

Catálogo de Medidas para Melhorar a Economia Circular das Baterias Utilizadas em Ônibus Elétricos



AGRADECIMENTOS

AUTORES

| | |
|-------------------------|--------------------|
| Andreas Manhart | Oeko-Institut e.V. |
| Frederick Adjei | Oeko-Institut e.V. |
| Viviana Hernández López | Oeko-Institut e.V. |
| Yifaat Baron | Oeko-Institut e.V. |

REVISORES

| | |
|---------------------|-------------------------|
| Alexander Batteiger | Go Circular Project GIZ |
| Rohan Shailesh Modi | TUMI E-Bus Mission GIZ |

CRÉDITOS FOTOGRÁFICOS

Capa: WRI Brasil

Figura 5: Oeko-Institui e.V.

SUPOORTE

Este relatório foi elaborado pela Iniciativa TUMI E-Bus Mission, implementada pela Cooperação Alemã (GIZ (*Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit GmbH*)), em nome do Ministério Federal de Cooperação e Desenvolvimento Econômico da Alemanha (Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung, BMZ). A TUMI E-Bus Mission é uma coalizão internacional formada pelo Conselho Internacional de Transporte Limpo (*International Council on Clean Transportation, ICCT*), *Local Governments for Sustainability (ICLEI)*, Instituto de Políticas de Transporte e Desenvolvimento (*Institute for Transportation & Development Policy, ITDP*), Associação Internacional de Transporte Público (*International Association of Public Transport, UITP*), Instituto Mundial de Pesquisas (*World Research Institute, WRI*), e as Cidades C40, que buscam acelerar a adoção de ônibus elétricos até 2025, como uma modalidade urbana alternativa e sustentável, prestando assistência técnica em 20 cidades em todo o mundo, por meio de grupos locais e regionais e planos de assistência técnica especializada.

Os autores gostariam de agradecer às seguintes organizações pela sua contribuição: Altero S.A.S, Berliner Verkehrsbetriebe (BVG), Blilious Group, Chilambo General Trade Company, ENEL Colombia S.A., Grupo Retorna Colombia, Innova Ambiental S.A.S E.S.P, Leipziger Verkehrsbetriebe (LVB), Optibus, Orinoco e-Scrap S.A.S, Recobatt S.A.S, Robert Bosch GmbH, Twaice, Volytica diagnostics.

Agradecimentos especiais a todos os compradores e tomadores de decisão em todo o mundo, que contribuíram com suas experiências na transição sustentável da mobilidade.

As constatações, interpretações e conclusões declaradas neste relatório são de responsabilidade exclusiva dos autores, portanto não refletem ou representam a opinião das organizações que fazem parte da Iniciativa Missão E-Bus da TUMI, ou de qualquer outra entidade pública ou privada.

Copyright © Abril de 2023 Transformative Urban Mobility Initiative

Resumo executivo

O crescimento cada vez maior da população e da economia representa desafios de urbanização para muitas economias em transição. Atualmente, o setor de transportes é o segundo maior emissor de gases de efeito estufa (GEE) do mundo, com o transporte rodoviário sendo atualmente responsável por pelo menos 90% das emissões do setor (Ayeter et al. 2020). As modalidades de transporte à base de motores de combustão interna são o padrão atual, mas esforços intensos para a descarbonização estão sendo estimulados por veículos elétricos a bateria. No entanto, esses esforços não mitigam os desafios do congestionamento nas vias públicas. O uso do transporte público com ônibus elétricos a bateria pode mitigar simultaneamente esses desafios enfrentados em todo o globo e mais significativos nas economias em transição. Embora estejam sendo feitos esforços para aumentar a participação de veículos elétricos no transporte público, é fundamental considerar a economia circular e a gestão de fim de vida útil dessas tecnologias durante as fases de planejamento e aquisição.

O Oeko-Institut foi contratado pela Cooperação Alemã para o desenvolvimento de um catálogo de medidas para inclusão de princípios de economia circular no planejamento e na aquisição de ônibus elétricos. O objetivo geral do projeto é dar suporte aos governos municipais e nacionais na implementação sustentável de soluções de mobilidade elétrica.

