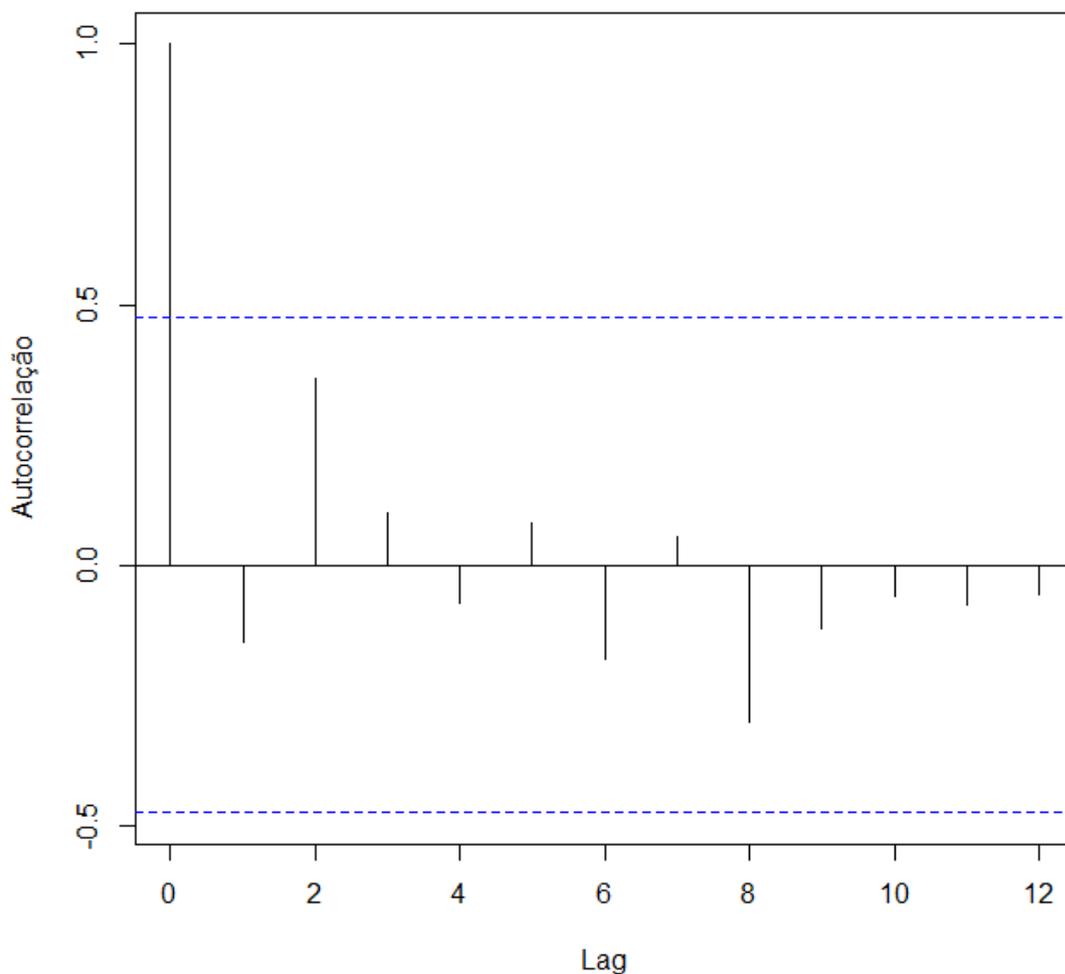


Figura 30: Gráfico de Autocorrelação - ônibus urbano convencional com ar condicionado.

O resultado de independência também pode ser conferido pelo teste Qui-quadrado. Como o p-valor do teste foi de 1. Logo se tem forte evidencia que os dados são independentes.

Então se calculou o intervalo de confiança a um nível de significância de 5% para a média da amostra extraída para os valores de rendimento energético para o ônibus urbano convencional com ar condicionado. Como a variância é desconhecida foi utilizado o quantil da distribuição t de Student.

A Figura 31 apresenta o intervalo de confiança. O intervalo de confiança a um nível de significância de 5% para a média da amostra extraída do ônibus urbano convencional com ar condicionado variou entre 1,780 e 1,898. É possível afirmar, que 95% dos intervalos construídos desta forma vão conter a média de 1,839 km/l.

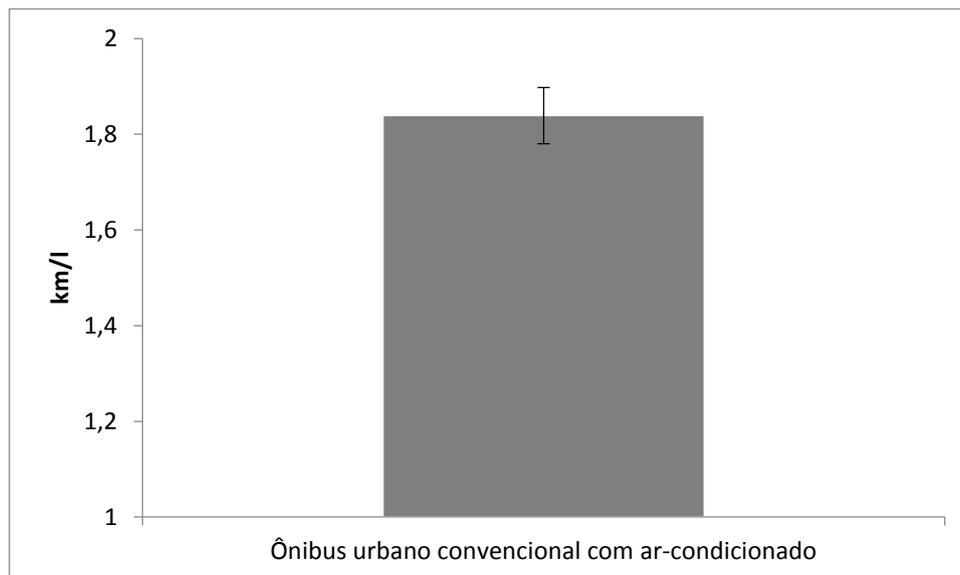


Figura 31: Intervalo de confiança do rendimento energético - ônibus urbano convencional com ar condicionado.

Efetuuou-se também o histograma para o coeficiente de consumo, com o objetivo de observar como os dados estavam distribuídos. O histograma pode ser analisado na Figura 32. É possível ver que o intervalo de 0,560 l/km a 0,580 l/km obteve maior frequência de observações e que os dados estão variando entre 0,480 l/km e 0,600 l/km.

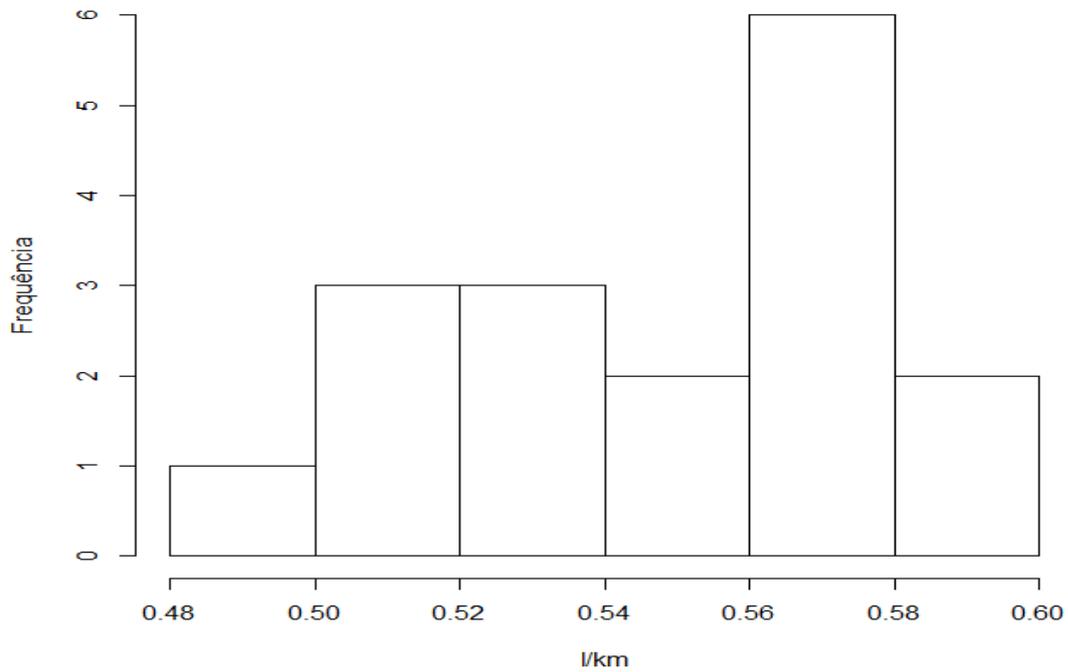


Figura 32: Histograma do coeficiente de consumo - ônibus urbano convencional com ar condicionado.

A Figura 33 apresenta o gráfico *boxplot*, par o coeficiente de consumo do ônibus urbano convencional com ar condicionado que permite obter melhor entendimento da assimetria dos dados. É possível ver que maior parte dos dados está concentrado abaixo da mediana, e apresenta maior variabilidade abaixo da mediana.

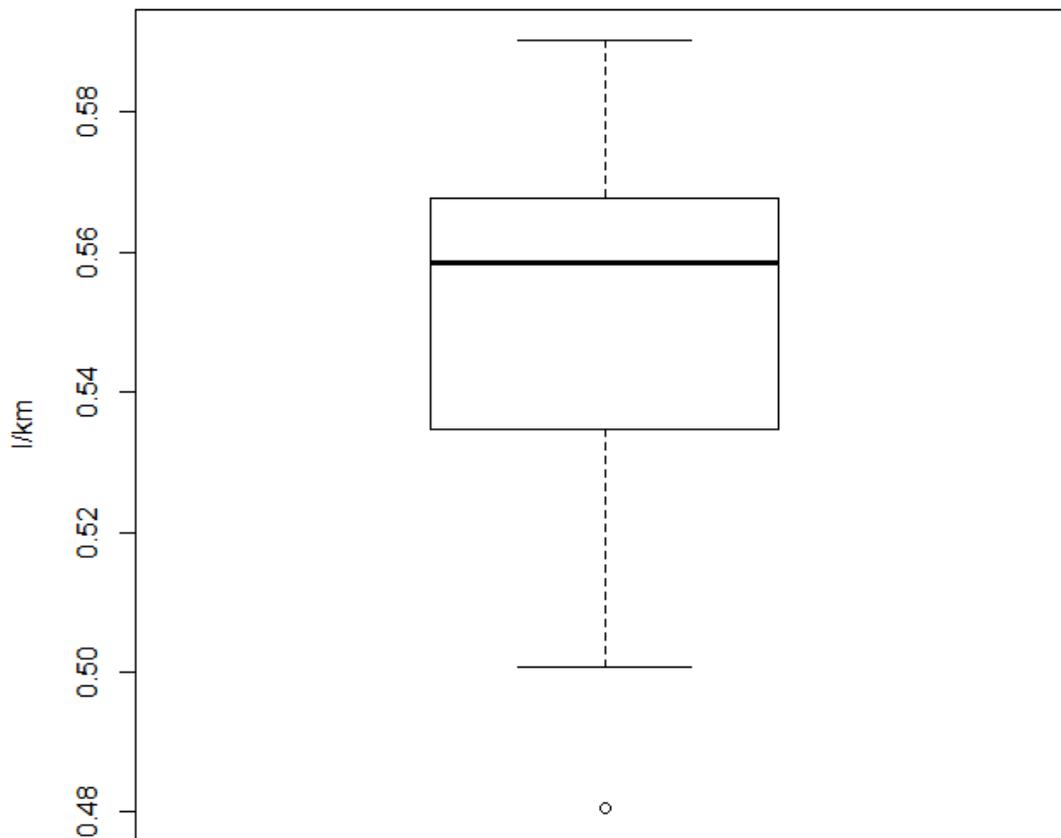


Figura 33: Coeficiente de consumo médio do ônibus urbanos convencionais com ar condicionado.

