

ÔNIBUS ELÉTRICOS A BATERIA (PLUG-IN)

Uma primeira avaliação da viabilidade econômica e do impacto na tarifa para o uso nas cidades brasileiras.

ÔNIBUS ELÉTRICOS A BATERIA (*PLUG-IN*)
Uma primeira avaliação da viabilidade econômica e
do impacto na tarifa para o uso nas cidades
brasileiras.

AUTORES:

Márcio de Almeida D'Agosto (dagosto@pet.coppe.ufrj.br)
Daniel Neves Schmitz Gonçalves (danielnsg@pet.coppe.ufrj.br)
Isabela Rocha Pombo Lessi de Almeida (isabelarochapombo@poli.ufrj.br)

Pesquisadores do Laboratório de Transporte de Carga (LTC/PET/COPPE/UFRJ)

Rio de Janeiro, 2017

1ª Edição

EDITORA:

Instituto Brasileiro de Transporte Sustentável (IBTS)



Agradecimentos:

Agradecemos a BYD do Brasil e a Fundação COPPETEC
que apoiaram a elaboração deste trabalho.

de Almeida D Agosto, Marcio
ÔNIBUS ELÉTRICOS A BATERIA (PLUG-IN) Uma primeira avaliação da
viabilidade econômica e do impacto na tarifa para o uso nas
cidades brasileiras. / Marcio de Almeida D Agosto, Daniel
Neves Schmitz Gonçalves, Isabela Rocha Pombo Lessi de Almeida. -
- Rio de Janeiro, 2017.
50 f.

SUMÁRIO

1	CAPÍTULO 1 – O DESAFIO DE SUBSTITUIR OS COMBUSTÍVEIS FÓSSEIS EM TRANSPORTES.....	1
2	CAPÍTULO 2 – PANORAMA DO TRANSPORTE PÚBLICO POR ÔNIBUS NO BRASIL E CÁLCULO DE TARIFA.....	3
2.1	Panorama do transporte público coletivo por ônibus no Brasil	3
2.2	Cálculo da tarifa	5
2.2.1	Financiamento FINAME do BNDES	7
2.3	Tendências futuras - eletromobilidade	8
2.4	Estudos nacionais recentes que fazem comparação entre ônibus movidos a óleo diesel e elétricos a bateria (<i>plug-in</i>)	10
2.5	Reflexões importantes	14
3	CAPÍTULO 3 – APROFUNDANDO O CONHECIMENTO SOBRE ÔNIBUS ELÉTRICOS A BATERIA (<i>PLUG-IN</i>) E O CÁLCULO TARIFÁRIO	16
3.1	Conhecendo melhor um ônibus elétrico a bateria (<i>plug-in</i>)	16
3.2	Aplicando um método consistente e conhecido para o cálculo da tarifa	17
3.3	Propondo cenários em função do porte das cidades.....	19
4	Capítulo 4 – APLICANDO O MÉTODO AOS CENÁRIOS E ANÁLISE DOS RESULTADOS	21
4.1	Cenário 1 – Municípios de pequeno porte	21
4.2	Cenário 2 – Município de médio porte.....	25
4.3	Cenário 3 – Municípios de grande porte	33
5	CAPÍTULO 5 – O QUE APRENDEMOS?.....	39
	REFERÊNCIAS.....	42
	ANEXO 1 - DESCRIÇÃO DAS VARIÁVEIS DO MÉTODO GEIPOT	45

1 CAPÍTULO 1 – O DESAFIO DE SUBSTITUIR OS COMBUSTÍVEIS FÓSSEIS EM TRANSPORTES

Quase um terço (29,4%) do transporte urbano de passageiros no Brasil é realizado por transporte coletivo, sendo 25,9% por ônibus municipais e metropolitanos. Ao considerar as cidades de mais de um milhão de habitantes, o transporte coletivo representa 36% da divisão modal (ANTP, 2009). Em 2016, das 5.561 cidades brasileiras, 3.313 foram atendidas por um sistema organizado de ônibus, cuja participação no transporte público coletivo representa 86,3% das viagens, transportando 34,4 milhões de passageiros por dia (NTU, 2016). Isso demonstra a participação significativa dos ônibus no transporte urbano de passageiros no Brasil.

Com o crescimento das cidades brasileiras, os consequentes congestionamentos de tráfego e a crescente preocupação com o meio ambiente é natural que se estabeleçam estímulos ao uso do transporte coletivo em detrimento do automóvel de uso individual. Neste contexto, tanto um como o outro são veículos equipados com motores de combustão interna que consomem predominantemente combustíveis fósseis não renováveis, como o óleo diesel e a gasolina, sendo responsáveis pela emissão de dióxido de carbono (CO₂), principal gás de efeito estufa (GEE), de poluentes atmosféricos e de vibrações, colaborando para o aumento da poluição sonora. Todos estes impactos socioambientais podem ser minimizados pelo uso de veículos equipados com motores elétricos alimentados por baterias (*Battery Electric Vehicles* – BEV).

Cerca de 99,9% da frota de ônibus urbanos do país é abastecida por óleo diesel (D’Agosto, Gonçalves e Oliveira, 2016), o que representa uma condição de operação pouco sustentável. O preço do óleo diesel flutuou significativamente nos últimos 15 anos, tendo um ajuste médio de 9% ao ano no período (ANP, 2017), enquanto seu consumo aumentou. Em 1980, o consumo nacional de óleo diesel no transporte rodoviário era de 14 bilhões de litros e em 2012, o consumo foi de 43 bilhões de litros (MMA, 2013), com crescimento médio de 3,6% ao ano no período de 2005 a 2015 (EPE, 2016).

Os ônibus a óleo diesel emitem GEE (CO₂ – dióxido de carbono, CH₄ - metano, N₂O – óxido nitroso) e poluentes atmosféricos (CO – monóxido de carbono, HCNM – hidrocarbonetos não metano, NO_x – óxidos de nitrogênio, SO_x – óxido de enxofre e MP – material particulado). Em 2012, 24% das emissões de CH₄, 92% de NO_x e 96% de MP oriundas dos veículos automotores tiveram origem nos motores do ciclo Diesel (MMA, 2013).

Quanto às emissões de GEE no Brasil, a Política Nacional de Mudanças do Clima (Lei Federal nº 12.187 de 2009) estabeleceu a meta voluntária de redução de emissões em 38,9% em relação ao Cenário *Business as Usual* (BAU) em 2020 (ano-base 2005). No que tange aos poluentes atmosféricos, a Resolução CONAMA nº 18 de 1986 instituiu o Programa de Controle de Poluição do Ar por Veículos Automotores – PROCONVE, com diversos objetivos. Entre eles: reduzir os níveis de emissão de poluentes atmosféricos por veículos automotores visando o atendimento aos padrões de qualidade do ar, especialmente nos centros urbanos e promover o desenvolvimento tecnológico nacional na engenharia automobilística.

Reconhecendo os compromissos nacionais com a sustentabilidade socioambiental e os benefícios oriundo do emprego dos BEV, este trabalho tem como objetivo investigar a viabilidade econômica e o impacto na tarifa pelo uso de ônibus elétricos a bateria (*plug-in*) em regiões selecionadas no Brasil.

A partir desta introdução, este trabalho está dividido em cinco Capítulos. No Capítulo 2 será apresentado um panorama do transporte público brasileiro, histórico do cálculo tarifário em municípios selecionados e também estudos comparativos entre veículos movidos a óleo diesel e BEV. Um aprofundamento sobre as características técnicas e operacionais de ônibus elétricos a bateria (*plug-in*) e sua comparação com os veículos movidos a óleo diesel é apresentado no Capítulo 3, apontando as diferenças entre eles. Neste Capítulo, também é apresentado o método de cálculo tarifário utilizado para o presente trabalho e propostas de cenário para sua aplicação. No Capítulo 4, os cenários escolhidos para aplicação e seus respectivos resultados serão apresentados e analisados. As considerações finais, limitações e recomendações para estudos futuros são apresentados no Capítulo 5.

2 CAPÍTULO 2 – PANORAMA DO TRANSPORTE PÚBLICO POR ÔNIBUS NO BRASIL E CÁLCULO DE TARIFA

Este Capítulo apresenta um panorama do transporte público por ônibus, como sua tarifa é calculada, as novas tendências deste modo de transporte e os estudos realizados levando em conta a realidade brasileira que consideram a introdução das inovações veiculares que representam estas novas tendência e sua comparação com as práticas tradicionais para este tipo de transporte.

2.1 Panorama do transporte público coletivo por ônibus no Brasil

No Brasil, o processo de urbanização nas décadas de 1960 a 1980 foi extremamente acelerado e a oferta de infraestrutura em transporte não acompanhou a crescente demanda da população por deslocamentos (Santos *et al.*, 2015). Após um longo período com baixo investimento em infraestrutura, o Governo Federal investiu em transporte urbano de passageiros por meio do Programa de Aceleração do Crescimento (PAC) Copa do Mundo e PAC Mobilidade Grandes Cidades (Tabela 1). O PAC Copa do Mundo beneficiou 47 projetos, sendo 31 de transporte público por ônibus, dos quais 17 são de *Bus Rapid Transit*¹ (BRTs). Já o PAC Mobilidade Grandes Cidades, destinou parte do investimento para 6 projetos de BRTs (BRT Brasil, 2016). Para o período de 2015 a 2018, a perspectiva de investimentos no setor é R\$ 53 bilhões, sendo 13% para BRTs (BNDES, 2014).

Tabela 1 – Investimentos em Sistemas BRT no Brasil, em milhões de reais.

Cidades	Porte	PAC Copa do Mundo	PAC Mobilidade Grandes Cidades	Total ¹
Belém/PA	Grande	-	R\$ 418,00	R\$ 713,00
Belo Horizonte/MG	Grande	R\$ 666,30	-	R\$ 888,00
Brasília/DF	Grande	-	R\$ 1.948,00	R\$ 1.948,00
Campo Grande/MS	Grande	-	R\$ 210,00	R\$ 310,00
Cascavel/PR	Médio	-	-	R\$ 78,00
Curitiba/PR	Grande	R\$ 128,20	-	R\$ 131,10
Fortaleza/CE	Grande	R\$ 64,90	-	R\$ 109,90
Goiânia/GO	Grande	-	R\$ 140,00	R\$ 237,00
Manaus/AM	Grande	R\$ 200,00	-	R\$ 290,00
Maringá/PR	Médio	-	-	R\$ 18,00
Porto Alegre/RS	Grande	R\$ 117,70	-	R\$ 126,20
Recife/PE	Grande	R\$ 159,10	-	R\$ 219,60
Rio de Janeiro/RJ	Grande	R\$ 1.179,00	R\$ 1.130,00	R\$ 2.309,00
Vitória/ES	Médio	-	-	R\$ 132,00
Total	-	R\$ 2.515,00	R\$ 2.716,00	R\$ 8.214,00

Notas: 1 - Somando as contrapartidas (no caso de não haver investimentos do PAC, o Total considera apenas recursos estaduais e municipais).

Fonte: Elaboração própria a partir de BRT Brasil (2016).

¹ *Bus Rapid Transit* (BRT) é a denominação dada para um aperfeiçoamento dos sistemas de ônibus em vias segregadas ou exclusivas. Neste caso é imprescindível o uso de ônibus de maior porte (no mínimo do tipo Padron, mas preferencialmente articulados ou biarticulados), que operam em corredores segregados (com poucas interferências transversais) ou exclusivos, cobrança de tarifa anterior ao embarque nos veículos, embarque em plataformas niveladas com o piso do veículo e por meio de portas largas, onde os fluxos de embarque e desembarque são sinalizados e direcionados.

Além disso, verificou-se que no período de 2008 a 2015, a maior parte dos avanços no transporte de passageiros para grandes e médias cidades ocorreu na priorização do ônibus, especialmente na combinação de BRTs e faixas exclusivas (NTU, 2016). Atualmente, a evolução demográfica brasileira indica uma estabilização do crescimento populacional das regiões metropolitanas (Santos *et al.*, 2015). Segundo IPEA (2008), as cidades grandes estão crescendo a taxas percentuais abaixo das cidades de médio porte. Isto indica que a necessidade de investimento em transportes não deve se limitar apenas a cidades de grande porte, mas também as de médio porte.

Uma tendência em transporte nas cidades brasileiras é a qualificação da frota de ônibus de modo a melhorar o nível de serviço oferecido ao passageiro, por meio de maior facilidade de acesso, espaço interno para circulação, assentos mais confortáveis, maior conforto térmico e menos vibrações e consequentemente menos ruído interno. Atualmente, a maior parte dos ônibus urbanos são básicos, com motor dianteiro, piso alto, portas e corredores estreitos, caixa de câmbio manual e sem ar condicionado. Já os ônibus qualificados são veículos maiores, com interior mais espaçoso, possuem motor traseiro, piso baixo, portas largas, ar condicionado e geralmente são equipados com caixa de câmbio automática. A Tabela 2 apresenta as características dos ônibus nacionais (não qualificados) e de veículos encontrados em sistemas de transporte público internacionais, que normalmente são projetados privilegiando o nível de serviço oferecido aos passageiros e por isso tendem a seguir algum nível de qualificação.

Tabela 2 - Características físicas mais comuns dos ônibus no Brasil e no mundo.

Ônibus	Possui ar-condicionado?	Posição do motor	Tipo de piso	Câmbio	Dimensões		Potência (cv)	Torque (mkgf)	Peso Bruto Total (t)
					Comprimento (m)	Altura (m)			
Ônibus urbano convencional nacional	Não	Dianteiro	Alto	Manual	11,2 – 13,5	3,3	208	79,6	16
Ônibus urbano qualificado internacional ¹	Sim	Traseiro	Baixo	Automático	12 – 15	3,4	290	122	16

Notas: 1 – que também pode ser considerado para os ônibus nacionais.

Fonte: Adaptado de Queiroz *et al.* (2016).

Alguns municípios estão se mobilizando em busca da qualificação da frota. Brasília, por exemplo, visando atender a Lei n° 5.590 de 2015, que proíbe a circulação de ônibus com motor dianteiro no transporte coletivo, irá trocar cerca de 85% de sua frota por ônibus qualificados até 2021. Logo, os veículos básicos (motor dianteiro) só serão permitidos para linhas complementares em vias não pavimentadas e rurais.

A necessidade de aquisição de novos ônibus que possuam ar-condicionado para o transporte público da cidade do Rio de Janeiro tem aumentado ao longo dos anos, tendo em vista ser uma cidade de clima tropical onde, no verão, a temperatura pode superar 40°C (Câmara *et al.*, 2009). Com base em tal problemática e visando compensar os impactos das obras do Porto Maravilha na mobilidade urbana, em 2013, o Ministério Público estadual ingressou com ação civil e ainda, no mesmo ano, foi firmado um Termo de Ajustamento de Conduta (TAC) fixando a meta de garantir a climatização da totalidade dos ônibus na cidade do Rio de Janeiro até o final 2016, com base no Decreto N° 38328 de

21 de fevereiro de 2014. Em função de uma série de percalços e entraves legais, até a publicação deste trabalho esta meta ainda não tinha sido atingida.