O catálogo de medidas foi elaborado para ser um guia prático para tomadores de decisão para atender às necessidades de formulação de políticas, processos de licitação, manutenção e descarte seguro de componentes não reutilizáveis/recicláveis de ônibus elétricos. As medidas descritas e discutidas são:

- Medida 1: Concentrações reduzidas de substâncias nocivas
- Medida 2: Dimensionamento adequado de ônibus e baterias
- Medida 3: Durabilidade e garantia das baterias
- Medida 4: Rotulagem das baterias
- Medida 5: Testes na vida real
- Medida 6: Interoperabilidade da infraestrutura de recarga
- Medida 7: Acesso aos dados de funcionamento das baterias
- Medida 8: Monitoramento e manutenção profunda das baterias
- Medida 9: Acordos de descomissionamento baseados em REP
- Medida 10: Incentivos à reutilização das baterias
- Medida 11: Gestão bem administrada do fim da vida útil da bateria

Embora o cenário tecnológico em constante mudança e o avanço dos ônibus elétricos sejam reconhecidos, uma linha de referência para especificações, cláusulas e estratégias de processos de licitação é fornecida para garantir que planejadores e compradores estejam cientes dos principais fatores a serem considerados durante as fases de planejamento, aquisição, operações e descarte da transição para o transporte sustentável.

Sumário

| | |
|---|-----------|
| 1. Histórico e apresentação do projeto..... | 1 |
| 2. O conceito de economia circular e os ônibus elétricos | 3 |
| 2.1 Economia circular e a hierarquia dos resíduos..... | 3 |
| 2.2 O conceito de Responsabilidade Estendida do Produtor..... | 4 |
| 2.3 Considerações básicas sobre baterias de ônibus elétricos.... | 5 |
| 2.3.1 Tipos e modelos de baterias..... | 5 |
| 2.3.1 Modelos de recarga de baterias..... | 6 |
| 2.3.2 Desafios de fim de vida útil relacionados às baterias de ônibus elétricos | 7 |
| 2.3.3 Economia da gestão de baterias em fim de vida útil..... | 8 |
| 2.4 Gestão genérica de fim de vida útil de baterias de ônibus elétricos | 9 |
| 2.5 Desafios de fim de vida útil de outros componentes de ônibus elétricos selecionados..... | 10 |
| 2.5.1 Pneus | 10 |
| 2.5.2 Cabos | 11 |
| 2.5.3 Componentes eletrônicos | 11 |
| 2.5.4 Plásticos | 12 |
| 2.5.5 Fluidos refrigerantes | 12 |
| 3 Medidas para melhorar a economia circular das baterias de ônibus elétricos..... | 13 |
| 3.1. Medida 1: Concentrações reduzidas de substâncias nocivas... 13 | |
| 3.2 Medida 2: Dimensionamento adequado de ônibus e baterias.15 | |
| 3.3 Medida 3: Durabilidade e garantia das baterias..... | 16 |
| 3.4 Medida 4: Rotulagem das baterias..... | 18 |
| 3.5 Medida 5: Testes na vida real | 19 |
| 3.6 Medida 6: Interoperabilidade da infraestrutura de recarga..20 | |
| 3.7 Medida 7: Acesso aos dados operacionais da bateria..... | 22 |
| 3.8 Medida 8: Monitoramento e manutenção profunda das baterias | 25 |
| 3.9 Medida 9: Contratos de descomissionamento baseados em REP | 26 |

| | | |
|----------|---|-----------|
| 3.10 | Medida 10: Incentivos à reutilização da bateria..... | 28 |
| 3.11 | Medida 11: Gestão bem administrada do fim da vida útil da bateria..... | 30 |
| 4 | Leitura adicional..... | 32 |
| | Lista de referências..... | 33 |

Lista de figuras

| | |
|---|----|
| Figura 1 A hierarquia dos resíduos em cinco etapas | 3 |
| Figura 2 Métodos para integração de bancos de baterias em projetos de ônibus elétricos | 5 |
| Figura 3 Composição dos bancos de baterias dos ônibus elétricos (simplificada) ... | 6 |
| Figura 4 Opção de gestão ideal para baterias de ônibus elétricos | 10 |
| Figura 5 Incineração a céu aberto – um método muito poluente de tratar os resíduos de cabos | 11 |

Lista de tabelas

| | |
|--|----|
| Tabela 1 Elementos químicos de baterias de íons lítio comumente utilizadas em ônibus elétricos | 6 |
| Tabela 2 Requisitos mínimos de desempenho para baterias de veículos elétricos, segundo a UNECE | 17 |
| Tabela 3 Visão geral das normas comuns para recarga de veículos elétricos | 22 |
| Tabela 4 Visão geral de publicações úteis para leitura adicional | 32 |

