

PRODUTO 02 · BOAS PRÁTICAS E PARÂMETROS DE REFERÊNCIA PARA ELETRIFICAÇÃO DE FROTA

Oportunidades na Implantação de Frotas Elétricas no Transporte Público

Guia de Orientações para Contratação de Assistência Técnica para Elaboração de Projetos de Eletrificação de Frotas de Ônibus Urbanos. Cooperação Financeira Alemã — Empréstimo Programático de Transição da Mobilidade Sustentável (P-MUS).

AÇÃO 2.4 DA MPP DO P-MUS · FICHA TÉCNICA E INSTITUCIONAL

REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL

Presidente da República
Luís Inácio Lula da Silva

MINISTÉRIO DAS CIDADES (MCID)

Ministro das Cidades
Antônio Vladimir Moura Lima

Secretário Nacional de Mobilidade Urbana
Marcos Daniel Souza dos Santos

Diretora do Departamento de Regulação
da Mobilidade e Trânsito Urbano - DEREG
Danielle Costa de Holanda

Diretor do Departamento de Infraestrutura
da Mobilidade Urbana - DEMOB
Marcell Alexandre de Oliveira Costa

Coordenação-Geral de Planejamento da
Mobilidade Urbana
Alceu Justus Filho
Gláucia Maia de Oliveira
Julia Rabello Spinelli
Meire Sayuri Yoshihara Marra
William Leal Lopes Brandão

Departamento de Infraestrutura da Mobilidade
Urbana
Isaque de Souza Silva
Simoni Soares da Silva

Apoio Institucional
KREDITANSTALT FÜR WIEDERAUFBAU KfW
Fabrizio Pietrobelli
Luis Abalo

ELABORAÇÃO E EQUIPE DE REVISÃO

Dinamo Consultores

Diogo Pires Ferreira
Pollyana Abreu

Base Engenharia Consultiva

Maurício Romero

Ministério das Cidades

Danielle Costa de Holanda
Julia Rabello Spinelli
Alceu Justus Filho
Simoni Soares da Silva
Meire Marra
Isaque de Souza Silva

CONTEXTO DO DOCUMENTO

Este relatório é produzido no âmbito da Cooperação Financeira Alemã por meio do Empréstimo Programático de Transição da Mobilidade Sustentável (P-MUS), contratado pelo Ministério das Cidades (SEMOB/MCID) com apoio do KfW.

Este trabalho visa disseminar orientações técnicas e operacionais para qualificar, orientar e fortalecer a capacidade de municípios e estados na estruturação de projetos de eletrificação de frota de ônibus urbanos viáveis e sustentáveis. Como parte do Produto 02, o presente documento apresentar, de maneira objetiva as oportunidades, desafios e orientações para a tomada de decisão qualificada sobre a transição para frotas de baixa emissão, reduzindo incertezas e riscos associados à eletrificação.

Apresentação e Contexto

Este documento apresenta o Relatório de Oportunidades para a Implantação de Frotas Elétricas no Transporte Público Urbano Brasileiro, produzido no âmbito da Cooperação Financeira Alemã por meio do Empréstimo Programático de Transição da Mobilidade Sustentável (P-MUS), contratado pelo Ministério das Cidades com apoio do KfW.

A eletrificação de frotas de ônibus urbanos não representa apenas a substituição de uma tecnologia de propulsão: é uma oportunidade de mudança de paradigma que demanda coordenação entre infraestrutura, modelos de negócio, capacidade institucional e compromissos de justiça social e climática. Para que essa transição ocorra de forma estruturada e sustentável, gestores públicos precisam de informações técnicas confiáveis, referências de boas práticas e parâmetros claros para a tomada de decisão. Já existem muitas referências técnicas extensas amplamente detalhadas, e é nesse contexto que se insere este relatório. A partir do levantamento e sistematização de referências teóricas, experiências brasileiras e internacionais, o documento busca simplificar o conhecimento disponível em quatro eixos estruturantes:

1	Oportunidades e desafios técnico-operacionais frota, rotas, infraestrutura de recarga, governança, manutenção e capacitação
2	Dimensão ambiental e climática alinhamento com o Plano Clima, NDC e metodologia de estimativa de emissões
3	Modelos de negócios e financiamento arranjos público-privados, fontes de recursos e estruturas contratuais
4	Monitoramento e avaliação coleta de dados operacionais, indicadores e avaliação de efetividade

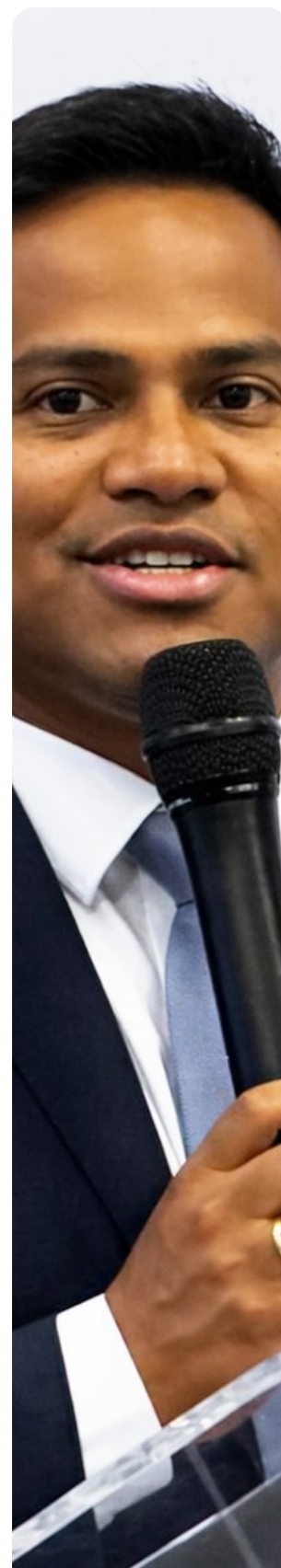
O conteúdo aqui produzido visa apoiar diretamente municípios e estados na tomada de decisão qualificada sobre a transição para frotas de baixa emissão. Ao sistematizar evidências, boas práticas e parâmetros de referência, o relatório busca reduzir as incertezas e riscos associados à eletrificação, oferecendo uma base estruturada de informações técnicas, operacionais e financeiras.

Destaca-se que, na temática da eletromobidade, há dimensões transversais que precisam ser correlacionadas: da preparação dos motoristas para alcançar bons desempenhos operacionais, até as oportunidades de promover mudanças estruturantes que contemplem justiça climática — incluindo pautas de gênero, melhoria na capacidade de gestão de dados e outros ganhos que emergem do potencial transformador da eletrificação.

COMO USAR ESTE DOCUMENTO

Para cada item do eixo temático, o relatório apresenta um conteúdo objetivo em três blocos:

- 1) Oportunidades:** o que pode ser ganho e benefícios estratégicos.
- 2) Desafios:** os principais obstáculos e riscos a considerar para mitigação e viabilização do processo.
- 3) Orientações:** recomendações práticas para gestores públicos baseadas em evidências e boas práticas.



Marcos Daniel Souza dos Santos

Secretário Nacional de
Mobilidade Urbana
Ministério das Cidades —
SEMOB/MCID

Lista de Siglas e Abreviaturas

A/C — Ar-condicionado.

AC — Corrente alternada (Alternating Current).

BID — Banco Interamericano de Desenvolvimento.

CAPEX — Capital Expenditure (investimentos de capital).

CCO — Centro de Controle Operacional.

CCS2 — Combined Charging System tipo 2 (padrão de carregamento elétrico em corrente contínua).

CO₂ — Dióxido de carbono.

CO₂e — Dióxido de carbono equivalente.

COFIEIX — Comissão de Financiamentos Externos.

CONAMA — Conselho Nacional do Meio Ambiente.

DC — Corrente contínua (Direct Current).

DPF — Diesel Particulate Filter (filtro de partículas diesel).

EPE — Empresa de Pesquisa Energética.

GCF — Green Climate Fund (Fundo Verde do Clima).

GEE — Gases de Efeito Estufa.

GNC — Gás Natural Comprimido.

GNV — Gás Natural Veicular.

GPS — Global Positioning System (sistema de posicionamento global).

GTFS — General Transit Feed Specification (padrão de dados de transporte público coletivo).

GWP — Global Warming Potential (potencial de aquecimento global).

ICCT — International Council on Clean Transportation.

IEA — International Energy Agency.

IPCC — Intergovernmental Panel on Climate Change.

kW — Quilowatt (unidade de potência).

kWh — Quilowatt-hora (unidade de energia).

LFP — Lithium Iron Phosphate (bateria de fosfato de ferro-lítio).

LGPD — Lei Geral de Proteção de Dados.

MCid / MCIDADES — Ministério das Cidades.

MP — Material particulado.

NDC — Nationally Determined Contributions (Contribuições Nacionalmente Determinadas).

Novo PAC — Programa de Aceleração do Crescimento, eixo Cidades Sustentáveis e Resilientes, subeixo Mobilidade Urbana Sustentável.

NOx — Óxidos de nitrogênio.

OCPP — Open Charge Point Protocol (protocolo de comunicação para carregadores elétricos).

ODS — Objetivos de Desenvolvimento Sustentável.

OPEX — Operational Expenditure (custos operacionais).

PATEN — Programa de Aceleração da Transição Energética.

P-MUS — Programa de Transição da Mobilidade Sustentável.

PMD — Percurso Médio Diário.

PNMU — Política Nacional de Mobilidade Urbana.

PPP — Parceria Público-Privada.

SBCE — Sistema Brasileiro de Comércio de Emissões.

SCR — Selective Catalytic Reduction (redução catalítica seletiva).

SEMOB — Secretaria Nacional de Mobilidade Urbana.

SoC — State of Charge (estado de carga da bateria).

SoH — State of Health (estado de saúde da bateria).

SPE — Sociedade de Propósito Específico.

SPTrans — São Paulo Transporte S/A.

SUS — Sistema Único de Saúde.

TCO — *Total Cost of Ownership* (Custo Total de Propriedade).

TIR — Taxa Interna de Retorno.

TPC — Transporte Público Coletivo.

TAR — Ciclo do Tanque à Roda (*Tank-to-Wheel – TTW*): etapa da análise do ciclo de vida que quantifica as emissões de gases de efeito estufa decorrentes da operação de veículos, considerando a utilização da energia armazenada no veículo, desde o abastecimento até sua conversão em energia mecânica para tração nas rodas; (do tanque à roda).

WRI — *World Resources Institute*.

PAR — Ciclo do poço à roda (*Well-to-Wheel – WTW*): análise do ciclo de vida que considera as emissões de gases de efeito estufa associadas à cadeia de fornecimento da energia utilizada por veículos leves e pesados de passageiros e comerciais, desde a extração dos recursos naturais, passando pela produção e distribuição da fonte energética, até seu uso no veículo.

ZEBRA — Zero Emission Bus Rapid-deployment Accelerator.

Índice

1 — OPORTUNIDADES E DESAFIOS TÉCNICO-OPERACIONAIS	6
1.1 Rotas e Itinerários	7
1.2 Definição de Frota e Baterias	8
1.3 Infraestrutura de Recarga	9
1.4 Governança	10
1.5 Capacitação Profissional	11
1.6 Alternativas para Iniciar a Transição Energética	12
2 — DIMENSÃO AMBIENTAL E CLIMÁTICA	13
2.1 Alternativas Tecnológicas visando Redução de Emissões	13
2.2 Exemplo para Cálculo de Redução de Emissões	15
2.3 Co-benefícios Ambientais e de Saúde Pública	17
2.4 Alinhamento com Políticas Climáticas Nacionais	18
3 — MODELOS DE NEGÓCIO	19
— A Necessidade de Modernização dos Modelos de Negócio & Panorama Síntese 3.1 a 3.7	20
3.1 Modelo Verticalmente Integrado (Tradicional)	21
3.2 Modelo de Subvenção Parcial	22
3.3 Modelo de Responsabilidade Distribuída (Separação Ativos/Operação)	23
3.4 Modelo de Leasing Financeiro	24
3.5 Modelo de Leasing Parcial (Separação Chassi/Bateria)	25
3.6 Modelo de Subvenção Total com Operação Privada	26
3.7 Modelo de PPP com Separação de Contratos	27
4 — MONITORAMENTO E AVALIAÇÃO	28
4.1 Indicadores Operacionais Essenciais	28
4.2 Outros Indicadores Pertinentes de Monitoramento	30

SEÇÃO 01

Oportunidades e Desafios Técnico-Operacionais

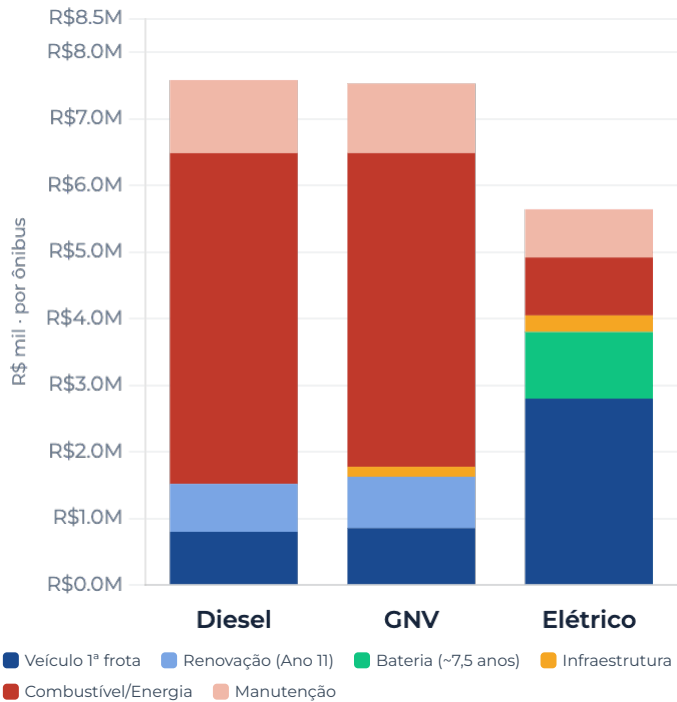
A eletrificação de frotas de ônibus urbanos envolve um conjunto de variáveis técnicas e operacionais que devem ser analisadas de forma integrada. Esta seção examina dimensões centrais: rotas, frota e veículos, viabilidade de energia pela distribuidora, infraestrutura de recarga, manutenção, capacitação profissional, arranjos e governança. No entanto, antes de passar por cada tema, cabe destacar que, além de benefícios ambientais e de saúde pública, um dos instrumentos centrais que tem consolidado a tendência na tomada de decisão para iniciar o processo de eletrificação é a análise de custo total de propriedade (*Total Cost of Ownership* - TCO). O gráfico a seguir apresenta uma comparação entre ônibus elétricos e modelos à combustão ao longo de um horizonte de 15 anos (diesel e GNV).

