

7. CENÁRIO COM ÔNIBUS ELÉTRICO

O ônibus elétrico puro é um veículo movido a partir da carga elétrica fornecida pelo banco de baterias que carrega embarcado. O sistema de tração é semelhante ao utilizado pelos trólebus, com a vantagem de não utilizar conexão permanente à rede aérea.

Dentre as principais vantagens dessa tecnologia, pode-se listar a emissão de zero de poluentes locais; o funcionamento silencioso do motor; o maior conforto em termos de ruído; calor e vibração se comparado ao diesel e o menor consumo de energia, possível devido à tecnologia de recuperação na frenagem. Os custos de operação e manutenção também são mais baixos quando comparados aos dos ônibus básicos a diesel. Segundo Marcon (2016), esses valores podem ser reduzidos em até 60%.



Figura 7.1 – Ônibus elétricos com baterias (BYD, 2019)

O principal risco relacionado à solução do ônibus elétrico puro é o alto custo de investimento e a vida útil das baterias, pois não há evidências da durabilidade deste item. Há apenas perspectivas. Além disso, o descarte de baterias ainda é um problema ambiental a ser resolvido. O custo do veículo é elevado, podendo chegar de 1,5 a 2x o valor dos veículos convencionais (IEA, 2020). Além disso, essa tecnologia exige investimentos relacionados à infraestrutura de recarga, que também está sujeita à volatilidade do preço da energia elétrica no país.

A operação com os veículos elétricos, independente da tecnologia, potencialmente, traz benefícios às cidades em diversos aspectos. Do ponto de vista ambiental, os veículos elétricos eliminam a emissão de poluentes locais, como Material Particulado, além de NOx e CO2 (Falco, 2017, Slowik et al., 2019; Eudy, 2016). Esses veículos também podem contribuir para o conforto dos usuários e trabalhadores do transporte público, uma vez que emitem menos ruído durante a operação (Greenpeace, 2016; Useche, Gómez & Cendales, 2017).

Os ônibus elétricos também estão reduzindo importantes itens de custo associados à tecnologia diesel, como o consumo de combustível (cerca de 40%) e a manutenção do veículo (eliminando custos com peças associadas ao diesel) (Slowik et al., 2018; D'agosto et al., 2017). Isso contribuirá diretamente para a redução geral dos custos operacionais dos sistemas de transporte. Muitos desses resultados já foram confirmados na prática por diversas cidades do mundo. Várias cidades nos últimos anos iniciaram, ainda que por meio de testes, a operação com veículos elétricos, que são em sua maioria a bateria (Zeeus, 2018).

OS DESAFIOS DOS PROJETOS DE ÔNIBUS ELÉTRICOS NO BRASIL

Em geral, a América Latina ainda enfrenta muitos desafios a serem vencidos para implementação de projetos de ônibus elétricos, apesar do terreno fértil, principalmente pela matriz energética e pela representatividade do modo por ônibus nos deslocamentos coletivos. É importante lembrar que, por exemplo, no Brasil, dentre a frota de 111 mil ônibus urbanos, apenas 371 são elétricos (E-BUS RADAR, 2023; ANTP, 2020). Em cidades como Bogotá e Santiago (líderes da tecnologia na América Latina), esse avanço só aconteceu, de forma significativa, em 2019. O alto custo inicial, a falta de maturidade e a pouca experiência com a tecnologia foram apontadas como as principais barreiras a serem vencidas pelo processo de eletrificação (Souza & Dantas, 2020). Essa realidade se torna ainda mais sensível no contexto da América Latina.