Na Figura 34 é possível ver a densidade da amostra dos dados de coeficiente de consumo para o ônibus estudado. É possível ver que o máximo da densidade da amostra está próximo ao intervalo que vai de 0,560 l/km a 0,580 l/km. Logo o máximo da densidade dos dados está correspondendo ao intervalo em que se obtém maior frequência de observações.

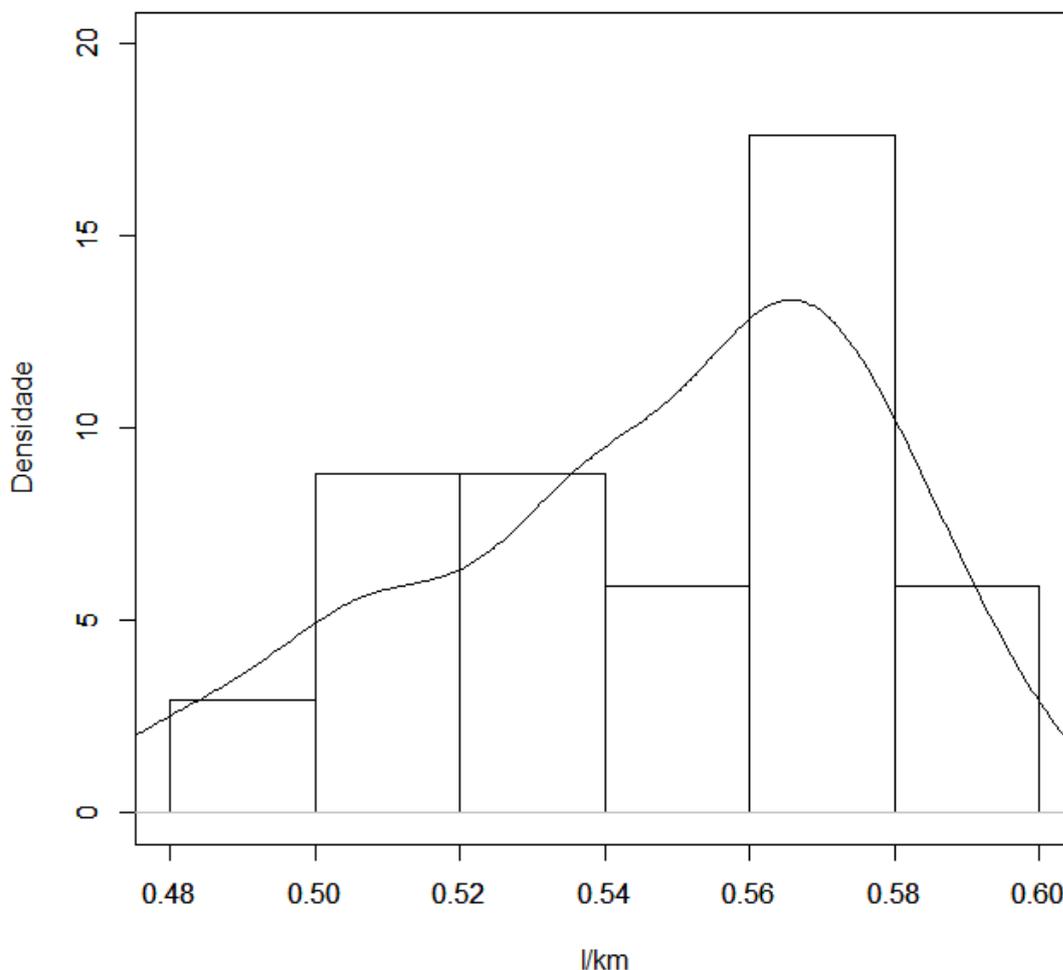


Figura 34: Densidade do coeficiente de consumo - ônibus urbano convencional com ar condicionado

Foi calculado o intervalo de confiança do coeficiente de consumo a um nível de significância de 5% para a média da amostra extraída para os ônibus em questão. Como a variância é desconhecida foi utilizado o quantil da distribuição t de Student.

A Figura 35 apresenta o intervalo de confiança. O intervalo de confiança a um nível de significância de 5% para a média da amostra extraída para os valores do coeficiente de consumo para o do ônibus urbano convencional com ar condicionado que variou de 0,531 a 0,563. Com isso, entende-se que em 95% dos intervalos construídos desta forma conterão a média de 0,547 l/km.

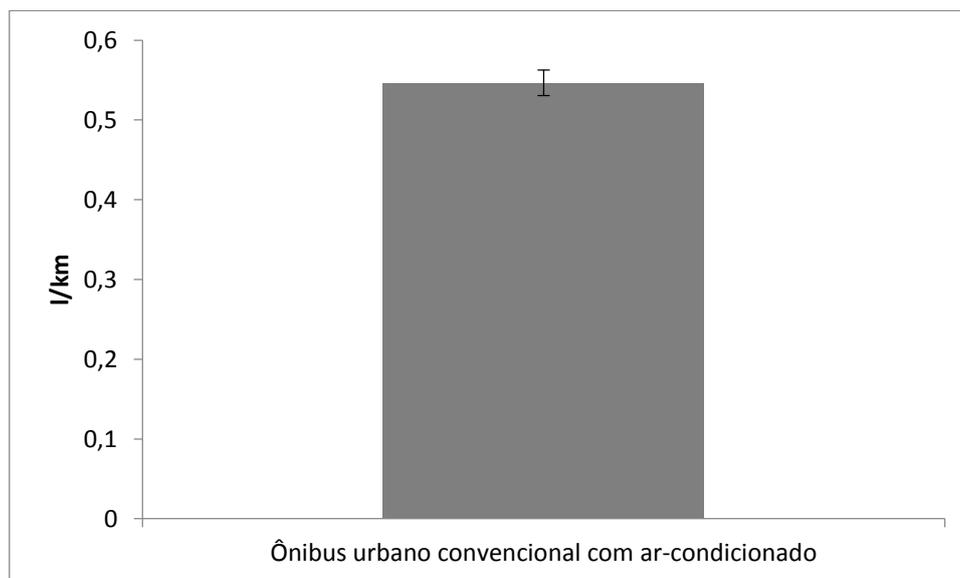


Figura 35: Coeficiente de consumo médio - ônibus urbanos convencional com ar condicionado.

3.3.4.3 Análise dos resultados – ônibus rodoviário com ar condicionado

Efetuiu-se também o histograma para ônibus rodoviário com ar condicionado, com o objetivo de observar como os dados estavam distribuídos. O histograma pode ser analisado por meio da Figura 36. É possível ver que o intervalo 1,800 km/l e 2,200 km/l obteve maior frequência de observações, e que os dados estão variando entre 1,400 km/l a 2.600 km/l.

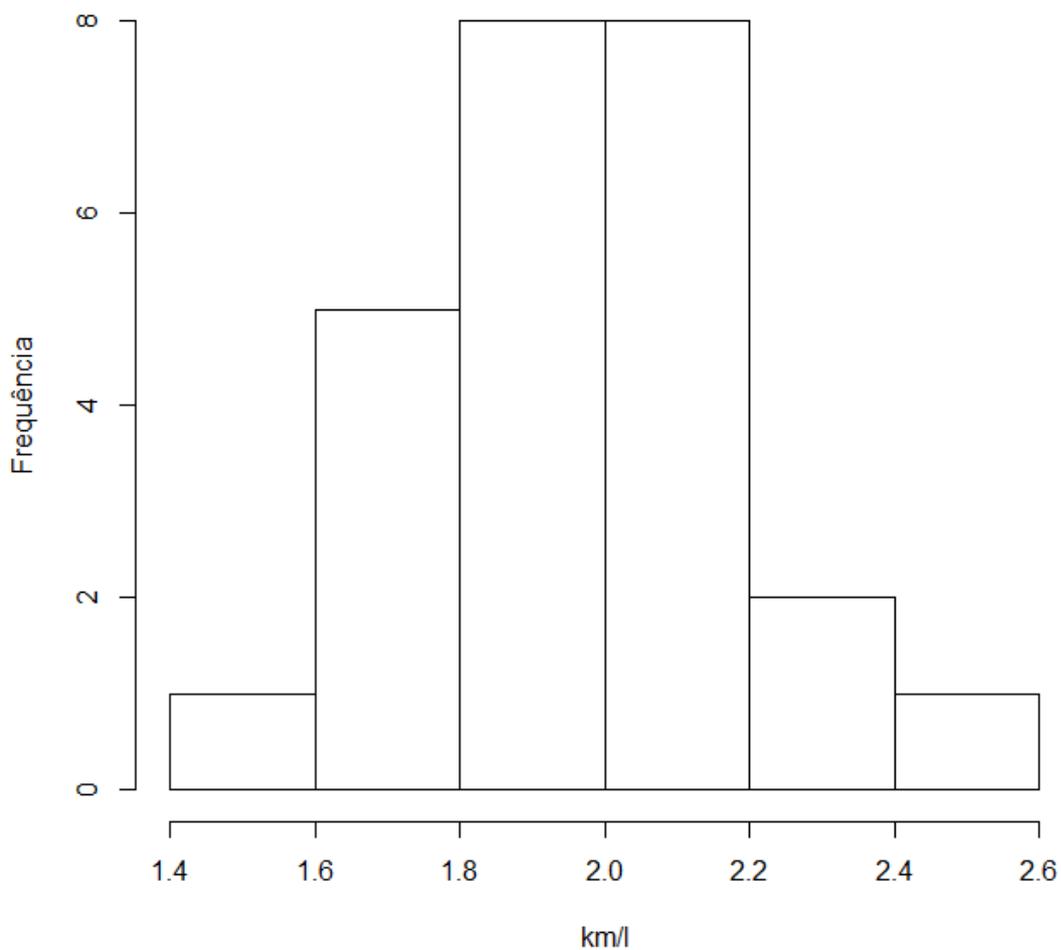


Figura 36: Histograma do rendimento energético - ônibus rodoviário com ar condicionado.

A Figura 37 apresenta o gráfico *boxplot*, a finalidade de obter melhor entendimento da assimetria dos dados. É possível identificar uma leve assimetria nos dados, mas que não será penalizada devido a quantidade de observações.