Apesar do maior investimento inicial associado à aquisição dos veículos elétricos e à infraestrutura de recarga, a trajetória de custos ao longo do tempo é significativamente inferior, impulsionada pela redução de despesas operacionais, especialmente com energia e manutenção, mesmo considerando a necessidade de substituição das baterias em aproximadamente 7,5 anos. Modelagens institucionais e financeiras com mais atores, ou PPPs ou parte de investimentos pelo poder público, muitas vezes com condições mais favoráveis de financiamento, podem viabilizar a eletrificação, contribuir para a redução de custos operacionais, diminuir a pressão por subsídios e ampliar a percepção de qualidade.

O processo de eletrificação do transporte público coletivo abre uma janela relevante para repensar modelos operacionais e financeiros, sobretudo em um contexto em que a modelagem financeira tradicional baseada em ônibus a combustão já não se sustenta. Mesmo antes da pandemia, muitos sistemas enfrentavam dificuldades para equilibrar receitas tarifárias com custos operacionais, exigindo a dissociação entre tarifa pública e tarifa técnica e uma natural dependência de subsídios. Além disso, preços do diesel frequentemente influenciados por fatores externos como conflitos geopolíticos, tornam o sistema ainda mais vulnerável. Nesse cenário, a eletrificação surge como uma oportunidade estratégica para reconfigurar o modelo do setor, aumentando a resiliência frente às emergências climáticas, incorporando avanços tecnológicos, melhorando a experiência no transporte com menos ruído, e abrindo portas para contribuir para as agendas de equidade social e de gênero.

TCO — CUSTO TOTAL DE PROPRIEDADE POR ÔNIBUS · 15 ANOS

CAPEX + OPEX acumulado · R\$ mil · valores nominais



FONTES E PREMISSAS — TCO

Diesel	GNV	Elétrico
Veículo <i>padron</i> 13m: R\$ 800 mil (Finame BK, 8,1% a.a.); segunda frota no Ano 11	Proporcional ao diesel; + R\$ 150 mil em infraestrutura de abastecimento (Ano 1)	Veículo <i>padron</i> 13m: R\$ 2.800 mil; infra recarga R\$ 250 mil; renovação bateria Ano 8: R\$ 1.000 mil
OPEX: combustível + ARLA32 + manutenção; diesel +3% a.a. (EPE, 2020)	C40/ICCT — “Ônibus a gás é uma alternativa?” (2024)	OPEX energia + manutenção ≈ 14%
ZEBRA/ICCT Brasil — Transwolve SP, Tabela 4 (2021)	Δ Modelos a GNV carecem de dados por não ter operações em ampla escala.	TCO (~70% menor que diesel)
		ZEBRA 2021 — Tabela 4 e 5; Contrato BYD/Transwolve — SPTrans (2019)

Leitura do TCO: Apesar do alto CAPEX do elétrico, seu OPEX acumulado é cerca de 70% menor que o diesel — resultando em TCO total inferior.

1.1 Rotas e Itinerários

VISÃO GERAL – 1.1 ROTAS E ITINERÁRIOS

A análise de viabilidade técnico-operacional de um projeto de eletrificação deve começar pelo diagnóstico das rotas e perfil de uso da frota existente. A partir daí, define-se a tecnologia de recarga mais adequada, dimensiona-se a infraestrutura e elabora-se o modelo de governança. Fatores como topografia, estilo de condução do motorista e eficiência e demanda dos sistemas de ar-condicionado têm impacto significativo no consumo energético real dos veículos.

Partimos de forma objetiva: qualquer linha de ônibus é eletrificável. No entanto, o sucesso para maximizar os potenciais dessa transição depende de um planejamento adequado da estratégia de recarga e da compatibilização entre o itinerário da operação e as características dos veículos.

Atualmente, fabricantes disponibilizam modelos com autonomies típicas em torno de 250 km, faixa que se aproxima do Percurso Médio Diário (PMD) de grande parte das linhas de transporte coletivo urbano em todo o mundo. Há também fabricantes que possuem opções com baterias de maior ou menor capacidade, permitindo ajustar a solução às necessidades operacionais.

Linhas com PMD superior a essa faixa tendem a demandar estratégias complementares, como recarga de oportunidade ao longo do dia ou o uso de baterias mais robustas. Por outro lado, linhas com PMD inferior podem operar com maior folga operacional, abrindo espaço inclusive para a redução do investimento inicial por meio da adoção de baterias menores. Além disso, o itinerário da linha influencia diretamente o desempenho energético dos veículos, especialmente em função da topografia, da frequência de paradas e das condições de tráfego.

OPORTUNIDADES

- **Frenagem regenerativa e declives controlados:** descidas longas e suaves e rotas com muitas paradas permitem recuperar entre 10% e 25% da energia consumida com sistema de frenagem regenerativa.
- Linhas com menor número de viagens no entrepico oferecem janela temporal para **cargas de oportunidade**.
- Linhas com **percurso médio diário menor** podem ser priorizadas para início da transição.
- **Itinerários próximos de infraestrutura de recarga** possibilitam a estratégia de oportunidade e reduzem a quilometragem ociosa.

DESAFIOS

- **Autonomia real reduzida em rotas com aclives acentuados**, como subidas longas sem trechos de regeneração aumentam o consumo energético.
- **Rotas muito longas** (> 250 km/dia) podem exigir recarga intermediária em terminais, aumentando a complexidade operacional.
- **Linhas com alta renovação** podem resultar em maior frequência de abertura de portas e aumentar o consumo energético com ar-condicionado e equipamentos de cortina de vento.

ORIENTAÇÕES

- Realizar **teste de autonomia real** com veículo instrumentado (telemetria) antes de definir o lote de substituição.
- Priorizar no **primeiro lote de eletrificação** rotas com até 200 km/dia.
- **Mapear a topografia detalhada** das rotas candidatas e calcular o consumo energético estimado por ciclo.
- Considerar a **criação de pontos de recarga intermediários nos terminais dos itinerários** para viabilizar estratégia de recarga de oportunidade, principalmente na operação de linhas com itinerários mais longos.

1.2 Definição de Frota e Baterias

A definição da frota elétrica estabelece a base para as decisões operacionais, de infraestrutura e financeiras do sistema. Diferentemente dos modelos a combustão, os ônibus elétricos disponíveis no mercado são, em sua maioria, de piso baixo, viabilizados por arquiteturas mais eficientes (por vezes com motores acoplados às rodas) que simplificam o chassi. Essa configuração melhora a percepção de qualidade pelos passageiros ao tornar o embarque mais ágil e acessível, sem degraus, beneficiando especialmente PCDs, idosos e pessoas com mobilidade reduzida.

A escolha adequada de parâmetros como capacidade de passageiros, autonomia e tecnologia de carregamento exige cautela, pois decisões inadequadas podem gerar ineficiências operacionais, aumento de custos e dificuldades de expansão do sistema. Por isso, a definição da frota deve estar integrada ao planejamento das rotas e da infraestrutura de recarga, considerando tanto o cenário atual quanto a expansão futura. A padronização e aquisições em escala favorecem ganhos econômicos e redução de custos operacionais, enquanto uma implementação faseada, com testes e ajustes progressivos, contribui para mitigar riscos e qualificar a tomada de decisão.

Além dos ganhos operacionais, os ônibus elétricos oferecem maior conforto devido à menor trepidação e costumam incorporar recursos tecnológicos como telas informativas (com maior vida útil pois não há trepidação do motor à combustão) e carregadores USB, ampliando a percepção de qualidade pelos usuários. Assim, a escolha da frota se consolida como um elemento estratégico para garantir eficiência, resiliência e sustentabilidade, potencializando os impactos positivos da renovação do sistema.

OPORTUNIDADES

- **Substituição gradual por modelos padronizados** reduz custo de peças, treinamento e manutenção.
- Ao contrário de modelos à combustão, a maior parte dos **modelos de ônibus elétricos disponíveis é de piso baixo**, que **melhora acessibilidade universal** (idosos, PCD, mobilidade reduzida) e reduz tempo de embarque e desembarque.
- **Impacto social positivo: veículo silencioso, sem vibração** e com ar-condicionado melhora a experiência dos passageiros e do ambiente urbano por onde trafega.
- **Atratividade de novos clientes:** ônibus elétrico tem reposicionado o Transporte Público Coletivo (TPC) frente a aplicativos e modos individuais.

DESAFIOS

- Curva de aprendizado operacional: **motoristas e equipe de manutenção precisarão ser capacitados** e se adaptar para uma nova tecnologia.
- **Heterogeneidade da frota** exige planejamento por lote de substituição.
- **Evitar "lock-in tecnológico":** definição de padrões de conectores e protocolos de comunicação é essencial para garantir interoperabilidade e evitar dependência de fornecedores e permitir a escalabilidade do sistema.
- **Alinhamento entre atores:** fabricantes de ônibus, fornecedores de carregadores e operadores devem estar alinhados quanto aos padrões adotados, evitando soluções fragmentadas.
- **Vida útil da bateria** (8–12 anos) é menor que a do chassi (15–20 anos), exige previsão de reposição e planejamento de segunda vida.

ORIENTAÇÕES

- Verificar modelos disponíveis com fabricantes para **realizar testes operacionais**.
- padronizar fornecedor por edital com lotes mínimos para **garantir escalabilidade e competitividade de preços**.
- Dimensionar baterias para **cumprir itinerários com até 80% da carga útil** considerando a degradação prevista da saúde da bateria State of Health (SoH).
- **Solicitar garantia de bateria** com base nos ciclos de consumo previstos resultantes do plano operacional em anos ou em quilômetros.
- **Garantir que veículos estejam equipados** com telemetria que monitore o desempenho operacional e da bateria, possibilitando também avaliação do condutor.
- **Instituir protocolos para o combate a incêndios** em baterias (foco em resfriamento), considerando layouts operacionais de garagens que garantam o isolamento estratégico de veículos sinistrados.
- **Prever plano de segunda vida das baterias** quando estas alcançarem 70–80% da capacidade, eventualmente para uso em armazenamento de energia na própria garagem.
- **Especificar sistemas de A/C e componentes auxiliares de baixa emissão sonora** em editais e termos de referência. Como o motor elétrico elimina o ruído de combustão, a percepção de barulho interno passa a ser dominada pelos sistemas de ventilação.

1.3 Infraestrutura de Recarga

A infraestrutura de recarga é um pilar crítico para a viabilidade da eletrificação do transporte coletivo, conectando diretamente a operação dos veículos à disponibilidade e gestão da energia elétrica. Diferentemente do modelo a combustão (com abastecimento rápido e alta autonomia), a recarga elétrica exige planejamento integrado, disponibilidade de energia na rede, estratégia operacional e tecnologia embarcada. Decisões sobre localização dos carregadores, potência instalada, tipo de recarga (lenta, rápida ou de oportunidade) e modelo de gestão energética impactam diretamente na operação e os custos ao longo do tempo. A infraestrutura deve ser dimensionada para a expansão futura. Estratégias que combinam recarga noturna em garagens com recarga de oportunidade em pontos estratégicos aumentam a flexibilidade e a segurança operacional, além de melhorar o aproveitamento dos ativos. A integração com a rede elétrica (incluindo análise de capacidade com a distribuidora local com otimização tarifária) torna-se central no planejamento, exigindo articulação antecipada com concessionárias. Por fim, a gestão da recarga com soluções como *smart charging*, uso do mercado livre de energia e geração distribuída, pode ampliar a eficiência econômica e energética. Ao mesmo tempo, a definição clara de responsabilidades e padrões tecnológicos (como o Plug CCS2 DC) é essencial para evitar riscos como dependência de fornecedores, subutilização de ativos ou gargalos operacionais. Assim, a infraestrutura de recarga deixa de ser apenas um requisito técnico e assume papel estratégico na escalabilidade do projeto.

OPORTUNIDADES

- **Fortalecer escalabilidade e eficiência do projeto** com carregadores potentes ≥ 80 kwh em DC por mangueira de recarga.
- **Aumentar previsibilidade e reduzir custos** em até 30% com negociação no Mercado Livre de Energia.
- **Verificar horário de tarifas de energia reduzida** para o planejamento da operação de recarga.
- **Implantar geração de energia solar** em garagens para reduzir custos e aumentar a autonomia energética.
- **Usar software de Gestão de Recarga** evitando picos e multas por ultrapassagem de potência contratada.
- **Avaliar implantação de infraestrutura de recarga em imóveis e espaços públicos**, próximos aos corredores para viabilizar cargas de oportunidade.
- **Viabilizar infraestrutura de recarga pelo poder público** reduz a pressão de investimentos iniciais pelos operadores e aumenta a atratividade da eletrificação (avaliar exploração da infra de recarga para outros fins).

DESAFIOS

- **Verificar com antecedência disponibilidade de energia**, uma vez que concessionárias locais de energia podem demandar prazos de 6 a 18 meses para realizar upgrade na rede de energia.
- **Adaptar garagens existentes** para se tornar infraestrutura de recarga pode ser desafiador pela questão de circulação com vagas livres, sem bloquear carregadores, quanto pela demanda de energia.
- **Construir novas subestações** pode aumentar o prazo de entrega.
- **Verificar disponibilidade de terrenos adequados** (livres de alagamentos, com viabilidade de rede e segurança jurídica).
- **Dependência Tecnológica (Lock-in):** escolher padrões de tomada ou conectividade que evitem prender o município a um único fornecedor.
- **Realizar plano de gestão da manutenção pós-garantia** e disponibilidade de peças de reposição no mercado nacional.
- **Necessidade de seguros específicos** e treinamento para manipulação de equipamentos de alta tensão.

ORIENTAÇÕES

- **Garantir vagas de recarga independentes** com a circulação livre para entrada e saída dos ônibus sem bloqueios, minimizando manobras de ré (especialmente para articulados) e assegurando que a posição dos carregadores seja compatível com o lado do plug dos veículos, evitando cabos atravessados ou tensionados que possam gerar riscos operacionais.
- Exigir **carregadores com protocolo de comunicação universal** (OCPP 1.6 ou superior), garantindo compatibilidade com diferentes sistemas de gestão e monitoramento, evitando dependência tecnológica.
- **Solicitar com antecedência estudos de viabilidade de rede de energia** e firmar protocolos de intenção com a distribuidora local, preferencialmente antes do lançamento dos editais.
- **Fazer um plano operacional de recarga para aferir a potência de energia** contratada com a distribuidora.
- **Dimensionar subestações e carregadores com alta potência** para facilitar logística de recarga e viabilizar futuras expansões da frota sem novas obras civis pesadas.
- **Prever no edital as responsabilidades** pela operação da infraestrutura, manutenção compatível com vida útil de veículos e/ou baterias e custos de energia.
- **Estabelecer matriz de responsabilidades para eletroterminais**, principalmente se localizados em área pública eventualmente cedidos a operadores privados.
- **Prever mecanismos para auditar** se a energia faturada pela concessionária corresponde à energia efetivamente injetada nos veículos (combate a perdas).