Outro município que vem se destacando neste contexto é Porto Alegre, que tem investido em tecnologias embarcadas, na ampliação e renovação da frota com ônibus qualificados, além de estar ampliando a participação dos ônibus articulados no seu serviço de transporte coletivo de passageiros (Prefeitura de Porto Alegre, 2016).

2.2 Cálculo da tarifa

Até 1982, cada município tinha seu próprio método de cálculo de tarifa. Porém os de menor porte, por falta de pessoal técnico especializado, tinham dificuldades de estabelecer o valor da tarifa dos ônibus de seus sistemas de transporte. Em 1982, foi criado o documento “Instruções Práticas para Cálculo de Tarifas de Ônibus” (IPCTO), com o objetivo de organizar o conhecimento a respeito do assunto e criar um método de cálculo tarifário para cidades de qualquer porte. Em 1993, foi criado um grupo de trabalho (GEIPOT², NTU³, ANTP⁴, Ministério dos Transportes e Fórum Nacional dos Secretários Municipais de Transportes) para revisar o documento, no que se refere a coeficientes e índices e possibilitar a revisão das tarifas. Desde então, diversos municípios passaram a se basear nesse documento para o cálculo e, às vezes, com certas adaptações para melhor representação da operação dos ônibus (GEIPOT, 1996). Atualmente, por exemplo, as cidades de São Paulo, Rio de Janeiro, Curitiba, Porto Alegre, Cuiabá, Londrina e Palmas se baseiam nesse documento para o cálculo das tarifas. Conforme pode ser observado na Tabela 3.

Tabela 3 – Lista selecionada de Municípios que se baseiam no IPCTO para cálculo de tarifa.

Município	População [hab] ¹	Classificação
São Paulo	12.038.175	Grande porte
Rio de Janeiro	6.498.837	Grande porte
Curitiba	1.893.997	Grande porte
Recife	1.625.583	Grande porte
Porto Alegre	1.481.019	Grande porte
Cuiabá	585.367	Médio Porte
Londrina	553.393	Médio porte
Palmas	279.856	Médio porte
Hortolândia	219.039	Médio porte

¹População estimada de 2016.

Fonte: Elaboração própria a partir de IBGE (2017).

No cálculo da tarifa de ônibus para São Paulo, são consideradas diferentes categorias de ônibus, dentre elas seis tipos de veículos qualificados (conhecidos como Padron) e quatro tipos de veículos articulados e biarticulados. Dentre os insumos, é considerado não apenas o preço de um litro de combustível, mas também o custo da energia elétrica, já que, o município conta com um sistema de trólebus. Quanto ao cálculo de usuários pagantes, são contemplados descontos de diferentes tipos.

2 GEIPOT: Grupo Executivo de Integração da Política de Transporte

3 NTU: Associação Nacional das Empresas de Transportes Urbanos

4 ANTP: Associação Nacional dos Transportes Públicos

No caso do Rio de Janeiro, são considerados ônibus urbanos (micro-ônibus, midi-ônibus e ônibus urbano convencional), rodoviários e articulados, com e sem aparelhos de ar condicionado. Além disso, os coeficientes de consumo de insumos variam segundo a especificidade das Redes de Transportes Regionais, cada uma operada por um consórcio.

No cálculo da tarifa de ônibus para Porto Alegre, foram realizadas duas revisões dos coeficientes de consumo de insumos recomendados pelo Método GEIPOT, em 2003 e 2013. As revisões foram relativas aos dados de: combustíveis e lubrificantes, pneus, despesas com peças e acessórios, outras despesas e despesas com pessoal de manutenção e pessoal de administração. O custo com peças e acessórios é considerado como custo fixo. Além disso, tanto em Londrina quanto em Porto Alegre verificou-se que há a adição de uma nova variável, chamada “Taxa de Remuneração de Capital”. A diferença é que o lucro da operação é inserido nessa variável, quando antes era considerado apenas na taxa de 12% em relação ao ativo, assim como é feito nas demais cidades.

Cuiabá segue, em linhas gerais, o Método GEIPOT considerando veículos com e sem aparelhos de ar condicionado. Isso também é feito em Palmas, onde se considera os micro-ônibus e ônibus urbanos convencionais com e sem aparelhos de ar condicionado.

Para todos os casos selecionados, houve considerações diferentes do Método GEIPOT original quanto aos encargos sociais. Assim como, percebe-se que os Manuais de Cálculo de Tarifa com maiores alterações e adaptações são os de cidades de grande porte.

Em 21 de agosto de 2017, a ANTP (Associação Nacional do Transporte Público), em parceria com a NTU (Associação Nacional das Empresas de Transportes Urbanos), a Frente Nacional de Prefeitos e o Fórum Nacional de Secretários e Dirigentes de Transporte e Trânsito, apresentou um novo método de cálculo de tarifa de transporte por ônibus, motivado pelas manifestações que ocorreram em diversas cidades brasileiras por conta dos constantes reajustes destas tarifas. A nova proposta havia sido apresentada preliminarmente no 21º Congresso Brasileiro de Transporte e Trânsito da ANTP, que ocorreu nos dias 28 a 30 de junho de 2017 em São Paulo. O objetivo da proposta é ser referência nacional de cálculo de custos operacionais e de contratação de serviços de ônibus urbanos. Isso auxilia na definição do valor da tarifa, permite uma justa remuneração ao setor empresarial e dá mais transparência do processo aos cidadãos. Além disso, a intenção é que o método proposto sirva para os próximos 50 anos, com revisão dos valores das variáveis de 4 em 4 anos.

O Método da ANTP pretende inserir novas variáveis, em relação ao Método GEIPOT. Uma delas é a variável “Lucro do Investidor”. No Método GEIPOT, o lucro está inserido na taxa de 12% aplicada ao ativo, o que parece ser pouco para o risco que o empresário corre atualmente nas cidades brasileiras. A falta dessa variável, acarreta na incorreta distribuição desse lucro nas diversas variáveis da planilha. Além disso, outras variáveis como de custeio que surgiram após a década de 1980, como o gerenciamento de terminais será inserida.

Em termos de comparação entre diferentes tecnologias de veículos para o mesmo tipo de serviço, este novo método não apresenta contribuições significativas, pois a inserção das novas

variáveis se dá de forma equitativa para a tecnologia convencional ou alternativa, sem interferência na comparação entre cenários de uso de ônibus equipados com motores do ciclo Diesel ou elétricos a bateria. Essas novas variáveis que serão inseridas têm relação com a parte administrativa do sistema e com o risco financeiro de operação, sendo independentes das características dos veículos em si e incidindo igualmente em ambos os casos.

Uma limitação já identificada no Método da ANTP é que não contempla a possibilidade de incluir ônibus equipados como as novas tecnologias de propulsão, como por exemplo, veículos elétricos e híbridos, embora tenha a meta de servir como referência para os próximos 50 anos.

2.2.1 Financiamento FINAME do BNDES

As linhas de financiamento FINAME são: aquisição e comercialização; produção e modernização. O financiamento de ônibus está dentro da linha aquisição e comercialização, onde a participação do BNDES (Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social) no financiamento de ônibus e caminhões para micro, pequenas e médias empresas é de até 80% do investimento e para os demais clientes até 50% do investimento. A Figura 1 apresenta a distribuição da taxa de juros.



Legenda: TJLP – Taxa de juros de longo prazo.

Figura 1 – Financiamento tipo FINAME do BNDES.

Fonte: Elaboração própria a partir de BNDES (2017).

O prazo de financiamento, de um modo geral, dentro da linha de aquisição e comercialização é de até 10 anos, com carência de até 2 anos. Entretanto, para veículos sobre pneus para transporte de passageiros, os prazos são estabelecidos segundo a Tabela 4.

Tabela 4 – Prazo total e de carência para veículos sobre pneus para transporte de passageiros.

Tipo de veículo	Prazo
Sistemas integrados ou racionalizados	-
Convencional e micro com degraus	Até 6 anos
Motor traseiro não-Padron e micro com acessibilidade	Até 7 anos
Padron e articulado com degraus	Até 8 anos
Padron e articulado piso baixo, biarticulado e elétricos	Até 9 anos
Sistemas não integrados ou não racionalizados e transporte rodoviário	Até 6 anos

Fonte: Elaboração própria a partir de BNDES (2017).

Em 2017, o prazo do financiamento pelo Finame é de 5 anos para ônibus urbano movidos a óleo diesel e 9 anos para ônibus elétrico. Em 2018, os ônibus não poluentes ganharão prioridade, ou seja, haverá melhores condições para a compra de trólebus, ônibus elétricos, ônibus híbridos, ônibus a etanol, ônibus com células de hidrogênio, ônibus a gás natural veicular, entre outros. O prazo do financiamento pelo FINAME passará para 10 anos.

O financiamento funciona do seguinte modo: o comprador escolhe o equipamento com o fabricante e solicita o financiamento ao agente financeiro. O agente financeiro encaminha a solicitação de financiamento ao BNDES que é encarregado de autorizar e solicitar ao fabricante a entrega do equipamento ao comprador. O BNDES repassa o valor do financiamento ao agente financeiro que efetua o pagamento do equipamento para o fabricante.

2.3 Tendências futuras - eletromobilidade

O número de registros de carros elétricos a bateria (BEV) em 2016 foi de 753,17 mil em todo o mundo, como apresentado na Figura 2. Os países com maior número de registros foram China (336 mil) e Estados Unidos (159,62 mil). A manutenção da taxa de crescimento de 2016 nos próximos anos permitirá o cumprimento dos objetivos do cenário estabelecido pela IEA (*International Energy Agency*) de incremento de temperatura média de até 2° C para 2025 (IEA, 2017).

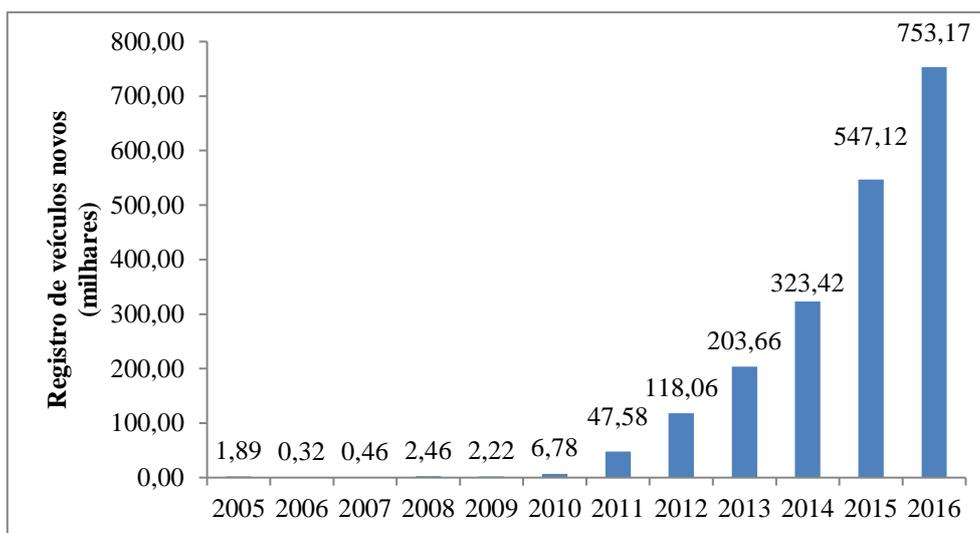


Figura 2 – Registro de veículos elétricos novos.

Fonte: Elaboração própria a partir de IEA (2017).

Quanto às vendas dos carros elétricos, 95% destas estão ocorrendo em apenas dez países: China, Estados Unidos, Canadá, Japão, França, Alemanha, Holanda, Noruega, Suécia e Reino Unido. De 2011 para 2016, o *marketshare* global cresceu consideravelmente, sendo a Noruega o país com maior *marketshare* nacional em 2016 (28,76%), como apresentado na Figura 3 (IEA, 2017).

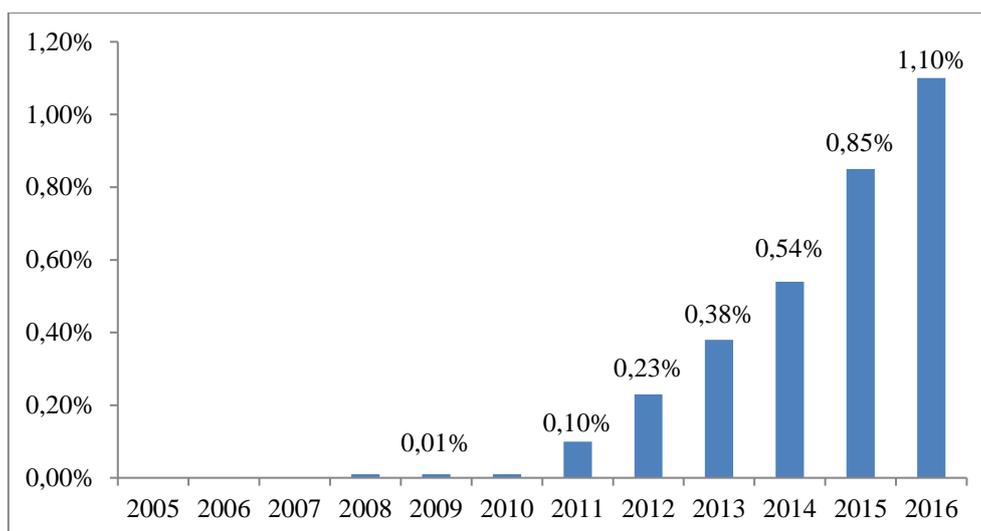


Figura 3 – Marketshare global de veículos elétricos.

Fonte: Elaboração própria a partir de IEA, 2017.

A frota global de ônibus elétrico em 2016 contou com 345.000 unidades, sendo 99,57% provenientes da China, como apresentado na Tabela 5. Em relação a 2015, a frota global duplicou (IEA, 2017). Além disso, diversas cidades estabeleceram objetivos e metas de ampliar sua frota de ônibus elétricos. Por exemplo, na cidade chinesa de Shenzhen, a meta é obter 100% da frota com ônibus elétrico já em 2017 (Hall et al.,2017). Em Paris, a meta é obter 80% da frota com ônibus elétrico até 2025 (RAPT, 2017). Isso sugere que o mercado não está mais nas fases de teste e introdução desta tecnologia, mas começando a fase de crescimento (IEA, 2017). A tendência então é que o preço dos veículos elétricos diminua, com o aumento das vendas e com a consolidação do mercado.