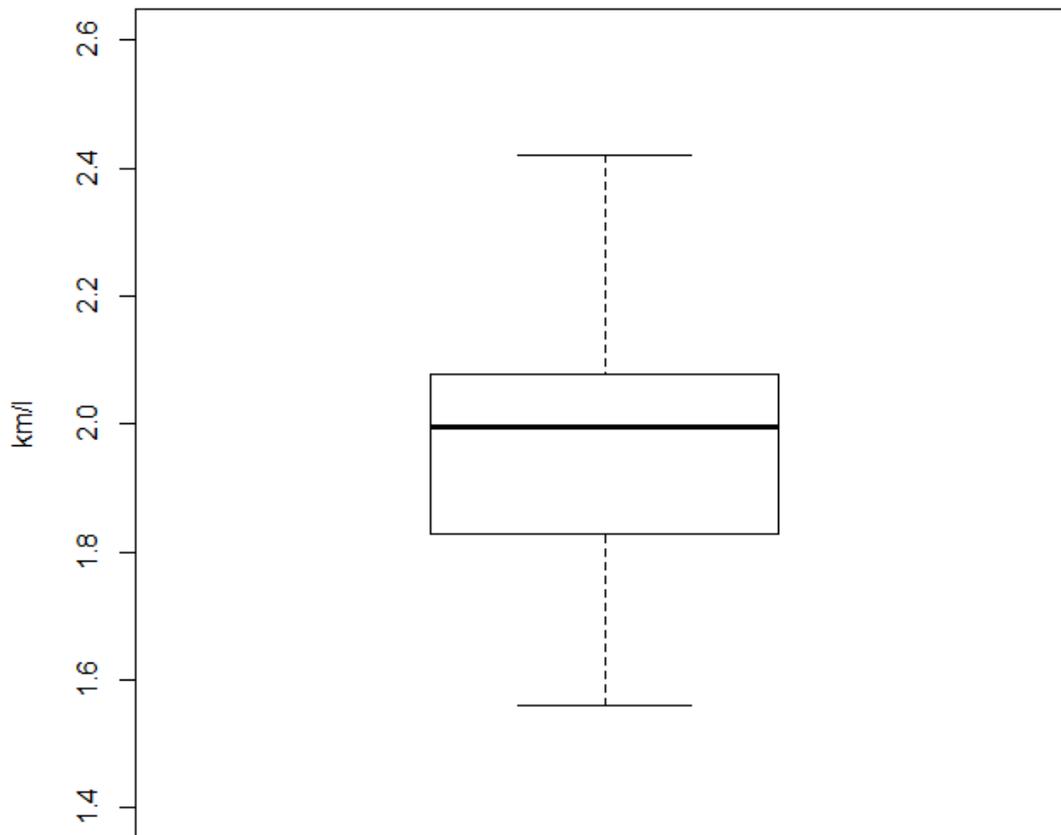


Figura 37: *Boxplot* do rendimento energético - ônibus rodoviário com ar condicionado.

Na Figura 38 é possível ver a distribuição de densidade da amostra para os dados de rendimento energético do ônibus rodoviário com ar condicionado. É possível ver que o máximo da densidade da amostra está próximo ao intervalo entre 1,800 km/l e 2,200 km/l. Logo, o máximo da densidade dos dados está correspondendo ao intervalo em que se obtém maior frequência de observações.

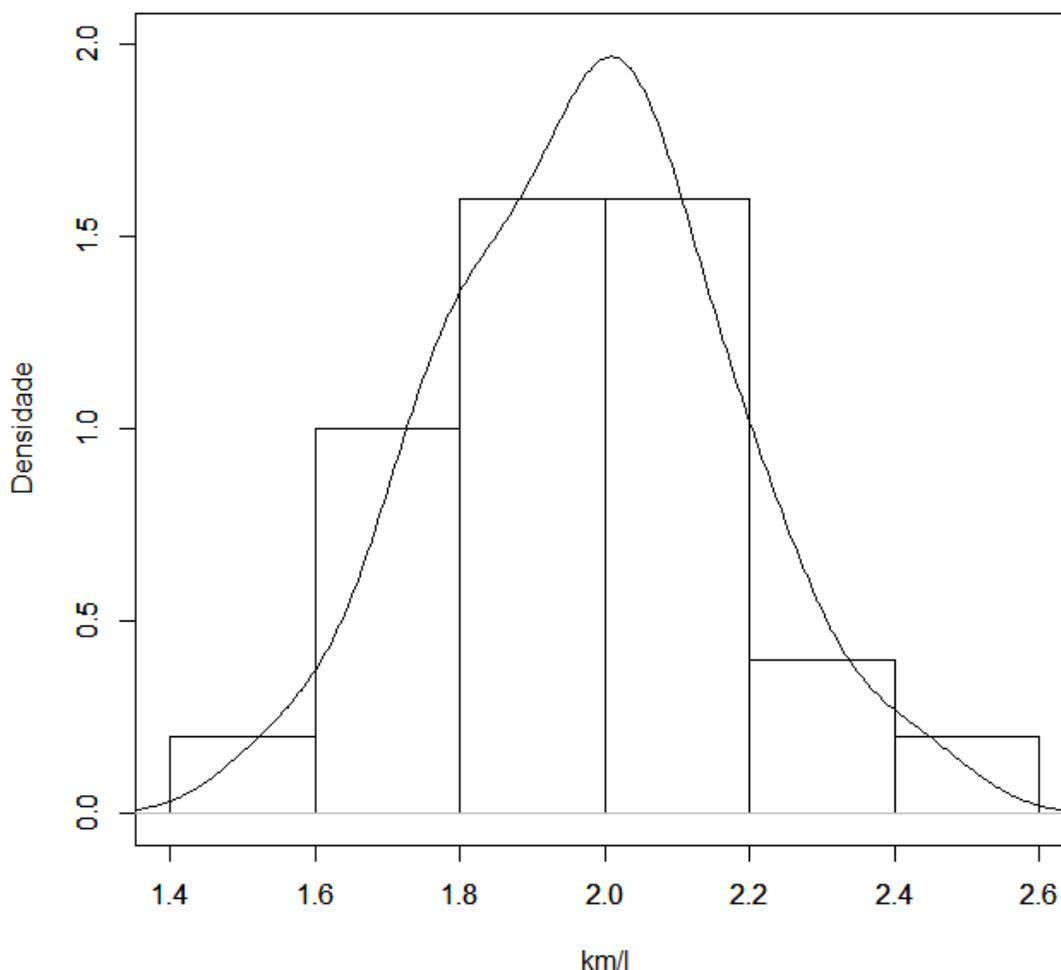


Figura 38: Gráfico de densidade da amostra - ônibus rodoviário com ar condicionado

Executou-se dois testes de normalidade, sobre os dados da amostra coletada para os valores de rendimento energético para o ônibus Rodoviário com ar condicionado. O teste Shapiro-Wilk e o Jarque-Bera, serviram para conferir se a amostra de dados extraída para o ônibus em questão segue uma distribuição normal padrão. O p-valor extraído no resultado dos testes pode ser conferido na Tabela 9.

Tabela 9: Testes de normalidade para o ônibus rodoviário com ar condicionado.

Teste	P-valor
Shapiro-Wilk	1,000
Jarque-Bera	0,976

Analisando a Tabela 9 é possível ver que o p-valor para o teste Shapiro-Wilk é de 1 e para o teste Jarque-Bera é de 0,976. Como estes resultados são superiores a 0,05 o que representa 5% do nível de significância, pode-se concluir que não será rejeitada a

hipótese nula mencionada na secção 2.3.4, ou seja, não será rejeitada a hipótese de normalidade.

Realizou-se o gráfico de autocorrelação temporal presente na Figura 21 e foi possível identificar que os dados são independentes, pois a autocorrelação não ultrapassa a área delimitada (curva tracejada em azul). Nota-se que a autocorrelação para o primeiro valor foi igual a um, pois trata-se da autocorrelação dele com ele mesmo, por isso é aceitável que ele ultrapasse a área delimitada. Sendo assim é possível dizer que a observação de um dia não tem influência na observação do dia seguinte e assim sucessivamente.

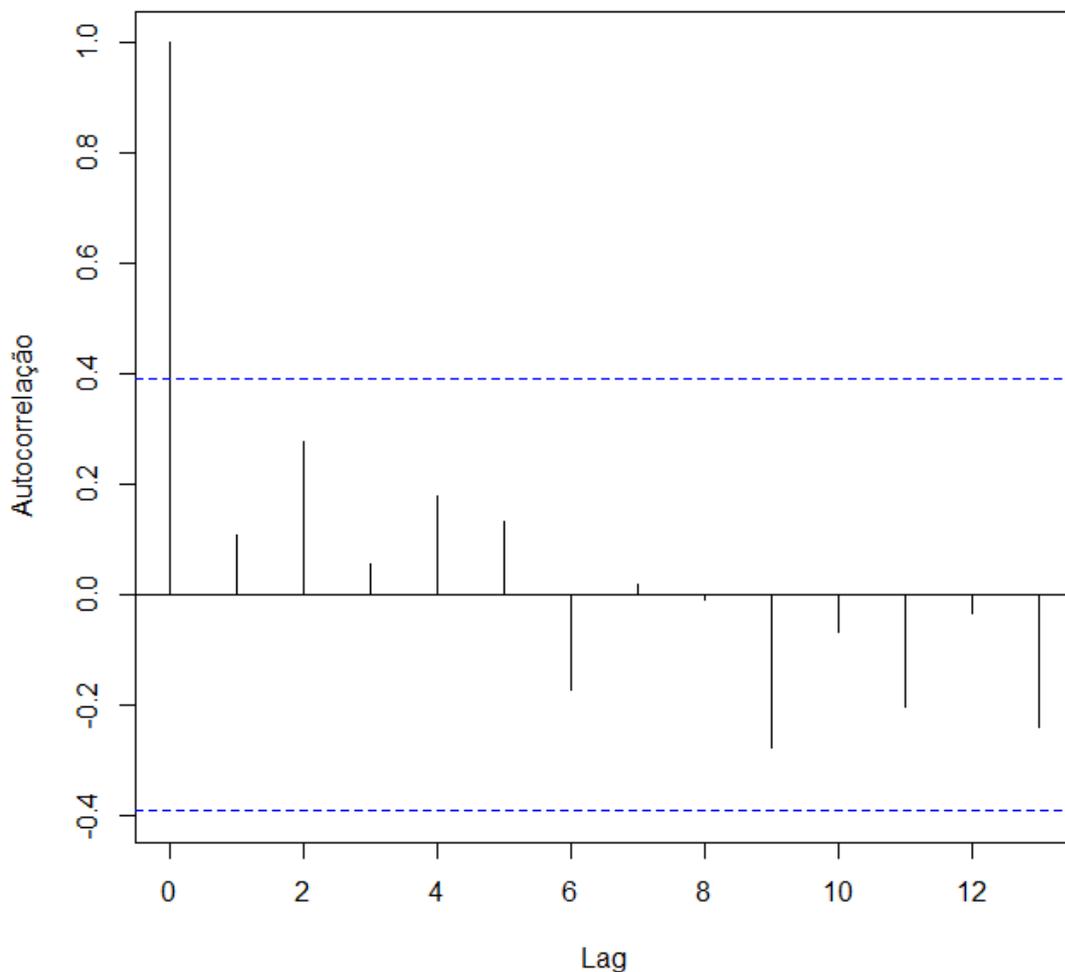


Figura 39: Gráfico de autocorrelação - ônibus rodoviário com ar condicionado.