1.4 Governança

A governança é um elemento estruturante para o sucesso da transição energética no transporte público coletivo, pois define como responsabilidades, riscos e benefícios são distribuídos entre os diferentes atores envolvidos. A introdução de ônibus elétricos cria uma oportunidade concreta para revisar e modernizar arranjos institucionais e contratos de concessão, muitos dos quais foram concebidos para um contexto tecnológico e econômico distinto.

Nesse novo cenário, aspectos como propriedade dos ativos (veículos, baterias e infraestrutura), remuneração por desempenho, compartilhamento de riscos e incentivos à eficiência energética passam a exigir maior clareza e sofisticação regulatória. Além disso, a governança deve incorporar novos temas que não estavam presentes, como a gestão do ciclo de vida das baterias, a rastreabilidade da origem da energia utilizada e a integração com políticas climáticas e de equidade social. A coordenação interinstitucional também ganha relevância, envolvendo não apenas a autoridade de transporte, mas também órgãos ambientais, reguladores do setor elétrico e estruturas de financiamento.

OPORTUNIDADES

- Introdução dos ônibus elétricos é janela **para revisar e modernizar contratos de concessão**, que muitas vezes estão baseados em modelagens antigas que já não possuem sustentabilidade econômica com modelos a combustão.
- Estruturar o projeto para que as reduções de emissões gerem **créditos de carbono comercializáveis**, que podem ser usados para compor o retorno financeiro do investidor.
- A mudança de tecnologia pode ser uma oportunidade para capacitar e encorajar **agendas de equidade social e gênero**.

DESAFIOS

- Mesmo após 7 a 8 anos de uso em ônibus, as baterias seguem com potência energética e valor de mercado. Apenas podem não ser compatíveis para a autonomia nos ônibus. Neste sentido é necessário **definir o responsável jurídico e operacional pelo "segundo uso"** ou descarte final das baterias.
- **Definir termos de cessão para operação de eletroterminais** e infraestruturas de recarga em locais públicos.
- **Resistência das equipes operacionais** acostumadas aos modelos à combustão e falta de corpo técnico qualificado no poder público com a nova tecnologia.

ORIENTAÇÕES

- Desenvolver **protocolos de governança para crises** (ex: apagões prolongados ou picos de tarifa de energia).
- Desenvolver mecanismos claros para **assegurar que a energia usada na recarga seja renovável** e que a demanda não colapse a rede.
- Garantir **propriedade e acesso público** aos dados operacionais dos veículos e carregadores.
- Articular com o setor elétrico para viabilizar **tarifas adequadas** para recarga de frotas.

1.5 Capacitação Profissional

A transição para a eletromobilidade no transporte público coletivo vai além da substituição tecnológica dos veículos, exigindo uma transformação profunda nas competências das equipes envolvidas na operação, manutenção e gestão do sistema. A introdução dos ônibus elétricos abre uma oportunidade relevante para a requalificação profissional, elevando o nível técnico das equipes por meio da incorporação de conhecimentos em sistemas de alta tensão, eletrônica de potência e gestão digital da operação, que são áreas que demandam qualificação formal, regulamentada pelas normas NR-10 (segurança em instalações elétricas) e a NR-12 (segurança em máquinas e equipamentos) de cumprimento obrigatório.

A capacitação de motoristas em técnicas de condução eficiente, como o uso adequado da frenagem regenerativa, passa a ter impacto direto no desempenho energético, na autonomia dos veículos e na durabilidade dos componentes. Além disso, a eletromobilidade cria condições favoráveis para avanços em agendas de inclusão produtiva e melhoria das condições de trabalho. A redução de ruído, vibração e esforço físico torna o ambiente operacional mais acessível e atrativo, abrindo espaço para maior diversidade de gênero e inclusão de novos perfis profissionais no setor.

Evidências observadas no estudo "Impacto da eletromobilidade no bem-estar dos motoristas de ônibus urbanos: o caso da cidade de Salvador" demonstrou que motoristas de ônibus elétricos perceberam melhorias significativas em aspectos relacionados ao ruído, vibração e poluição do ar quando comparados aos veículos convencionais.

A estruturação de programas de formação em parceria com instituições especializadas fortalecem a capacidade de gestão, ainda que existam lacunas de capacitação e limitações estruturais, como a ausência de simuladores, sendo fundamental a adoção de estratégias contínuas de treinamento, requalificação e retenção de talentos para garantir o sucesso da transição.

DESAFIOS

- **Resistência inicial** de motoristas acostumados com câmbio manual e motor a diesel.
- **Curva de aprendizagem na direção regenerativa.** Grande parte da mão de obra oriundas de sistemas a combustão pode apresentar hábitos ao acelerar e frear bruscamente.
- **Falta de simuladores de direção elétrica** na maioria das cidades brasileiras.

OPORTUNIDADES

- **Implementação de programas de treinamento técnico** para as equipes de manutenção, focados em sistemas de alta tensão, eletrônica de potência e protocolos de segurança (NR10 e NR12), elevando a qualificação de profissionais de mecânica diesel para a eletromobilidade.
- **Capacitação de motoristas em técnicas de condução regenerativa e frenagem por antecipação**, capazes de ampliar a autonomia dos veículos e reduzir o desgaste excessivo de componentes como pneus e freios.
- **Inclusão de módulos transversais de atendimento ao cliente e direção defensiva nos treinamentos**, transformando motoristas em agentes de comunicação que educam a população sobre os benefícios ambientais e tecnológicos da nova frota.
- Promoção da inclusão produtiva e justiça social através de **programas de formação voltados para mulheres, jovens e populações vulneráveis**, aproveitando o ambiente operacional mais silencioso e ergonômico (sem troca de marchas e com baixa vibração) para equilibrar a diversidade de gênero no setor.
- **Estabelecimento de parcerias estratégicas com instituições** como o SEST SENAT e outras escolas técnicas para a criação de currículos padronizados de baixo custo, garantindo a certificação profissional em larga escala para operadores e mantenedores.
- **Requalificação das equipes de planejamento e CCO** (Centro de Controle Operacional) para o gerenciamento de dados de telemetria em tempo real, **permitindo a gestão eficiente do estado de carga (SoC)** e a intervenção imediata em caso de desvios operacionais.
- **Utilização da redução do esforço físico, da melhoria da saúde e do bem-estar no ambiente de trabalho como ferramenta de retenção de talentos**, reduzindo o turnover e os custos associados ao recrutamento constante de mão de obra.

ORIENTAÇÕES

- **Planos específicos para requalificar mecânicos de motores diesel**, evitando demissões em massa e garantindo a absorção dessa mão de obra na nova tecnologia.
- Capacitar motoristas visando ampliar o espectro de conhecimento, não se limitando apenas a tecnologia, mas também a importância social e climática do processo de eletrificação, reduzindo resistência inicial de motoristas de modelos à combustão.
- Incluir no edital **programa obrigatório de simulação de direção elétrica** e reciclagem periódica.
- Criar **incentivos baseados em desempenho** operacional, vinculados à telemetria.

1.6 Alternativas para Iniciar a Transição Energética

Iniciar o processo de transição energética por meio da substituição de ônibus à combustão por ônibus elétricos é um desafio complexo, que envolve variáveis técnicas, operacionais e financeiras. Diversas cidades ao redor do mundo têm estruturado esse processo de maneiras diferentes: algumas optam por estratégias mais robustas, com substituição em larga escala ou completa da frota, enquanto outras iniciam com projetos-piloto e avançam de forma gradual. Não há uma abordagem única ou ideal, uma vez que fatores como topografia, capacidade da rede elétrica, condições contratuais e disponibilidade de financiamento influenciam diretamente a tomada de decisão.

Estratégias mais abrangentes, com substituição acelerada da frota, tendem a capturar ganhos de escala mais rapidamente, especialmente relacionados à redução de custos operacionais, como manutenção, consumo energético e eliminação de despesas com combustíveis, óleos e lubrificantes. Tudo isto sem contar com impactos diretos na qualidade do ar, saúde e percepção de melhoria do sistema por eliminar ruídos excessivos dos motores à combustão.

Por outro lado, a adoção gradual tem se mostrado uma alternativa consistente, permitindo o desenvolvimento progressivo da curva de aprendizado dos operadores e motoristas, a adaptação dos processos operacionais e a mitigação de incertezas tecnológicas e institucionais. Nesse contexto, a transição gradual possibilita priorizar linhas mais favoráveis à eletrificação, maximizando o desempenho dos veículos e a eficiência do sistema. Além disso, a convivência temporária entre frotas elétrica e convencional (frotas mistas) amplia a flexibilidade operacional, permitindo avançar na eletrificação mesmo em cenários com restrições técnicas ou operacionais mais desafiadoras.

A magnitude dos investimentos iniciais em ativos de alto custo (frota, baterias e equipamentos de recarga), exige um papel proativo e estratégico do poder público. A capacidade de endividamento e o acesso das municipalidades a fontes de financiamento com taxas diferenciadas, tanto em âmbito nacional, via Novo PAC, Caixa e BNDES, quanto internacional, por meio de bancos de fomento como KfW, BIRD, BID, AFD e outros, representam um diferencial competitivo para a viabilização dos projetos.

A estruturação de propostas junto à Comissão de Financiamentos Externos (COFLEX) pode permitir o acesso a créditos com garantia da União e custos efetivos até três vezes inferior aos praticados pelo mercado privado. Assim, ao assumir a responsabilidade pela infraestrutura ou pelo aporte inicial em ativos, o poder público pode estabelecer modelos de cessão de uso aos operadores, desonerando o fluxo de caixa do sistema de transporte e garantindo que o benefício financeiro da economia operacional elétrica seja plenamente revertido na modicidade tarifária.

OPORTUNIDADES

- **Aumentar a percepção de qualidade do serviço**, com veículos mais modernos, silenciosos e confortáveis, contribuindo para maior atratividade do transporte coletivo.
- **Reduzir custos operacionais ao longo do tempo**, especialmente com energia e manutenção, aumentando a sustentabilidade econômica do sistema.
- **Possibilitar a reestruturação do modelo operacional**, incorporando inovação tecnológica, digitalização e maior eficiência na gestão da frota.

DESAFIOS

- **Alto investimento inicial** para aquisição de veículos e implantação da infraestrutura de recarga.
- **Limitações da infraestrutura elétrica**, especialmente em garagens que demandam reforços de rede ou em conexão de média e alta tensão.
- Necessidade de **adaptação operacional**, incluindo capacitação de equipes, revisão de processos e gestão das novas tecnologias.

ORIENTAÇÕES

- **Planejar a infraestrutura de recarga de forma integrada à operação, especialmente em áreas públicas**, evitando subutilização de ativos e gargalos de potência.
- Explorar modelos financeiros e institucionais inovadores, **como PPPs ou financiamento público**, para viabilizar os investimentos iniciais, reduzir riscos e taxas de financiamento.
- Se houver limitações financeiras, adotar **estratégia faseada**, iniciando por linhas mais favoráveis do ponto de vista operacional.
- **Avaliar possibilidade de financiamento público** pode permitir reduzir custo efetivo do projeto e alcançar modicidade tarifária.

SEÇÃO 02

Dimensão Ambiental e Climática

2.1 Alternativas Tecnológicas visando Redução de Emissões

A eletrificação do transporte público urbano é uma das ações com maior potencial de contribuição para as metas climáticas brasileiras. O setor de transportes responde por aproximadamente 25% das emissões totais de GEE do país e por cerca de 48% das emissões de CO₂ de origem energética, sendo o transporte rodoviário a principal fonte nessa categoria. Nesse contexto, a transição para ônibus elétricos representa uma contribuição direta ao cumprimento das Contribuições Nacionalmente Determinadas (NDCs) do Brasil e ao Plano Clima.

Marco Legal e Compromissos Climáticos

O Brasil atualizou sua NDC em 2023, comprometendo-se a reduzir as emissões de GEE em 48% até 2025 e 53% até 2030, em relação a 2005. O Plano Clima, lançado em 2026, define estratégias setoriais de descarbonização, com metas de zerar emissões até 2050 com foco na eletrificação do transporte público coletivo. A Política Nacional de Mobilidade Urbana (Lei 12.587/2012) e sua revisão através do Novo Marco Legal e o Novo PAC também estabelecem diretrizes para a redução de emissões no transporte público coletivo.

Além dos ônibus elétricos a bateria, outras tecnologias de fontes de energia têm sido debatidas como alternativas para a descarbonização do transporte público coletivo.

O hidrogênio, especialmente em células a combustível, apresenta-se como uma opção tecnicamente promissora, com zero emissão de escapamento, alta autonomia e recarga rápida. No entanto, a produção de hidrogênio verde, obtida por eletrólise a partir de fontes renováveis, ainda enfrenta custos substancialmente mais elevados do que outras tecnologias de zero emissão, além de demandar infraestrutura dedicada de armazenamento, distribuição e abastecimento que representa um desafio considerado para a maioria dos municípios brasileiros (C40 Cities, ICCT & ZEBRA, 2023).

O gás natural comprimido (GNC) é frequentemente apresentado como solução de transição pois emite menos MP em comparação ao diesel. No entanto, o metano (CH₄) é um gás de efeito estufa com potencial de aquecimento global muito superior ao CO₂. Segundo o 6º Relatório do IPCC (AR6, 2021), o metano possui um Potencial de Aquecimento Global (GWP) de aproximadamente 30 vezes em horizonte de 100 anos (GWP100) e cerca de 83 vezes em horizonte de 20 anos (GWP20).

Nesse contexto, vazamentos ao longo da cadeia de produção, transporte e distribuição do gás natural, mesmo em pequenas proporções, podem neutralizar integralmente os ganhos climáticos esperados em relação ao diesel (IEA Methane Tracker, 2021).

O diesel Euro VI (fase P8 do CONAMA) representa a tecnologia de combustão mais avançada disponível, equipada com sistemas de pós-tratamento como filtros de partículas (DPF) e catalisadores de redução seletiva (SCR), que reduzem significativamente as emissões locais de NOx e MP. Ainda que esses sistemas possam atingir alta eficiência para poluentes de escapamento, a dependência estrutural da cadeia de combustíveis fósseis não é eliminada: a pegada de carbono associada à extração, refino e distribuição do diesel permanece como um limite intransponível às metas climáticas de longo prazo.