Tabela 5 – Estoque de ônibus elétricos por região/país em 2016.

Região/País	Nº de ônibus elétricos (2016)	%
Global	345.000	100,00%
China	343.500	99,57%
Europa	1.273	0,37%
Estados Unidos	200	0,06%

Fonte: Elaboração própria a partir de IEA, 2016.

A implantação de ônibus híbrido cresceu tremendamente nos últimos anos. A maior frota híbrida nos Estados Unidos é a de Nova York com 1.672 veículos (Aber, 2016). Além disso, mais de 15 estados americanos já implantaram ônibus híbridos em suas frotas (EESI, 2007).

Keolis é o segundo maior operador de ônibus na Suécia e tem rodado 8 ônibus híbridos *plug-in* em Estocolmo desde novembro de 2013. Os ônibus são alimentados com óleo vegetal hidrogenado (HVO), uma forma renovável para obter um sucedâneo do óleo diesel. O operador First Bus em Bristol (Reino Unido) operou dois ônibus híbridos *plug-in* desde dezembro de 2015 (LOWCVP, 2016). Em 2010, a Empresa Municipal de Transportes de Madrid (EMT) estabeleceu um contrato de compra de 165 ônibus de baixo impacto ambiental, ou seja, elétrico a bateria (*plug-in*), híbrido ou a gás natural

comprimido (GNC). Desse total, 23 ônibus são híbridos GNC-Elétrico tipo Padron de 12m (EMT, 2014).

Em 2008, o prefeito de Londres tomou a iniciativa de contratar o projeto, a fabricação e o fornecimento de 600 ônibus híbridos diesel-elétricos entre 2012 e 2016 para a cidade. Foi planejado que os novos ônibus operariam nas rotas do centro da cidade. Em junho de 2013, 32 ônibus começaram a operar 24 horas. Em geral, Londres possui uma das maiores frotas europeias de ônibus verdes (de baixo impacto ambiental) e procura aumentar esta frota. A partir de 2012, todos os novos ônibus que entraram na frota deveriam ser híbridos. Até 2016, houve mais de 1.700 ônibus híbridos em serviço na cidade, que representa 20% da frota total (8 500 ônibus) (Clean Fleets, 2014).

Neste contexto, o Programa de Teste de Ônibus Híbrido e Elétrico foi concebido pelo Grupo Grandes Cidades para Liderança do Clima (C40), em parceria com Clinton Climate Initiative (CCI). O Programa foi ativamente apoiado pelo Banco Interamericano de Desenvolvimento com uma contribuição financeira de US \$ 1,49 milhão. Um dos objetivos do programa foi levar à implantação de até 9 mil ônibus híbridos e elétricos a bateria em cidades latino-americanas até 2018. Governos locais, fornecedores de ônibus e operadores em Bogotá, São Paulo, Rio de Janeiro e Santiago buscaram implementar o programa (ISSRC, 2013).

2.4 Estudos nacionais recentes que fazem comparação entre ônibus movidos a óleo diesel e elétricos a bateria (*plug-in*)

Foram identificados cinco estudos nacionais realizados nos últimos 4 anos (2014 a 2017), em formato de relatório, que abordaram a viabilidade operacional de ônibus elétricos a bateria (*plug-in*). São eles: URBS (2015), Carris (2016), Greenpeace (2016), SPTrans (2016) e ABVE (2017).

O estudo da URBS (2015) realizou uma avaliação comparativa entre ônibus elétrico a bateria (*plug-in*) fabricado pela BYD e três outras tecnologias de propulsão em operação no transporte coletivo de Curitiba. Neste teste, as tecnologias consideradas foram ônibus movidos a óleo diesel AC300/EURO3, ônibus híbrido (diesel-elétrico) em paralelo AC319/EURO5, ônibus híbrido (diesel-elétrico) em série XY028/EURO5 e ônibus elétrico BYD XY030. Os dados acompanhados foram relativos à quilometragem percorrida, consumo de energia e registro diário do fluxo de passageiros nos ônibus durante 23 dias de teste. A comparação foi realizada considerando as medições diretas de opacidade, com um opacímetro e as emissões de CO_{2e} foram estimadas com a utilização da ferramenta GHG Protocol 2013. Os resultados do estudo são apresentados na Tabela 6.

Tabela 6 – Resultados do estudo da URBS (2015).

Ônibus	Custo com energia ou combustível por km [R\$/km]	IPK [pass/km]	Emissão de opacidade [m ⁻¹]	t CO _{2e} (GHG)
Diesel – AC300	1,09	4,80	0,37	7,25
Híbrido (Paralelo) – AC319	0,83	4,48	0,34	4,74
Híbrido (Série) – XY028	0,66	5,57	0,15	2,79
Elétrico – XY030	0,63	5,13	0,00	0,72

Fonte: Elaboração própria a partir de URBS (2015).

O estudo da Carris (2016) analisou as tecnologias utilizadas em ônibus urbanos, comparando os ônibus movidos a óleo diesel com os ônibus elétrico a bateria (*plug-in*) fabricado pela BYD. Neste estudo, além das medidas de desempenho operacional, também foram considerados os custos. Dentro do escopo deste estudo, foram realizadas visitas a três operadoras que já utilizam ônibus elétrico (Metra em São Bernardo do Campo/SP, Ambiental em São Paulo/SP e Itajaí em Campinas/SP) e duas fábricas de ônibus elétricos a bateria (*plug-in*), no Brasil e na China. Durante essas visitas, foram obtidos os resultados do acompanhamento da operação dos ônibus elétricos.

Em 24 dias de operação para teste da empresa Ambiental, a quilometragem total rodada no período foi de 2.389 km com um total de 4.453 passageiros transportados. A autonomia média diária da bateria no período foi 97,79 km. Em 18 dias de operação para teste da empresa Itajaí, a quilometragem total percorrida no período foi de 3.053 km com um total de 5.117 passageiros transportados. O consumo de energia no período foi de 3.262 kWh, com um custo de R\$ 1.941,00. Enquanto o custo de energia no mesmo período por um veículo equipado com motor do ciclo Diesel foi de R\$ 2.776,54. Os resultados da visita a Itajaí são apresentados na Tabela 7.

Tabela 7 - Resultados referentes a visita à Itajaí.

Dados	Elétrico BYD
Passageiros transportados [pass]	5.117
Quilometragem percorrida [km]	3.053
Consumo de energia [kWh]	3.262
Custo da energia no período [R\$/kWh]	R\$ 1.941,00

Fonte: Elaboração própria a partir de Carris (2016).

Na visita na fábrica chinesa, foi informado que autonomia da bateria era de 240 a 280 km e a vida útil média era de 12 anos. O consumo energético do ônibus elétrico a bateria (*plug-in*) aumenta de 0,5 a 0,8 kWh, se for instalado aparelho de ar condicionado. O custo de manutenção preventiva do ônibus elétrico a bateria (*plug-in*) era aproximadamente 80% menor do que o custo do ônibus a óleo diesel. Outros cálculos referentes ao custo do ônibus elétrico a bateria (*plug-in*) foram realizados pela Carris, como apresentado na Tabela 8.

Tabela 8 - Resultados referentes a custo do estudo da Carris (2016).

	Diesel	Elétrico
Investimento inicial [R\$]	R\$ 530.000,00	R\$ 1.250.000,00
Custo com energia ou combustível [R\$/km]	R\$ 1,37	R\$ 0,58
Custo com manutenção [R\$/km]	R\$ 0,99	R\$ 0,40
Custo global (10 anos)	R\$ 2.969.761,25	R\$ 2.898.317,53
Diferença	-	-2,4%
Custo global (15 anos)	R\$ 5.852.484,74	R\$ 3.566.435,36
Diferença	-	-39,1%

Fonte: Elaboração própria a partir de Carris (2016).

O dossiê do Greenpeace (2016) apresentou os benefícios de uma frota de ônibus movidas a combustíveis renováveis em São Paulo. Os custos por tecnologia são apresentados na Tabela 9. O dossiê comparou um ônibus convencional com os ônibus com tecnologia alternativa (híbridos e elétricos). O ônibus convencional considerado foi o movido a óleo diesel, piso baixo, com equipamento de ar condicionado e comprimento entre 12,5 m e 13,2 m. O rendimento energético de 0,9 km/kWh do ônibus elétrico considerado foi o do BYD K9, em testes na Bahia.

Tabela 9 – Custos por diferentes tecnologias para ônibus.

Custo	Ônibus convencional	Híbrido (Eletra)	Híbrido (Volvo)	Elétrico (Eletra)	Elétrico (BYD K9)
Investimento inicial [R\$]	R\$ 460.000,00	R\$ 640.000,00	R\$ 800.000,00	R\$ 850.000,00	R\$1.000.000,00
Custo com energia ou combustível/km	R\$ 1,56	R\$ 1,18	R\$ 1,52	R\$ 0,48	R\$ 0,48
Custo com manutenção/km	R\$ 0,30	R\$ 0,29	R\$ 0,31	R\$ 0,92	R\$ 0,20
Custo global (10 anos)	R\$ 1.819.677,62	R\$ 1.712.173,85	R\$ 2.200.467,95	R\$ 1.922.841,85	R\$ 1.539.321,40
Diferença	-	-5,9%	+20,9%	+5,6%	-15,4%
Custo global (15 anos)	R\$ 2.491.393,70	R\$ 2.278.697,68	R\$ 2.892.335,51	R\$ 2.736.924,27	R\$ 1.788.982,10
Diferença	-	-8,5%	+16%	+9,8%	-28,1%

Fonte: Elaboração própria a partir de Greenpeace (2016).

O estudo da SPTrans (2016) realizou testes de autonomia do ônibus elétrico a bateria (*plug-in*) fabricado pela BYD para aplicação no transporte coletivo de São Paulo. Os resultados são apresentados na Tabela 10. O ônibus testado foi um K9D de 12 m alimentado por baterias lítio-fosfato de ferro. Em testes preliminares, em um curto período de tempo, foram medidos os consumos de energia com carga plena e meia carga.

Tabela 10 - Resultados do estudo da SPTrans (2016).

Indicadores	Quilometragem total percorrida [km]	Consumo de energia [kWh/km]
Linha 509M/10 Carga Plena	579	1,18
Linha 509M/10 Meia Carga	502	1,07
Expresso Tiradentes Carga Plena	462	0,93

Fonte: Elaboração própria a partir de SPTrans (2016).

Outros testes foram realizados em maior período de tempo pelas empresas Ambiental Transportes Urbanos e Viação Gato Preto, ambas de São Paulo/SP. A empresa Ambiental é a mesma mencionada no estudo da Carris (2016). Os resultados são apresentados na Tabela 11. Durante os 3 meses de testes da Ambiental, o ônibus rodou por duas linhas e houve 47 registros de manutenção,

mas sem recolhidas ou transbordos. Os dados do ônibus elétrico a bateria (*plug-in*) fabricado pela BYD foram comparados com os dados dos trólebus que trafegam pelas mesmas linhas. O consumo do ônibus elétrico a bateria (*plug-in*) fabricado pela BYD foi de 1,26 kWh/km e dos trólebus foi de 2,29 kWh/km. Durante os 4 meses de testes da Gato Preto, o ônibus rodou apenas por uma linha onde trafegam ônibus Padron movidos a óleo diesel. Houve 6 ocorrências de manutenção e somente um defeito resultou em uma recolhida anormal. O consumo médio foi de 1,04 kWh/km.

Tabela 11 - Resultados dos estudos da Ambiental Transportes Urbanos e da Viação Gato Preto.

Empresa	Linha	Quilômetros rodados [km]	Passageiros Transportados [pass]	IPK [pass/km]	Consumo de energia [kWh/km]
Ambiental	3160-10	5.867	12.759	2,17	1,259
Ambiental	2002-10	2.102	4.500	2,14	1,266
Gato Preto	8000-10	10.688,6	33.846	3,17	1,040
	Total	18.657,6	51.105	2,74	1,118

Fonte: Elaboração própria a partir de SPTrans (2016).

O estudo da ABVE (2017) comparou o custo por quilometro de tecnologias utilizadas em ônibus urbanos (movidos a óleo diesel, híbridos, elétricos a bateria (*plug-in*) e trólebus). Importante ressaltar que os dados foram obtidos internamente com a ABVE. Os resultados são apresentados na Tabela 12 e na Tabela 13.

Tabela 12 - Consumo de energia ou combustível por quilometro por tecnologia.

Veículo	Consumo de energia ou combustível [l/km ou kWh/km]
Diesel	0,63 l/km
Híbrido	0,48 l/km
Elétrico	1,58 kWh/km
Trólebus	2,63 kWh/km

Fonte: Elaboração própria a partir de ABVE (2017).

Tabela 13 - Custos por tecnologia em R\$/km.

Veículo	Diesel	Híbrido (VOLVO)	Híbrido (ELETRA)	Elétrico (ELETRA)	Elétrico (BYD)	Trólebus
Custo de capital/km	1,33	1,73	1,91	2,21	1,25	1,41
Custo com energia ou combustível/km	1,68	1,17	1,17	0,79	0,79	1,32
Custo de manutenção/km	0,40	0,50	0,40	0,20	0,20	0,28
Custo das estações de carregamento/km	-	-	-	0,16	0,00	0,00
Custo de infraestrutura/km	-	-	-	0,14	0,14	0,34
Custo ambiental/km	0,40	0,29	0,29	0,03	0,03	0,05
Custo total/km	3,81	4,04	4,13	4,79	3,62	3,72

Fonte: Elaboração própria a partir de ABVE (2017).

2.5 Reflexões importantes

Em síntese, os estudos consultados apontam que o consumo médio de energia dos ônibus elétrico a bateria (*plug-in*) variam entre 1,04 kWh/km e 1,58 kWh/km. Esta variação decorre de diferentes condições de perfil de operação e carregamento do veículo. O consumo de energia impacta diretamente no custo com energia, que varia entre R\$ 0,48/km e R\$ 0,79/km, numa amplitude maior que a variação do consumo médio de energia, tendo em vista que esta também é impactada pelo valor da tarifa de energia elétrica praticada. Deve-se ainda considerar que o custo com manutenção varia entre R\$ 0,20/km e R\$ 0,92/km e neste caso considerou-se valores extremos observados para dois fabricantes de ônibus elétricos a bateria (*plug-in*), o que ampliou o intervalo de variação.

Os estudos consultados demonstram que embora os ônibus elétricos a bateria (*plug-in*) possam custar até 2,17 mais que os ônibus movidos a óleo diesel, seus custos com energia são em média 55% menores e seus custos com manutenção podem ser até 50% menores. Com isso há uma expectativa que no longo prazo (mais de 10 anos de vida útil), os custos globais sejam menores para os ônibus elétricos a bateria (*plug-in*). De fato, o estudo da Carris indica uma diferença de -2,4% em 10 anos e -39,1% em 15 anos para os custos globais no comparativo entre ônibus elétricos a bateria (*plug-in*) e ônibus movidos a óleo diesel. Já o estudo do Greenpeace, indica que esta diferença é de -15,4% em 10 anos e -28,1% em 15 anos.