O resultado de independência também pode ser conferido pelo teste Qui-quadrado. Como o p-valor do teste foi de 1. Logo se tem forte evidencia que os dados são independentes.

Então se calculou o intervalo de confiança a um nível de significância de 5% para a média da amostra extraída para os valores de rendimento energético para o do ônibus rodoviário

com ar condicionado. Como a variância é desconhecida foi utilizado o quantil da distribuição t de Student.

A Figura 40 apresenta o intervalo de confiança. O intervalo de confiança a um nível de significância de 5% para a média da amostra extraída do ônibus rodoviário que variou entre 1,897 e 2,058. É possível afirmar que 95% dos intervalos construídos desta forma vão conter a média de 1,977 km/l.

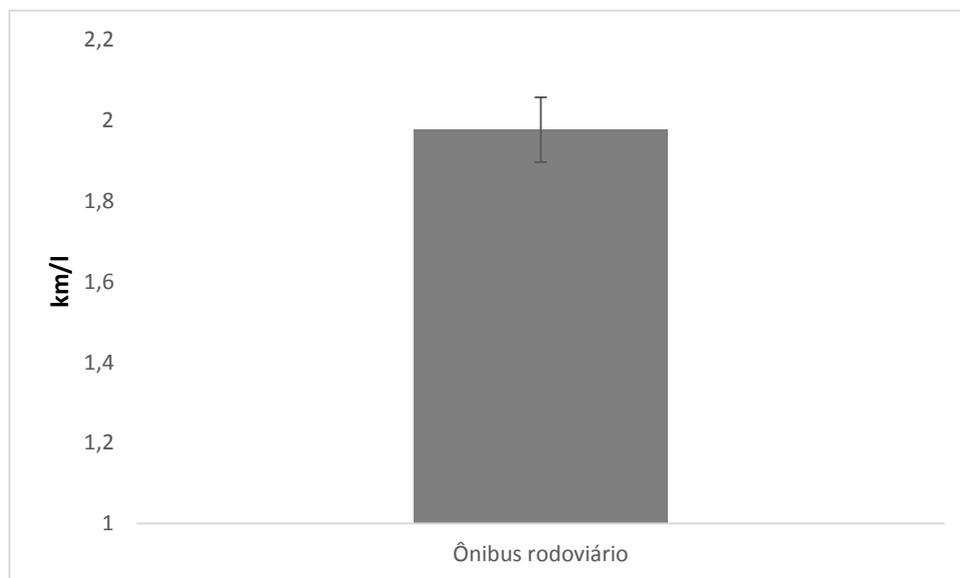


Figura 40: Intervalo de confiança do rendimento energético - ônibus rodoviário com ar condicionado.

Efetuiu-se também o histograma para o coeficiente de consumo, com o objetivo de observar como os dados estavam distribuídos. O histograma pode ser analisado na Figura 41. É possível ver que o intervalo de 0,450 l/km a 0,500 l/km obteve maior frequência de observações e que os dados estão variando entre 0,400 l/km e 0,650 l/km.

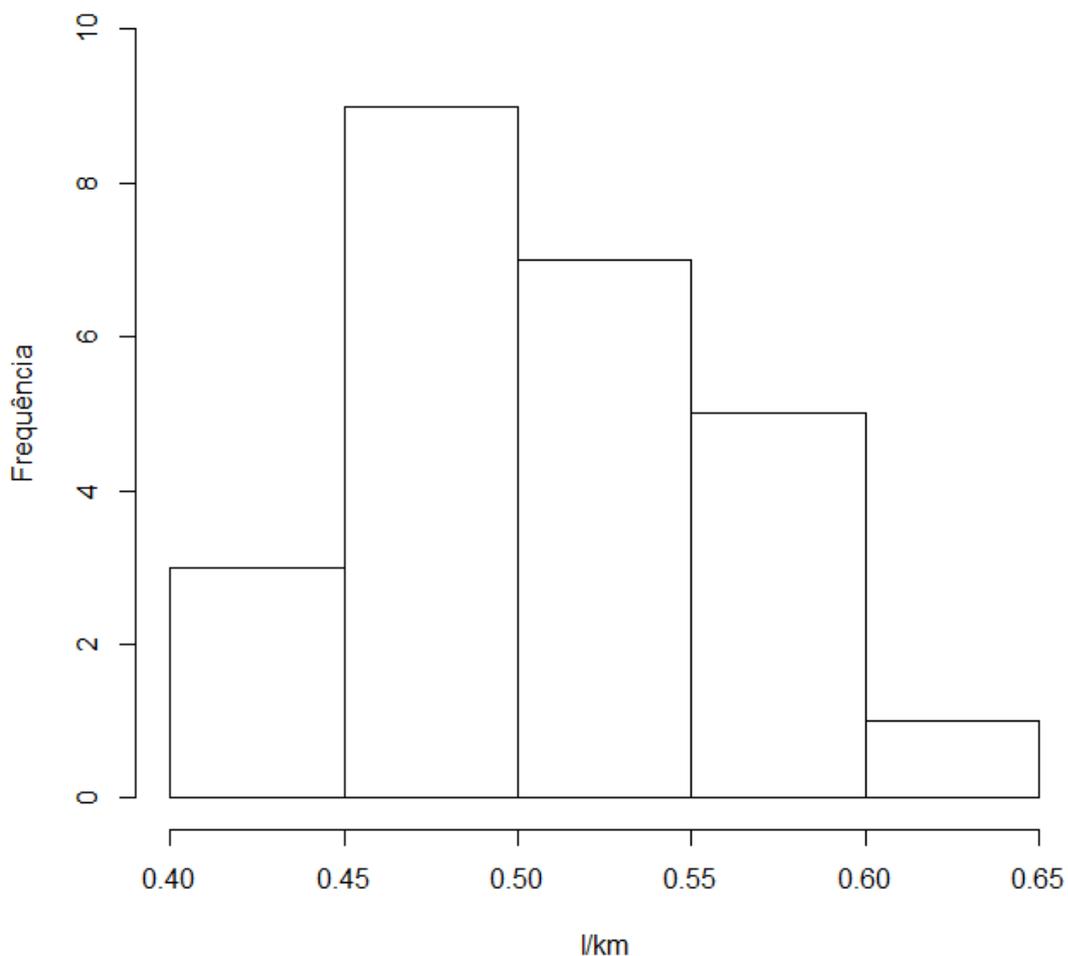


Figura 41: Histograma do coeficiente de consumo - ônibus rodoviário com ar condicionado.

A Figura 42 apresenta o gráfico *boxplot*, para o coeficiente de consumo do ônibus rodoviário com ar condicionado que permite obter melhor entendimento acerca da assimetria dos dados do coeficiente de consumo. É possível uma leve dessimetria nos dados, mas que não será penalizada devido a quantidade de observações.

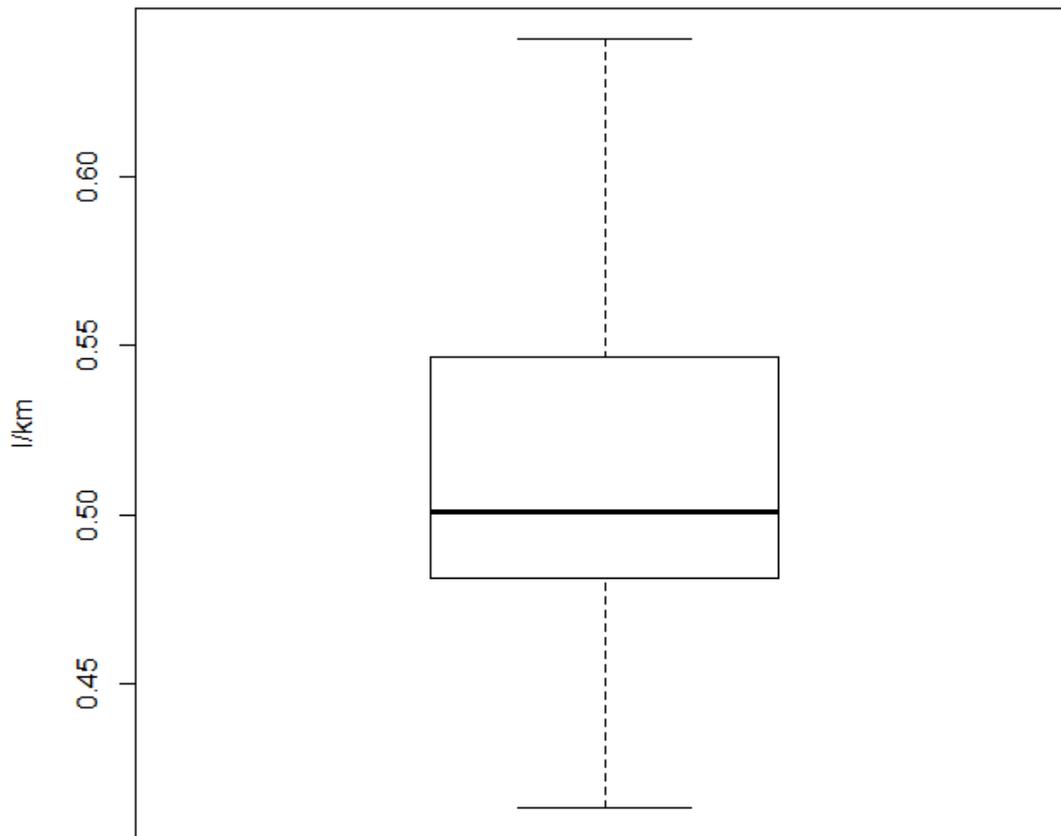


Figura 42: *Boxplot* do coeficiente de consumo - ônibus rodoviário com ar condicionado.

Na Figura 43 é possível ver a densidade da amostra dos dados de coeficiente de consumo para o ônibus rodoviário com ar condicionado. É possível ver que o máximo da densidade da amostra está próximo ao intervalo que vai de 0,450 l/km a 0,500 l/km. Logo, o máximo da densidade dos dados está correspondendo ao intervalo em que se obtém maior frequência de observações.