Os ônibus elétricos a bateria apresentam desafios associados ao ciclo de vida de baterias, especialmente no que se refere à gestão de matéria prima e reciclagem ao final de sua vida útil. Entretanto, esse campo evolui de forma acelerada: as baterias de nova geração são mais densas, mais leves e mais duráveis; ao término da vida útil no veículo (estimada entre 8 e 10 anos) ainda retêm entre 60% e 65% da capacidade original, viabilizando reaproveitamento como sistemas de armazenamento estacionário de energia ("segunda vida"); e, ao final desse ciclo estendido, tecnologias de reciclagem atuais já permitem a recuperação de materiais críticos como lítio, cobalto e níquel, reduzindo a demanda por extração de matéria-prima virgem (WRI, 2023; ICCT, 2023). A combinação desses avanços com a matriz elétrica predominantemente renovável do Brasil consolida os ônibus elétricos a bateria como a alternativa de menor risco sistêmico e maior maturidade tecnológica disponível atualmente para a transição do transporte coletivo urbano.

FONTES E REFERÊNCIAS

IPCC AR6 (2021). Climate Change 2021: The Physical Science Basis, WG I.
IEA (2021). Methane Tracker: Methane and Climate Change.
C40 Cities, ICCT & ZEBRA (2023). Pipeline of Electric Bus Projects in Latin America.
WRI (2023). Creating a Sustainable Future for Electric Bus Batteries.
ICCT (2023). Scaling Up Reuse and Recycling of Electric Vehicle Batteries.

2.1 Alternativas Tecnológicas — Análise de Ciclo de Vida

O processo de eletrificação de frota com ônibus elétricos à bateria resulta em zerar as chamadas emissões de escapamento. Isto é, se substitui os veículo movido à combustão com emissão de gases poluentes e material particulado por elétricos que não possuem escapamento de gases por onde circulam.

Na estimativa de redução de emissões, é importante conhecer dois níveis de análise amplamente utilizados na literatura: as emissões "do Tanque à Roda" (TAR), e as emissões "do Poço à Roda" (PAR). No caso dos ônibus elétricos a bateria, as emissões de escapamento (TAR) são nulas, o que já representa um ganho direto em termos de qualidade do ar urbano.

No entanto, uma avaliação mais completa considera também as emissões associadas à produção e ao fornecimento da energia elétrica utilizada na recarga, assim como, no caso dos veículos a diesel, as emissões relacionadas à extração, refino e distribuição do combustível até o ponto de abastecimento. Essa abordagem ampliada (PAR) permite uma comparação mais robusta entre tecnologias e, em geral, reforça ainda mais a vantagem ambiental dos ônibus elétricos, especialmente em países com matriz elétrica relativamente limpa como o Brasil, ao evidenciar que, mesmo considerando todo o ciclo energético, as emissões totais permanecem significativamente inferiores às dos sistemas baseados em combustíveis fósseis.

A abordagem do Poço à Roda (PAR) resulta em formulações mais complexas, pois considera todo o ciclo energético, desde a produção e processamento da energia até o consumo final no veículo. No entanto, ao contrário do que muitas vezes se assume, o Brasil não é autossuficiente no refino de petróleo e depende da importação de derivados. Embora seja um relevante produtor de petróleo, parte do óleo extraído é exportada para refino no exterior e posteriormente reimportada na forma de combustíveis. Esse processo logístico adicional implica em emissões associadas ao transporte e ao refino, ampliando a pegada de carbono dos combustíveis fósseis sob a ótica "do Poço à Roda" (PAR).

Dessa forma, a análise completa do ciclo de vida pode revelar situações em que, dependendo das condições, até mesmo a geração elétrica a partir de fontes mais intensivas em carbono apresenta pegadas comparáveis ou inferiores às associadas à cadeia completa de produção e distribuição de combustíveis como diesel e gasolina.

OPORTUNIDADES

- **Zerar emissões de escape** é um diferencial na implantação de ônibus elétricos movidos a bateria, impactando na qualidade do ar, impactando na saúde tanto da população ao longo dos corredores, quanto de motoristas e equipe operacional, que ficam menos expostos a insalubridade de ambientes com motores movidos à combustão.
- **Reduzir de ruídos e trepidação** para os passageiros, aumentando o conforto da viagem, e nos corredores por onde passam os ônibus, reduzindo significativamente a poluição sonora.
- **Prever futura otimização de aumento da eficiência energética:** as baterias de ônibus elétricos possuem potencial de segunda vida, podendo servir como geradores ou de armazenagem de energia para substituir o consumo da rede de energia nos períodos de picos de tarifa.
- **Aproveitar estabilidade do setor:** ao contrário de combustíveis fósseis que necessitam ser refinados no exterior e possuem oscilações de preço com base em situações geopolíticas internacionais, o Brasil possui autonomia no cenário de energia elétrica, inclusive, vendendo para países vizinhos.

DESAFIOS

- **Iniciar a operação com frota mista** pode resultar em reduzir impactos dos resultados.
- **Incluir tecnologias de baixa emissão** em projetos, como motorização Euro VI e GNV, terminam mantendo os sistemas dependentes fontes emissoras de poluentes.

ORIENTAÇÕES

- **Garantir capacitação de motoristas e equipe operacional** para compreender que a transição energética é mais do que só um avanço tecnológico, mas também um compromisso frente às emergências climáticas.
- **Verificar junto à distribuidora de energia local** possíveis parcerias para facilitar investimentos em fontes alternativas de energia como painéis solares nas garagens para otimizar os ganhos da operação.
- **Maximizar ganhos econômicos e impactos climáticos** priorizando a alocação de ônibus elétricos em linhas com maiores produções quilométricas ainda que isto demande infraestrutura de recarga rápida ou carga de oportunidade.
- **Viabilizar infraestrutura de recarga rápida e robusta e negociar valores de kWh** com operadora local através investimentos públicos para consolidar a confiança em investimentos de frota por parte da iniciativa privada.

2.2 Exemplo para Cálculo de Redução de Emissões

Para fins práticos, recomenda-se que as cidades simplifiquem a aferição da redução de emissões por meio de parâmetros baseados no consumo direto dos veículos, considerando modelo, eficiência energética e fatores de conversão. Esse cálculo permite mensurar os impactos diretos locais, que afetam diretamente o contexto urbano, saúde e bem-estar das pessoas daquele contexto. Como referência, a tabela a seguir utiliza dados catalogados pela SPTrans, em São Paulo, em 2026, que por motivos de diversidade de frota e condições operacionais são amplamente reconhecidos e adotados por diversos municípios brasileiros. Ressalta-se, contudo, que tais valores podem variar entre cidades, sendo recomendável, sempre que possível, o uso de dados locais de consumo.

Tabela 1 – Fatores de Consumo de Combustível por Modelo de Ônibus

Tipologia	Fatores de Consumo SEM Ar-Condicionado		Fatores de Consumo COM Ar-Condicionado	
	Valores em l/km	Valores em kg/km	Valores em l/km	Valores em kg/km
Miniônibus	0,300	0,252	0,350	0,294
Midiônibus	0,400	0,336	0,470	0,395
Básico	0,460	0,386	0,530	0,445
<i>padron</i>	0,550	0,462	0,630	0,529
Articulado (18m)	0,710	0,596	0,800	0,672
Articulado (23m)	0,750	0,630	0,850	0,714
Biarticulado	0,800	0,672	0,900	0,756

* Referência SPTrans.

Tabela 2 – Fatores de Emissão por Motorização

Fase CONAMA	NOx (kg/kg diesel)	MP (kg/kg diesel)	CO ₂ (kg/L diesel)
P5 EURO III	0,020982	0,000388	2,671
P7 EURO V	0,006575	0,000055	2,671
P8 EURO VI	0,001112	0,000026	2,671

** Referência do CONAMA.

O objetivo é estimar a redução de emissões de escapamento resultante da substituição de ônibus movidos a motores de combustão por veículos elétricos. Para isso, se faz necessário levantar as seguintes informações. Para realizar os cálculos corretamente, o sistema necessita fornecer, pelo menos, os dados de Produção Quilométrica, Tecnologia e modelo de Ônibus informando se é com ou sem ar-condicionado e a motorização correspondente. Abaixo é realizado um exemplo ilustrativo para realizar o cálculo das emissões com dados referente de apenas ônibus *padron* com rodagem um pouco abaixo da média para fins de exemplificação:

Parâmetro	Valor
Produção Km Anual	50.000 km / ano
Tecnologia e modelo	Ônibus <i>padron</i> com ar-condicionado
Motorização de referência	EURO V, fase P7 do CONAMA

Com base nos parâmetros de quilômetros rodados na tabela anterior deste exemplo, são coletados os fatores de referência na tabela de consumo de litros por quilômetro. No caso, para o modelo *padron* com ar-condicionado, o valor de referência é 0,630 para L/km, resultando em na fórmula a seguir:

PASSO 1 – CONSUMO DE DIESEL EM LITROS

Consumo de Diesel (L) = Produção Km Anual × Fator de Consumo Correspondente na Tabela 1
Consumo de Diesel (L) = 50.000 × 0,630
Consumo de Diesel (L) = 31.500 L

Com base nos mesmos parâmetros de quilômetros rodados, são coletados os fatores de referência na tabela de consumo de kg por quilômetro. No caso, para o modelo *padron* com ar-condicionado, o valor de referência é 0,529 para kg/km, resultando em:

PASSO 2 – CONSUMO DE DIESEL EM KG

Consumo de Diesel (Kg) = PQA × F-Consumo
Consumo de Diesel (Kg) = 50.000 × 0,529
Consumo de Diesel (Kg) = 26.450 Kg

De posse das referências de consumo levantadas, é possível proceder com os cálculos de emissões de cada poluente.

2.2 Exemplo para Cálculo de Redução de Emissões: CO₂, MP e NOx

PASSO 3 — EMISSÕES DE CO₂ DE ESCAPAMENTO

Emissões de CO₂ = Consumo Diesel (L) × Fator de Emissão Correspondente na Tabela 2

Emissões de CO₂ = 31.500 × 2,671

Emissões de CO₂ = 84.136,50 Kg de CO₂ evitados por ano

A título de referência, os 84.136 kg de CO₂ evitados anualmente com este exemplo equivalem à capacidade de absorção estimada de aproximadamente 3.825 árvores adultas plantadas, considerando a média de 22 kg de CO₂ absorvidos por árvore ao ano (referência IPCC/SFB). Em uma rede com diversas linhas eletrificadas, esse equivalente cresce para centenas de milhares de árvores, evidenciando o potencial climático da eletrificação.

PASSO 4 — EMISSÕES DE MATERIAL PARTICULADO

Emissões de MP = Consumo Diesel (Kg) × Fator de Emissão Correspondente na Tabela 2

Emissões de MP = 26.450 × 0,000055

Emissões de MP = 1,454 Kg de MP evitados por ano

O Material Particulado (MP) é classificado em duas frações principais: MP10 (partículas com diâmetro inferior a 10 micrômetros, que atingem as vias respiratórias superiores) e MP2,5 (menores que 2,5 micrômetros, capazes de entrar na corrente sanguínea). Ambas estão associadas a doenças respiratórias e cardiovasculares, sendo o MP2,5 especialmente preocupante pela maior capacidade de penetração no organismo. A eliminação dessas emissões em rotas eletrificadas traz benefícios diretos à saúde da população ao longo dos corredores de ônibus, com impactos ainda mais relevantes em crianças, ao reduzir riscos que podem comprometer sua saúde no futuro.

PASSO 5 — EMISSÕES DE NOx

Emissões de NOx = Consumo Diesel (Kg) × Fator de Emissão Correspondente na Tabela 2

Emissões de NOx = 26.450 × 0,006575

Emissões de NOx = 173,9 Kg de NOx evitados por ano

Os óxidos de nitrogênio (NOx) são gases emitidos principalmente pela combustão de combustíveis fósseis e, no ambiente urbano, contribuem para a formação de ozônio troposférico, partículas finas secundárias e chuva ácida. Sua exposição ao NOx está associada a doenças respiratórias (como asma e bronquite) e ao agravamento de condições cardiovasculares. A eliminação dessas emissões contribui para a melhoria da qualidade do ar nos corredores urbanos de maior fluxo.

OPORTUNIDADES

- **Apoiar na captação de financiamento climático e na geração de créditos de carbono:** bancos multilaterais e fundos climáticos exigem estimativas de emissões evitadas como parte da elegibilidade e da prestação de contas, e a quantificação rigorosa das reduções é pré-requisito para eventual monetização dessas emissões em mercados regulados.
- **Subsidiar negociações contratuais e licitatórias:** a quantificação das emissões oferece um argumento técnico sólido para incluir cláusulas de desempenho ambiental de impacto mensurável.
- **Transformar dados técnicos em comunicação pública,** traduzindo os resultados em equivalências acessíveis, como toneladas de CO₂ evitadas, número de árvores equivalentes etc.
- **Estabelecer a linha de base do projeto,** quantificando com precisão o ponto de partida e tornando possível definir metas mensuráveis e acompanhar o avanço real da transição.

DESAFIOS

- **Ausência de dados históricos confiáveis:** muitos municípios não dispõem de séries históricas de produção quilométrica ou consumo de combustível.
- **Parâmetros de consumo locais de difícil acesso:** os fatores de consumo podem variar conforme topografia, condições de tráfego e estado da frota.
- **Heterogeneidade das frotas:** linhas e sistemas operados por veículos de diferentes modelos, ano de fabricação e motorizações tornam o cálculo mais complexo, exigindo levantamento individual.
- **Atualização dos fatores de emissão:** acompanhar a literatura técnica e os marcos regulatórios, uma vez que as fases do CONAMA evoluem com a chegada de novas motorizações e tecnologias.

ORIENTAÇÕES

- **Monitorar e consolidar metas anuais:** o cálculo de emissões só gera valor de gestão se for feito de forma periódica. Recomenda-se coleta mensal dos dados do sistema e consolidação anual de metas e resultados, criando uma série histórica para avaliar tendências e traçar objetivos reais.
- **Fazer a gestão do dado:** estabelecer fluxos claros de fornecimento de dados entre operadores, gestores e poder concedente, e tratar esse processo como rotina contratual, é o que transforma a metodologia em ferramenta real de governança.
- **Documentar as premissas e fontes:** registrar quais referências de consumo e fatores de emissão foram utilizados, e em que data, garante rastreabilidade, facilita auditorias e permite que os cálculos sejam atualizados sem perda de consistência metodológica ao longo do tempo.