Os custos com energia são usualmente os maiores custos variáveis em transporte e sua composição depende do rendimento energético dos veículos em diferentes condições de operação e do valor de aquisição da energia, sendo que ambos introduzem incertezas quanto aos resultados esperados. Uma maior incerteza ainda ocorre no caso da determinação dos custos de manutenção, tendo em vista tratar-se de tecnologia desenvolvida recentemente e em fase crescimento no mercado. No longo prazo, garantir menores custos com energia e manutenção é condição imprescindível para obtenção de retorno sobre o maior investimento necessário para a aquisição de ônibus elétricos a bateria (*plug-in*), se comparados aos veículos convencionais.

Há ainda um ponto importante, que impacta na determinação dos custos de capital, usualmente o maior custo fixo em transportes. Por se tratar de uma tecnologia ainda em crescimento no mercado, há significativa incerteza quanto ao valor residual dos ônibus elétricos a bateria (*plug-in*) no final da sua vida útil econômica. Portanto, para a difusão do uso deste tipo de veículo é desejável a formatação de um modelo de negócio diferenciado para transporte público urbano nacional, onde a vida útil dos veículos deve ser estendida e o veículo deve ser reciclado no final de sua vida, buscando agregar o máximo de valor nos seus componentes mais caros, em particular o banco de baterias.

Quanto ao impacto na tarifa pelo uso de ônibus elétricos a bateria (*plug-in*), nenhum estudo apontou resultados quanto ao assunto, o que ratifica a contribuição deste trabalho.

3 CAPÍTULO 3 – APROFUNDANDO O CONHECIMENTO SOBRE ÔNIBUS ELÉTRICOS A BATERIA (*PLUG-IN*) E O CÁLCULO TARIFÁRIO

Um aprofundamento sobre as características técnicas e operacionais de ônibus elétricos a bateria (*plug-in*) e sua comparação com os veículos movidos a óleo diesel é apresentado neste Capítulo, apontando as diferenças entre eles. Também se considera um método consistente e conhecido para o cálculo tarifário a ser utilizado no presente trabalho e propostas de cenários para a sua aplicação.

3.1 Conhecendo melhor um ônibus elétrico a bateria (*plug-in*)

Atualmente, o sistema de propulsão de ônibus mais empregado mundialmente é o motor de combustão interna, do ciclo Diesel acoplado a um sistema de propulsão mecânico. Dentre os sistemas alternativos, pode-se citar o sistema de propulsão elétrico. No caso dos ônibus elétricos aqui considerados, são utilizados motores elétricos alimentados a partir de baterias instaladas no veículo.

Os ônibus equipados com motores do ciclo Diesel transformam a energia química contida no combustível em calor e este em trabalho mecânico (D'Agosto, 2015). A Tabela 14 apresenta algumas características dos ônibus qualificados equipados com motores do ciclo Diesel, capazes de ofertar um nível de serviço similar aos ônibus elétricos apresentados anteriormente.

Tabela 14 – Ônibus convencionais qualificados e suas características.

Tipo	Capacidade [pass]	Piso	Motor	Comprimento [m]	Ar condicionado
Micro	36	Baixo	Traseiro	8 - 9	Sim
Padron	70	Baixo	Traseiro	12,2	Sim
Articulado	100	Baixo	Traseiro	18,6	Sim

Fonte: Elaboração própria a partir de SPTrans (2007).

O ônibus elétrico a bateria (*plug-in*) possuem a tecnologia de tração por motor elétrico que pode estar acoplado a um eixo de transmissão, ao diferencial e aos semieixos das rodas ou podem estar diretamente acoplados nas duas rodas traseiras, configuração que é desejável, pois além de substituir o motor do ciclo Diesel a embreagem e a caixa de marchas, também substituem o eixo de transmissão, as juntas de acoplamento, o diferencial e os semieixos das rodas, reduzindo significativamente o número de peças componentes do sistema de propulsão. Esta configuração mais compacta é desejável em função dos benefícios esperados em termos de redução do custo de manutenção pela redução da complexidade do sistema e no número de componentes que podem falhar.

De forma a ilustrar esta situação, a equivalência entre os veículos é apresentada na Tabela 15, onde se escolheu um ônibus elétrico a bateria (*plug-in*) fabricado pela empresa BYD, semelhante aos que foram testados e cujos resultados foram apresentados no Capítulo anterior. Para o ônibus elétrico a bateria (*plug-in*) a alimentação de energia é realizada por meio de baterias de íon-lítio e fosfato de ferro, que são a prova de fogo. O ônibus possui frenagem regenerativa, permitindo a recuperação parcial da energia cinética durante a desaceleração. O ônibus elétrico BYD (12m, modelo 2013) tem

autonomia de 250 km com tempo de carga média de 5 h. Seu consumo energético é de 1,2 kWh/km (BYD, 2013).

Tabela 15 – Ônibus elétricos e suas características.

Modelo	Capacidade [assentos]	Piso	Motor	Comprimento [m]	Ar condicionado
K7	23		Acoplados	9	
K9, K10	40	Baixo	às rodas	13,2 e 15	Sim
K11	47-55			18	

Fonte: Elaboração própria a partir de BYD.

3.2 Aplicando um método consistente e conhecido para o cálculo da tarifa

Segundo o Método GEIPOT (1996), a tarifa é obtida pelo custo total do serviço dividido pelos usuários pagantes. Este modelo conceitual de composição da tarifa é simples e respaldado no pressuposto que a tarifa deve representar a “justa remuneração pelo serviço público prestado”. Há então dois componentes que impactam de forma determinante o valor da tarifa: a composição do custo total do serviço, ou seja, quais parcelas devem ser consideradas em sua composição para que de fato represente o resultado obtido de forma justa e o número de passageiros pagantes, que depende fortemente do mercado de transporte com comportamento de difícil determinação.

Em síntese, o custo total de serviço é o custo quilométrico e os tributos que incidem na localidade onde o serviço é prestado. O custo quilométrico é a soma dos custos variáveis e fixos. Os custos variáveis são aqueles que dependem da quilometragem rodada, tais como os custos com: combustível, lubrificantes, rodagem (pneus, câmaras e protetores) e peças e acessórios. Os custos fixos são: custo de capital (depreciação e remuneração de capital), despesas com pessoal e despesas administrativas. Um fluxograma esquemático do Método GEIPOT é apresentado na Figura 4.

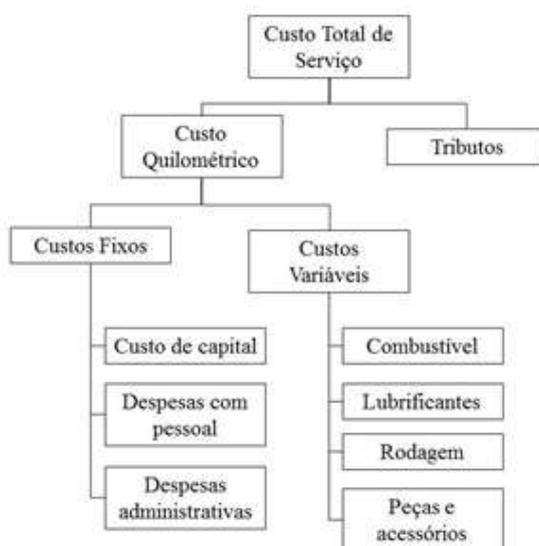


Figura 4 – Método de Cálculo Tarifário.

Fonte: Elaboração própria a partir de GEIPOT (1996).

Para o cálculo são necessários os dados de entrada referentes a: preço de uma unidade de energia (usualmente um litro de combustível), preço de um pneu novo, preço de uma recapagem de pneu, preço de uma câmara-de-ar (caso possua), preço de um protetor de câmara de ar, preço ponderado de um chassi novo, preço ponderado de uma carroceria nova, salário-base mensal de motorista, salário-base mensal de cobrador, salário-base mensal de fiscal/despachante, benefício trabalhista mensal total, remuneração mensal de total da diretoria, despesa anual com seguro de responsabilidade civil, despesa anual com seguro obrigatório por veículo, despesa anual com o IPVA. No caso dos preços de pneu, recapagem, câmara-de-ar, protetor, chassi e carroceria deve-se obter os dados para veículo leve, pesado e especial.

Vale ressaltar que no caso do cálculo da tarifa realizado neste trabalho, foi considerada uma subcategoria de custos fixos. Esta subcategoria é denominada “Outras Despesas”, no qual estão inseridos os custos de Bilhetagem Eletrônica e *Leasing* da Bateria.

O custo variável é calculado por meio da Equação 1.

$$CV = C + L + R + PA, \quad (1)$$

em que:

- CV: Custo variável, em R\$/km;
- C: Custo de combustível, em R\$/km;
- L: Custo de lubrificante, em R\$/km;
- R: Custo de rodagem, em R\$/km;
- PA: Custo de peças e acessórios, em R\$/km.

O custo fixo é calculado por meio da Equação 2.

$$CF = (CC + DP + DA)/Q, \quad (2)$$

em que:

- CF: Custo fixo, em R\$/km;
- CC: Custo de capital, em R\$;
- DP: Despesas com pessoal, em R\$;
- DA: Despesas administrativas, em R\$;
- Q: Quilometragem percorrida, em km.

O IPK é calculado por meio da Equação 3.

$$IPK = PCD \cdot D\% + PSD \cdot (1-D)\% / Q, \quad (3)$$

em que,

- IPK: Índice de passageiros equivalentes por quilômetro, em pass/km;
- PCD: Passageiros com desconto, em pass;
- D: Percentual de desconto, em %;
- PSD: Passageiros sem desconto, em pass;

Por fim, a tarifa é calculada por meio da Equação 4.

$$T = (CV + CF + T) / IPK \quad (4)$$

Em que:

T: Tarifa calculada, em R\$/passageiro;

T: Tributos (incidentes de forma aditiva sobre a unidade de custo).

As variáveis do método são descritas detalhadamente no ANEXO 1.

3.3 Propondo cenários em função do porte das cidades

Para que este trabalho pudesse ser abrangente sem perder a simplicidade de aplicação, tornando-o útil para um grande conjunto de municípios brasileiros, foram considerados três cenários, um para cada porte de cidade (pequeno, médio e grande) e seus respectivos sistemas de transportes. A classificação das cidades seguiu os parâmetros do IBGE. Dentro de cada cenário, são consideradas duas alternativas de frota: frota de ônibus qualificados e frota de ônibus elétrico a bateria (*plug-in*). Em relação aos cálculos, primeiramente realizou-se uma verificação preliminar (*baseline*) dos dados recebidos de cada município, replicando a tarifa atual da cidade, sem considerar os subsídios. É importante ressaltar que foram recebidos e coletados dados de um conjunto de municípios, o que respalda os resultados aqui obtidos como representativos da realidade nacional. No entanto, por questões de confidencialidade tais municípios não serão identificados.

Após essa verificação preliminar, substituiu-se a frota atual de veículos da cidade por veículos qualificados equipados com motores do ciclo Diesel e obteve-se o resultado da alternativa 1. Isto é necessário, pois permite uma comparação equivalente com os veículos elétricos. Posteriormente, substituiu-se a frota de veículos qualificados por veículos elétricos a bateria (*plug-in*) e obteve-se o resultado da alternativa 2. A partir dos resultados das duas alternativas, é realizada a comparação entre elas.

Para tornar os cenários comparáveis, o valor de aquisição do veículo qualificado deve ser ajustado com base na vida útil, o que impactou o valor de revenda dos veículos. Outro ajuste necessário é em relação a capacidade dos veículos, para isso, ajustou a quantidade dos veículos com base na equivalência da capacidade apresentada na Tabela 16.

Tabela 16 – Frota do município de pequeno porte

Categoria	Capacidade
Micro-ônibus	20
Mini ônibus – 9 m	30
Urbano Básico – 12,5 m	70
Pesado – Padron 12,2 m	80
Pesado – Padron 15 m	90
Articulado – 18,9 m	100

Fonte: ABNT NBR 15.570

Em relação aos dados dos veículos elétricos, referentes aos ônibus e sua operação, foram considerados as informações obtidas nos estudos consultados e apresentados no Capítulo 2, ratificados por informações do fabricante dos veículos.

Já no quesito infraestrutura (carregador rápido, subestações e manutenções), os dados utilizados foram os do estudo da ABVE (Associação Brasileira de Veículos Elétricos). Vale ressaltar que a infraestrutura necessária para o carregamento dos veículos deve ser previamente preparada, pois esse procedimento demanda combinação de carga e potência específica.

4 CAPÍTULO 4 – APLICANDO O MÉTODO AOS CENÁRIOS E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Este Capítulo apresenta a aplicação do método proposto aos três cenários apresentados no Capítulo anterior, os resultados obtidos e sua análise.

4.1 Cenário 1 – Municípios de pequeno porte

O cenário 1 é a simulação de tarifa para município de pequeno porte. O município considerado possui uma frota total de 40 ônibus pesados, equivalente ao ônibus urbano básico (Tabela 17) para atender uma demanda média de 200.000 passageiros/mês. O valor do IPK é de 0,75 pass/km.

A frota do município considerando a alternativa 1 é apresentada na Tabela 17, com a quantidade ajustada de veículos. O valor residual do veículo foi estabelecido como valor estimado para a venda de sucata, ou o equivalente a um veículo que desta categoria que operou por tempo equivalente a um ônibus elétrico a bateria (*plug-in*) e é o veículo é utilizado até o fim de vida, sem considerar ou com limitações de sua comercialização posterior.

Tabela 17 – Frota do cenário 1, considerando apenas tecnologia convencional qualificada.

Veículo	Quantidade	Vida economicamente útil	Valor residual do veículo
Frota de ônibus pesados	36 + 18 ⁵	10	R\$ 20.000,00
Frota Total	36 + 18	-	-
Frota Reserva	5	-	-
Frota Operante	36	-	-

Fonte: Elaboração própria

A frota do município, considerando a alternativa 2 é apresentada na Tabela 18. No caso dos veículos elétricos, a vida economicamente útil estimada das baterias é de 15 anos. Isso considerando a condição de que a quilometragem diária máxima seja de 200 km, ou seja, o valor da autonomia da bateria. O valor residual do veículo foi fixado como valor estimado para a venda de sucata.