1. Histórico e apresentação do projeto

Sistemas de transporte bem administrados e em bom funcionamento são um dos principais serviços públicos e uma importante salvaguarda para um desenvolvimento urbano sustentável. Embora o uso de automóveis particulares de passageiros ainda seja comum em aglomerações urbanas em todo o mundo, é cada vez mais óbvio que esse tipo de transporte motorizado privado tem suas limitações, devido aos requisitos expressivos de espaço. Os sistemas de transporte público são muito mais eficientes nesse sentido e são um meio importante para mitigar os problemas de congestionamento. Além dos requisitos de espaço e dos congestionamentos de trânsito, a poluição do ar causada por motores de combustão é um problema significativo na maioria das regiões metropolitanas. Estudos científicos mostram que a poluição do ar do ambiente urbano é um dos principais fatores de contribuição para as mortes relacionadas à poluição, que chegam a 6,5 milhões anualmente (Fuller et al. 2022). A eletrificação dos sistemas de transporte urbano é um meio importante para mitigar esse problema e está sendo adotada por municípios e órgãos de transporte em todas as regiões do mundo. É amplamente visto como um meio importante para alcançar o objetivo de desenvolvimento sustentável (ODS) nº 11 para "cidades e comunidades sustentáveis", bem como o ODS nº 3 para "garantir uma vida saudável e promover o bem-estar a todos".

Embora o uso crescente de ônibus elétricos tenha múltiplas vantagens, também é importante que os ônibus e suas baterias sejam escolhidos e gerenciados da melhor maneira possível, para garantir que os investimentos relacionados gerem o máximo benefício para municípios, órgãos de transporte, operadores, bem como para usuários e as sociedades urbanas mais amplas. A questão da gestão e do fim da vida útil das baterias também é importante, porque existem evidências crescentes de que a gestão inadequada de veículos em fim de vida útil, do lixo eletrônico e das baterias pode ter um grande impacto negativo na saúde humana e, em parte, já compromete os ganhos para a saúde, como a melhoria do saneamento (Fuller et al. 2022). As medidas que contribuem para uma melhor gestão de produtos e materiais, para minimizar o uso de recursos e a geração de resíduos e para prevenir os efeitos prejudiciais à saúde humana e ao meio ambiente, são comumente resumidas na expressão "economia circular".

Este catálogo de medidas tem o objetivo de embasar o processo decisório em relação à aquisição e operação de ônibus elétricos, para planejar e implementar os aspectos da economia circular neste campo. Para tanto, apresenta aspectos sobre a economia circular dos ônibus elétricos e suas baterias (Capítulo 2) e propõe várias medidas que podem ser adotadas por municípios, órgãos responsáveis pelas aquisições, órgãos de transporte e operadoras de ônibus elétricos, para promover a economia circular nesse campo (Capítulo 3).

O catálogo de medidas é mantido e publicado em um formato conciso, com foco nos principais conceitos e abordagens, sem se aprofundar em detalhes tecnológicos. O

escopo do catálogo de medidas envolve aspectos de projetos e processos de gestão e reciclagem atualmente viáveis e estabelecidos em vários mercados líderes, que podem ser implementados por órgãos de transporte e gerentes de frota nas condições de estrutura já existentes. Além disso, outras estratégias e medidas são possíveis, mas não são cobertas por este catálogo de medidas. Essas exigem principalmente uma mudança mais ampla nas condições estruturais, que provavelmente ultrapassarão a influência dos órgãos de transporte e dos gerentes de frota. No entanto, dada a evolução acelerada da tecnologia das baterias, bem como a legislação atualmente em revisão pela UE e outras jurisdições, pode ser benéfica a inclusão das seguintes áreas em futuros processos de licitação para a aquisição de ônibus elétricos:

- Utilizar baterias com alto índice de componentes reciclados;
- Utilização de baterias de ônibus elétricos para compensação de carga na malha rodoviária enquanto o veículo estiver parado (do veículo para a malha);
- Uso de energia renovável para recarregar os ônibus elétricos.

As medidas descritas podem ser planejadas e implementadas individualmente ou, quando possível, como um pacote abrangente. Em qualquer caso, as condições estruturais nacionais e locais sempre devem ser consideradas em conjunto.