2.3 Co-benefícios Ambientais e de Saúde Pública

Além da redução de CO₂, a eletrificação gera co-benefícios relevantes para a saúde pública urbana. O transporte rodoviário responde por 30 a 50% das concentrações de MP_{2,5} em grandes centros, enquanto veículos elétricos apresentam intensidade desse poluente até três vezes menor por quilômetro percorrido (World Bank, 2026). A poluição do ar proveniente de veículos, especialmente o material particulado (MP_{2,5} e MP₁₀) e os óxidos de nitrogênio (NO_x) emitidos por ônibus a diesel, é uma das principais ameaças à saúde urbana. Segundo a Fiocruz, a exposição crônica ao material particulado está associada ao aumento de doenças cardiovasculares e respiratórias, com impactos mais severos em crianças, idosos e pessoas com comorbidades. O MP_{2,5}, em especial, que é ligado a infarto, AVC, DPOC e câncer de pulmão.

Estudos do WRI Brasil indicam que a poluição do ar causa mais de 50 mil mortes anuais no país. O CDP (2021) estimou custos superiores a R\$ 8,5 bilhões por ano nas capitais brasileiras, considerando mortes prematuras e gastos em saúde. Há evidências de que viver em cidades poluídas pode aumentar em até 75% o risco de ataque cardíaco.

No contexto do sistema público de saúde, dados do Ministério da Saúde de 2019 mostram que internações por doenças respiratórias custaram mais de R\$ 1,3 bilhão ao SUS em 2018. Projeções do IEMA e do WRI Brasil indicam que, em seis regiões metropolitanas (23% da população), a poluição do ar poderá causar cerca de 128 mil mortes e 70 mil internações entre 2018 e 2025, com custos relevantes ao sistema de saúde.

No âmbito local, estudo da Fiocruz em Salvador identificou o MP_{2,5} como principal poluente associado a internações e mortes por doenças respiratórias e cardiovasculares no transporte urbano, resultado alinhado a evidências nacionais sobre a relação entre poluição e morbidade hospitalar.

Os benefícios da eletrificação também incluem ganhos econômicos e sociais: a redução da poluição diminui afastamentos por doenças, melhora a produtividade e reduz custos previdenciários. Em São Paulo, esses impactos chegam a US\$ 208 milhões anuais. Soma-se ainda a redução do ruído urbano (até 10 dB), com efeitos positivos sobre sono, saúde mental e qualidade de vida, especialmente em áreas mais densas e de menor renda, reforçando o caráter de equidade da transição energética.

FONTES E REFERÊNCIAS

IPCC AR6 (2021). Climate Change 2021: The Physical Science Basis, WG I.

Fiocruz/ICICT. Observatório de Clima e Saúde. climaesaude.iciict.fiocruz.br

Fiocruz Bahia / C40 Cities (2021). Benefits of Climate Action Salvador: Benefits of Upgrading the Municipal Bus Fleet

Ministério da Saúde (2019). Saúde Brasil 2018

IEMA / WRI Brasil (2021). O Estado da Qualidade do Ar no Brasil

CDP (2021). Mudança do Clima e Saúde Urbana — Impactos e Oportunidades para as Cidades Brasileiras.

WRI Brasil. Qual o impacto da poluição do ar na saúde?

Nardocci et al. Poluição do ar e doenças respiratórias e cardiovasculares: estudo de séries temporais em Cubatão, SP. Cadernos de Saúde Pública, Fiocruz.

CO-BENEFÍCIOS DIRETOS

- Eliminação de emissões de **PM_{2,5} e PM₁₀** no escapamento
- Eliminação de emissões de **NO_x e óxidos de enxofre**
- Redução drástica do **ruído urbano** (até -10 dB vs. diesel)
- Melhoria da qualidade do ar nos **corredores de ônibus**, especialmente em áreas de alta densidade

CO-BENEFÍCIOS INDIRETOS

- Redução dos custos do **sistema de saúde pública** associados a doenças respiratórias
- Aumento do **conforto e satisfação** dos usuários do TPC
- **Valorização imobiliária** em corredores eletrificados
- Contribuição para **ODS 3** (saúde), **ODS 11** (cidades) e **ODS 13** (clima)

2.4 Alinhamento com Políticas Climáticas Nacionais

A eletrificação de frotas de ônibus está diretamente alinhada com as principais políticas climáticas nacionais, consolidando-se como uma estratégia concreta para o cumprimento das metas de redução de emissões assumidas pelo país. Em um setor historicamente intensivo em carbono, a substituição de veículos a diesel por tecnologias de zero emissão contribui de forma direta para compromissos como a NDC brasileira, o Plano Clima e as diretrizes da Política Nacional de Mobilidade Urbana, reforçando o papel da mobilidade sustentável na transição energética.

Esse alinhamento também se traduz em maior prioridade dentro das agendas de investimento público. Programas como o Novo PAC direcionam recursos para projetos que priorizem o transporte coletivo e estejam aderentes aos compromissos climáticos, criando uma janela importante para a renovação de frotas e implantação de infraestrutura associada. A coerência com essas políticas aumenta a competitividade dos projetos e sua capacidade de captação de recursos.

Além disso, instrumentos e procedimentos do governo federal voltados à viabilização de financiamentos, como aqueles coordenados pela COFLEX, consideram o alinhamento a áreas estratégicas como critério relevante para aprovação. Isso possibilita o acesso a financiamentos externos com condições mais atrativas e garantia da União. Em paralelo, mecanismos como o mercado de carbono tendem a ampliar ainda mais a viabilidade econômica da eletrificação, ao permitir a geração de ativos associados à redução de emissões.

Atenção sobre o GNV e o PATEN: Embora a Lei 15.103/2025 inclua o gás natural (GNV) como tecnologia elegível de transição, estudos recentes do ICCT Brasil e da aliança C40/ZEBRA demonstram que o GNV não apresenta ganhos expressivos em emissões de GEE no ciclo de vida em comparação ao diesel Euro VI/P8 — e pode apresentar piora, considerando as emissões fugitivas de metano.

ORIENTAÇÕES

- Priorizar tecnologias com **benefícios climáticos comprovados** para acesso a financiamentos verdes e fundos climáticos internacionais.
- Integrar projetos de eletrificação ao **reporte para NDC e Plano Clima** para demonstrar comprometimento com metas climáticas nacionais.
- Estruturar sistemas de **Monitoramento, Reporte e Verificação** robustos para acessar financiamentos do Fundo Verde do Clima (GCF) e outros mecanismos internacionais.

Instrumento de Política	Relação com a Eletrificação de Frotas
NDC Brasileira (2023)	Metas de redução de 48% até 2025 e 53% até 2030 (base 2005). A eletrificação do TPC contribui diretamente para a meta setorial de mobilidade urbana sustentável.
Plano Clima (2026)	Estratégia nacional de descarbonização com metas específicas para o setor de transportes, incluindo eletrificação do transporte público coletivo.
PNMU – Lei 12.587/2012	Estabelece diretrizes para a mobilidade urbana sustentável. Projetos de eletrificação são plenamente aderentes à Política Nacional de Mobilidade Urbana.
Novo PAC	Financiamento federal com recursos para renovação de frota e infraestrutura de mobilidade sustentável através do Programa de Aceleração do Crescimento, eixo Cidades Sustentáveis e Resilientes, subeixo Mobilidade Urbana Sustentável.
PATEN – Lei 15.103/2025	Institui o Programa de Aceleração da Transição Energética, incluindo eletrificação de frotas entre as tecnologias elegíveis para financiamento.
Mercado de Carbono Brasileiro (SBCE)	A redução de emissões pela eletrificação pode gerar ativos de carbono negociáveis no SBCE, em processo de implementação regulatória.

SEÇÃO 03

Modelos de Negócio

A eletrificação da frota de transporte coletivo urbano não se resume a uma decisão tecnológica: ela exige, necessariamente, uma revisão do arcabouço legal e do arranjo institucional que sustentam o serviço. Durante décadas, os contratos de concessão e permissão do transporte público coletivo no Brasil consolidaram uma lógica de remuneração baseada na receita tarifária para viabilizar uma Taxa Interna de Retorno (TIR) calculada sobre os investimentos realizados pelo operador privado - tipicamente na aquisição de veículos a diesel, na infraestrutura de garagens e nos custos de operação e manutenção.

Esse modelo, estruturado para uma matriz de transporte movida a combustão interna, tem apresentado sinais claros de esgotamento mesmo na sua configuração tradicional. Os custos operacionais - particularmente combustível, insumos e mão de obra - têm oscilado de forma imprevisível e apresentado tendência de elevação, comprometendo o equilíbrio econômico-financeiro dos contratos. O ajuste recorrente pela via tarifária, historicamente utilizado para restabelecer esse equilíbrio, tem efeito contrário ao desejado: reduz a atratividade do transporte coletivo frente a alternativas como aplicativos de transporte individual e motocicletas, provoca queda de demanda e realimenta o ciclo de insuficiência de receita. Essa erosão do número de passageiros é anterior à pandemia de COVID-19, que apenas deflagrou um processo estrutural em curso.

Como resposta, diversos municípios passaram a subsidiar os custos operacionais do sistema a partir do orçamento geral. Essa alternativa, porém, não é sustentável no longo prazo quando aplicada a frotas movidas a diesel: os custos da operação a combustão tendem a permanecer em trajetória de alta, exigindo aportes públicos cada vez maiores sem contrapartida em ganhos de eficiência ou qualidade ambiental. Nesse cenário, o ônibus elétrico desponta como alternativa tecnicamente consistente, por apresentar custos de energia e manutenção significativamente inferiores aos do diesel ao longo da vida útil do veículo.

A barreira, contudo, está no CAPEX: o custo de aquisição de um ônibus elétrico é, em média, de duas a três vezes e meia superior ao de um diesel equivalente, e a infraestrutura de recarga pode impor investimentos adicionais relevantes.

A aplicação direta da lógica contratual vigente, onde o operador realiza o investimento e é remunerado via TIR sobre o capital aplicado, tende a inviabilizar a transição, pois produz uma remuneração proporcionalmente elevada que é repassada à tarifa. A saída passa, portanto, pela redistribuição das responsabilidades entre os atores e pela adoção de arranjos contratuais que dissociem o financiamento do ativo da operação do serviço.

Nesse reordenamento, o poder público pode assumir parte dos investimentos, seja na infraestrutura de recarga, nas baterias ou mesmo nos veículos, alterando a equação de remuneração do operador. Em São Paulo, por exemplo, foi adotado o modelo de subvenção parcial: reconhecendo que a eletrificação reduz a pressão futura sobre os subsídios operacionais, a municipalidade arca com o diferencial entre o custo do ônibus elétrico e o de referência a diesel, enquanto o operador mantém o compromisso financeiro equivalente ao do modelo convencional. Esse arranjo é suportado por um desenho institucional sofisticado, que envolve precificação, controles e indicadores de desempenho.

A LÓGICA DO TCO E O LIMITE DO MODELO CONTRATUAL TRADICIONAL

Embora o custo de aquisição de um ônibus elétrico seja superior, o Custo Total de Propriedade (TCO) — que agrega CAPEX, OPEX e custos de energia ao longo da vida útil — tende a ser igual ou inferior ao do diesel em rotas com alta quilometragem diária. Estudos do programa ZEBRA/C40 para São Paulo (2024) (p.12) indicam que o modelo de subvenção parcial tem potencial de gerar economias superiores a R\$ 4,8 bilhões para a Prefeitura em comparação ao financiamento tradicional. A reconfiguração contratual é, portanto, o instrumento que permite capturar esse ganho de TCO sem penalizar a tarifa nem o orçamento municipal.

Experiências internacionais, como as de Santiago, Bogotá, Shenzhen e o Grand Challenge indiano, demonstram que a estruturação do modelo de negócio é tão determinante para o sucesso da eletromobilidade quanto a escolha tecnológica. Não há solução universal: o modelo mais adequado depende da capacidade fiscal municipal, maturidade operacional, financiamentos e arcabouço regulatório local.

Tarifa

A necessidade de modernização do modelo de remuneração

O modelo tradicional de financiamento do transporte público coletivo brasileiro, majoritariamente baseado na remuneração pela arrecadação tarifária, tem se apresentado insustentável. Atualmente, o custo total do sistema, desde custos com investimentos e operação até as integrações, gratuidades e benefícios sociais recai sobre o passageiro pagante. Essa estrutura alimenta um ciclo vicioso: a perda gradual de demanda, percebida desde muito antes da pandemia da COVID-19, reduz a receita dos operadores e limita sua capacidade de manutenção e investimento. A consequente queda na qualidade do serviço afasta mais passageiros, criando uma espiral de desvalorização que compromete a sustentabilidade do setor. A exigência de ruptura deste modelo centraliza os debates do Novo Marco Regulatório do Transporte Público Coletivo.

A instabilidade econômica e a volatilidade dos preços dos insumos operacionais, agravadas por conflitos internacionais e crises políticas, tornam o sistema de combustíveis fósseis financeiramente imprevisível. Nesse cenário, a transição para a eletromobilidade surge como uma oportunidade estratégica para a modicidade tarifária. Embora exija um investimento inicial elevado, a operação elétrica oferece custos variáveis significativamente menores e maior estabilidade nos preços de energia. Essa eficiência permite a migração para um modelo de remuneração por quilômetro rodado, possibilitando a separação definitiva entre a tarifa pública (paga pelo usuário) e a tarifa técnica (que remunera o custo real do serviço), garantindo que ganhos de eficiência operacional sejam revertidos em benefício da sociedade.

Diante desse potencial de reestruturação, a definição de novos modelos de negócio torna-se essencial para viabilizar a transição tecnológica e financeira. Cada modelo de negócio distribui de forma distinta três elementos:

- (i) a responsabilidade pelos custos operacionais, habitualmente atribuída ao operador;
- (ii) a responsabilidade pelos investimentos — que podem recair sobre frota, baterias ou infraestrutura de recarga, isolada ou conjuntamente; e
- (iii) o fluxo de remuneração, que pode combinar tarifa, pagamento por quilômetro, pagamento por disponibilidade e subvenção pública.

Nas seções seguintes, detalharemos as principais modelagens aplicáveis a esse novo contexto.

Panorama

Síntese dos Modelos de Negócio (3.1 a 3.7)

Modelo	CAPEX da Frota	Infraestrutura de Recarga	Remuneração
3.1 Verticalmente Integrado (Tradicional)	Operador	Operador (ou poder público)	Tarifa por passageiro ou km rodado
3.2 Subvenção Parcial	Operador + Poder público (diferencial elétrico/diesel)	Operador	Operador paga valor-referência do diesel; poder público cobre o diferencial
3.3 Responsabilidade Distribuída	Poder público ou SPE	Poder público ou SPE	Pagamento por km ao operador; leasing ao detentor dos ativos
3.4 Leasing Financeiro	Arrendador (fabricante, SPE ou distribuidora)	Arrendador ou operador	Operador paga leasing mensal; recebe tarifa/km
3.5 Leasing Parcial (separação chassi/bateria)	Operador (chassi); Arrendador (bateria)	Operador	Operador paga leasing da bateria; recebe tarifa/km
3.6 Subvenção Total com Operação Privada	Poder público	Poder público	Poder público viabiliza os ativos; e operador recebe por km ou desempenho
3.7 PPP com Separação de Contratos	Fornecedor da frota (contrato dedicado)	Fornecedor da frota ou poder público	Pagamento por disponibilidade ao fornecedor; tarifa/km ao operador

REFERÊNCIAS DESTA SEÇÃO

WRI Brasil (2023). Guia de Eletromobilidade: orientações para estruturação de projetos no transporte coletivo por ônibus. Cap. 3.3.3.