Tabela 18 - Frota equivalente do cenário 1, considerando apenas ônibus elétricos a bateria (*plug-in*)

Veículo	Quantidade	Vida útil econômica	Valor residual do veículo
Ônibus elétrico a bateria (<i>plug-in</i>) K9W	36	15	R\$ 20.000,00
Frota Total	36	-	-
Frota Reserva	5	-	-
Frota Operante	31	-	-

Fonte: Elaboração própria

Dado o contexto, como pode ser observado na Tabela 19, a tarifa calculada (sem subsídio) para o baseline do Cenário 1 é R\$ 5,38.

⁵ Para tornar a comparação equivalente, considerando um intervalo de 15 anos.

Tabela 19 – *Baseline* do cenário 1.

	R\$/v./mês	R\$/mês	R\$/km	% Custo	% Total	% c/Trib.
Energia			1,15	78,86	29,74	28,59
Lubrificantes			0,05	3,15	1,19	1,14
Rodagem			0,15	10,05	3,79	3,64
Peças e Acessórios			0,12	7,93	2,99	2,88
Custo Variável Total			1,45	100,00	37,71	36,26
Depreciação	5.080,91	182.912,75	0,70	29,08	18,12	17,42
Veículos	5.080,91	182.912,75	0,70	29,08	18,12	17,42
Máq. Inst. e Equipamentos	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Remuneração	3.075,88	110.731,50	0,42	17,61	10,97	10,55
Veículos	2.869,22	103.291,91	0,39	16,42	10,23	9,84
Máq. Inst. e Equipamentos	118,09	4.251,20	0,02	0,68	0,42	0,40
Almoxarifado	88,57	3.188,40	0,01	0,51	0,32	0,30
Despesas com Pessoal	10.456,40	324.148,47	1,24	51,54	32,10	30,87
Operação	8.006,08	248.188,58	0,95	39,46	24,58	23,64
Manutenção	910,50	28.225,35	0,11	4,49	2,80	2,69
Administrativo	745,26	23.102,95	0,09	3,67	2,29	2,20
Benefícios	633,28	19.631,59	0,07	3,12	1,94	1,87
Remuneração Diretoria	161,29	5.000,00	0,02	0,79	0,50	0,48
Despesas Administrativas	282,92	10.185,14	0,04	1,62	1,01	0,97
Gerais	243,56	8.768,09	0,03	1,39	0,87	0,84
Seguro Resp. Civil	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Seguro Obrigatório	39,36	1.417,05	0,01	0,23	0,14	0,13
IPVA	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Outros	26,67	960,00	0,00	0,15	0,10	0,09
Bilhetagem eletrônica	26,67	960,00	0,00	0,15	0,10	0,09
Leasing baterias	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Custo Fixo Total	18.922,77	628.937,87	2,40	100,00	62,29	59,90
Custo Total			3,85		100,00	96,15
Custo Total c/Tributos			4,00			3,85
Tarifa				5,38 ⁶		

Fonte: Elaboração própria

Como apresentado na Tabela 20, a tarifa calculada para a alternativa 1 do cenário 1, que considera a qualificação da frota, está passaria para R\$ 7,22.

⁶ Como o IPK é menor que 1, a tarifa ultrapassa o custo quilométrico.

Tabela 20 – Alternativa 1 do cenário 1.

	R\$/v./mês	R\$/mês	R\$/km	% Custo	% Total	% c/Trib.
Energia			1,37	74,27	26,60	25,58
Lubrificantes			0,05	2,97	1,06	1,02
Rodagem			0,15	7,89	2,82	2,72
Peças e Acessórios			0,28	14,87	5,32	5,12
Custo Variável Total			1,85	100,00	35,81	34,44
Depreciação	7.039,57	253.424,61	0,97	29,15	18,71	17,99
Veículos	7.039,57	253.424,61	0,97	29,15	18,71	17,99
Máq. Inst. e Equipamentos	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Remuneração	7.460,50	268.577,99	1,02	30,89	19,83	19,06
Veículos	6.967,00	250.811,99	0,96	28,85	18,52	17,80
Máq. Inst. e Equipamentos	282,00	10.152,00	0,04	1,17	0,75	0,72
Almoxarifado	211,50	7.614,00	0,03	0,88	0,56	0,54
Despesas com Pessoal	10.456,40	324.148,47	1,24	37,28	23,93	23,01
Operação	8.006,08	248.188,58	0,95	28,54	18,32	17,62
Manutenção	910,50	28.225,35	0,11	3,25	2,08	2,00
Administrativo	745,26	23.102,95	0,09	2,66	1,71	1,64
Benefícios	633,28	19.631,59	0,07	2,26	1,45	1,39
Remuneração Diretoria	161,29	5.000,00	0,02	0,58	0,37	0,35
Despesas Administrativas	620,99	22.355,55	0,09	2,57	1,65	1,59
Gerais	581,63	20.938,50	0,08	2,41	1,55	1,49
Seguro Resp. Civil	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Seguro Obrigatório	39,36	1.417,05	0,01	0,16	0,10	0,10
IPVA	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Outros	26,67	960,00	0,00	0,11	0,07	0,07
Bilhetagem eletrônica	26,67	960,00	0,00	0,11	0,07	0,07
Leasing baterias	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Custo Fixo Total	25.604,13	869.466,62	3,32	100,00	64,19	61,72
Custo Total			5,17		100,00	96,15
Custo Total c/Tributos			5,37			3,85
Tarifa			7,22 ²			

Fonte: Elaboração própria

Como apresentado na Tabela 21, a tarifa calculada para a alternativa 2, considerando uma frota qualificada de ônibus elétricos seria de R\$ 6,94.

Tabela 21 – Alternativa 2 do cenário 1.

	R\$/v./mês	R\$/mês	R\$/km	% Custo	% Total	% c/Trib.
Energia			0,46	0,4646	9,3484	8,9888
Lubrificantes			0,01	0,0079	0,1589	0,1528
Rodagem			0,15	0,1459	2,9358	2,8229
Peças e Acessórios			0,14	0,1142	2,2982	2,2098
Custo Variável Total			0,76	0,7326	14,74	14,17
Depreciação	5.717,01	205.812,24	0,7848	15,79	15,18	17,00
Veículos	5.717,01	205.812,24	0,7848	15,79	15,18	17,00
Máq. Inst. e Equipamentos	0,00	0,00	0,0000	0,00	0,00	0,00
Remuneração	5.884,50	211.841,99	0,8078	16,25	15,63	17,50
Veículos	5.600,33	201.611,99	0,7688	15,47	14,87	16,65
Máq. Inst. e Equipamentos	227,33	8.184,00	0,0312	0,63	0,60	0,67
Almoxarifado	56,83	2.046,00	0,0078	0,16	0,15	0,17
Despesas com Pessoal	10.183,25	315.680,87	1,2038	24,22	23,29	21,75
Operação	8.006,08	248.188,58	0,9464	19,04	18,31	17,10
Manutenção	637,35	19.757,75	0,0753	1,52	1,46	1,36
Administrativo	745,26	23.102,95	0,0881	1,77	1,70	1,59
Benefícios	633,28	19.631,59	0,0749	1,51	1,45	1,35
Remuneração Diretoria	161,29	5.000,00	0,0191	0,38	0,37	0,34
Despesas Administrativas	508,24	18.296,55	0,0698	1,40	1,35	1,49
Gerais	468,88	16.879,50	0,0644	1,30	1,25	1,39
Seguro Resp. Civil	0,00	0,00	0,0000	0,00	0,00	0,00
Seguro Obrigatório	39,36	1.417,05	0,0054	0,11	0,10	0,10
IPVA	0,00	0,00	0,0000	0,00	0,00	0,00
Outros	9.986,67	359.520,00	1,3710	27,59	26,52	24,77
Bilhetagem eletrônica	26,67	960,00	0,0037	0,07	0,07	0,07
Leasing baterias	9.960,00	358.560,00	1,3673	27,51	26,45	24,71
Custo Fixo Total	32.279,66	1.111.151,64	4,2372	100,00	85,26	81,98
Custo Total			4,96		100,00	96,15
Custo Total c/Tributos			5,16			3,85
Tarifa						6,94 ²

Fonte: Elaboração própria

Logo, estima-se um impacto de +87,5% na tarifa se o município for qualificar a sua frota com veículos equipados com motores do ciclo Diesel. Por outro lado, se o município for qualificar a sua frota com veículos elétricos este impacto seria menor em 7,3%, atingindo apenas +80,3%. Isso acontece porque há uma compensação entre o custo fixo total da frota de veículos elétricos a bateria (plug-in) (maior em 27,4%) e o custo variável total, que é 58,9% menor. Os impactos da qualificação no custo variável, no custo fixo e na tarifa são apresentados na Tabela 22.

Tabela 22 – Impactos da qualificação no cenário 1.

	Diesel	Elétrico	Elétrico x Diesel
Custo variável total	27,6%	-47,6%	-58,9%
Custo fixo total	38,3%	76,3%	27,4%
Tarifa	87,5%	80,3%	-3,9%

Fonte: Elaboração própria.

4.2 Cenário 2 – Município de médio porte

O cenário 2 apresenta a simulação de tarifa para município de médio porte. O município considerado possui uma frota de 230 ônibus urbanos leves e pesados para atender uma demanda média de 1.800.000 passageiros/mês. O valor do IPK é de 1,41 pass/km. A Tabela 23 apresenta a frota do município.

Tabela 23 – Frota do município de médio porte.

Categoria	Número de veículos
Frota ônibus leves	30
Frota ônibus pesados	98
Frota Urbano básico com ar	102

Fonte: Elaboração própria a partir

A cidade analisada não possui nem ônibus articulados nem biarticulados. Entretanto, como visto na seção 2.1, há uma tendência para cidades de médio porte em adotar o sistema de BRT, portanto, foram consideradas duas possibilidades: com e sem BRT.

A frota do município do cenário 2 considerando a alternativa 1 é apresentada na Tabela 24, com a quantidade ajustada de veículos. O valor residual segue a mesma premissa já apresentada para os cenários das cidades de pequeno porte.

Tabela 24 - Frota do cenário 2, considerando apenas tecnologia convencional.

Veículo	Quantidade	Vida economicamente útil	Valor residual do veículo
Frota mini ônibus 9m	27 + 27	7	R\$ 15.000,00
Frota Padron 12,2m	86 + 43	10	R\$ 20.000,00
Frota Padron 15m	80 + 40	10	R\$ 25.000,00
Frota Total	193 + 110	-	-
Frota Reserva	10	-	-
Frota Operante	183	-	-

Fonte: Elaboração própria

A frota do município do cenário 2 considerando a alternativa 2 é apresentada na Tabela 25.

Tabela 25 - Frota equivalente do cenário 2, considerando apenas ônibus elétricos a bateria (*plug-in*).

Veículo	Quantidade	Vida útil econômica	Valor residual do veículo
Ônibus elétrico a bateria (<i>plug-in</i>) K7M	27	15	R\$ 15.000,00
Ônibus elétrico a bateria (<i>plug-in</i>) K9W	86	15	R\$ 20.000,00
Ônibus elétrico a bateria (<i>plug-in</i>) K10A	80	15	R\$ 25.000,00
Frota Total	193		-
Frota Reserva	10		-
Frota Operante	183		-

Fonte: Elaboração própria

Como apresentado na Tabela 26, a tarifa calculada para a baseline do cenário 2 é R\$ 3,10.

Tabela 26 – *Baseline* do cenário 2

	R\$/v./mês	R\$/mês	R\$/km	% Custo	% Total	% c/Trib.
Energia			1,10	69,46	26,23	25,22
Lubrificantes			0,04	2,78	1,05	1,01
Rodagem			0,11	6,70	2,53	2,43
Peças e Acessórios			0,33	21,06	7,95	7,65
Custo Variável Total			1,59	100,00	37,76	36,31
Depreciação	2.667,10	613.432,18	0,53	20,32	12,65	12,16
Veículos	2.641,46	607.535,16	0,53	20,13	12,53	12,05
Máq. Inst. e Equipamentos	25,64	5.897,02	0,01	0,20	0,12	0,12
Remuneração	2.070,41	476.193,98	0,41	15,78	9,82	9,44
Veículos	1.897,50	436.424,64	0,38	14,46	9,00	8,65
Máq. Inst. e Equipamentos	124,44	28.621,90	0,02	0,95	0,59	0,57
Almoxarifado	48,47	11.147,43	0,01	0,37	0,23	0,22
Despesas com Pessoal	7.703,34	1.679.329,13	1,45	55,64	34,63	33,30
Operação	6.575,04	1.433.358,57	1,24	47,49	29,56	28,42
Manutenção	773,36	168.591,93	0,15	5,59	3,48	3,34
Administrativo	237,66	51.808,86	0,04	1,72	1,07	1,03
Benefícios	0,13	27,34	0,00	0,00	0,00	0,00
Remuneração Diretoria	117,17	25.542,43	0,02	0,85	0,53	0,51
Despesas Administrativas	1.000,37	230.084,55	0,20	7,62	4,74	4,56
Gerais	966,87	222.379,03	0,19	7,37	4,59	4,41
Seguro Resp. Civil	0,46	106,13	0,00	0,00	0,00	0,00
Seguro Obrigatório	33,04	7.599,39	0,01	0,25	0,16	0,15
IPVA	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Outros	84,24	19.374,43	0,02	0,64	0,40	0,38
Bilhetagem eletrônica	84,24	19.374,43	0,02	0,64	0,40	0,38
Leasing baterias	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Custo Fixo Total	13.525,45	3.018.414,28	2,61	100,00	62,24	59,85
Custo Total			4,20		100,00	96,15
Custo Total c/Tributos			4,37			3,85
Tarifa			3,10			

Fonte: Elaboração própria

Como apresentado na Tabela 27, a tarifa calculada para a alternativa 1 do cenário 2 é R\$ 5,01.