Dentre as principais barreiras identificadas para o avanço da eletromobilidade no cenário latino-americano se destacam:

- A falta de políticas públicas de incentivo à tecnologia, sobretudo quanto às políticas industriais para desenvolvimento da cadeia de produtos e serviços de eletromobilidade;
- A falta de normas e regulamentações específicas para a tecnologia, principalmente para assegurar a interoperabilidade dos equipamentos e em ambiente jurídico para contratação e desenvolvimento do modelo de negócios adequado à realidade da tecnologia;
- O alto risco de investimentos e as incertezas em relação à infraestrutura de abastecimento; de recarga e das baterias ao longo da operação. Esses riscos são inerentes às tecnologias emergentes;
- Ao elevado investimento inicial necessário para aquisição dos veículos. Em muitos casos, o custo de um veículo equivalente, mas com combustão interna, é 1,5 ou 2 vezes mais barato;

- A incipiência das linhas de créditos direcionadas para eletromobilidade, ou, ainda, a ausência de fundos verdes para desenvolvimento de pesquisas e projetos de eletrificação do transporte público. É importante lembrar que nos modelos tradicionais de negócio, os veículos são o principal ativo da atividade de transporte;
- A falta de compatibilidade dos atuais modelos de concessão ou contratação, o que inviabiliza a implementação da tecnologia. Isso acontece, principalmente, pois o modelo de financiamento praticado na maioria das cidades latino-americanas tem como fonte de receita a tarifa. Então, quaisquer investimentos necessários para implementação (no caso da propulsão elétrica, altos investimentos), seriam repassadas para as tarifas cobradas aos passageiros, o que segundo estudos, poderia levar à evasão dos clientes para outros modos e quebras de contrato;
- A aceitação da nova tecnologia, sobretudo dos operadores e planejadores de transportes. Isso acontece principalmente pelas incertezas que a tecnologia apresenta em resultados práticos. Esse comportamento é percebido, por exemplo, na desconfiança no retorno do alto investimento inicial (comparado aos atuais veículos) face à economia de itens de custo de consumo e manutenção;
- Inconsistência comercial e em fornecedores relacionados à cadeia produtiva, o que leva a preços mais altos e baixa competitividade, principalmente, relacionados aos modos “tradicionais”. É importante ressaltar que outro fator que influencia nos altos preços, ainda é a baixa demanda pela tecnologia nas cidades; e
- A ausência de um ecossistema de eletromobilidade, sobretudo para promoção da tecnologia no período de transição e renovação da frota. Ao longo dos últimos anos, o transporte público se consolidou em um ecossistema centrado no petróleo. A criação e fortalecimento do ecossistema de eletromobilidade se faz importante para desenvolvimento, promoção e implementação da tecnologia nos sistemas de transportes.

OS IMPACTOS DA ELETRIFICAÇÃO NA ESTRUTURA DE CUSTOS DO SISTEMA DE TRANSPORTES

Os ônibus elétricos possuem impactos em diferentes vertentes do sistema de transporte público, sobretudo no modelo de negócio. A “nova” tecnologia de propulsão requer investimentos maiores que os veículos tradicionais e traz consigo novos stakeholders ao ecossistema de transportes (fabricantes de veículos e peças, investidores, fornecedor de energia elétrica, bancos, entre outros. Cidades com Santiago e Bogotá, por exemplo, alteraram os modelos de contratação para incluir os ônibus elétricos como parte da frota de ônibus local. Ainda não há um modelo de negócio definido na literatura que seja capaz de assegurar a viabilidade financeira da tecnologia. Porém, várias cidades passaram a adaptar os contratos atuais para inclusão da propulsão elétrica como parte do sistema de transportes. Essas adaptações podem interferir em esferas jurídicas, econômicas ou operacionais, por exemplo.

Em termos do equilíbrio financeiro dos contratos de operação, a operação com veículos elétricos altera significativamente a estrutura de custos do sistema de transportes. É importante ressaltar que dentro dos atuais contratos de concessão, moldados para veículos com combustão interna,

os ônibus urbanos são os principais ativos do negócio de transporte. Além da clara inserção (baterias, carregadores etc.) e remoção (óleo diesel, ARLA 32 etc.) de itens de custo, os novos veículos também afetam indicadores e premissas da estrutura atual de custos dos contratos em vigência.