O conteúdo deste catálogo é baseado em estudos de caso, na literatura publicada, bem como em experiências práticas de vários órgãos de transporte, operadoras de ônibus elétricos e especialistas em baterias e reciclagem. O catálogo de medidas foi desenvolvido como parte da missão E-bus TUMI (*Transformative Urban Mobility Initiative* – Iniciativa de Mobilidade Urbana Transformadora), financiada pelo Ministério Federal Alemão de Cooperação e Desenvolvimento Econômico e implementada por intermédio da Sociedade Alemã para a Cooperação Internacional (*Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit, GIZ GmbH*).

2. O conceito de economia circular e os ônibus elétricos

2.1 Economia circular e a hierarquia dos resíduos

O conceito de economia circular visa manter o valor dos produtos e materiais pelo maior tempo possível, minimizando o uso de recursos e a geração de resíduos, e manter os recursos conforme a economia, depois que atingem o fim de seu ciclo de vida útil (adaptado de Comissão Europeia 2015). Este conceito é amplamente aprovado e cada vez mais referido pelos tomadores de decisão em todo o mundo. Em contraste com os conceitos tradicionais de gestão de resíduos que se concentram na gestão de resíduos gerados (reciclagem, recuperação de energia, descarte), a economia circular começa com projetos de sistemas e produtos para prever e apoiar o uso eficiente e por longo prazo de produtos, em apoio à reparação e reutilização, e facilitar a reciclagem na fase de fim de vida útil.

Embora existam várias maneiras de ilustrar as abordagens à economia circular, a hierarquia de resíduos em cinco etapas fornece orientação útil para a tomada de decisões do dia a dia (veja a Figura 1):

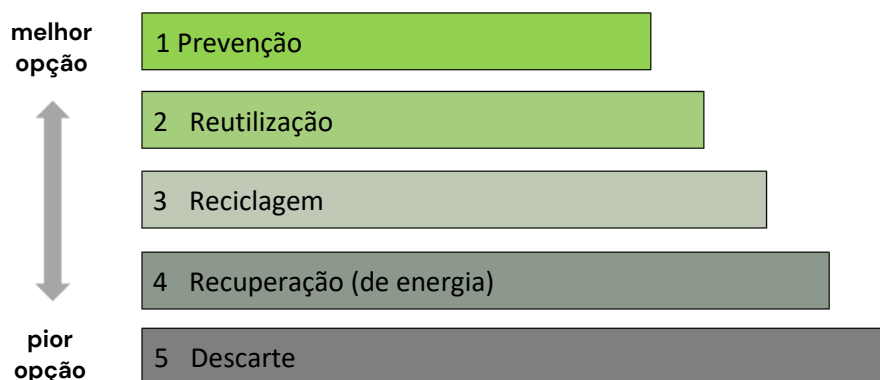


Figura 1 A hierarquia dos resíduos em cinco etapas

Fonte: Oeko-Institut

Basicamente, a hierarquia indica que a economia circular vai além da gestão de resíduos e que os esforços para evitar a geração de resíduos e permitir sua reutilização devem ter prioridade sobre a gestão tradicional de resíduos. Incentivamos o uso dessa sistemática como um conceito inerente às decisões sobre a aquisição e a gestão dos ônibus elétricos. Medidas adequadas sobre o tema podem ser vistas no capítulo 3.

2.2 O conceito de Responsabilidade Estendida do Produtor

O conceito de Responsabilidade Estendida do Produtor (*Extended Producer Responsibility*, REP) está intimamente ligado às abordagens da economia circular. Isso implica que as empresas que oferecem produtos para um mercado nacional pela primeira vez são responsáveis pela organização e pelo financiamento de uma gestão de fim de vida útil sustentável. Embora os princípios de REP tenham sido previstos na legislação vinculativa de vários grupos de produtos, como equipamentos elétricos e eletrônicos e embalagens em várias regiões, eles também se aplicam aos veículos: Na União Europeia, por exemplo, os fabricantes e importadores de veículos são obrigados a arcar com a totalidade (ou parte significativa) dos custos para garantir que os veículos em fim de vida útil sejam entregues em instalações de tratamento autorizadas, ou a operar um centro de devolução próprio, isento de encargos para os consumidores (União Europeia, 2000). Além disso, a Diretiva para Uso de Baterias da UE especifica que as baterias de veículos elétricos (classificadas como "baterias industriais") devem ser devolvidas aos fabricantes gratuitamente para serem encaminhadas a instalações de gestão de resíduos sustentáveis (União Europeia, 2006b).