WRI Brasil (2023). Caderno Técnico de Referência para Eletromobilidade nas Cidades Brasileiras, Volume I. Cap. 4.

Albuquerque, C. (2024). Modelos de Negócio para Eletromobilidade. Apresentação, WRI Ross Center for Sustainable Cities.

Wady, A. (Acoplar, 2026). Aspectos jurídicos dos modelos de contratação — evento de fechamento do projeto Acoplar, março de 2026.

C40 / ZEBRA / ICCT (2024). Análises de viabilidade econômico-financeira do modelo de subvenção parcial para São Paulo.

3.1 Modelo Verticalmente Integrado (Tradicional)

Operador privado concentra a totalidade das responsabilidades de investimento, operação e manutenção.

No modelo verticalmente integrado, o operador privado é o responsável por todo o ciclo do serviço: adquire os ônibus (chassi e bateria), constrói ou mantém a garagem, investe na infraestrutura de recarga, opera e mantém a frota e contrata diretamente o fornecimento de energia junto à distribuidora ou negocia no mercado livre de energia. A remuneração ocorre pela via tarifária e, quando aplicável, por pagamento por quilômetro rodado, com eventual complementação por subsídio operacional do poder público. É o arranjo mais simples do ponto de vista institucional, por replicar a estrutura consolidada dos contratos de concessão a diesel.

Para a eletromobilidade, este modelo concentra no operador o risco tecnológico das baterias, o risco de obsolescência dos equipamentos de recarga e a totalidade do CAPEX da transição. Em contratos nos quais a remuneração incorpora TIR sobre o capital investido, o alto custo inicial do elétrico tende a produzir elevações tarifárias relevantes, o que pode comprometer a viabilidade da adoção sem aportes públicos complementares.

Componente	Responsável
Propriedade dos veículos	Operador
Propriedade da bateria	Operador
Operação dos veículos	Operador
Manutenção de veículos e baterias	Operador
Propriedade da garagem	Operador
Infraestrutura de recarga (implementação, operação e manutenção)	Operador (ou poder público em arranjos específicos)
Fornecimento de energia	Operador (contrato direto com distribuidora)
Remuneração	Tarifa por passageiro e/ou pagamento por km rodado

QUANDO É RECOMENDADO

Recomendado para contextos em que os operadores possuem boa capacidade financeira, acesso a linhas de crédito com taxas competitivas e quando o poder público opta por não assumir riscos diretos sobre os ativos. Costuma ser o ponto de partida em cidades que desejam manter a estrutura contratual vigente, adaptando-a por meio de reajustes e cláusulas de equilíbrio econômico-financeiro.

Exemplo prático: BRT Salvador — aquisição de oito ônibus elétricos pelos operadores, com investimento público na infraestrutura de recarga (10 carregadores duplos com plug CCS2 em DC com potência de 160 kW).

OPORTUNIDADES

- **Simplicidade institucional**, por replicar o arcabouço contratual já utilizado no transporte coletivo a diesel, reduzindo o tempo de modelagem e licitação.
- **Clareza de responsabilidades**, com concentração das obrigações em um único ator, o que facilita a fiscalização pelo poder público.
- **Alinhamento de incentivos** entre eficiência operacional e rentabilidade do ativo, já que o mesmo agente opera e é proprietário da frota.

DESAFIOS

- **Concentração de CAPEX no operador**, que pode inviabilizar a adesão de operadores de médio e pequeno porte à eletrificação.
- **Exposição com impacto sobre a TIR contratual** pelos investimentos nos veículos, baterias e na infraestrutura de recarga.
- **Pressão tarifária** relevante quando o diferencial de CAPEX entre elétrico e diesel é repassado integralmente à remuneração contratual.

ORIENTAÇÕES

- **Avaliar capacidade financeira** dos operadores antes de optar por este modelo, considerando acesso a linhas de crédito como BNDES Finame Baixo Carbono e Novo PAC.
- **Prever cláusulas de equilíbrio econômico-financeiro** específicas para a tecnologia elétrica, contemplando a vida útil diferenciada das baterias e os custos de infraestrutura de recarga e energia.
- **Estruturar garantias contratuais e seguros** que mitiguem o risco tecnológico assumido pelo operador, em particular quanto ao desempenho e à durabilidade das baterias.

3.2 Modelo de Subvenção Parcial

Poder público cobre o diferencial de custo entre o ônibus elétrico e o modelo de referência a diesel.

O modelo de subvenção parcial — também denominado subvenção econômica — parte do reconhecimento de que a eletrificação reduz a pressão futura sobre os subsídios operacionais e produz externalidades positivas (qualidade do ar, saúde pública, redução de ruído) que justificam o aporte público. Nesse arranjo, o operador mantém a responsabilidade pela aquisição dos veículos, operação, manutenção e, em geral, pela infraestrutura de recarga, mas paga ao fabricante apenas o valor equivalente ao de um ônibus a diesel de referência. No caso, o termo "parcial" parte deste ponto: a diferença entre esse valor e o preço efetivo do ônibus elétrico é paga diretamente pelo poder público ao fabricante, sem que o ativo entre no balanço patrimonial da municipalidade.

Juridicamente, o arranjo se ancora no conceito de subvenção econômica: o Estado financia o investimento sem se tornar proprietário do ativo. Para resguardar o erário em eventual questionamento, é recomendável que a subvenção esteja vinculada a contratos de performance e indicadores de desempenho (KPIs) que verifiquem, por exemplo, o uso adequado da potência de recarga, a disponibilidade da frota e o cumprimento de metas ambientais. O caso paradigmático é o da Prefeitura de São Paulo, que adotou o modelo para viabilizar a expansão da frota elétrica sem onerar a tarifa.

Componente	Responsável
Propriedade dos veículos	Operador
Propriedade da bateria	Operador
Operação dos veículos	Operador
Manutenção	Operador
Infraestrutura de recarga	Operador (há variações com financiamento público)
Fornecimento de energia	Operador
CAPEX da frota — parcela equivalente ao diesel	Operador
CAPEX da frota — diferencial elétrico/diesel	Poder público (subvenção econômica paga ao fabricante)
Remuneração operacional	Tarifa e/ou pagamento por km, conforme contrato vigente

QUANDO É RECOMENDADO

Recomendado para municípios com boa classificação de crédito (CAPAG A ou B) que buscam acelerar a eletrificação em larga escala sem renegociar integralmente os contratos de concessão vigentes. Exige equipe jurídica e financeira qualificada para estruturar a subvenção e os contratos de performance associados.

Exemplo prático: São Paulo — modelo adotado pela PMSP/ SPTrans a partir de 2023, com suporte técnico do programa ZEBRA. Análises ICCT/C40 (2024) indicam potencial de economia superior a R\$ 4,8 bilhões em comparação ao modelo tradicional.

OPORTUNIDADES

- **Preserva a estrutura contratual vigente**, evitando a necessidade de relicitação e acelerando a transição.
- **Reduz a pressão tarifária**, pois o operador mantém o equivalente ao custo de referência a diesel, enquanto o poder público absorve o diferencial.
- **Captura ganhos de TCO** a longo prazo pelos custos operacionais menores do elétrico, reduzindo subsídios.
- **Mantém o ativo fora do balanço público**, simplificando a gestão patrimonial e a contratação.

DESAFIOS

- **Exige arcabouço jurídico sofisticado**, com fundamentação legal robusta para a subvenção e cláusulas de performance vinculadas a indicadores objetivos.
- **Demanda capacidade fiscal do município**, para realizar pagamentos aos fabricantes.
- **Risco de questionamento jurídico** em licitações e no controle externo, caso a estrutura de subvenção não esteja bem fundamentada em estudo técnico prévio.
- **Depende de fabricantes aptos** a operar o recebimento em duas fontes (operador e poder público), o que exige contratos tripartites bem estruturados.

ORIENTAÇÕES

- **Fundamentar a subvenção em estudo técnico** que demonstre a economia fiscal de longo prazo, as externalidades positivas e segurança jurídica.
- **Vincular o pagamento do diferencial a indicadores** de desempenho operacional (disponibilidade, quilometragem mínima, uso da potência de recarga) por meio de contratos de performance.
- **Envolver Secretaria de Fazenda e órgãos de controle** desde o início da modelagem, para garantir aderência orçamentária e evitar questionamentos posteriores.
- **Estruturar contrato tripartite** entre poder público, operador e fabricante, definindo com clareza os fluxos financeiros e as obrigações de cada parte.

3.3 Modelo de Responsabilidade Distribuída (Separação Ativos/Operação)

Separação entre quem detém os ativos e quem opera o serviço.

Neste arranjo, a propriedade da frota e da infraestrutura de recarga é atribuída ao poder público ou a uma Sociedade de Propósito Específico (SPE) constituída para esse fim, enquanto a operação é delegada a empresa privada. A separação entre ativos e operação permite mitigar a exposição do operador ao risco tecnológico e reduzir o CAPEX necessário para ingressar no sistema, ao mesmo tempo em que confere ao poder público maior controle sobre os veículos — inclusive a possibilidade de realocá-los entre linhas ou operadores ao longo do contrato.

A remuneração do operador é tipicamente estruturada por pagamento por quilômetro rodado ou por disponibilidade, enquanto o detentor dos ativos (poder público ou SPE) recebe leasing ou aluguel pelo uso da frota. Este modelo é particularmente adequado a projetos de grande escala, em que a centralização dos ativos permite ganhos de padronização, economias de escala em manutenção e maior poder de negociação junto a fabricantes.

Componente	Responsável
Propriedade dos veículos	Poder público ou SPE
Propriedade da bateria	Poder público ou SPE
Operação dos veículos	Operador privado
Manutenção dos veículos	Operador ou terceiro contratado
Infraestrutura de recarga	Poder público ou SPE
Fornecimento de energia	Operador ou poder público, a depender do contrato
Remuneração	Pagamento por km ou disponibilidade ao operador; leasing ao detentor dos ativos

QUANDO É RECOMENDADO

Recomendado para projetos em que o poder público deseja manter o controle patrimonial dos ativos para permitir realocação, padronização técnica e eventuais ganhos de escala. Garante equipamentos de qualidade e maior flexibilidade caso necessário trocar operador. Adequado também quando há SPE ou autarquia com capacidade de gestão patrimonial.

Exemplo prático: Santiago, Chile — modelo com separação entre fornecedor de frota, operador e operador de infraestrutura de recarga (companhia de energia), com mais de 2.000 ônibus elétricos em operação.

OPORTUNIDADES

- **Reduz a barreira de entrada para operadores** ao dispensá-los do CAPEX da frota, ampliando a competitividade em licitações.
- **Permite realocação estratégica dos ativos** entre linhas e operadores ao longo do contrato, conferindo flexibilidade ao sistema.
- **Favorece ganhos de padronização** técnica e economias de escala em manutenção e reposição de peças.
- **Mitiga o risco tecnológico do operador**, que passa a ser suportado pelo detentor dos ativos ou distribuído via contratos de garantia.

DESAFIOS

- **Exige capacidade pública de gestão patrimonial**, incluindo estrutura para manutenção, fiscalização e eventual substituição dos ativos.
- **Aumenta a complexidade contratual**, com necessidade de contratos de leasing, operação e, eventualmente, de manutenção simultâneos.
- **Risco de desalinhamento de incentivos** entre o operador e o proprietário dos ativos, se os indicadores não estiverem bem definidos.
- **Necessita de SPE ou autarquia** com governança adequada quando o poder público não deseja manter os ativos diretamente em seu balanço.

ORIENTAÇÕES

- **Definir indicadores operacionais claros** que alinhem os incentivos do operador à conservação e ao uso adequado dos ativos (disponibilidade, quilometragem, consumo energético).
- **Estruturar contratos interdependentes**, de forma que o desempenho operacional influencie a remuneração e a continuidade da cessão de uso dos ativos.
- **Avaliar a constituição de SPE** como alternativa à propriedade direta pelo poder público, quando houver restrições patrimoniais ou de governança.
- **Prever cláusulas de realocação** de ativos entre linhas e operadores, aproveitando a flexibilidade típica deste modelo.

3.4 Modelo de Leasing Financeiro

Arrendador (fabricante, SPE ou distribuidora) detém os ativos e os cede ao operador mediante pagamento mensal.

O leasing financeiro transfere a propriedade dos ativos — veículos e, em alguns arranjos, infraestrutura de recarga — para um arrendador especializado, que pode ser o próprio fabricante, uma SPE, uma distribuidora de energia ou um agente financeiro. O operador paga um valor mensal pelo uso dos ativos e, ao fim do contrato, pode exercer opção de compra pelo valor residual previamente pactuado. A principal vantagem é a redução substancial do CAPEX inicial exigido do operador, transferindo parte do risco tecnológico e financeiro para o arrendador, que tipicamente tem acesso a capital mais barato e maior expertise na gestão do ativo.

No contexto brasileiro, o leasing financeiro pode ser combinado com linhas de financiamento nacionais — como BNDES Finame Baixo Carbono e Novo PAC — ou internacionais (KfW, Banco Mundial, AFD e BID), ampliando a capacidade de estruturação do arranjo. O modelo é especialmente útil para operadores com restrição de CAPEX e para municípios que desejam acelerar a eletrificação sem assumir diretamente os ativos.

Componente	Responsável
Propriedade dos veículos	Arrendador (fabricante, SPE ou distribuidora de energia)
Propriedade da bateria	Arrendador
Operação dos veículos	Operador
Manutenção dos veículos	Operador (ou arrendador, conforme pactuado)
Infraestrutura de recarga	Arrendador ou operador, conforme contrato
Fornecimento de energia	Operador
Remuneração	Operador paga leasing mensal ao arrendador e recebe tarifa/km
Opção de compra ao final	Operador (mediante pagamento do valor residual)

QUANDO É RECOMENDADO

Recomendado para operadores com restrição de CAPEX e para municípios que desejam viabilizar a transição sem assumir diretamente os ativos. Adequado também para projetos-piloto, nos quais o leasing permite testar a tecnologia com menor exposição inicial.