CONSIDERAÇÕES SOBRE O PROCESSO DE ELETRIFICAÇÃO DA FROTA DO SERVIÇO DE TRANSPORTE PÚBLICO

A eletrificação da frota do serviço de transporte público é uma estratégia relevante no contexto atual de Niterói - RJ, com implicações significativas para a eficiência e a sustentabilidade do transporte local e da cidade em si. A eletrificação desempenha um papel fundamental na redução das emissões de poluentes atmosféricos, um dos principais desafios das áreas urbanas. Veículos elétricos produzem zero emissões locais, contribuindo substancialmente para a melhoria da qualidade do ar nas cidades, um fator crítico para a saúde pública e o bem-estar dos habitantes urbanos.

Em consonância com os objetivos de sustentabilidade ambiental, a eletrificação também desempenha um papel crucial na redução da pegada de carbono. Isso se alinha diretamente com os esforços globais para combater as mudanças climáticas, onde a diminuição das emissões de gases de efeito estufa é uma prioridade inegável.

Além disso, os veículos elétricos são conhecidos por sua eficiência energética superior em relação aos veículos com motores de combustão interna. Essa eficiência pode resultar em economias substanciais de energia e redução nos custos operacionais ao longo do ciclo de vida dos veículos, oferecendo vantagens econômicas adicionais.

Outro aspecto positivo da eletrificação é a redução significativa de ruído, uma vez que os veículos elétricos são notavelmente mais silenciosos que seus equivalentes a combustão. Isso pode melhorar a qualidade de vida das comunidades situadas próximas às rotas de transporte público, reduzindo a poluição sonora nas áreas urbanas.

Entretanto, a eletrificação enfrenta desafios notáveis, como a necessidade de desenvolver uma infraestrutura adequada de carregamento, que pode ser dispendiosa e requer um planejamento cuidadoso. Além disso, os custos iniciais mais elevados dos veículos elétricos em comparação com os veículos a combustão representam um desafio financeiro inicial.

Outros desafios incluem a autonomia limitada dos veículos elétricos e o tempo de recarga, especialmente preocupantes em sistemas de transporte público que operam de forma contínua. A integração de fontes de energia renovável, como solar e eólica, é uma oportunidade para reduzir ainda mais as emissões de carbono associadas ao transporte público.

A equidade e o acesso também são preocupações essenciais. É importante garantir que a eletrificação do transporte público seja acessível a todas as comunidades, incluindo áreas de baixa renda, para que todos possam colher os benefícios da transição para veículos elétricos.

O processo de eletrificação da frota de transporte público deve ser parte de um planejamento integrado mais amplo, considerando fatores como rotas, densidade populacional, demanda de passageiros e integração com outros modos de transporte.

A eletrificação da frota de transporte público em Niterói pode oferecer benefícios substanciais, mas requer um planejamento estratégico abrangente para abordar eficazmente seus desafios. Com a implementação adequada, essa transição pode desempenhar um papel vital na melhoria da mobilidade urbana, na redução da poluição e na promoção da sustentabilidade ambiental.

O processo de eletrificação da frota de transporte público requer uma preparação e planejamento rigorosos. Para colher os benefícios da tecnologia para o sistema de transporte e a sociedade em geral, é crucial que o projeto de eletrificação seja cuidadosamente analisado e planejado de maneira a garantir a sustentabilidade financeira do sistema de transporte público local. Nesse sentido, é essencial conduzir estudos detalhados que avaliem o impacto da adoção dessa tecnologia na saúde econômico-financeira do sistema de transporte, especialmente em um horizonte de longo prazo ou ao longo do período de concessão. Além do planejamento estratégico, é relevante mencionar a importância da utilização de metodologias e ferramentas que permitam aos tomadores de decisão de planejamento monitorar o desempenho desses ativos ao longo de toda a duração do contrato de concessão.

7.1 RESULTADO FINANCEIRO COM ÔNIBUS ELÉTRICO

O impacto econômico foi estimado pela diferença de custos decorrentes de mudança de tecnologia em cada um dos itens de custo. Para cada componente de custo, foi calculada a diferença de custos pela adoção de veículos do tipo Elétrico *Padron*, em relação aos veículos do tipo convencional com ar (previstos contratualmente).