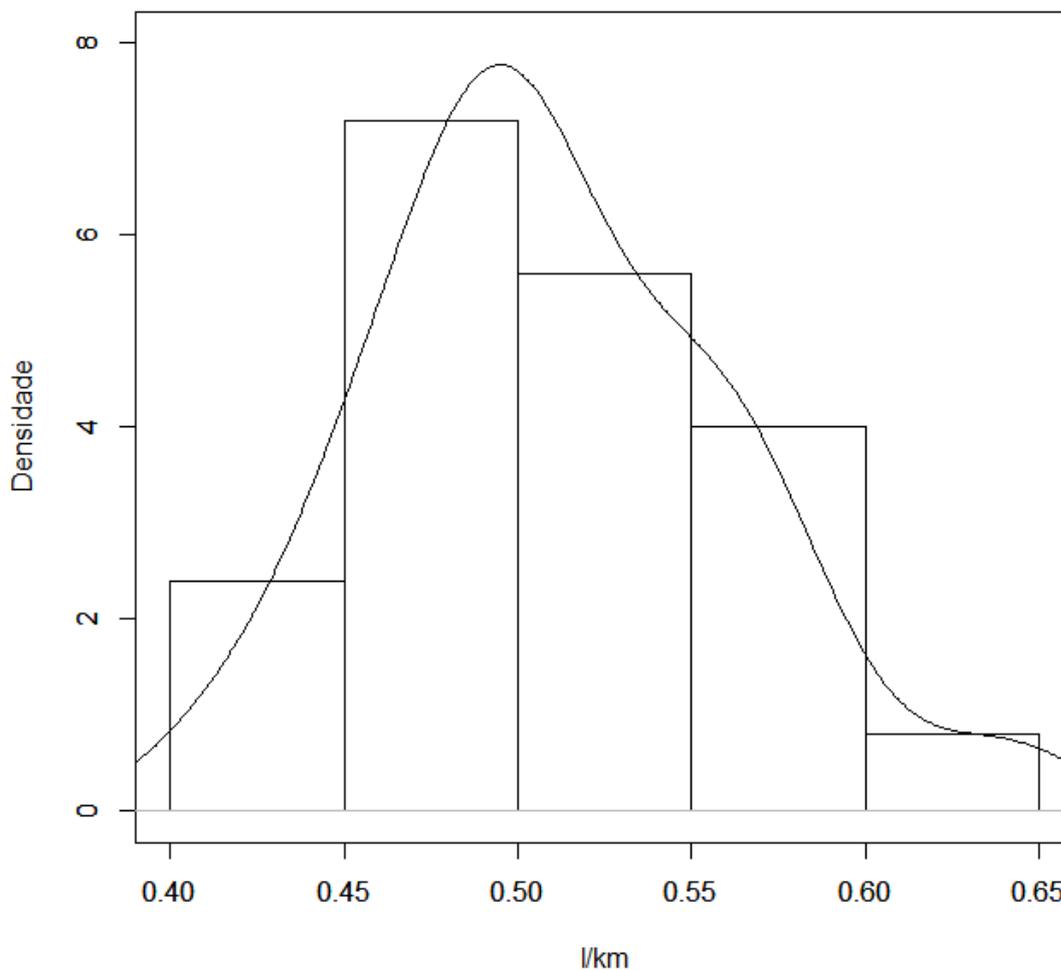


Figura 43: Densidade do coeficiente de consumo - ônibus rodoviário com ar condicionado

Foi calculado o intervalo de confiança do coeficiente de consumo a um nível de significância de 5% para a média da amostra extraída para os ônibus em questão. Como a variância é desconhecida foi utilizado o quantil da distribuição t de Student.

A Figura 44 apresenta o intervalo de confiança a um nível de significância de 5% para a média da amostra extraída para os valores do coeficiente de consumo para o do ônibus rodoviário com ar condicionado que variou de 0,489 a 0,532. Com isso, entende-se que em 95% dos intervalos construídos desta forma vão conter a média de 0,511 l/km.

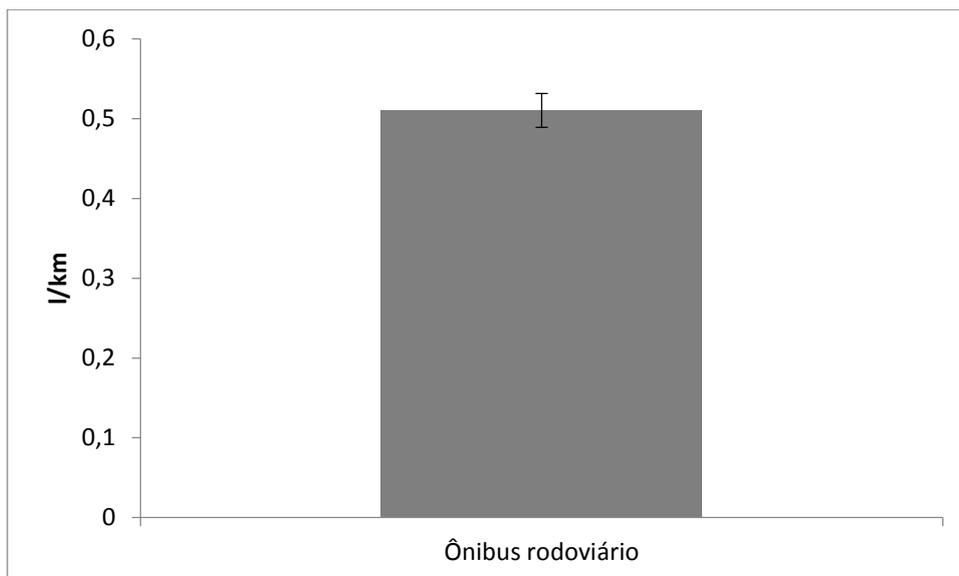


Figura 44: Intervalo de confiança do coeficiente de consumo - ônibus rodoviário com ar condicionado.

3.3.4.4 Análise dos resultados – ônibus articulado com ar condicionado

Efetou-se o histograma para observar como os dados estavam distribuídos. O histograma pode ser analisado por meio da Figura 45. É possível ver que o intervalo 1,100 km/l e 1,300 km/l obteve maior frequência de observações, e que os dados estão variando entre 0,900 km/l a 1,600 km/l.

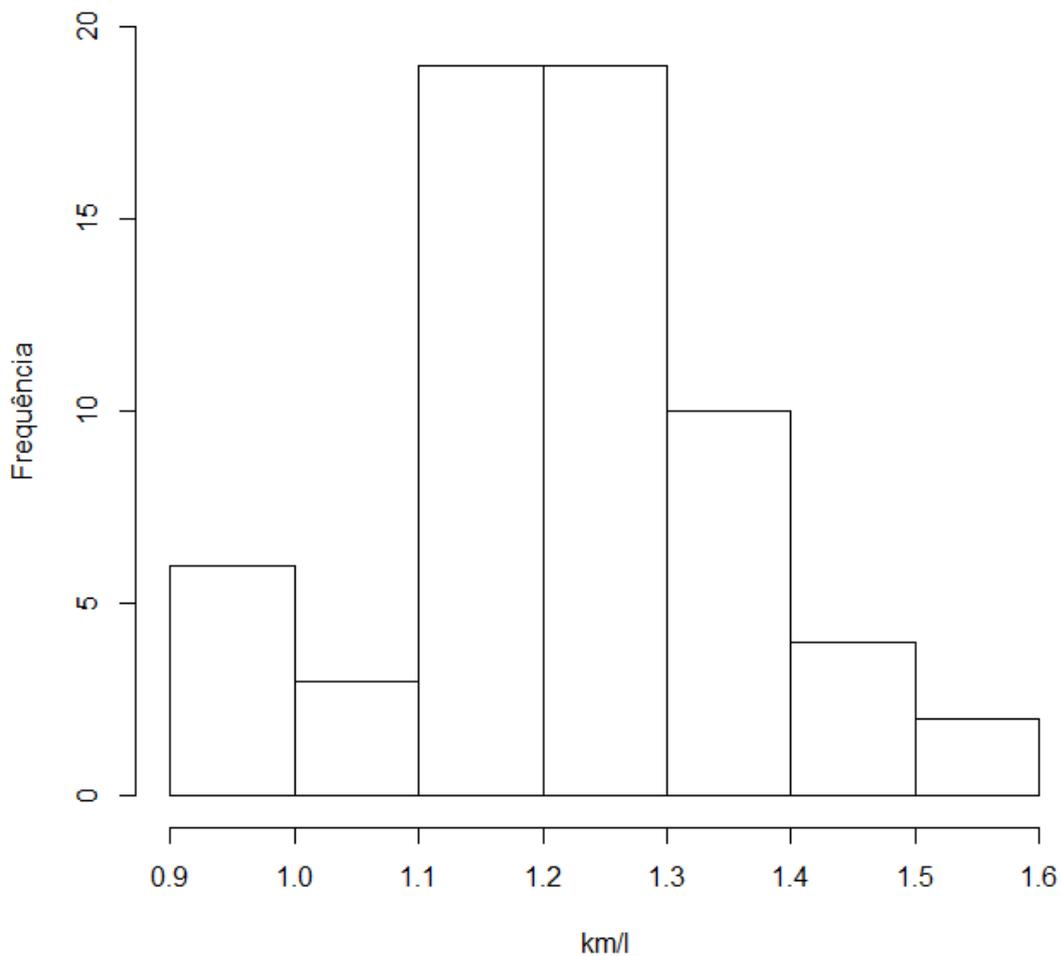


Figura 45: Histograma do rendimento energético - ônibus articulado com ar condicionado.

A Figura 46 apresenta o gráfico *boxplot*, a finalidade de obter melhor entendimento da assimetria dos dados. É possível ver simetria nos dados, pois a mediana está no centro da caixa. Observam-se também um valor discrepante que não foi removido da amostra, pois não influenciou no cálculo da média do rendimento energético.

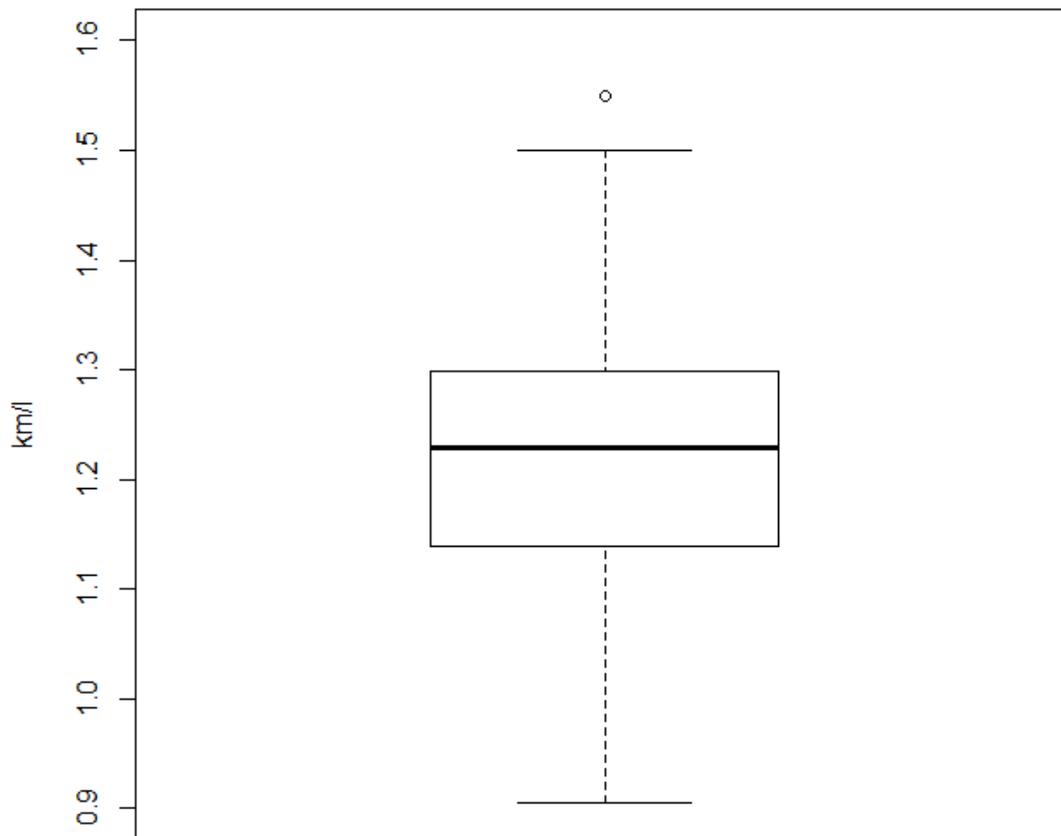


Figura 46: Coeficiente de consumo médio - ônibus urbanos articulados com ar condicionado.