OPORTUNIDADES

- **Reduz substancialmente o CAPEX inicial** do operador, facilitando a adesão de empresas de médio porte à eletrificação.
- **Atrai novos atores ao sistema**, como fabricantes e distribuidoras de energia, que passam a ter papel direto no arranjo de negócio.
- **Transfere parte do risco tecnológico** para o arrendador, que tipicamente possui maior capacidade de gestão e mitigação desse risco.
- **Viabiliza acesso a capital mais barato**, uma vez que arrendadores institucionais costumam ter melhor classificação de crédito do que operadores individuais.

DESAFIOS

- **Custo total ao longo do contrato** pode superar a compra direta, em função dos encargos financeiros e da margem do arrendador.
- **Exige mercado de arrendadores qualificados**, ainda em estruturação no Brasil para o segmento de ônibus elétricos.
- **Depende de garantias contratuais robustas**, para proteger o arrendador contra inadimplência e uso inadequado dos ativos.
- **Risco cambial e de taxa de juros** quando o arrendador capta em moeda estrangeira ou em linhas indexadas.

ORIENTAÇÕES

- **Estruturar cláusulas de performance** que vinculem o uso dos ativos a padrões mínimos de manutenção e operação.
- **Avaliar alternativas de financiamento** ao arrendador, combinando linhas como BNDES Finame Baixo Carbono, Novo PAC e fundos climáticos internacionais para reduzir o custo total.
- **Prever opção de compra com valor residual realista**, considerando a vida útil remanescente do veículo e da bateria.
- **Mitigar risco cambial** por meio de instrumentos de hedge ou estruturação em moeda local, quando aplicável.

3.5 Modelo de Leasing Parcial (Separação Chassi/Bateria)

Operador adquire o veículo; a bateria é arrendada de terceiro.

O leasing parcial isola o componente de maior risco tecnológico e maior peso financeiro (a bateria) e o mantém sob propriedade de um arrendador, tipicamente o fabricante ou uma empresa de energia. O operador adquire o restante do veículo (chassi, carroceria e sistemas auxiliares) e paga uma mensalidade pelo uso da bateria. Essa configuração reduz de forma significativa o CAPEX inicial e transfere ao arrendador o risco associado à vida útil, ao desempenho e à obsolescência do componente.

O arranjo é particularmente atrativo para fabricantes e empresas de energia, que podem destinar baterias em fim de vida útil no transporte a aplicações estacionárias (segunda vida), agregando valor ao ativo. Para o operador, a vantagem principal está na previsibilidade de custos, já que as mensalidades do leasing substituem gastos imprevisíveis com substituição de baterias ao longo do contrato.

Componente	Responsável
Propriedade do chassi/ carroceria	Operador
Propriedade da bateria	Arrendador (fabricante ou empresa de energia)
Operação dos veículos	Operador
Manutenção do veículo	Operador
Manutenção/substituição da bateria	Arrendador (conforme contrato)
Infraestrutura de recarga	Operador
Fornecimento de energia	Operador
Remuneração	Operador paga leasing da bateria e recebe tarifa/km

QUANDO É RECOMENDADO

Recomendado para contextos em que há incerteza sobre a vida útil da bateria, volatilidade nos preços das células ou quando o operador deseja isolar o risco tecnológico desse componente. Adequado também em parcerias com empresas de energia que tenham interesse em segundo uso das baterias.

Exemplo prático: São Paulo — piloto Transwolff/BYD (2019), com separação de contratos entre chassi e bateria, testando o modelo em escala reduzida.

OPORTUNIDADES

- **Reduz o CAPEX inicial do operador** ao isolar o componente de maior custo e risco tecnológico do pacote de aquisição.
- **Transfere risco tecnológico da bateria** para o arrendador, protegendo o operador contra degradação precoce ou obsolescência.
- **Viabiliza segunda vida das baterias**, com destinação a aplicações estacionárias após o fim da vida útil no transporte, agregando valor ao ativo.
- **Previsibilidade de custos**, com mensalidades contratualmente definidas em lugar de dispêndios imprevisíveis com substituição de componentes.

DESAFIOS

- **Complexidade contratual adicional**, com contratos distintos para chassi e bateria e necessidade de coordenação operacional entre as partes.
- **Dependência da disponibilidade de arrendadores** especializados em leasing de baterias, ainda incipiente no mercado brasileiro.
- **Risco de conflito operacional** em casos de falha de desempenho, sendo necessário definir com precisão as responsabilidades de cada parte.
- **Requisitos técnicos para substituição** exigem padronização do pack de baterias e compatibilidade com os veículos ao longo do contrato.

ORIENTAÇÕES

- **Definir com precisão as obrigações de performance** da bateria (capacidade mínima, ciclos garantidos, degradação máxima), estabelecendo mecanismos de substituição em caso de descumprimento.
- **padronizar especificações técnicas**, assegurando compatibilidade entre veículos e baterias ao longo da vida do contrato.
- **Avaliar aplicações de segunda vida** da bateria com empresas de energia, viabilizando seu reaproveitamento em armazenamento de energia e reduzindo o custo efetivo do leasing por captura de valor residual final.
- **Coordenar responsabilidades operacionais** entre operador e arrendador por meio de central de gestão integrada, a exemplo do modelo adotado em Santiago.

3.6 Modelo de Subvenção Total com Operação Privada

Poder público adquire frota e infraestrutura; operação é delegada ao setor privado.

Neste modelo, o poder público pode assumir integralmente a propriedade dos veículos, baterias e infraestrutura de recarga, ou apenas viabilizar sua aquisição por meio de subvenção integral ao investimento. Em ambos casos, a operação é delegada a empresa privada mediante licitação específica com remuneração por quilômetro ou por disponibilidade, e a tarifa pública é desmembrada do custo do serviço. Esse arranjo confere ao poder público o maior grau de controle sobre os ativos e sobre o ritmo da eletrificação, sendo adequado quando há disponibilidade para investimento direto com recursos próprios ou financiamentos do Novo PAC, BNDES, KfW, BIRD, BID e outros.

Os recursos para aquisição dos ativos são repassados diretamente aos fornecedores, enquanto a propriedade permanece vinculada a uma SPE ou ao poder público na administração direta ou indireta. Essa estruturação pode, em certos casos, dispensar a necessidade de licitação, sendo a aquisição articulada pelos operadores, simplificando o processo de contratação.

Componente	Responsável
Viabilização de veículos	Subvenção dos investimentos
Viabilização da bateria	Subvenção dos investimentos
Operação dos veículos	Operador privado
Manutenção	Operador (ou poder público, conforme contrato)
Infraestrutura de recarga	Subvenção dos Investimentos
Fornecimento de energia	Operador
Remuneração	Poder público desonera o sistema realizando as aquisições e remunera o Operador por km

QUANDO É RECOMENDADO

Recomendado quando o poder público possui capacidade de investimento (recursos próprios, Novo PAC, empréstimos internacionais) e deseja máximo controle sobre os ativos e sobre a trajetória de eletrificação. Adequado para projetos em que a padronização técnica, garantia de continuidade e a desoneração do sistema sejam prioridades.

Exemplo prático: Cascavel adquiriu por licitação 15 ônibus elétricos (13 *padron* e 2 articulados), com investimento público e São José dos Campos licitou um contrato de locação (12 ônibus articulados, com 6 carregadores de 200 kW). Em ambos os casos, o poder público assume os investimentos mitigando barreiras financeiras para eletrificação.

OPORTUNIDADES

- **Máximo controle público sobre os ativos**, permitindo padronização, realocação e direcionamento estratégico da frota.
- **Reduz a barreira de entrada para operadores**, ampliando a competitividade em licitações ao dispensá-los do CAPEX da frota.
- **Facilita captação junto a bancos de desenvolvimento**, que tipicamente concedem melhores condições quando o tomador é o ente público.
- **Permite desacoplamento entre ritmo de eletrificação e capacidade financeira dos operadores**, acelerando a transição.

DESAFIOS

- **Exige capacidade fiscal significativa** do município para financiar a aquisição direta e a infraestrutura de recarga.
- **Impacto patrimonial e orçamentário relevante**, com os ativos entrando no balanço do ente público e gerando obrigações de depreciação e manutenção.
- **Demanda estrutura pública para gestão patrimonial**, incluindo fiscalização, manutenção e eventual realocação dos ativos. O poder público deverá incorporar o monitoramento contínuo para garantir o uso adequado e a preservação dos equipamentos.
- **Risco de descontinuidade política**, com possível desalinhamento entre gestões quanto ao uso e à manutenção dos ativos adquiridos.

ORIENTAÇÕES

- **Avaliar o uso do Novo PAC e de linhas internacionais** (KfW, BID, Banco Mundial, Fundo Verde do Clima) para viabilizar a aquisição pelo ente público em condições favoráveis. O acesso a financiamentos externos com condições mais atrativas e garantia da União, **reduzindo o custo efetivo da operação em até três vezes**.
- **Constituir SPE ou autarquia** dedicada à gestão patrimonial da frota, quando a estrutura administrativa direta não for adequada.
- **Prever contratos de manutenção de longo prazo** com fabricantes ou terceiros especializados, mitigando o risco de descontinuidade.
- **Separar com clareza a tarifa de usuário** do custo efetivo do serviço, utilizando o mecanismo de subvenção ao usuário para preservar a modicidade tarifária.

3.7 Modelo de PPP com Separação de Contratos

Contratos distintos para fornecimento de frota e operação do serviço.

O modelo de Parceria Público-Privada com separação de contratos estrutura o arranjo em, ao menos, dois contratos independentes: um com um fornecedor especializado, responsável pela frota, pela manutenção e por garantir a disponibilidade dos veículos; e outro com o operador do serviço, responsável pela operação, pelos motoristas e pela relação com o usuário. Essa separação permite alocar cada risco ao ator mais apto a gerenciá-lo: o risco tecnológico e de disponibilidade dos veículos fica com o fornecedor; o risco operacional e de demanda, com o operador.

A remuneração também é desacoplada: o fornecedor recebe por disponibilidade (pagamento fixo condicionado ao cumprimento de padrões mínimos de frota apta), enquanto o operador é remunerado por quilômetro rodado ou por passageiro transportado. É um modelo sofisticado, adequado a projetos de grande escala e com alta complexidade técnica, que exige estrutura contratual robusta e governança integrada entre os contratos. Experiências internacionais indicam que esse arranjo tende a produzir ganhos de eficiência e redução de custos em sistemas de porte elevado.

Componente	Responsável
Propriedade dos veículos e baterias	Fornecedor da frota (contrato dedicado)
Manutenção dos veículos	Fornecedor (com garantia de disponibilidade)
Operação dos veículos	Operador privado
Infraestrutura de recarga	Fornecedor da frota ou poder público
Fornecimento de energia	Operador (contrato com distribuidora)
Remuneração do fornecedor	Pagamento por disponibilidade
Remuneração do operador	Pagamento por km rodado ou por passageiro transportado

QUANDO É RECOMENDADO

Recomendado para projetos de grande porte e complexidade técnica elevada, em contextos em que se deseja especialização dos atores e alocação eficiente de riscos. Exige equipe pública com capacidade técnica e jurídica para estruturar contratos múltiplos e interdependentes.

Exemplo prático: Santiago, Chile e Bogotá, Colômbia — ambos adotam arranjos com separação entre fornecedor de frota, operador e, em alguns casos, operador da infraestrutura de recarga (tipicamente a companhia de energia).

OPORTUNIDADES

- **Alocação eficiente de riscos**, com cada componente sob responsabilidade do ator mais apto a gerenciá-lo.
- **Especialização dos atores**, com fornecedores focados em frota e manutenção e operadores focados em qualidade do serviço.
- **Atrai capital de longo prazo**, incluindo fundos de infraestrutura e investidores institucionais, via mecanismos de PPP.
- **Facilita atualização tecnológica** ao longo do contrato, já que a responsabilidade pela frota está concentrada em ator especializado.

DESAFIOS

- **Alta complexidade contratual**, com múltiplos contratos interdependentes e necessidade de governança integrada.
- **Prazos mais longos de estruturação**, exigindo estudos de viabilidade, consultas públicas e, frequentemente, aprovação legislativa específica.
- **Maior custo de transação**, com necessidade de assessoria jurídica, financeira e técnica especializada desde a modelagem.
- **Risco de incompatibilidade entre contratos**, se não houver coordenação adequada entre fornecedor, operador e poder público.

ORIENTAÇÕES

- **Realizar análise regulatória prévia**, verificando plano diretor, legislação local e demais normas aplicáveis, bem como a coerência entre elas.
- **Estruturar matriz de riscos detalhada** por contrato, identificando competitividade, gestão contratual, integração técnica, flexibilidade tecnológica e riscos jurídicos, conforme metodologia adotada no projeto Acoplar.
- **Prever governança integrada** entre os contratos, com comitê conjunto, indicadores compartilhados e mecanismos de resolução de conflitos.
- **Utilizar procedimentos de manifestação de interesse (PMI)** ou consulta pública para refinar a modelagem junto ao mercado antes do edital.
- **Definir indicadores distintos e complementares** para fornecedor (disponibilidade da frota) e operador (qualidade do serviço), evitando sobreposições ou lacunas.

SEÇÃO 04

Monitoramento e Avaliação

4.1 Indicadores Operacionais Essenciais

A capacidade de monitorar e avaliar a operação de frotas elétricas é, ao mesmo tempo, uma condicionante para o sucesso dos projetos e uma oportunidade para modernizar a gestão do transporte público. O monitoramento sistemático reduz a assimetria de informação entre poder público e operadores, fornece a base técnica para o equilíbrio econômico-financeiro dos contratos e permite a replicação de boas práticas entre cidades. Em projetos de eletromobidade, essa função ganha importância adicional: o desempenho das baterias, o consumo energético por quilômetro rodado, a disponibilidade da frota e o uso efetivo da infraestrutura de recarga são indicadores que condicionam não apenas a qualidade do serviço, mas também o cumprimento dos compromissos contratuais firmados com fabricantes, arrendadores e concessionárias de energia.

Para muitos municípios brasileiros, especialmente os de menor porte, a adoção de ônibus elétricos representa o primeiro contato com instrumentos de monitoramento como telemetria embarcada, bilhetagem eletrônica e sistemas de posicionamento por satélite (GPS). A telemetria permite o acompanhamento em tempo real de variáveis do veículo, como o estado de carga da bateria, consumo de energia, temperatura de componentes críticos, padrão de condução do motorista — enquanto a bilhetagem eletrônica oferece informação estruturada sobre demanda, origem-destino e comportamento do usuário. O GPS, por sua vez, viabiliza a fiscalização do cumprimento de itinerários, pontualidade e tempos de ciclo. É importante destacar que o poder público não precisa, necessariamente, ser proprietário desses sistemas: o elemento crítico é o acesso aos dados gerados, que deve estar expressamente previsto em contrato, com padrões de interoperabilidade e frequência de envio definidos já na fase de edital.