Nesse contexto, deve-se considerar que o valor da sucata dos ônibus elétricos em fim de vida útil pode ser fortemente influenciado pelo transporte seguro e pelos requisitos de reciclagem das baterias (Slattery et al. 2021). Particularmente, em locais sem soluções de pronta entrega para a gestão das baterias em fim de vida útil (reutilização/reaproveitamento/reciclagem), esses custos de transporte podem ser bastante altos e podem fazer com que o valor líquido dos veículos e das baterias seja claramente negativo¹. Isso pode impor um alto ônus aos municípios e/ou os órgãos de trânsito, se a questão não for atendida por outras entidades. Portanto, recomenda-se esclarecer as responsabilidades pela gestão de fim de vida útil dos ônibus elétricos e das baterias já na fase de aquisição, e firmar contratos para que os fornecedores de veículos (montadoras ou importadoras) aceitem essa responsabilidade e assumam todas as tarefas e os custos relacionados (ver seção 3.9).

¹ Um valor líquido negativo indica que os custos totais da gestão de fim de vida útil sustentável são mais elevados do que o valor resultante da reutilização (componente) e da recuperação de matérias-primas (veja também a seção 2.3.3).

2.3 Considerações básicas sobre baterias de ônibus elétricos

A aparência dos ônibus elétricos a bateria (*Battery Electric Buses*, BEBs) geralmente se assemelha muito à dos ônibus convencionais com chassi de aço, janelas de vidro e acessórios internos de metal e plástico (alças, poltronas...). No entanto, o trem de força e seus dispositivos auxiliares diferem por:

- Um ou mais bancos de baterias para veículos elétricos (por vezes também citados como "baterias de tração");
- Um motor elétrico;
- Componentes elétricos e eletrônicos, incluindo outros dispositivos auxiliares, como terminais e cabos para recarga.

Em termos de qualidade e durabilidade do produto, as baterias merecem atenção especial, pois o conteúdo de energia das baterias determina totalmente a autonomia dos ônibus elétricos. Os aspectos relacionados à durabilidade, manutenção e viabilidade para reutilização/reaproveitamento de baterias têm uma influência significativa na vida útil total da bateria e, subsequentemente, na economia circular e na estrutura de custos de longo prazo da implementação dos ônibus elétrico.

As baterias dos BEBs são integradas ao piso do veículo, em um compartimento na parte traseira do ônibus, ou montadas no teto (veja a Figura 2). O projeto de teto é mais comum nos BEBs modernos. Vale ressaltar que os bancos de baterias representam quase 40% do custo de fabricação dos ônibus elétricos (Report Linker 2021).

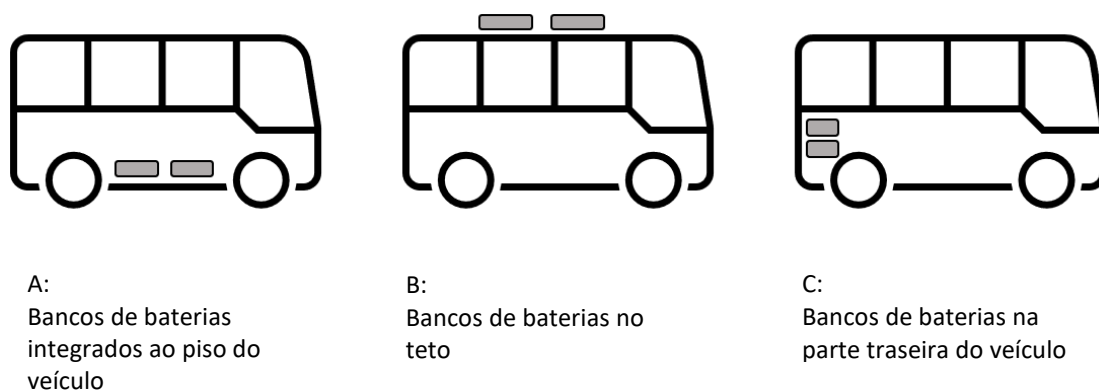


Figura 2 Métodos para integração de bancos de baterias em projetos de ônibus elétricos