Tabela 27 – Alternativa 1 do cenário 2 (sem BRT)

	R\$/v./mês	R\$/mês	R\$/km	% Custo	% Total	% c/Trib.
Energia			1,44	61,00	21,21	20,40
Lubrificantes			0,06	2,44	0,85	0,82
Rodagem			0,10	4,31	1,50	1,44
Peças e Acessórios			0,76	32,25	11,22	10,79
Custo Variável Total			2,36	100,00	34,78	33,44
Depreciação	8.311,75	1.604.167,61	1,39	31,43	20,50	19,71
Veículos	8.251,75	1.592.587,61	1,38	31,20	20,35	19,57
Máq. Inst. e Equipamentos	60,00	11.580,00	0,01	0,23	0,15	0,14
Remuneração	8.745,65	1.687.910,18	1,46	33,07	21,57	20,74
Veículos	8.166,68	1.576.169,18	1,37	30,88	20,14	19,36
Máq. Inst. e Equipamentos	330,84	63.852,00	0,06	1,25	0,82	0,78
Almoxarifado	248,13	47.889,00	0,04	0,94	0,61	0,59
Despesas com Pessoal	7.725,78	1.413.817,31	1,22	27,70	18,06	17,37
Operação	6.575,04	1.203.232,20	1,04	23,57	15,37	14,78
Manutenção	773,36	141.524,42	0,12	2,77	1,81	1,74
Administrativo	237,66	43.490,92	0,04	0,85	0,56	0,53
Benefícios	0,15	27,34	0,00	0,00	0,00	0,00
Remuneração Diretoria	139,58	25.542,43	0,02	0,50	0,33	0,31
Despesas Administrativas	1.964,09	379.069,51	0,33	7,43	4,84	4,66
Gerais	1.930,50	372.586,50	0,32	7,30	4,76	4,58
Seguro Resp. Civil	0,55	106,13	0,00	0,00	0,00	0,00
Seguro Obrigatório	33,04	6.376,88	0,01	0,12	0,08	0,08
IPVA	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Outros	100,39	19.374,43	0,02	0,38	0,25	0,24
Bilhetagem eletrônica	100,39	19.374,43	0,02	0,38	0,25	0,24
Leasing baterias	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Custo Fixo Total	26.847,65	5.104.339,04	4,42	100,00	65,22	62,71
Custo Total			6,78		100,00	96,15
Custo Total c/Tributos			7,05			3,85
Tarifa			5,01			

Fonte: Elaboração própria

Como apresentado na Tabela 28, a tarifa calculada para a alternativa 2 do cenário 2 é R\$ 4,65.

Tabela 28 – Alternativa 2 do cenário 2 (sem BRT)

	R\$/v./mês	R\$/mês	R\$/km	% Custo	% Total	% c/Trib.
Energia			0,53	64,08	8,48	8,16
Lubrificantes			0,01	1,09	0,14	0,14
Rodagem			0,10	12,19	1,61	1,55
Peças e Acessórios			0,19	22,64	3,00	2,88
Custo Variável Total			0,83	100,00	13,24	12,73
Depreciação	7.099,27	1.370.159,03	1,19	21,71	18,84	18,11
Veículos	7.047,42	1.360.151,78	1,18	21,55	18,70	17,98
Máq. Inst. e Equipamentos	51,85	10.007,24	0,01	0,16	0,14	0,13
Remuneração	7.253,99	1.400.019,80	1,21	22,18	19,25	18,51
Veículos	6.903,59	1.332.393,58	1,15	21,11	18,32	17,61
Máq. Inst. e Equipamentos	280,32	54.100,98	0,05	0,86	0,74	0,72
Almoxarifado	70,08	13.525,24	0,01	0,21	0,19	0,18
Despesas com Pessoal	7.467,99	1.366.642,50	1,18	21,65	18,79	18,06
Operação	6.575,04	1.203.232,20	1,04	19,06	16,54	15,90
Manutenção	515,57	94.349,61	0,08	1,49	1,30	1,25
Administrativo	237,66	43.490,92	0,04	0,69	0,60	0,57
Benefícios	0,15	27,34	0,00	0,00	0,00	0,00
Remuneração Diretoria	139,58	25.542,43	0,02	0,40	0,35	0,34
Despesas Administrativas	1.671,65	322.629,05	0,28	5,11	4,44	4,26
Gerais	1.638,06	316.146,04	0,27	5,01	4,35	4,18
Seguro Resp. Civil	0,55	106,13	0,00	0,00	0,00	0,00
Seguro Obrigatório	33,04	6.376,88	0,01	0,10	0,09	0,08
IPVA	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Outros	9.595,28	1.851.888,43	1,60	29,34	25,46	24,48
Bilhetagem eletrônica	100,39	19.374,43	0,02	0,31	0,27	0,26
Leasing baterias	9.494,89	1.832.514,00	1,59	29,04	25,19	24,22
Custo Fixo Total	33.088,18	6.311.338,81	5,47	100,00	86,76	83,42
Custo Total			6,30		100,00	96,15
Custo Total c/Tributos			6,55			3,85
Tarifa			4,65			

Fonte: Elaboração própria

A frota município, tecnologia convencional, do cenário 2 considerando o sistema de BRT, é apresentada na Tabela 29, com a quantidade ajustada de veículos.

Tabela 29 - Frota do cenário 2, considerando apenas tecnologia convencional.

Veículo	Quantidade	Vida economicamente útil	Valor residual do veículo
Frota Mini ônibus 9m	27 + 27	7	R\$ 15.000,00
Frota Padron 12,2m	43 + 21	10	R\$ 20.000,00
Frota Articulado 18,6m	107 + 53	10	R\$ 30.000,00
Frota Total	177 + 101	-	-
Frota Reserva	9	-	-
Frota Operante	168	-	-

Fonte: Elaboração própria

A frota de veículos elétricos para o município do cenário 2 considerando o sistema de BRT é apresentada na Tabela 30.

Tabela 30 - Frota equivalente do cenário 2, considerando apenas ônibus elétricos a bateria (*plug-in*).

Veículo	Quantidade	Vida útil econômica	Valor residual do veículo
Ônibus elétrico a bateria (<i>plug-in</i>) K7M	27	15	R\$ 15.000,00
Ônibus elétrico a bateria (<i>plug-in</i>) K9W	43	15	R\$ 20.000,00
Ônibus elétrico a bateria (<i>plug-in</i>) K10A	107	15	R\$ 30.000,00
Frota Total	177	-	-
Frota Reserva	9	-	-
Frota Operante	168	-	-

Fonte: Elaboração própria

Como apresentado na Tabela 31, a tarifa calculada para a alternativa 1 do cenário 2, considerando o sistema de BRT, é de R\$ 5,90.

Tabela 31 – Alternativa 1 do cenário 2 (com BRT)

	R\$/v./mês	R\$/mês	R\$/km	% Custo	% Total	% c/Trib.
Energia			1,74	56,88	21,78	20,94
Lubrificantes			0,07	2,28	0,87	0,84
Rodagem			0,14	4,69	1,79	1,73
Peças e Acessórios			1,11	36,16	13,85	13,31
Custo Variável Total			3,06	100,00	38,30	36,82
Depreciação	10.937,13	1.935.871,13	1,68	34,01	20,99	20,18
Veículos	10.877,13	1.925.251,13	1,67	33,83	20,87	20,07
Máq. Inst. e Equipamentos	60,00	10.620,00	0,01	0,19	0,12	0,11
Remuneração	11.526,57	2.040.202,18	1,77	35,85	22,12	21,27
Veículos	10.764,99	1.905.403,18	1,65	33,48	20,66	19,86
Máq. Inst. e Equipamentos	435,19	77.028,00	0,07	1,35	0,84	0,80
Almoxarifado	326,39	57.771,00	0,05	1,02	0,63	0,60
Despesas com Pessoal	7.738,25	1.300.026,53	1,13	22,84	14,09	13,55
Operação	6.575,04	1.104.606,61	0,96	19,41	11,98	11,52
Manutenção	773,36	129.924,06	0,11	2,28	1,41	1,35
Administrativo	237,66	39.926,09	0,03	0,70	0,43	0,42
Benefícios	0,16	27,34	0,00	0,00	0,00	0,00
Remuneração Diretoria	152,04	25.542,43	0,02	0,45	0,28	0,27
Despesas Administrativas	2.236,39	395.841,11	0,34	6,96	4,29	4,13
Gerais	2.202,75	389.886,75	0,34	6,85	4,23	4,06
Seguro Resp. Civil	0,60	106,13	0,00	0,00	0,00	0,00
Seguro Obrigatório	33,04	5.848,23	0,01	0,10	0,06	0,06
IPVA	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Outros	109,46	19.374,43	0,02	0,34	0,21	0,20
Bilhetagem eletrônica	109,46	19.374,43	0,02	0,34	0,21	0,20
Leasing baterias	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Custo Fixo Total	32.547,79	5.691.315,37	4,93	100,00	61,70	59,33
Custo Total			7,99		100,00	96,15
Custo Total c/Tributos			8,31			3,85
Tarifa			5,90			

Fonte: Elaboração própria

Como apresentado na Tabela 32, a tarifa calculada para a alternativa 2 do cenário 2 é R\$ 5,27.

Tabela 32 – Alternativa 2 do cenário 2 (com BRT)

	R\$/v./mês	R\$/mês	R\$/km	% Custo	% Total	% c/Trib.
Energia			0,57	61,18	8,01	7,70
Lubrificantes			0,01	1,04	0,14	0,13
Rodagem			0,14	15,36	2,01	1,93
Peças e Acessórios			0,21	22,42	2,94	2,82
Custo Variável Total			0,93	100,00	13,09	12,59
Depreciação	8.659,69	1.532.765,73	1,33	21,43	18,62	17,91
Veículos	8.606,41	1.523.335,30	1,32	21,30	18,51	17,80
Máq. Inst. e Equipamentos	53,28	9.430,44	0,01	0,13	0,11	0,11
Remuneração	8.796,82	1.557.037,12	1,35	21,77	18,92	18,19
Veículos	8.430,77	1.492.246,82	1,29	20,86	18,13	17,43
Máq. Inst. e Equipamentos	341,82	60.501,75	0,05	0,85	0,74	0,71
Almoxarifado	24,23	4.288,55	0,00	0,06	0,05	0,05
Despesas com Pessoal	7.480,47	1.256.718,51	1,09	17,57	15,27	14,68
Operação	6.575,04	1.104.606,61	0,96	15,44	13,42	12,91
Manutenção	515,57	86.616,04	0,08	1,21	1,05	1,01
Administrativo	237,66	39.926,09	0,03	0,56	0,49	0,47
Benefícios	0,16	27,34	0,00	0,00	0,00	0,00
Remuneração Diretoria	152,04	25.542,43	0,02	0,36	0,31	0,30
Despesas Administrativas	1.855,55	328.432,91	0,28	4,59	3,99	3,84
Gerais	1.821,91	322.478,55	0,28	4,51	3,92	3,77
Seguro Resp. Civil	0,60	106,13	0,00	0,00	0,00	0,00
Seguro Obrigatório	33,04	5.848,23	0,01	0,08	0,07	0,07
IPVA	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Outros	13.997,55	2.477.566,43	2,15	34,64	30,10	28,95
Bilhetagem eletrônica	109,46	19.374,43	0,02	0,27	0,24	0,23
Leasing baterias	13.888,09	2.458.192,00	2,13	34,37	29,87	28,72
Custo Fixo Total	40.790,08	7.152.520,70	6,20	100,00	86,91	83,56
Custo Total			7,13		100,00	96,15
Custo Total c/Tributos			7,41			3,85
Tarifa			5,27			

Fonte: Elaboração própria

Logo, no cenário 2, considerando o cenário atual estima-se um impacto de +61,6% na tarifa se o município for qualificar a sua frota com veículos equipados com motores do ciclo Diesel. Por outro lado, se o município for qualificar a sua frota com veículos elétricos a bateria (*plug-in*) este impacto de apenas +50%. Isso acontece porque há uma compensação entre o custo fixo total da frota de veículos elétricos (maior em 23,8%) e o custo variável total, que é 69,6% menor. Os impactos da qualificação no custo variável, no custo fixo e na tarifa são apresentados na Tabela 33.

Tabela 33 – Impactos da qualificação no cenário 2, sem BRT.

	Diesel	Elétrico	Elétrico x Diesel
Custo variável total	48,4%	-47,8%	-64,8%
Custo fixo total	69,3%	109,6%	23,8%
Tarifa	61,6%	50,0%	-7,2%

Fonte: Elaboração própria

No cenário 2, considerando um cenário em que o município implantaria um sistema de BRT, tem-se um impacto de +90,3% na tarifa pela qualificação com veículo a óleo diesel, mas apenas +70% se forem usados veículos elétricos a bateria (*plug-in*). Isso porque apesar do custo fixo total da frota de veículos elétricos ser 25,8% maior, o custo variável total é 69,6% menor. Os impactos da qualificação no custo variável, no custo fixo e na tarifa são apresentados na Tabela 34.

Tabela 34 – Impactos da qualificação no cenário 2, com BRT.

	Diesel	Elétrico	Elétrico x Diesel
Custo variável total	92,5%	-41,5%	-69,6%
Custo fixo total	88,9%	137,5%	25,8%
Tarifa	90,3%	70,0%	-10,7%

Fonte: Elaboração própria

4.3 Cenário 3 – Municípios de grande porte

O cenário 3 é a simulação de tarifa para município de grande porte. O município considerado possui uma frota de 2.797 veículos para atender uma demanda média de 50.000.000 passageiros. O valor do IPK é de 2,50 pass/km. A Tabela 35 apresenta a frota do município.

A cidade analisada já possui BRT em seu sistema de transportes, portanto a frota é ajustada considerando também os veículos articulados.

Tabela 35 – Frota do município de grande porte.

Categoria	Número de veículos
Frota ônibus leves	219
Frota ônibus pesados	2.281
Frota ônibus articulados	297

Fonte: Elaboração própria

A frota do município do cenário 3 considerando a alternativa 1 é apresentada na Tabela 36.

Tabela 36 – Frota do cenário 1, considerando apenas tecnologia convencional qualificada.

Categoria	Quantidade	Vida economicamente útil	Valor residual do veículo
Frota micro-ônibus 9m	290 + 290	7	R\$ 15.000,00
Frota Padron 12,2	2.281 + 1.141	10	R\$ 20.000,00
Frota articulados 18m	297 + 149	10	R\$ 30.000,00
Frota Total	2.868 + 1.580	-	-
Frota Reserva	165	-	-
Frota Operante	2.703	-	-

Fonte: Elaboração própria

A frota do município do cenário 3 considerando a alternativa 2 é apresentada na Tabela 37.

Tabela 37 - Frota equivalente do cenário 3, considerando apenas ônibus elétricos a bateria (*plug-in*).

Categoria	Quantidade	Vida economicamente útil	Valor residual do veículo
Ônibus elétrico a bateria (<i>plug-in</i>) K7M	290	15	R\$ 15.000,00
Ônibus elétrico a bateria (<i>plug-in</i>) K9W	2.281	15	R\$ 20.000,00
Ônibus elétrico a bateria (<i>plug-in</i>) K11M	297	15	R\$ 30.000,00
Frota Total	2.868	-	-
Frota Reserva	165	-	-
Frota Operante	2.703	-	-

Fonte: Elaboração própria

Como apresentado na Tabela 38, a tarifa calculada para a baseline do cenário 3 é R\$ 2,02.