Na Figura 47 é possível ver a distribuição de densidade da amostra para os dados de rendimento energético do ônibus articulados com ar condicionado. É possível ver que o máximo da densidade da amostra está próximo ao intervalo entre 1,200 km/l e 1,300. Logo, o máximo da densidade dos dados está correspondendo ao intervalo em que se obtém maior frequência de observações.

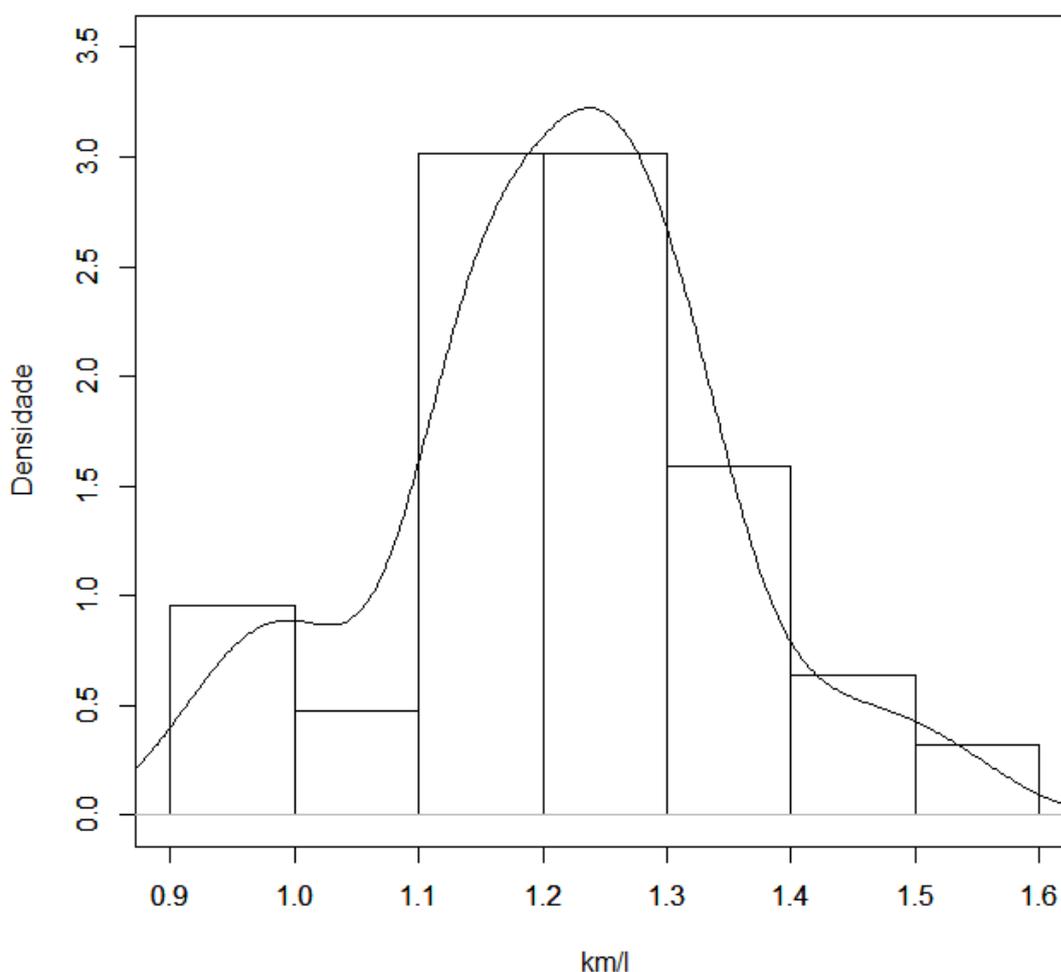


Figura 47: Densidade do rendimento energético - ônibus articulado com ar condicionado

Executou-se dois testes de normalidade, sobre os dados da amostra coletada para os valores de rendimento energético para o ônibus articulado com ar condicionado. O teste Shapiro-wilk e Jarque-Bera serviram para conferir se a amostra de dados extraída para o ônibus articulado com ar condicionado segue uma distribuição normal padrão. O p-valor extraído no resultado dos testes pode ser conferido na Tabela 10.

Tabela 10: Testes de normalidade para o ônibus urbano convencional.

Teste	P-valor
Shapiro-Wilk	0.448
Jarque-Bera	0.949

Analisando a Tabela 7 é possível ver que o p-valor para o teste Shapiro-Wilk é de 0,448 e para o teste Jarque-Bera é de 0,949. Como estes resultados são superiores a 0,05 o que representa 5% do nível de significância, pode-se concluir que não será rejeitada a hipótese nula mencionada na seção 2.3.4, ou seja, não será rejeitada a hipótese de normalidade.

Realizou-se o gráfico de autocorrelação temporal presente na Figura 21 e foi possível identificar que os dados são independentes, pois a autocorrelação não ultrapassa a área delimitada (curva tracejada em azul). Nota-se que a autocorrelação para o primeiro valor foi igual a um, pois trata-se da autocorrelação dele com ele mesmo, por isso é aceitável que ele ultrapasse a área delimitada. Sendo assim é possível dizer que a observação de um dia não tem influência na observação do dia seguinte e assim sucessivamente.

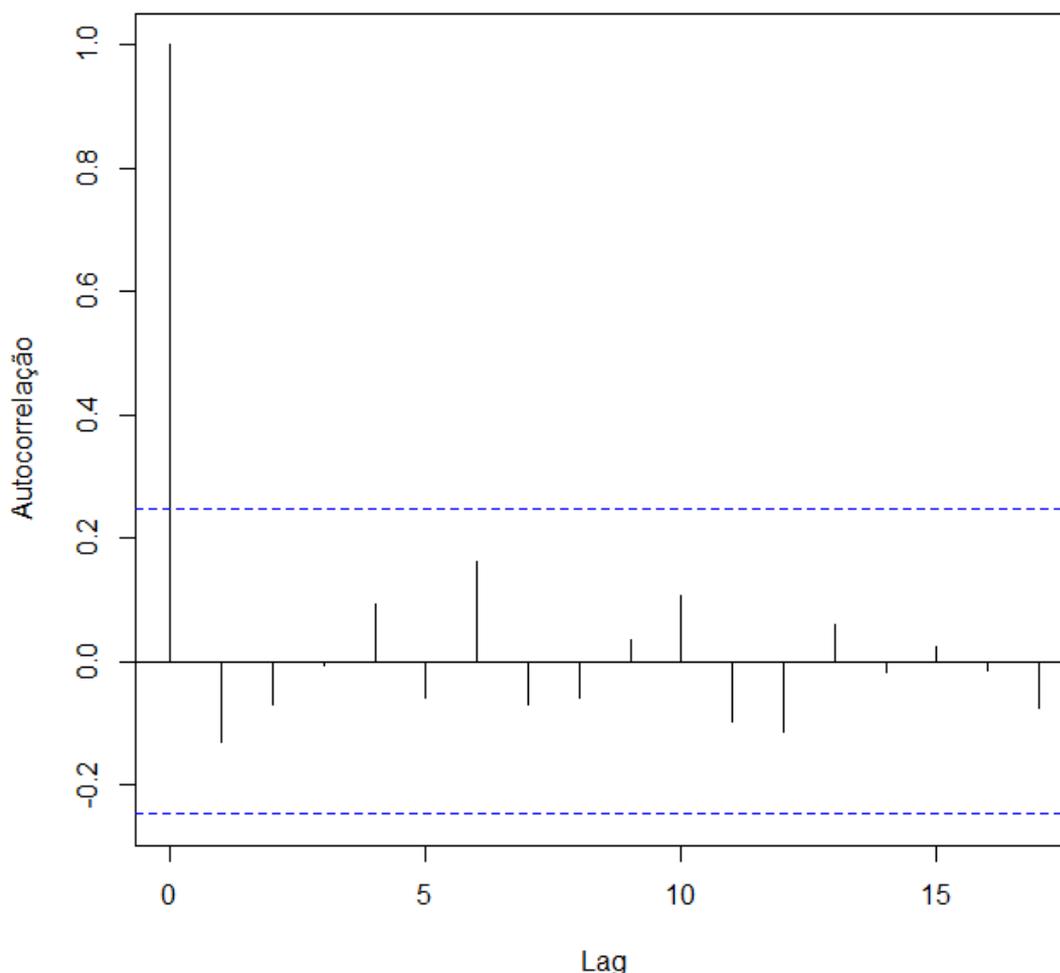


Figura 48: Gráfico de autocorrelação - ônibus articulado com ar condicionado.

O resultado de independência também pode ser conferido pelo teste Qui-quadrado. Como o p-valor do teste foi de 1 se tem forte evidência que os dados são independentes.

Então se calculou o intervalo de confiança a um nível de significância de 5% para a média da amostra extraída para os valores de rendimento energético para o ônibus articulado com ar condicionado. Como a variância é desconhecida foi utilizado o quantil da distribuição t de Student.

A Figura 49 apresenta o intervalo de confiança a um nível de significância de 5% para a média da amostra extraída do ônibus articulado que variou de 1,179 e 1,247. É possível

afirmar que 95% dos intervalos construídos desta forma vão conter a média de 1,839 km/l.