Fonte: Oeko-Institut

2.3.1 Tipos e modelos de baterias

Os ônibus elétricos são alimentados por baterias de íon-lítio, com química NMC (Óxido de lítio-níquel-manganês-cobalto) e LFP (Fosfato de ferro-Lítio), que claramente dominam o mercado. Embora as baterias NMC tenham densidades de energia mais altas e permitam uma maior quilometragem por peso da bateria (ver tabela 1), os fatores de custo atualmente favorecem o uso das baterias LFP. Essas vantagens de custo se devem principalmente aos materiais catódicos, que representam a maior parte do custo de produção das células das baterias de íon-lítio (Avicenne Energy 2019). Lítio, cobalto e níquel são de longe os materiais de bateria mais caros, com preços no mercado mundial variando entre 8.000 a 80.000 US\$/t

para o lítio², 30.000 a 80.000 US\$/t para o cobalto e 15.000 a 35.000 US\$/t para o níquel (DERA 2022), o que explica por que as baterias LFP sem cobalto e sem níquel são substancialmente mais baratas.

| Química da bateria | | Materiais catódicos | Densidades de energia específicas (bancos de baterias) |
|--------------------|--|---------------------|--|
| NMC | Óxido de lítio-níquel-manganês-cobalto | Li, Ni, Mn, Co | 150 – 260 Wh/kg |
| LFP | Fosfato de ferro-lítio | Li, Fe, P | 90 – 180 Wh/kg |

Tabela 1 Elementos químicos de baterias de íons lítio comumente utilizadas em ônibus elétricos
Fonte: (Battery University 2021; Wunderlich-Pfeiffer 2022; eletrive.net 2022)

Esses fatores de custo, combinados aos altos preços das matérias-primas e às melhorias recentes nas densidades de energia LFP, levaram a um rápido aumento da participação no mercado global das baterias de LFP, de 5% em 2019 para cerca de 40% em 2022, em todas as aplicações de baterias de íon-lítio (Wunderlich-Pfeiffer 2022).

Os BEBs geralmente são equipados com baterias com carga de energia variando entre 60 e 564 kWh (Gao et al. 2017; Miaja et al. 2022) que, conforme a química da bateria escolhida, requer bancos de baterias com um peso total variando entre 400 kg e 3200 kg por ônibus. As baterias dos ônibus elétricos consistem em vários módulos, que são montados a partir de várias células (ver Figura 3). Cada bateria (normalmente chamada de "bateria" do veículo) é equipada com um sistema de gestão de baterias (BMS). Os bancos de baterias também incluem um sistema de contato, um compartimento de proteção e um sistema de gestão térmica (p. ex., com peças de alumínio ou sistemas hidráulicos que absorvem e removem o calor gerado). As células geralmente são prismáticas, mas também podem ter projeto em formato cilíndrico.

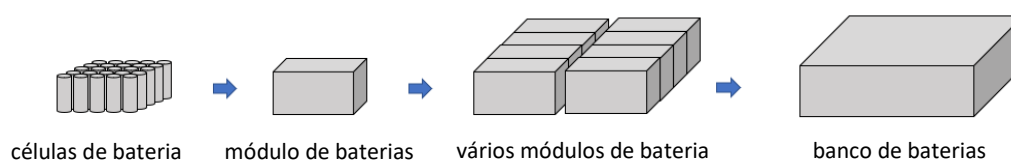


Figura 3 Composição dos bancos de baterias dos ônibus elétricos (simplificada)

Fonte: Oeko-Institut

2.3.1 Modelos de recarga de baterias

Existem dois métodos principais de recarga de baterias para BEBs, que também podem ser utilizadas em combinação:

- Recarga noturna: Os ônibus são conectados a uma infraestrutura de recarga em uma garagem de ônibus durante períodos de inatividade (normalmente de madrugada).
- Recarga em rota: Os ônibus são recarregados durante a operação, em estações de recarga distintas, como pontos de mudança de direção da rota que permitem curtos períodos de

² Carbonato de lítio, 99% Li₂CO₃

recarga com o ônibus estacionado. Esse tipo de "recarga rápida" normalmente requer uma taxa alta de energia, de até 400–500 kW (Gao et al. 2017).

Além disso, os ônibus elétricos costumam ter capacidade de frenagem regenerativa, de modo que a energia cinética é parcialmente convertida em energia elétrica durante as operações de frenagem.