Tabela 38 – *Baseline* do cenário 3

	R\$/v./mês	R\$/mês	R\$/km	% Custo	% Total	% c/Trib.
Energia			0,96	73,66	19,85	19,08
Lubrificantes			0,04	3,15	0,85	0,81
Rodagem			0,13	9,57	2,58	2,48
Peças e Acessórios			0,18	13,62	3,67	3,53
Custo Variável Total			1,31	100,00	26,94	25,91
Depreciação	2.259,34	6.482.036,43	0,41	11,56	8,45	8,12
Veículos	2.228,48	6.393.510,57	0,40	11,41	8,33	8,01
Máq. Inst. e Equipamentos	30,86	88.525,86	0,01	0,16	0,12	0,11
Remuneração	1.248,42	3.581.718,36	0,23	6,39	4,67	4,49
Veículos	1.042,01	2.989.530,01	0,19	5,33	3,90	3,75
Máq. Inst. e Equipamentos	123,42	354.103,46	0,02	0,63	0,46	0,44
Almoxarifado	82,99	238.084,90	0,02	0,42	0,31	0,30
Despesas com Pessoal	16.155,64	43.684.838,38	2,76	77,93	56,93	54,74
Operação	12.713,38	34.376.978,39	2,17	61,33	44,80	43,08
Manutenção	1.338,77	3.620.022,59	0,23	6,46	4,72	4,54
Administrativo	1.868,66	5.052.867,46	0,32	9,01	6,59	6,33
Benefícios	225,38	609.427,52	0,04	1,09	0,79	0,76
Remuneração Diretoria ⁷	9,45	25.542,43	0,00	0,05	0,03	0,03
Despesas Administrativas	803,73	2.305.887,50	0,15	4,11	3,01	2,89
Gerais	763,69	2.191.015,13	0,14	3,91	2,86	2,75
Seguro Resp. Civil	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Seguro Obrigatório	40,04	114.872,37	0,01	0,20	0,15	0,14
IPVA	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Outros	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Bilhetagem eletrônica ⁸	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Leasing baterias	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Custo Fixo Total	20.467,12	56.054.480,68	3,54	100,00	73,06	70,25
Custo Total			4,85		100,00	96,15
Custo Total c/Tributos			5,04			3,85
Tarifa			2,02			

Fonte: Elaboração própria

⁷ Dado não informado pelo município.

⁸ Dado não informado pelo município.

Como apresentado na Tabela 39, a tarifa calculada para a alternativa 1 do cenário 3 é R\$ 3,32.

Tabela 39 – Alternativa 1 do cenário 3

	R\$/v./mês	R\$/mês	R\$/km	% Custo	% Total	% c/Trib.
Energia			1,35	68,23	16,96	16,31
Lubrificantes			0,06	2,91	0,72	0,70
Rodagem			0,13	6,31	1,57	1,51
Peças e Acessórios			0,45	22,55	5,61	5,39
Custo Variável Total			1,98	100,00	24,86	23,91
Depreciação	7.643,38	21.921.214,64	1,38	23,11	17,37	16,70
Veículos	7.583,38	21.749.134,64	1,37	22,93	17,23	16,57
Máq. Inst. e Equipamentos	60,00	172.080,00	0,01	0,18	0,14	0,13
Remuneração	7.994,84	22.929.206,26	1,45	24,18	18,16	17,47
Veículos	7.505,20	21.524.916,76	1,36	22,69	17,05	16,40
Máq. Inst. e Equipamentos	303,23	869.658,00	0,05	0,92	0,69	0,66
Almoxarifado	186,41	534.631,50	0,03	0,56	0,42	0,41
Despesas com Pessoal	16.155,64	43.668.692,19	2,76	46,04	34,60	33,26
Operação	12.713,38	34.364.265,01	2,17	36,23	27,22	26,18
Manutenção	1.338,77	3.618.683,82	0,23	3,82	2,87	2,76
Administrativo	1.868,66	5.050.998,79	0,32	5,33	4,00	3,85
Benefícios	225,38	609.202,14	0,04	0,64	0,48	0,46
Remuneração Diretoria ³	9,45	25.542,43	0,00	0,03	0,02	0,02
Despesas Administrativas	2.205,66	6.325.844,83	0,40	6,67	5,01	4,82
Gerais	2.165,63	6.211.012,50	0,39	6,55	4,92	4,73
Seguro Resp. Civil	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Seguro Obrigatório	40,04	114.832,33	0,01	0,12	0,09	0,09
IPVA	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Outros	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Bilhetagem eletrônica ⁴	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Leasing baterias	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Custo Fixo Total	33.999,53	94.844.957,92	5,99	100,00	75,14	72,25
Custo Total			7,97		100,00	96,15
Custo Total c/Tributos			8,29			3,85
Tarifa			3,32			

Fonte: Elaboração própria

Como apresentado na Tabela 40, a tarifa calculada para a alternativa 2 do cenário 3 é R\$ 3,14.

Tabela 40 – Alternativa 2 do cenário 3

	R\$/v./mês	R\$/mês	R\$/km	% Custo	% Total	% c/Trib.
Energia			0,52	65,50	6,88	6,62
Lubrificantes			0,01	0,98	0,10	0,10
Rodagem			0,13	15,79	1,66	1,60
Peças e Acessórios			0,14	17,73	1,86	1,79
Custo Variável Total			0,79	100,00	10,51	10,11
Depreciação	6.601,02	18.931.735,85	1,20	17,73	15,87	15,26
Veículos	6.551,40	18.789.419,90	1,19	17,60	15,75	15,14
Máq. Inst. e Equipamentos	49,62	142.315,96	0,01	0,13	0,12	0,11
Remuneração	6.732,25	19.308.093,39	1,22	18,08	16,18	15,56
Veículos	6.417,70	18.405.962,35	1,16	17,24	15,43	14,83
Máq. Inst. e Equipamentos	259,73	744.899,82	0,05	0,70	0,62	0,60
Almoxarifado	54,82	157.231,22	0,01	0,15	0,13	0,13
Despesas com Pessoal	15.486,26	41.859.350,28	2,64	39,21	35,09	33,74
Operação	12.713,38	34.364.265,01	2,17	32,19	28,80	27,70
Manutenção	669,38	1.809.341,91	0,11	1,69	1,52	1,46
Administrativo	1.868,66	5.050.998,79	0,32	4,73	4,23	4,07
Benefícios	225,38	609.202,14	0,04	0,57	0,51	0,49
Remuneração Diretoria ³	9,45	25.542,43	0,00	0,02	0,02	0,02
Despesas Administrativas	1.089,37	3.124.311,67	0,20	2,93	2,62	2,52
Gerais	1.049,33	3.009.479,34	0,19	2,82	2,52	2,43
Seguro Resp. Civil	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Seguro Obrigatório	40,04	114.832,33	0,01	0,11	0,10	0,09
IPVA	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Outros	8.207,70	23.539.678,40	1,49	22,05	19,73	18,97
Bilhetagem eletrônica ⁴	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Leasing baterias	8.207,70	23.539.678,40	1,49	22,05	19,73	18,97
Custo Fixo Total	38.116,60	106.763.169,59	6,74	100,00	89,49	86,05
Custo Total			7,53		100,00	96,15
Custo Total c/Tributos			7,84			3,85
Tarifa			3,14			

Fonte: Elaboração própria

No cenário 3 (município de grande porte), tem-se um impacto de +64,4% na tarifa se o município for qualificar a frota com veículos equipados com motores do ciclo Diesel, mas apenas +55,45% se usar veículos elétricos. Isso porque apesar do custo fixo total da frota de veículos elétricos ser 12,5% maior, o custo variável total é 60,1% menor. Os impactos da qualificação no custo variável, no custo fixo e na tarifa são apresentados na Tabela 41.

Tabela 41 – Impactos da qualificação no cenário 3.

	Diesel	Elétrico	Elétrico x Diesel
Custo variável total	51,15%	-39,69%	-60,10%
Custo fixo total	69,21%	90,40%	12,52%
Tarifa	64,36%	55,45%	-5,42%

Fonte: Elaboração própria

Os cenários aqui apresentados e as alternativas estabelecidas ajudam a entender a complexidade e a necessidade de estruturação da análise a ser realizada para a tomada de decisão quanto a introdução de ônibus elétricos a bateria (*plug-in*) nas frotas de transporte público coletivo por ônibus nas cidades brasileiras.

Não obstante, a escolha dos cenários quanto ao tamanho das cidades, deixa claro o caminho a ser seguido e o cuidado adicional que se deve ter ao estabelecer um caminho progressivo para as cidades de médio porte onde a estruturação da rede, por meio da desejável introdução de sistemas de ônibus em vias segregadas ou exclusivas deve ser realizado em sintonia com a introdução dos ônibus elétricos a bateria (*plug-in*).

Em todos os cenários a qualificação da frota de ônibus, com foco no aprimoramento do nível de serviço, é imprescindível para garantir os benefícios da introdução dos ônibus elétricos a bateria (*plug-in*). Também para todos os cenários há potencial de redução de tarifa pela introdução do ônibus elétricos a bateria (*plug-in*). Estima-se que esta redução varie entre 3% a 10% e os maiores ganhos ocorrem justamente nas cidades onde há maior necessidade de estruturação da rede de transporte público urbano por ônibus, seguida da introdução do ônibus elétricos a bateria (*plug-in*).

5 CAPÍTULO 5 – O QUE APRENDEMOS?

O presente trabalho teve como objetivo estabelecer uma primeira avaliação da viabilidade econômica e do impacto na tarifa para o uso de ônibus elétricos a bateria (*plug-in*) sob condições operacionais características do Brasil. Para isso, foram selecionadas alternativas para cada um dos três cenários propostos, que consideraram o porte das cidades como pequeno, médio e grande conforme parâmetros estabelecidos pelo IBGE.

Como apresentado na subseção 2.4, uma seleção de estudos apresenta a viabilidade técnica do uso de ônibus elétricos a bateria (*plug-in*) para o transporte público urbano no Brasil, sendo que um subconjunto destes avalia também os custos operacionais advindos do emprego desta tecnologia. Porém, nenhum ainda havia estimado o impacto na tarifa. Neste sentido, este estudo visou avaliar tal impacto por meio da aplicação do Método GEIPOT, o mais utilizado e difundido pelos municípios brasileiros até o momento, amplamente aceito pelas instituições públicas e privadas que fazem este tipo de estimativa por ser simples e consistente. Naturalmente, um conjunto específico de adequações ao Método GEIPOT foram realizadas para permitir uma comparação equivalente entre diferentes tecnologias de propulsão empregadas nos ônibus urbanos.

Como já se esperava, o Método GEIPOT se mostrou adequada para o cálculo e comparação dos valores de tarifa. Porém, vale ressaltar que sua aplicação deve ser feita com critério e ajustes devem ser realizados quando se pretende comparar uma frota de ônibus convencionais com veículos alternativos. Recomenda-se de cada cidade que pretender fazer este tipo de avaliação estabeleça seu próprio estudo, amparado nas recomendações contidas neste trabalho, mas considerando sempre as suas especificidades operacionais e de demanda por viagens.

Acredita-se que este trabalho permita subsidiar um aprimoramento adicional ao trabalho desenvolvido pela ANTP, em parceria com a NTU, a Frente Nacional de Prefeitos e o Fórum Nacional de Secretários e Dirigentes de Transporte e Trânsito que buscou aprimorar o Método GEIPOT. Esta é a oportunidade de sugerir uma adequação mais abrangente e incluir os ajustes que foram empregados neste trabalho e que buscam criar uma base comparativa mais equitativa entre diferentes tecnologias que podem ser empregadas em ônibus urbanos, em particular no que se refere aos ônibus elétricos a bateria (*plug-in*) o que se acredita ser a tecnologia que predominará no século XXI.

Por outro lado, como já foi considerado no Capítulo 2, as adequações propostas ao aprimoramento do Método GEIPOT pelo trabalho desenvolvido pela ANTP, em parceria com a NTU, a Frente Nacional de Prefeitos e o Fórum Nacional de Secretários e Dirigentes de Transporte e Trânsito não impactam na comparação entre cenários de uso ônibus equipados com motores do ciclo Diesel e ônibus elétricos a bateria (*plug-in*). As novas variáveis que foram inseridas têm relação com a parte administrativa do sistema e com o risco em operá-lo, e não com as características dos veículos em si, impactando equitativamente em ambos os casos.

Com base na análise dos estudos selecionados e nos dados obtidos, foi observado não existências de limitações técnicas quanto ao uso de ônibus elétricos a bateria (*plug-in*) nas frotas das cidades de

diferentes portes (pequena, média e grande). Em particular, a autonomia do veículo elétrico atende a quilometragem média diária dos municípios nacionais e os tempos de abastecimento parecem adequados a rotina de operação diária. Partindo dessa premissa, ao aplicar o Método GEIPOT identificou-se que os ônibus elétricos a bateria (*plug-in*), se comparados a ônibus movidos a óleo diesel qualificados, tem seu uso viável sem aumento de tarifa para todos os portes de cidade, principalmente nas cidades que possuem sistema de BRT.

Em todos os cenários a qualificação da frota de ônibus, com foco no aprimoramento do nível de serviço, é imprescindível para garantir os benefícios da introdução dos ônibus elétricos a bateria (*plug-in*). Também para todos os cenários há potencial de redução de tarifa pela introdução do ônibus elétricos a bateria (*plug-in*). Estima-se que esta redução varie entre 3% a 10% e os maiores ganhos (entre 7,2% e 10,7%) ocorrem justamente nas cidades de médio porte onde há maior necessidade de estruturação da rede de transporte público urbano por ônibus, seguida da introdução do ônibus elétricos a bateria (*plug-in*).

Em síntese, os estudos consultados apontam que o consumo médio de energia dos ônibus elétrico a bateria (*plug-in*) variam entre 1,04 kWh/km e 1,58 kWh/km. Esta variação decorre de diferentes condições de perfil de operação e carregamento do veículo. O consumo de energia impacta diretamente no custo com energia, que varia entre R\$ 0,48/km e R\$ 0,79/km, numa amplitude maior que a variação do consumo médio de energia, tendo em vista que esta também é impactada pelo valor da tarifa de energia elétrica praticada. Deve-se ainda considera que o custo com manutenção varia entre R\$ 0,20/km e R\$ 0,92/km e neste caso considerou-se valores extremos observados para dois fabricantes de ônibus elétricos a bateria (*plug-in*), o que ampliou o intervalo de variação.

Os estudos consultados demonstram que embora os ônibus elétricos a bateria (*plug-in*) possam custar até 2,17 mais que os ônibus movidos a óleo diesel, seus custos com energia são em média 55% menores e seus custos com manutenção podem ser até 50% menores. Com isso há uma expectativa que no longo prazo (mais de 10 anos de vida útil), os custos globais sejam menores para os ônibus elétricos a bateria (*plug-in*). De fato, o estudo da Carris indica uma diferença de -2,4% em 10 anos e -39,1% em 15 anos para os custos globais no comparativo entre ônibus elétricos a bateria (*plug-in*) e ônibus movidos a óleo diesel. Já o estudo do Greenpeace, indica que esta diferença é de -15,4% em 10 anos e -28,1% em 15 anos.