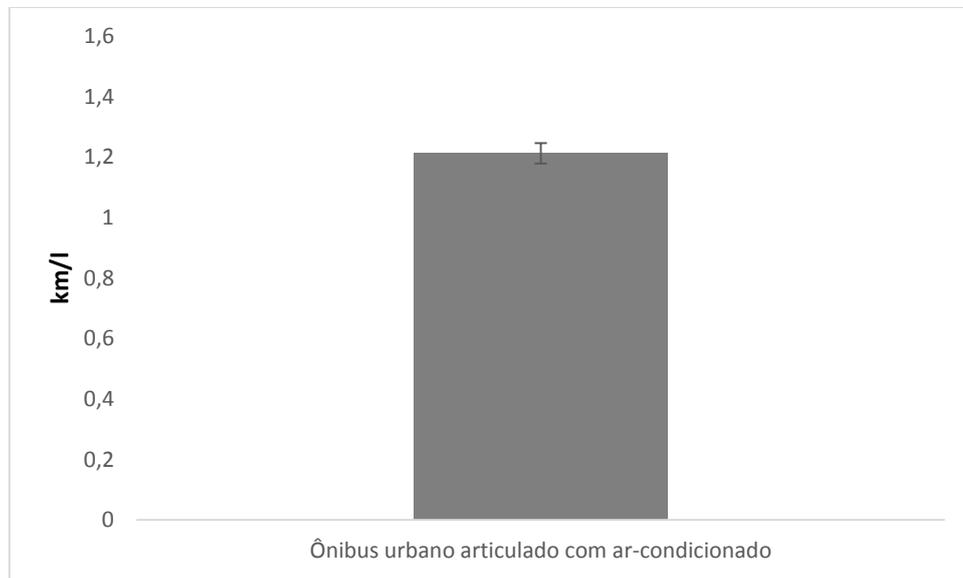


Figura 49: Intervalo de confiança do rendimento energético - ônibus articulados com ar condicionado.

Efetou-se também o histograma para observar como os dados do coeficiente de consumo estavam distribuídos. O histograma pode ser analisado na Figura 50, onde é possível ver que o intervalo de 0,800 l/km a 0,900 l/km obteve maior frequência de observações e que os dados estão variando entre 0,600 l/km e 1,200 l/km.

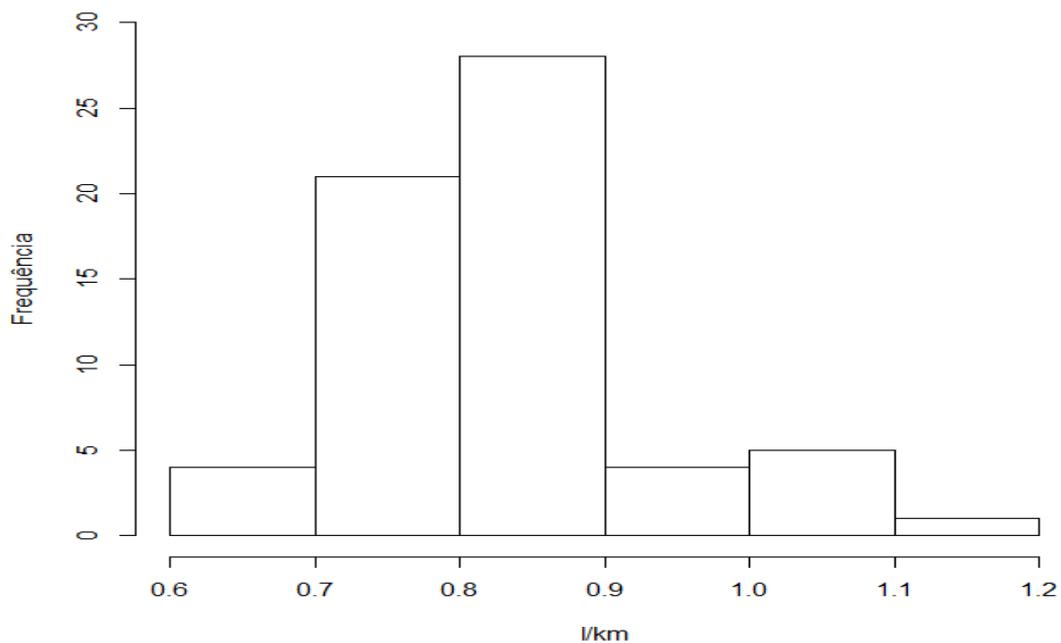


Figura 50: Histograma do coeficiente de consumo do ônibus articulado com ar condicionado.

A Figura 51 apresenta o gráfico *boxplot*, para o coeficiente de consumo do ônibus urbano articulado com ar condicionado que permite obter melhor entendimento da assimetria dos dados. É possível ver que maior parte dos dados está concentrado acima da mediana e apresenta maior variabilidade acima da mediana.

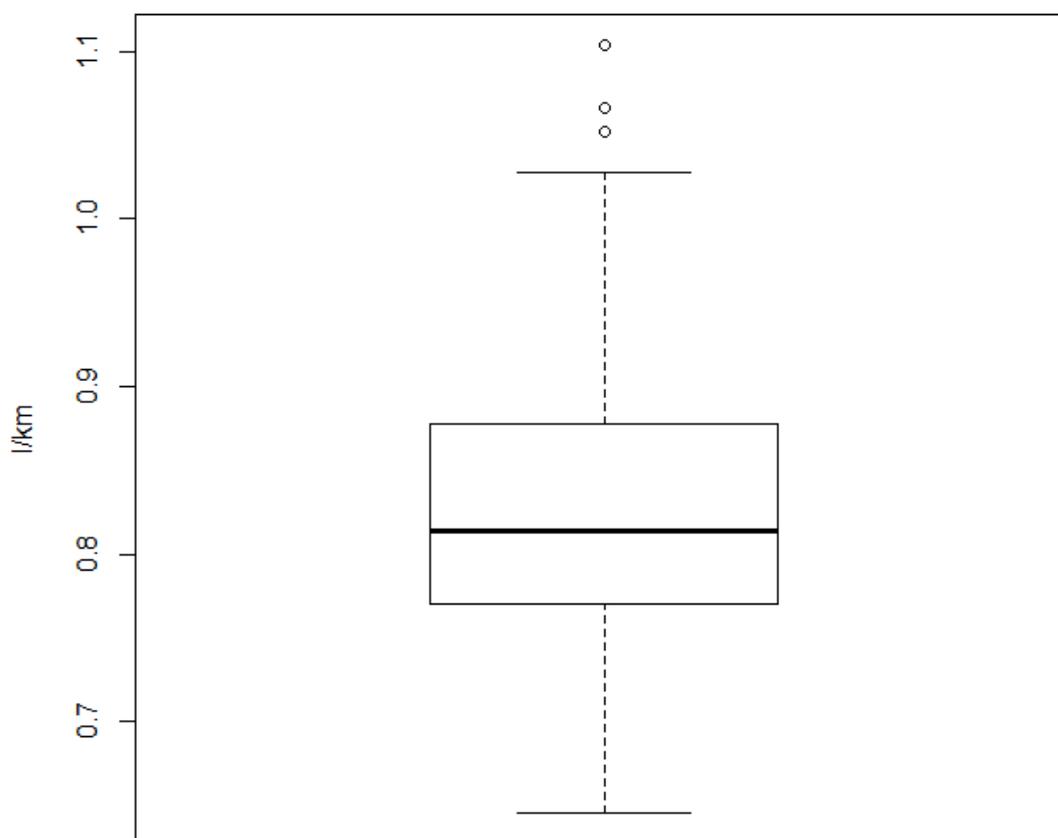


Figura 51: *Boxplot* do coeficiente de consumo - ônibus articulado com ar condicionado.

Na Figura 52 é possível ver a densidade da amostra dos dados de coeficiente de consumo para o ônibus estudados. É possível ver que o máximo da densidade da amostra está próximo ao intervalo que vai de 0,800 l/km a 0,900 l/km. Logo o máximo da densidade dos dados está correspondendo ao intervalo em que se obtém maior frequência de observações.

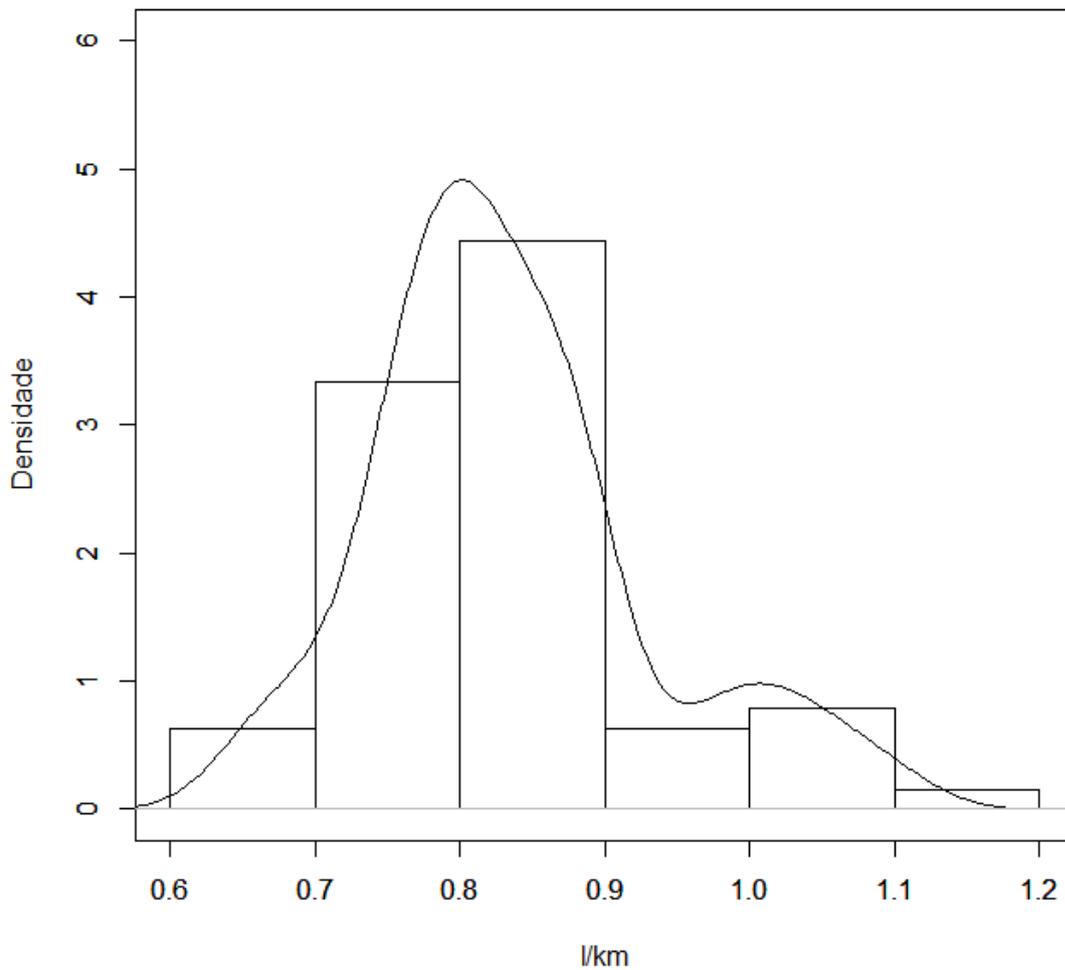


Figura 52: Densidade do coeficiente de consumo - ônibus urbanos articulados com ar condicionado.

Foi calculado o intervalo de confiança a um nível de significância de 5% para a média da amostra extraída para os ônibus em questão. Como a variância é desconhecida, foi utilizado o quantil da distribuição t de Student.

A Figura 53 apresenta o intervalo de confiança a um nível de significância de 5% para a média da amostra extraída para os valores do coeficiente de consumo para o do ônibus articulado variou de 0,813 a 0,856. Com isso, entende-se que em 95% dos intervalos construídos desta forma conterão a média de 0,835 l/km.