No cálculo do Investimento, consideram-se o investimento inicial na aquisição do veículo e o custo da sua infraestrutura de recarga. Ressalta-se que a infraestrutura de abastecimento de veículos a diesel já se encontra em operação, enquanto a implantação dos equipamentos para a recarga elétrica dos veículos requer investimento adicional à sua aquisição.

De acordo com a EPE (2020), os custos de operação e de manutenção compõem o OPEX e são ambos avaliados em R\$/km, ou seja, custos tipicamente variáveis que evoluem em função da distância percorrida pelos veículos. O custo operacional é determinado a partir do rendimento dos ônibus, avaliado em km/l ou km/kWh; e do preço da energia, seja o óleo diesel (R\$/l) ou a eletricidade (R\$/kWh). A sua contabilização em base anual utiliza como fator a distância anual percorrida (km/ano), o que permite resumir os custos variáveis incorridos na operação dos ônibus em R\$/ano. Caso os custos de operação e manutenção dos ônibus elétricos venham a ser

inferiores àqueles dos ônibus a diesel tal fato pode vir a conferir vantagem a esta tecnologia e compensar os seus custos fixos geralmente superiores, principalmente quando avaliados pela abordagem do custo total de propriedade no ciclo de vida. Dentre alguns fatores presentes na possível compensação entre os custos fixos e variáveis dos ônibus elétricos, destaca-se a distância média anual percorrida, uma vez que a diferença entre o OPEX (anual) de ambas as tecnologias evolui proporcionalmente à intensidade de uso dos ônibus.

O custo de manutenção inclui a manutenção regular do veículo, pneus, partes, lubrificantes, dentre outros itens. Os veículos elétricos oferecem uma oportunidade de redução de custos de manutenção em virtude da natureza do motor, o qual é composto por um menor número de componentes do que um equivalente à combustão interna.

O cálculo deste impacto pressupõe a assunção de determinadas premissas, uma vez que, dada a complexidade do negócio, existem diversas variáveis a serem determinadas para a definição de cenários futuros. As seguintes premissas foram consideradas:

- a substituição de 25 veículos convencionais com ar condicionado por 25 do tipo elétrico;
- não foi considerada a renovação desta frota destes 25 veículos do tipo elétrico ao final da sua vida útil;
- a vida útil dos veículos elétricos considerada neste estudo é de 9 anos;
- foram inseridos no modelo os valores atualmente praticados no mercado para os insumos chassi, carroceria e óleo diesel. Preferiu-se adotar este critério a utilizar os valores constantes na proposta comercial de 2012 e atualizá-los monetariamente, pelo entendimento de que a adoção dos valores atuais pode contribuir para se chegar a resultados mais precisos. Isso porque as variações de preços dos insumos chassi, carroceria e diesel não apresentaram variações lineares e compatíveis com a moeda contratual de correção monetária (a TIR) ao longo destes 11 últimos anos;
- para o insumo óleo diesel foi adotado o preço praticado CIF (com frete e impostos incluídos) praticado para grandes consumidores do sistema de transporte urbano;
- foi adotado o percurso médio anual por veículo proposto pelo consórcio Transoceânico na proposta comercial para os veículos do tipo elétrico;
- o custo de manutenção inclui a troca de peças e acessórios, além do consumo com óleo lubrificante;
- não foi efetuada qualquer alteração na demanda, tendo sido utilizada a mesma prevista na proposta comercial;
- os parâmetros de consumo dos veículos elétricos foram pesquisados e os seguintes valores foram adotados neste estudo:
 - coeficiente de consumo de energia elétrica = 0,77 Kwh/km
 - preço unitário do Kwh – 1 Kwh = R\$ 0,754
- os parâmetros de consumo dos veículos a diesel foram pesquisados e os seguintes valores foram adotados neste estudo:
 - coeficiente de consumo de diesel = 2,15 km/l