Vale ressaltar que não foram considerados subsídios para os ônibus elétricos a bateria (*plug-in*) e nem taxas para penalizar o uso de ônibus convencionais (qualificados ou não), o que poderia ampliar a vantagem dos ônibus elétricos a bateria (*plug-in*). Além disso, também não foi considerado subsídio para o investimento em subestações de carregamento.

Quanto a questão do investimento na eventual ampliação da rede de distribuição de energia elétrica e na implantação de subestações, entende-se que este investimento deveria ser conciliado com os investimentos já afundados pelas empresas de distribuição de energia elétrica. Em particular porque entende-se que o suprimento de energia elétrica atenderia todas as iniciativas voltadas a eletromobilidade em uma determinada região e não apenas ao transporte público urbano, com benefícios crescentes para as empresas que comercializam energia elétrica. Neste sentido, recomenda-

se a realização de um estudo de para avaliação da cadeia de valor do uso de energia elétrica na difusão do uso da eletromobilidade em uma determinada região.

Assim como em toda a mudança de paradigma, a introdução de um pacote tecnológico inovador para o transporte urbano de passageiros, que considera o uso de ônibus elétricos que atendam aos requisitos de serviço de uma frota qualificada, se mostra mais favorável considerando um período para a vida útil dos equipamentos de até 15 anos, maior que o praticado atualmente. Assim sendo, esforços devem ser feitos para que o país ingresse definitivamente no século XXI e as limitações legais sejam eliminadas quanto a permissão para a circulação de ônibus com até 15 anos, além de um contrato de manutenção que contemple toda a vida útil do veículo, incluindo a garantia do pacote de baterias pelo mesmo período.

Vale ressaltar que, além da viabilidade econômica e financeira que se mostrou por meio deste trabalho, outras vantagens devem ser consideradas quanto ao uso de ônibus elétricos, como por exemplo: nenhuma emissão de GEE e poluentes atmosféricos locais pelo uso final do veículo, menor nível de ruído e vibração, redução da necessidade de pessoal para manutenção, redução de custos de manutenção pela redução da necessidade de mão de obra e pela menor complexidade do sistema de propulsão elétrico (eliminação do motor de combustão interna, embreagem, caixa de marcha, eixo de transmissão e diferencial – mínimo do uso de óleos lubrificantes e de sua troca) e número inferior de peças de reposição. Destaca-se ainda que está em curso um processo de nacionalização das peças do sistema de propulsão de dos ônibus elétricos que serviram de base para este estudo.

No que se refere aos aspectos sociais e ambientais relacionados ao uso de ônibus elétricos nos municípios brasileiros, uma vez que o presente estudo demonstrou a viabilidade econômica e financeira desta prática, sugere-se a realização de estudos complementares que considerem os benefícios ambientais decorrentes da substituição do sistema de propulsão convencional (motor de combustão interna do ciclo Diesel + sistema de transmissão mecânico) pelo sistema de propulsão elétrico. Estes benefícios podem ser acessados garantindo uma justificativa adicional ao emprego destes veículos. Em uma abordagem abrangente, tais estudos podem considerar não apenas o uso final, onde já se espera benefícios sociais e ambientais significativos, como também todo o ciclo de vida do produto, o que justificaria de forma definitiva o argumento do aumento da vida útil econômica que se sugeriu anteriormente.

REFERÊNCIAS

- Aber, J. Electric Bus Analysis for New York City Transit System. Columbia University, 2016.
- ABNT NBR 15570. Transporte — Especificações técnicas para fabricação de veículos de características urbanas para transporte coletivo de passageiros. Disponível em: <<http://viacircular.com.br/site/?p=637>>
- ABVE, Estudo Comparativo de Custo por km por tecnologia, Associação Brasileira do Veículo Elétrico, 2017.
- ANP, CSA – Sistema de levantamento de preços, Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis, Brasília, DF, 2017. Disponível em: <http://www.anp.gov.br/preco/prc/Resumo_Mensal_Index.asp. Acesso em: 13 de jun. 2017.
- ANTP, Sistema de Informações da Mobilidade Urbana - Relatório Geral, Associação Nacional de Transportes Públicos, São Paulo, SP, 2009.
- BNDES, BNDES FINAME – BK Aquisição e comercialização, Banco Nacional de Desenvolvimento, Rio de Janeiro, RJ, 2017. Disponível em: <www.bndes.gov.br>
- BNDES, Perspectivas do Investimento, Banco Nacional de Desenvolvimento, Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior, Brasília, DF, 2014.
- BRASIL, Lei nº 12.187, de 29 de dezembro de 2009. Institui a Política Nacional sobre Mudança do Clima – PNMC e dá outras providências. Presidência da República, Casa Civil, Brasília, 2009.
- BRASIL, Resolução CONAMA nº 18, de 6 de maio de 1986. Dispõe sobre a criação do Programa de Controle de Poluição do Ar por veículos Automotores – PROCONVE. Publicada no DOU, de 17 de junho de 1986, seção 1, páginas 8792-8795. Conselho Nacional do Meio Ambiente, Brasília
- BRT Brasil, Investimentos, 2016. Disponível em: <<http://www.brtbrasil.org.br/index.php/investimentos#.WXI48oTysdV>>
- BYD, Ônibus 100% elétrico da BYD: Modelo urbano com piso baixo total, Build Your Dreams, 2013.
- CÂMARA, F. P., GOMES, A. F., SANTOS, G. T. e CÂMARA, D. C. P. Clima e epidemias de dengue no Estado do Rio de Janeiro. Revista da Sociedade Brasileira de Medicina Tropical, 2009.
- CARRIS, Relatório de análises das tecnologias utilizadas em ônibus urbanos e das tecnologias em ônibus elétrico – BYD, Cia Carris Porto-Alegrense, Porto Alegre, RS, 2016.
- CLEAN FLEETS, The New Bus for London – Diesel/electric hybrid: Clean Fleets case study, Transport for London, London, UK, 2014.
- D’Agosto, M. de A. Transporte, uso de energia e impactos ambientais. Ed. Campus / Elsevier, Rio de Janeiro, RJ, 2015.
- EESI, Hybrid Buses: Costs and Benefits. Environmental and Energy Study Institute, Washington DC, EUA, 2007
- EMT, CNG and hybrid buses: Alternative vehicles for a cleaner city, Issue Nº 39, Empresa Municipal de Transportes de Madrid, Espanha, UE, 2014.
- EPE, Balanço Energético Nacional (Ano Base – 2015), Ministério de Minas e Energia, Empresa de Pesquisa Energética, Brasília, DF, 2016.
- GEIPOT, Cálculo de Tarifas de Ônibus Urbanos. Instruções Práticas Atualizadas, Empresa Brasileira de Planejamento de Transportes (GEIPOT), Ministério dos Transportes, Brasília, DF, 1996.
- GREENPEACE, Dossiê Ônibus Limpo - Benefícios de uma transição para combustíveis renováveis na frota de São Paulo, São Paulo, SP, 2016.

- GONÇALVES, D.N.S., D'AGOSTO, M.A. Cenário Business as Usual (BAU) – 2050. Relatório Final. Editora: Instituto Brasileiro de Transporte Sustentável – IBTS, 2017.
- HALL, D. ET AL., “Electric Vehicle Capitals of the World: Demonstrating the Path to Electric Drive”, International Council on Clean Transportation, Washington, DC, 2017. Disponível em: <www.theicct.org/sites/default/files/publications/Global-EV-Capitals_White-Paper_06032017_vF.pdf>
- IBGE, Cidades, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2017. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/>>
- IEA, Global EV Outlook: Two million and counting, International Energy Agency, 2017. Disponível em: <www.iea.org>
- IPEA, Crescimento das Cidades Médias, Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, 2008.
- ISSRC, Hybrid – Electric Bus Test Program in Latin America Final Report, Santiago Report (ISSRC-HEBTP-08), International Sustainable Systems Research Center – ISSRC, USA, 2013.
- Lei orgânica (2016). Disponível em <https://leismunicipais.com.br/a/rj/r/rio-de-janeiro/decreto/2014/3833/38328/decreto-n-38328-2014-dispoe-sobre-a-obrigatoriedade-dos-novos-veiculos-a-serem-incorporados-a-frota-do-sppo-serem-dotados-de-equipamento-de-ar-condicionado?q=%F4nibus%20ar-condicionado>.
- LOWCVP, The Low Emission Bus Guide, Low Carbon Vehicle Partnership, London, UK, 2016.
- MMA, 2º Inventário nacional de emissões atmosféricas por veículos automotores rodoviários (Ano-base 2012), Ministério do Meio Ambiente, Brasília, DF, 2013 Disponível em:<<http://www.inea.rj.gov.br/cs/groups/public/documents/document/zzew/mdmx/~disp/inea0031540.pdf>>. Acesso em: 15 jul. 2016.
- NTU, Dados do transporte público por ônibus, Associação Nacional das Empresas de Transportes Urbanos, Brasília, DF, 2016 Disponível em: <http://www.ntu.org.br/novo/AreasInternas.aspx?idArea=7>
- PLANALTO. Presidência da República, Casa Civil, Subchefia para Assuntos Jurídicos - LEI Nº 12.187, DE 29 DE DEZEMBRO DE 2009. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2009/lei/112187.htm
- PREFEITURA DE PORTO ALEGRE, 2016. Disponível em: http://www2.portoalegre.rs.gov.br/eptc/default.php?p_noticia=184734&NOVO+SISTEMA+D+E+TRANSPORTE+DE+PORTO+ALEGRE.
- QUEIROZ, R. C., GONÇALVES, D. N. S., D'AGOSTO, M. A., ASSIS, T. F. e SAMPAIO, V. T. Análise do transporte coletivo rodoviário: comparativo de custo e do nível de serviço do BRT com o sistema convencional. XXX ANPET, Rio de Janeiro, 2016. Disponível em: <http://www.anpet.org.br/xxxanpet/site/anais>.
- RATP, Bus2025: RATP's plan for a 100% ecofriendly bus fleet by 2025, Régie Autonome des Transports Parisiens, França, 2017. Disponível em: www.ratp.fr/en/ratp/v_139993/bus-2025/>
- SANTOS, R.T., AMICCI, A. G. N., MALBURG, C. H. R., ET AL., “Demanda por Investimentos em Mobilidade Urbana no Brasil”, BNDES Setorial, v.41, p. 79 – 134, 2015.
- SILVA, S. N, Estudo do GNV em Ônibus Urbano para Operação em Linha Comercial. Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica, UFRJ, 2006.
- SPTrans, Manual dos Padrões Técnicos de Veículos, São Paulo Transporte S. A, São Paulo, SP, 2007. Disponível em: < http://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/upload/arquivos/secretarias/transportes/manuais/Manual_resumido_2007_junho28.pdf>

SPTrans, Teste de Consumo e Operacional Ônibus Elétrico Alimentado por Baterias Modelo K9 D - BYD (Build Your Dreams), São Paulo Transporte S. A, São Paulo, SP, 2016.

URBS, Avaliação Comparativa de Novas Tecnologias para Operação no Transporte Coletivo de Curitiba. Urbanização de Curitiba S.A., Prefeitura Municipal de Curitiba, Paraná, 2015.

ANEXO 1 - DESCRIÇÃO DAS VARIÁVEIS DO MÉTODO GEIPOT

1. DADOS OPERACIONAIS

1.1 Número equivalente de passageiros:

A tarifa é o rateio dos custos pelos passageiros. Entretanto, como existem descontos para certos grupos de passageiros, é necessário calcular o número equivalente de passageiros.

1.2 Frota:

A Frota Total é a soma da Frota Operante com a Frota Reserva. A Frota Operante (Efetiva) é o conjunto de veículos em operação no sistema de transportes de uma cidade. A Frota Reserva é o conjunto de veículos em reserva que servem como substituição de veículos retirados da operação por quebra, avaria ou necessidade de manutenção preventiva. A Frota Reserva é 5% a 15% da Frota Operante.

1.1 Quilometragem percorrida:

A quilometragem produtiva é obtida multiplicando a extensão de cada linha pelo respectivo número de viagens programadas. A quilometragem improdutiva (morta ou ociosa) é a quilometragem percorrida entre a garagem e o ponto inicial/final da linha e não deve ser superior a 5% da quilometragem produtiva. A quilometragem percorrida total é a soma da quilometragem produtiva com a improdutiva

1.2 Percurso médio mensal:

O Percurso Médio Mensal (PMM) é a quilometragem média que cada veículo da frota percorre durante um determinado mês. Ou seja, o PMM é a quilometragem mensal dividida pela frota operante.

1.3 Índice de passageiros equivalentes por quilômetro (IPKe):

O Índice de Passageiros Equivalentes por Quilômetro (IPKe) corresponde ao número de passageiros equivalentes transportados por quilômetro rodado.

2. CUSTO VARIÁVEIS

2.1. Combustível:

O custo de combustível por quilômetro é obtido pela multiplicação do preço do litro do óleo Diesel pelo coeficiente de consumo específico de cada tipo de veículo.

2.2. Lubrificantes:

O custo de lubrificantes é a multiplicação dos coeficientes de consumo de cada componente (óleo do motor, óleo da caixa de marcha, óleo de diferencia, fluídos de freio e graxa) pelos seus respectivos preços.

2.3. Rodagem:

O custo da rodagem por quilômetro para cada categoria de veículo é a divisão do custo total de rodagem (custo dos pneus, custo das câmaras de ar, custo dos protetores e custo das recapagens) pela sua vida útil total.

2.4. Peças e acessórios:

O consumo de peças e acessórios é influenciado pela quantidade de quilômetros rodados, pelo regime de operação, pelas condições de pagamento, pela topografia, pelo clima e pelo modo como o motorista

conduz o veículo. O consumo de peças e acessórios por quilômetro é obtido dividindo-se o consumo correspondente ao período de um mês pela frota operante pelo percurso médio mensal.

3. CUSTOS FIXOS

3.1. Custo de capital

O custo de capital é composto pela depreciação e pela remuneração.

3.2. Depreciação

A depreciação é a redução do valor de um bem durável, resultante do desgaste pelo uso ou obsolescência tecnológica. No método GEIPOT são consideradas duas depreciações: a depreciação dos veículos e a depreciação de máquinas, instalações e equipamentos.

3.3. Remuneração:

Para o cálculo da remuneração do capital imobilizado em veículos, almoxarifado, máquinas, instalações e equipamentos, adota-se a taxa de 12% ao ano.

3.4. Despesas com pessoal:

As despesas com pessoal englobam despesas relativas ao pessoal de operação, de manutenção, de administração, benefícios e remuneração da diretoria.

3.5. Despesas Administrativas:

As despesas administrativas englobam custos referentes a despesas gerais, seguro obrigatório, Imposto sobre a Propriedade de Veículos Automotores (IPVA) e seguro de responsabilidade civil.