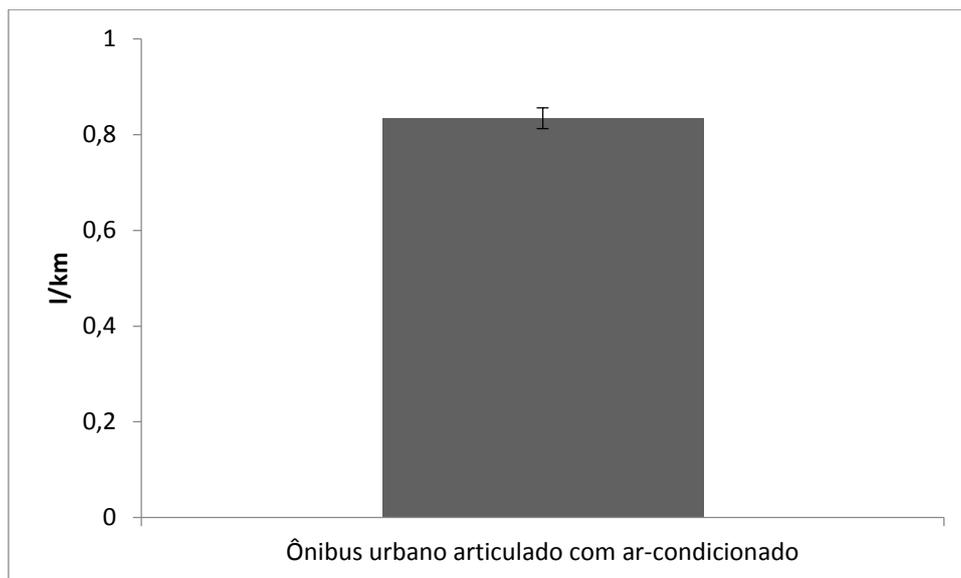


Figura 53: Intervalo de confiança do coeficiente de consumo – ônibus articulado

3.3.5 Comparação com os resultados obtidos na fase 1.

Esta secção se concentra em comparar informações presentes no relatório preliminar (resultados da primeira fase) com informações extraídas pelos dispositivos de telemetria. As Figuras 54 e 55 ilustram as médias e seus respectivos intervalos de confiança obtidos pelas fases 1 e 3, do rendimento energético e do coeficiente de consumo para todos os ônibus estudados.

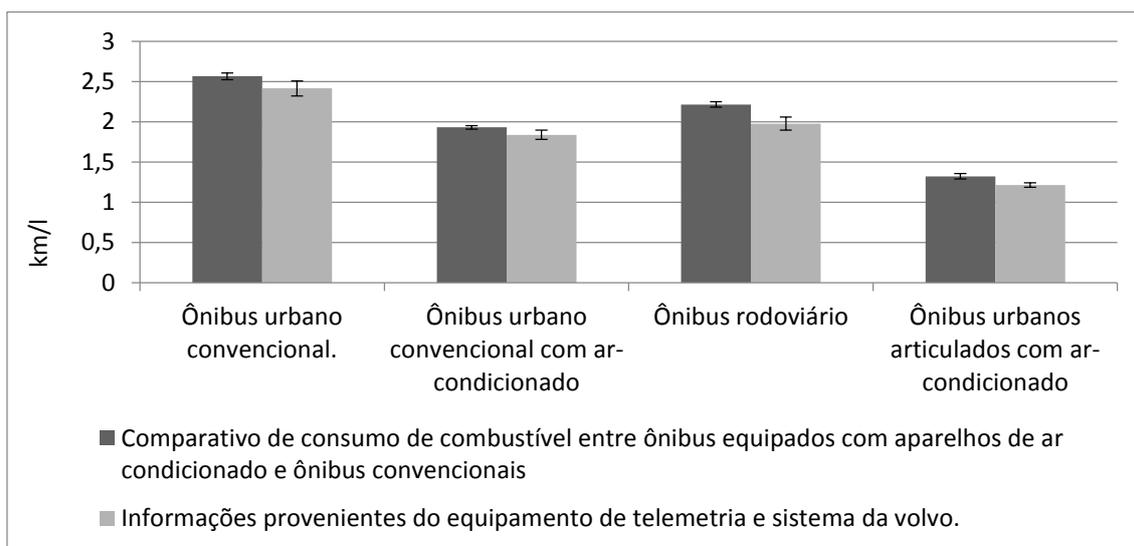


Figura 54: Comparação dos resultados – Rendimento energético.

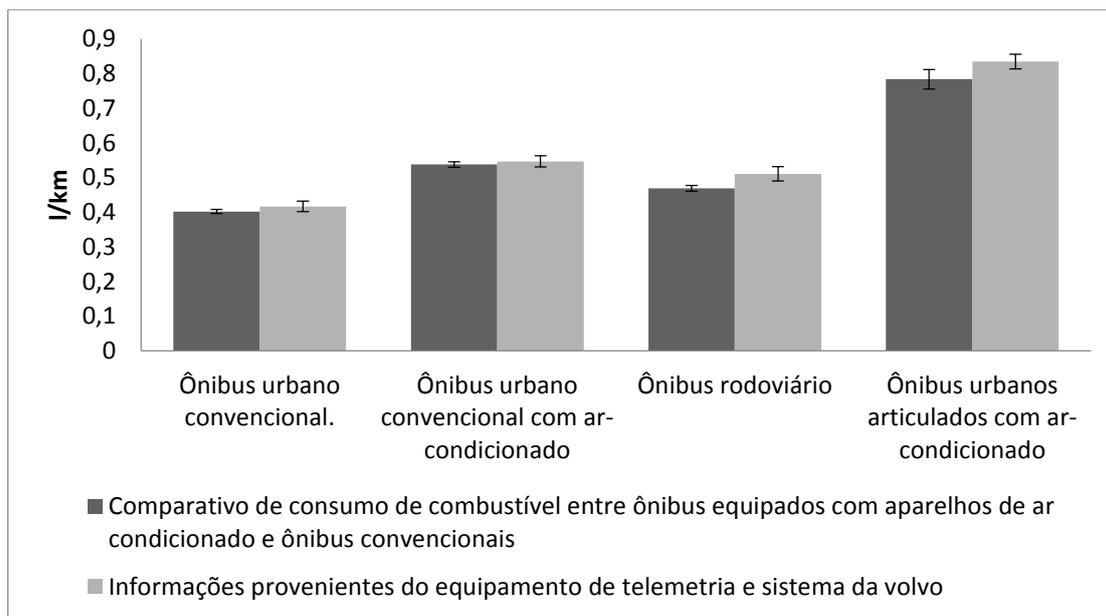


Figura 55: Comparação dos resultados – Coeficiente de consumo.

Analisando as Figuras 54 e 55 pode-se observar que os valores encontrados em ambas as fases foram muito próximos para todos os tipos de veículo. Cabe destacar que em todos os casos os valores obtidos por meio dos dispositivos de telemetria apresentaram rendimento energético menor e maior coeficiente de consumo.

A diferença percentual entre os resultados é de 4,7% para o ônibus urbano convencional, 3,2% para o ônibus urbano convencional com ar condicionado, 9,5% para o ônibus rodoviário com ar condicionado e 7,1% para o ônibus articulado com ar condicionado, o que pode se considerar aceitável, uma vez que, em todos os casos a diferença foi menor que a observada no histórico (meses de março, abril e maio) para os mesmos veículos, sendo a diferença média de 14,6% para o ônibus urbano convencional, 6,4% para o ônibus urbano convencional com ar condicionado e 11,9% para o ônibus rodoviário com ar condicionado. Diferenças advindas de fatores internos e externos podem alterar a operação e em consequência disso o consumo.

4. Conclusão

O presente estudo teve como objetivo identificar o rendimento energético (km/l) e os coeficientes de consumo (l/km) dos ônibus urbanos convencionais com e sem ar condicionado, ônibus rodoviários com ar condicionado e ônibus urbanos articulados com ar condicionado. No caso do ônibus urbano convencional, busca-se identificar o impacto deste equipamento no consumo de combustível.

Para atender o objetivo foi elaborado um procedimento para estimar o rendimento e o coeficiente de consumo para cada tipo de ônibus a partir de dados coletados em campo, seja pelo sistema de acompanhamento de consumo de combustível praticado pelas

empresas operadoras das frotas de ônibus, seja por meio de equipamentos embarcados para este fim.

O procedimento é composto por 3 fases, sendo estas: (i) cálculo preliminar do rendimento energético e do coeficiente de consumo médios (com base no histórico); (ii) planejamento para avaliação dos resultados e (iii) cálculo do rendimento energético e coeficientes de consumo médios (com base em dispositivos que permitem avaliar o consumo em tempo real).

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 (l/km), 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 analisados foram tabulados em uma planilha do *Microsoft Excel*.

O procedimento proposto foi capaz de identificar o rendimento energético e o coeficiente de consumo médios para todos os 4 tipos de ônibus que representam a maior parte da frota em operação na cidade do Rio de Janeiro.

Com base nos resultados obtidos e nas comparações realizadas, pode afirmar que a média do rendimento energético dos ônibus em operação no município do Rio de Janeiro – RJ é de: 2,42 km/l para os ônibus urbanos convencionais, 1,84 km/l para os ônibus urbanos convencionais com ar condicionado, 1,98 km/l para os ônibus rodoviários com ar condicionado e 1,21 km/l para os ônibus articulados com ar condicionado.

Pôde-se observar, com os resultados da fase 1, que o ônibus urbano convencional com ar condicionado possui um coeficiente de consumo (l/km) 33,83% superior ao convencional sem ar condicionado. Já com base no resultado da fase 3, obtidos por meio de cálculos baseados em dados coletados em tempo real com dispositivos de telemetria devidamente ajustados, observou-se uma diferença de 31,18%. Conclui-se que os ônibus urbanos equipados com ar condicionado possuem um coeficiente de consumo superior entre 31,18% e 33,83%.

Os ônibus do tipo rodoviário com ar condicionado e articulado urbano com ar condicionado apresentaram um coeficiente de consumo 16,67% e 95,02% superior ao do ônibus urbano convencional na fase 1, e 22,54% e 100,24% na fase 3, respectivamente.

O ônibus urbano com ar condicionado tem um coeficiente de consumo superior entre 7,05% e 14,61% se comparado ao ônibus rodoviário com ar condicionado, isso se deve pelo fato de que o ônibus rodoviário só transporta passageiros sentados e de possuir menos paradas em seu itinerário, o que também implica em menos abertura das portas, que também são em menor número e dimensão (largura) que as portas dos ônibus urbanos convencionais, logo seu coeficiente de consumo tende a ser menor.

Os resultados obtidos nesse relatório final são próximos aos obtidos no relatório preliminar, com uma diferença média de 6,1%, diferença inferior à diferença média observada no histórico para os mesmos veículos, sendo esta de 9,4%.

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.

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

Rio de Janeiro, 04 de março de 2016.

Márcio de Almeida D'Agosto
Coordenador do Projeto e do Programa

Romildo Dias Toledo Filho
Diretor de Tecnologia e Inovação da Fundação COPPETEC