- preço unitário do litro do diesel = R\$ 5,00
- não foi considerado efeito da elasticidade da demanda com relação ao preço (na hipótese de reequilíbrio contratual por intermédio de aumento de tarifa)

A Tabela 7.1.1 define alguns parâmetros para o cálculo de uma possível inserção do veículo elétrico no Sistema de Transportes Urbano por Passageiros no município de Niterói. O custo médio de um veículo convencional com ar condicionado é de R\$ 600.000,00 enquanto a aquisição de um veículo elétrico com os mesmos padrões de dimensão, já com as baterias, custa em média R\$ 1.950.000,00. Adicional a aquisição do veículo é fundamental que haja pontos de recarga. Em algumas situações sugere-se que seja identificada a quantidade necessária de pontos de carregamento para se chegar ao investimento necessário. Em média um ponto de recarga custa R\$ 250.000,00. No entanto, como não se tem uma quantidade exata de pontos necessários de recarga, a EPE (2020) sugere um valor em reais por quilometro rodado. Nesse documento é sugerido que seja alocado R\$ 0,20 por km rodado.

Tabela 7.1.1 – Parâmetros de veículos a diesel e elétrico

	TRANSNIT		TRANSOCEÂNICO	
INVESTIMENTOS				
VEÍCULO - DIESEL (PADRON C/ AR-CONDICIONADO)	R\$	600.000,00	R\$	600.000,00
VEÍCULO - ELÉTRICO	R\$	1.943.350,00	R\$	1.943.350,00
INFRAESTRUTURA DE CARREGAMENTO / KM	R\$	0,20	R\$	0,20
SUBESTAÇÃO NAS GARAGENS				
PMA - KM/ANO		46.899		91.699
QUANTIDADE DE VEÍCULOS		12		13
DEMANDA / ANO (pagantes) - Ano 10		44.986.133		54.723.413
CUSTOS OPERACIONAIS				
CUSTO COMBUSTÍVEL / LITRO	R\$	5,000	R\$	5,000
CUSTO ENERGIA / KWH	R\$	0,754	R\$	0,754
EFICIÊNCIA KM/L		2,15		2,15
EFICIÊNCIA KM/KWH		0,77		0,77
CUSTO MANUTENÇÃO DIESEL / KM	R\$	0,59	R\$	0,59
CUSTO MANUTENÇÃO ELÉTRICO / KM	R\$	0,40	R\$	0,40

Fonte: EPE (2020) e Propostas Comerciais dos Consórcios Transnit e Transoceânico

Os valores relacionados ao PMA (Percurso Médio Anual) são os mesmos estipulados na proposta comercial dos consórcios, além da demanda anual de passageiros. A quantidade de veículos por consórcio é uma hipótese, podendo ser adequada de acordo com a expectativa da Prefeitura Municipal de Niterói e da Secretaria de Urbanismo.

O custo por litro de óleo diesel foi obtido por meio de entrevista com as empresas consorciadas e o custo de kwh foi obtido por meio de pesquisa no site da empresa fornecedora de energia elétrica no município de Niterói, a ENEL.

Os parâmetros de eficiência e custo de manutenção de ambos os modelos de veículos foram obtidos na nota Técnica emitida pela EPE (Empresa de Pesquisa Energética).

A Tabela 7.1.2 mostra o custo para inserir (de forma adicional) ônibus elétricos no sistema de transporte. Foram considerados 25 novos veículos, sendo 12 para o consórcio Transnit e 13 para o consórcio Transoceânico, e considerada uma depreciação linear em 9 anos (período restante da concessão), sem valores residuais no final do período. Portanto o custo anual do veículo elétrico é o resultado do valor unitário multiplicado pelo total de veículos.

Ainda na Tabela 7.1.2, é mostrada a infraestrutura de carregamento, que é o resultado entre os R\$ 0,20/km multiplicado pela quantidade de veículos multiplicado pelo PMA de cada veículo.