A disponibilidade estruturada desses dados abre caminho para o uso de softwares de gestão de frota, incluindo ferramentas de programação multilinha — arranjo no qual um mesmo veículo opera em mais de uma linha ao longo do dia, conforme programação otimizada que minimiza o tempo de inatividade do equipamento e amplia a eficiência operacional para operadores e passageiros.

Essa sofisticação é particularmente relevante no contexto elétrico, pois permite alinhar a operação às janelas de recarga disponíveis, evitar picos indesejados de demanda elétrica e maximizar a utilização de um ativo cujo custo de aquisição é substancialmente superior ao do diesel. Recomenda-se, portanto, que os editais e contratos firmados pelas administrações municipais prevejam, desde o início:

- (i) a obrigatoriedade de fornecimento dos dados** em formatos abertos e interoperáveis;
- (ii) indicadores-chave de desempenho (KPIs)** claros e auditáveis; e
- (iii) a instituição de um painel público ou dashboard gerencial** que consolide essas informações e subsidie a tomada de decisão tanto operacional quanto estratégica.

POR QUE MONITORAR É ESTRATÉGICO

Estudos do ZEBRA/ICCT demonstram que o consumo energético real dos ônibus elétricos pode variar em até 40% em função do perfil de rota, estilo de condução e condições climáticas. Sem monitoramento sistemático, gestores públicos ficam reféns das informações fornecidas pelos próprios operadores. A telemetria cria transparência operacional e base para decisões contratuais fundamentadas em evidências.

A definição de um conjunto objetivo de indicadores operacionais é o que transforma o monitoramento de frota elétrica em instrumento efetivo de gestão, em vez de mero cumprimento formal de obrigação contratual.

Recomenda-se que esse conjunto contemple, no mínimo, quatro dimensões articuladas: energética, que acompanha o consumo em kWh por quilômetro rodado, o Estado de Carga (SOC) das baterias e as perdas de recarga, alimentando a calibração contínua do TCO real do sistema; de bateria, que monitora o *State of Health* (SoH), os ciclos de carga e a degradação ao longo do tempo, sustentando estratégias de manutenção preditiva e o acionamento de garantias junto a fabricantes; operacional, que consolida disponibilidade da frota, quilometragem diária, tempo médio de recarga e ocorrência de falhas não programadas, viabilizando o cumprimento de metas contratuais e o benchmarking entre operadores; e ambiental, que quantifica emissões evitadas de CO₂, NOx e material particulado, além da redução de ruído, produzindo evidências diretamente utilizáveis no reporte à NDC, no Plano Clima e na eventual elegibilidade a créditos de carbono no SBCE.

A efetividade desses indicadores depende, contudo, de três condições institucionais que devem ser estabelecidas já na fase de edital e contrato. Em primeiro lugar, a propriedade dos dados precisa ser formalmente atribuída ao ente público, com licença perpétua e vedação de cobrança adicional, evitando situações de retenção por fabricantes ou operadores. Em segundo, a interoperabilidade técnica deve ser assegurada por meio da adoção de protocolos padronizados — como SAE J1939 no nível veicular e OCPP 1.6 ou superior nos carregadores — com entrega de dados brutos em formatos abertos (JSON ou CSV) e frequência mínima compatível com a tomada de decisão em tempo real. Em terceiro, o uso efetivo da informação requer investimento em capacidade técnica das equipes de planejamento e dos centros de controle operacional (CCO), sob pena de os dashboards de telemetria se tornarem ativos subutilizados.

Categoria	Indicadores Principais	Finalidade
Energético	Consumo (kWh/km) por rota e motorista; Estado de Carga (SoC) por ciclo; perdas de recarga	Gestão de custos operacionais; calibração do TCO real; detecção de anomalias
Bateria	<i>State of Health</i> (SoH) ao longo do tempo; ciclos de carga; temperatura máxima; degradação estimada vs. real	Manutenção preditiva; planejamento da segunda vida; validação de garantia
Operacional	Disponibilidade de frota (%); km rodados/dia; tempo médio de recarga; falhas não programadas	Cumprimento de metas contratuais; benchmarking entre operadores
Ambiental	tCO ₂ evitadas; redução de NOx e PM; redução do ruído (dB)	Reporte para NDC e Plano Clima; elegibilidade a créditos de carbono no SBCE

OPORTUNIDADES

- O monitoramento sistemático **elimina a assimetria de informação** entre poder público e operadores.
- **Telemetria em tempo real** permite decisões rápidas desvios operacionais e resposta a falhas.
- Dados individuais de condução para **programas de incentivo** e melhoria contínua — identificar e bonificar condutores de alta performance.
- **Benchmarking (como o grupo QualiÔnibus)**, permite identificar e replicar melhores práticas entre operadores e cidades.
- Fortalecimento da capacidade para **acessar recursos de fundos internacionais** que exigem sistemas de monitoramento robustos.
- **Dados abertos de desempenho** como instrumento de transparência e controle social sobre a qualidade do serviço.

DESAFIOS

- **Incompatibilidade técnica** entre diferentes protocolos de telemetria, APIs e falta de integração entre sistemas.
- **Limitações de conectividade** (4G/5G) em regiões periféricas, com risco de lacunas na coleta em tempo real.
- **Assimetria de capacidade técnica** na gestão pública — falta de profissionais em ciência de dados nas secretarias municipais.
- **Risco de retenção de dados** por fabricantes e operadores, na ausência de cláusulas contratuais que garantam propriedade pública.
- Barreiras culturais e **resistência sindical** ao monitoramento individualizado sem conformidade com a LGPD.

ORIENTAÇÕES

- Incluir nos contratos **cláusula de propriedade exclusiva do ente público** sobre todos os dados gerados, com licença perpétua e proibição de cobrança adicional.
- Exigir **telemetria integrada e interoperável**, com compatibilidade entre padrão veicular (SAE J1939) e o padrão dos carregadores (OCPP 1.6+) via API aberta.
- Definir padrão de entrega de **dados brutos** (JSON ou CSV) com frequência mínima de 1 minuto, evitando dados pré-agregados.
- Criar **programas de incentivo vinculados ao monitoramento**, mediante acordo coletivo e anonimização conforme LGPD.
- Realizar **cruzamento de dados** entre veículo, carregador e medidor da concessionária para auditar o consumo energético.
- Investir na **capacitação das equipes de planejamento e CCO** para interpretação de dashboards de telemetria.

4.2 Outros Indicadores Pertinentes de Monitoramento

Além dos indicadores essenciais apresentados no item 4.1 — organizados nas dimensões energética, de bateria, operacional e ambiental —, a gestão da frota elétrica pode ser substancialmente enriquecida pelo acompanhamento de indicadores complementares, voltados à qualidade do serviço prestado, à experiência do usuário, à eficiência da alocação do ativo e à integração do sistema de transporte com a infraestrutura de energia. Esses indicadores não substituem os essenciais: eles ampliam o escopo do monitoramento para dimensões que, embora menos diretamente vinculadas à tecnologia elétrica em si, tornam-se especialmente relevantes em razão das oportunidades de modernização da gestão que o próprio processo de eletrificação traz consigo.

Recomenda-se que esses indicadores complementares sejam adotados de forma faseada, conforme a maturidade institucional e a capacidade técnica da administração municipal. Em um primeiro estágio, podem ser priorizados os indicadores de demanda e de qualidade do serviço (derivados de bilhetagem eletrônica e GPS), cuja coleta já está consolidada na maior parte das cidades brasileiras. Em estágios subsequentes, incorporam-se os indicadores de eficiência de programação (como os relacionados à operação multilinha), os de integração energética com a concessionária e, finalmente, os de governança e transparência — estes últimos essenciais para o controle social e o acesso a linhas de financiamento que exigem sistemas de monitoramento, reporte e verificação robustos.

Categoria	Indicadores	Finalidade
Demanda e Uso	Passageiros transportados por linha e horário; matriz origem-destino; taxa de ocupação média; variação sazonal	Planejamento da rede; dimensionamento da frota elétrica em linhas de alta demanda; revisão tarifária
Qualidade do Serviço	Pontualidade; tempo médio de espera; cumprimento dos itinerários; índice de regularidade; reclamações por 10.000 passageiros	Avaliação do contrato de concessão; aplicação de penalidades contratuais; comunicação com o usuário
Eficiência da Programação	Taxa de utilização do veículo (km/dia efetivos vs. potenciais); tempo ocioso na garagem; aproveitamento em operação multilinha	Otimização do uso do ativo; redução de ociosidade; dimensionamento adequado das janelas de recarga
Condução e Segurança	Perfil de condução por motorista (aceleração, frenagem, uso da regenerativa); ocorrências de segurança; acidentes por km rodado	Programas de incentivo ao motorista; redução do consumo energético; melhoria da segurança viária
Integração Energética	Curva de demanda da garagem; fator de carga; picos de consumo; cruzamento com medidor da concessionária	Negociação tarifária com a distribuidora; gestão de demanda contratada; avaliação de geração distribuída e armazenamento
Acessibilidade e Inclusão	Disponibilidade de veículos com acessibilidade plena; atendimento a áreas periféricas; gratuidades efetivadas	Cumprimento da Política Nacional de Mobilidade; equidade territorial; reporte social
Governança e Transparência	Disponibilização de dados abertos; dashboards públicos; periodicidade de auditoria;	Controle social; elegibilidade a fundos internacionais; prestação de contas aos órgãos de controle
Bem-Estar Ocupacional e Aceitação da Tecnologia	percepção de ruído, vibração e qualidade do ar; nível de estresse percebido; satisfação geral com o veículo; percepção de segurança; melhora do bem-estar; orgulho em operar veículos elétricos; preferência pela tecnologia elétrica; aceitação da expansão da frota elétrica;	avaliar os impactos da eletrificação sobre as condições de trabalho, satisfação profissional, aceitação da tecnologia e retenção de talentos, apoiando estratégias de gestão de pessoas e transição justa.

FROTA PROGRAMADA EM MULTILINHA

Na operação multilinha, um mesmo veículo atende a mais de uma linha ao longo do dia, conforme programação otimizada que reduz o tempo ocioso na garagem e amplia a produtividade do ativo. No contexto elétrico, esse arranjo torna-se particularmente estratégico: como o CAPEX do ônibus é substancialmente superior ao do diesel, maximizar a utilização do veículo é uma alavanca direta de viabilidade econômica do projeto. O monitoramento da taxa de utilização, das janelas de recarga disponíveis e do aproveitamento entre linhas permite alinhar, em tempo real, a escala de operação à capacidade energética da frota, evitando tanto a subutilização do ativo quanto o acionamento inadequado de veículos com estado de carga insuficiente.

OPORTUNIDADES

- **Planejamento baseado em evidências**, com a matriz origem-destino da bilhetagem eletrônica e os dados de GPS permitindo redesenhar a rede de linhas de acordo com a demanda real, e não com projeções históricas.
- **Ganho de produtividade por operação multilinha**, com a mesma frota atendendo mais viagens ao longo do dia — uma alavanca decisiva de viabilidade econômica em projetos elétricos, dado o CAPEX superior do veículo.
- **Programas de incentivo ao motorista**, com base em indicadores individuais de condução que se traduzem em redução de consumo energético, menor desgaste de componentes e melhoria da segurança viária.
- **Otimização da relação com a concessionária de energia**, por meio da análise da curva de demanda da garagem e da renegociação da demanda contratada, evitando multas por ultrapassagem e explorando horários de menor tarifa.
- **Avaliação de tecnologias complementares**, como geração distribuída (solar fotovoltaica) em garagens e armazenamento estacionário com baterias de segunda vida, a partir do histórico real de consumo.
- **Transparência e controle social**, com dashboards públicos de qualidade do serviço e disponibilização de dados abertos reforçando a confiança do usuário e o engajamento da sociedade civil.
- **Inclusão territorial e equidade**, com indicadores de cobertura em áreas periféricas e de atendimento a gratuidades subsidiando políticas afirmativas de mobilidade.

DESAFIOS

- **Fragmentação das fontes de dados**, com sistemas de bilhetagem, GPS, telemetria veicular e medição de energia operando em plataformas distintas e frequentemente não integradas.
- **Heterogeneidade de padrões de bilhetagem** entre cidades brasileiras, dificultando comparações e a consolidação de benchmarks regionais.
- **Confiabilidade dos dados de GPS e pontualidade** em áreas com cobertura de sinal limitada ou em regiões com baixa densidade de pontos de controle.
- **Sensibilidade dos dados individuais de motorista**, que exigem conformidade rigorosa com a LGPD e, frequentemente, diálogo prévio com representações sindicais para evitar resistência legítima.
- **Lacuna de capacidade analítica** nas administrações municipais de médio e pequeno porte, que pode transformar painéis de dados sofisticados em ativos subutilizados.
- **Dependência de fornecedores** para a integração entre sistemas, com risco de aprisionamento tecnológico quando não há definição contratual de interoperabilidade.
- **Custo de infraestrutura analítica**, incluindo armazenamento de dados, licenças de software e pessoal qualificado, que pode ser significativo para municípios com restrição fiscal.

ORIENTAÇÕES

- **Começar pelo que já existe**, estruturando o monitoramento complementar a partir dos sistemas de bilhetagem e GPS já implantados na cidade, antes de avançar para indicadores mais sofisticados.
- **Definir, em contrato, a integração obrigatória entre sistemas**, com APIs abertas que permitam o cruzamento automático entre dados de veículo (telemetria), uso (bilhetagem), trajeto (GPS) e consumo energético (medidor da concessionária).
- **Exigir padrões abertos para dados de demanda** em formato GTFS (*General Transit Feed Specification*) estático e em tempo real, facilitando o reuso dos dados por aplicativos e por pesquisadores. O Marco Legal do Transporte Coletivo aponta como obrigatório a disponibilização de dados neste formato.
- **Formalizar acordos com a concessionária de energia** para o compartilhamento dos dados do medidor da garagem, viabilizando o cruzamento com o consumo registrado na telemetria dos veículos.
- **Estruturar programas de bonificação ao motorista** com critérios transparentes, anonimização quando necessária e validação junto a representações sindicais, em conformidade com a LGPD.
- **Publicar dashboards públicos** com indicadores selecionados de qualidade do serviço e impacto ambiental, reforçando transparência e o cumprimento dos requisitos exigidos por fundos climáticos internacionais.
- **Investir em capacitação continuada** das equipes técnicas do órgão gestor e do Centro de Controle Operacional, combinando formação interna e cooperação com universidades e redes de cidades.
- **Planejar a evolução faseada dos indicadores**, estabelecendo um roteiro claro de adoção que parta de métricas básicas e incorpore gradativamente dimensões mais complexas, como integração energética e indicadores de equidade territorial.