O custo de energia e o custo de manutenção estão relacionados a eficiência e custo de cada um dos itens.

Considerando essas premissas, o custo anual, ao longo de 9 anos, sem investimentos seria de R\$ 2.411.586,00 e o custo com investimentos seria de R\$ 8.160.755,00. Se considerar o custo previsto abaixo e a demanda constante na proposta comercial, seria necessário aumentar a tarifa em R\$ 0,024 (sem investimentos) ou R\$ 0,082 (com investimentos), ao longo dos 9 anos de contrato restantes.

Tabela 7.1.2 Custos Ônibus Elétrico

	ANO	
VEÍCULO - ELÉTRICO	R\$	5.398.194
INFRAESTRUTURA CARREGAMENTO	R\$	350.975
CUSTO ENERGIA	R\$	1.718.410
CUSTO MANUTENÇÃO	R\$	693.176
TOTAL S/ INVESTIMENTOS	R\$	2.411.586
TOTAL C/ INVESTIMENTOS	R\$	8.160.755
ADICIONAL TARIFA S/ INVESTIMENTOS	R\$	0,024
ADICIONAL TARIFA C/ INVESTIMENTOS	R\$	0,082

Por outro, na hipótese de substituir 25 veículos convencionais com ar condicionado pela mesma quantidade de veículos elétricos, conforme mostra a Tabela 7.1.3, o impacto seria o seguinte:

- Sem a necessidade de investimentos, haveria uma redução de aproximadamente R\$ 2.711.232 no custo anual do operador;
- Com a necessidade de investimento, o aumento no custo seria de 1.371.270,00 no custo anual do operador.

No caso do cenário com investimento, pesa negativamente o alto preço para aquisição do veículo elétrico, além da necessidade de disponibilizar pontos de recarga ao longo do trajeto e nas garagens. Um ponto importante, é que não está dimensionado financeiramente a instalação de subestações de energia nas garagens. Percebe-se que se o investimento for realizado pelo operador, há necessidade de aumento na tarifa, no entanto, caso o investimento seja realizado pelo Administrador Público e a operação realizada pelo operador, há possibilidade na redução da tarifa. Considerando o investimento sendo realizado pelo ente público, é possível reduzir a tarifa em aproximadamente R\$ 0,03 centavos, no entanto se o investimento for privado, há necessidade de aumento na tarifa.

Tabela 7.1.3 variação de custos (Elétrico x Diesel)

	ANO	
VEÍCULO - ELÉTRICO	R\$	5.398.194
INFRAESTRUTURA CARREGAMENTO	R\$	350.975
CUSTO ENERGIA	R\$	1.718.410
CUSTO MANUTENÇÃO	R\$	693.176
TOTAL ELÉTRICO S/ INVESTIMENTOS	R\$	2.411.586
TOTAL ELÉTRICO C/ INVESTIMENTOS	R\$	8.160.755
VEÍCULO - DIESEL	R\$	1.666.667
INFRAESTRUTURA CARREGAMENTO	R\$	-
CUSTO DIESEL	R\$	4.087.442
CUSTO MANUTENÇÃO	R\$	1.035.376
TOTAL DIESEL S/ INVESTIMENTOS	R\$	5.122.818
TOTAL DIESEL C/ INVESTIMENTOS	R\$	6.789.485
DIFERENÇA ELÉTRICO X DIESEL S/ INVEST.	-R\$	2.711.232
DIFERENÇA ELÉTRICO X DIESEL C/ INVEST.	R\$	1.371.270
REDUÇÃO NA TARIFA S/ INVESTIMENTOS	-R\$	0,027
REDUÇÃO NA TARIFA C/ INVESTIMENTOS	R\$	0,014

Importante registrar que não foi realizada a comparação entre a emissão de CO₂ de um ônibus elétrico e um ônibus a diesel. No entanto, em geral, os ônibus elétricos tendem a ter emissões de carbono consideravelmente menores em comparação aos ônibus a diesel, especialmente se