2.3.2 Desafios de fim de vida útil relacionados às baterias de ônibus elétricos

Uma gestão de fim de vida útil bem planejada e controlada das baterias de íon-lítio, que inclui uma longa fase de utilização e o uso em aplicações na segunda vida útil das baterias, é necessária por vários motivos:

- Todos os tipos de baterias de íon-lítio contêm vários componentes que podem causar impactos negativos consideráveis na saúde humana e no meio ambiente, se não forem gerenciados adequadamente (p. ex., se forem descartados no meio ambiente). Portanto, as baterias de íon-lítio em fim de vida útil são classificadas como resíduos perigosos em muitas regiões. Medidas para redução de resíduos (p. ex., reutilização) e reciclagem correta em termos ambientais são as principais estratégias de resposta nessas áreas.
- As baterias de íon-lítio contêm matérias-primas consideradas críticas para o desenvolvimento econômico e a expansão das tecnologias de energia verde. Entre elas, grafite, níquel, cobalto e cobre³ (Veja também a Tabela 1). O uso prolongado das baterias reduz a necessidade de produzir novas baterias e, conseqüentemente, a demanda por matéria-prima. Após o fim da vida útil, a reciclagem é necessária para recuperar o máximo possível de matérias-primas utilizadas⁴.
- Baterias de íon-lítio usadas e em fim de vida útil estão associadas a riscos de segurança contra incêndios. Células de bateria com carga residual podem superaquecer, se incendiar e até explodir em caso de avarias. Esse risco também é conhecido como "descontrole térmico" das baterias e pode ocorrer dias ou até semanas após a avaria. Os riscos de incêndio de baterias de íon-lítio usadas e em fim de vida útil são uma grande preocupação dos gestores de resíduos e recicladores em todo o mundo. Como os BEBs utilizam bancos de baterias bastante grandes (ver a seção 2.3.1), a autoignição de células individuais pode se propagar e causar grandes incêndios em baterias.
- Durante a utilização de baterias em ônibus elétricos, a capacidade da bateria se reduz com o tempo até que não seja mais adequada para a operação. No entanto, essas baterias ainda podem ter vida útil suficiente para permitir sua utilização em outras aplicações, como em sistemas estacionários de armazenamento de energia para equipamentos de menor potência, por exemplo, armazenamento de energia renovável gerada a partir de energia solar, eólica etc. Essa utilização em uma segunda vida útil pode ajudar a maximizar a durabilidade dos recursos da bateria, contribuindo assim para a eficiência e a economia circular dos recursos.

³ Níquel e cobalto não são utilizados em todos os tipos de baterias de íon-lítio.

⁴ Não é possível a recuperação perfeita de todas as matérias-primas utilizadas, principalmente devido a composições complexas de materiais e problemas de entropia. Os recicladores geralmente se concentram na recuperação de cobre, cobalto e níquel como principais itens de valor das baterias de íon-lítio. Porém, conforme os processos utilizados, também podem recuperar parte do alumínio e do lítio utilizados. Outros materiais, como manganês e grafite, normalmente são perdidos na reciclagem das baterias de íon-lítio (Brückner et al. 2020).

2.3.3 Economia da gestão de baterias em fim de vida útil

Uma boa gestão de fim de vida útil pode ser motivada por uma combinação de quatro fatores principais:

- 1) O valor de reutilização das baterias ou de alguns de seus componentes
- 2) O valor das matérias-primas recuperadas durante a reciclagem
- 3) Obrigações legais de conduzir uma boa gestão de fim de vida útil
- 4) Outras obrigações para conduzir uma boa gestão de fim de vida útil (p. ex., por parceiros contratuais)

Nesse contexto, os seguintes aspectos devem ser considerados:

- O **valor futuro de reutilização** de baterias usadas de veículos elétricos está sujeito a várias incertezas. Até o momento, as operações de reutilização e reaproveitamento muitas vezes envolvem vários tipos e projetos⁵ de bateria diferentes, acesso insuficiente ao estado da bateria em termos de conservação e problemas de segurança para uma segunda vida útil do produto (Zhu et al. 2021). Embora as operações de reutilização e reaproveitamento possam permitir uma certa margem de lucro no futuro, isso ainda não foi comprovado em maior escala.
- O **valor financeiro** das baterias de veículos em fim de vida útil geralmente se limita a alguns poucos metais recuperáveis, principalmente cobre, cobalto e níquel. A tendência das químicas das células LFP (ver Seção 2.3.1) também significa que essas baterias têm seu valor financeiro significativamente reduzido, que atualmente não cobre os custos dos processos de reciclagem. Portanto, os recicladores cobram taxas de recebimento de baterias LFP, variando indicativamente em torno de 2.000 €/t (Manhart et al. 2022). O lítio é encontrado apenas em concentrações comparativamente baixas e não é recuperado na maioria dos processos de reciclagem existentes (Brückner et al. 2020; Sojka et al. 2020).
- O **transporte e armazenamento seguros** de baterias de VEs para reaproveitamento e reciclagem estão associados a esforços e custos consideráveis. Conforme descrito na Seção 2.3.2, os riscos de incêndio e explosão são consideráveis. Estimulados por vários incidentes, organismos nacionais e internacionais, bem como empresas de transporte e seguradoras, estão prestes a desenvolver diretrizes e regulamentos para o transporte de baterias de VEs usadas e em fim de vida útil. Embora a logística reversa certamente se adapte aos volumes crescentes e aos requisitos de segurança mais rigorosos, os custos relacionados provavelmente serão substanciais, principalmente quando as baterias exigirem grandes distâncias de transporte (Slattery et al. 2021) e/ou movimentação entre fronteiras internacionais. Neste último caso, também é necessária uma notificação de acordo com o procedimento de autorização prévia informado na Convenção da Basileia, que pode estar associada a consideráveis esforços administrativos e atrasos (Prevent & StEP 2022).

Portanto, deve-se considerar que uma gestão de fim de vida útil sustentável provavelmente estará associada a custos líquidos. A implementação das medidas deste catálogo pode ajudar a reduzir esforços e custos para municípios e órgãos de transporte e garantir que os encargos

⁵ Muitas vezes, nem mesmo o projeto permite a remoção de módulos ou células das baterias.

relacionados sejam assumidos pelos fornecedores de ônibus elétricos e baterias, de acordo com o conceito de Responsabilidade Estendida do Produtor (ver a seção 2.2)

2.4 Gestão genérica de fim de vida útil de baterias de ônibus elétricos

A Figura 4 ilustra uma visão genérica de uma opção ideal de gestão de baterias de ônibus elétricos:

- Após a aquisição dos ônibus elétricos, a manutenção regular dos ônibus e das baterias é realizada para permitir uma primeira fase de uso de longo prazo. Em comparação à manutenção dos ônibus convencionais, os ônibus elétricos exigem menos esforço em termos de inspeções físicas e manutenção, e ainda mais em termos de monitoramento e balanceamento das baterias, o que pode ser feito por meio de acesso remoto aos dados.
- Depois que as baterias atingem uma capacidade remanescente e uma saída de energia muito baixa para a operação dos ônibus, os bancos de baterias são removidos, embalados em segurança e enviados para um estabelecimento autorizado de testes e tratamento de baterias.
- O ideal é que a empresa receptora disponha de informações suficientes do sistema de gestão de baterias, do histórico e do estado das baterias, e que possa tomar decisões bem fundamentadas em relação à utilização das baterias e dos módulos no futuro. Bancos de baterias e módulos reutilizáveis são usados em soluções de armazenamento de segunda vida útil (também conhecidas como "reaproveitamento"). Outros módulos e componentes da bateria são encaminhados para reciclagem.
- Depois de vários anos de utilização em segunda vida útil, as baterias não terão mais valor de reutilização relevante e serão enviadas para reciclagem.
- A reciclagem geralmente começa com a desmontagem manual de bancos de baterias maiores. O processamento posterior é feito em condições seguras em um ambiente fechado, incluindo controles de poeira e emissões. A maioria dos processos de reciclagem envolve pré-processamento mecânico, em que os módulos e células da bateria são triturados e separados em frações de elementos mais significativos, ou seja, aço, cobre, alumínio, plástico e massa negra.
- Alumínio, cobre e massa negra são repassados para processos de fundição e/ou refino que geram matérias-primas para a produção industrial.

Além dos pontos acima, as baterias usadas e em fim de vida útil também devem ser descarregadas antes do processamento. Essa descarga pode ser feita antes da remessa (no ponto de retirada das baterias da frota de ônibus) ou como a primeira etapa de gestão antes da desmontagem. Em qualquer caso, a descarga e desmontagem de baterias de ônibus elétricos são operações de alta tensão e devem ser realizadas apenas por pessoal treinado.

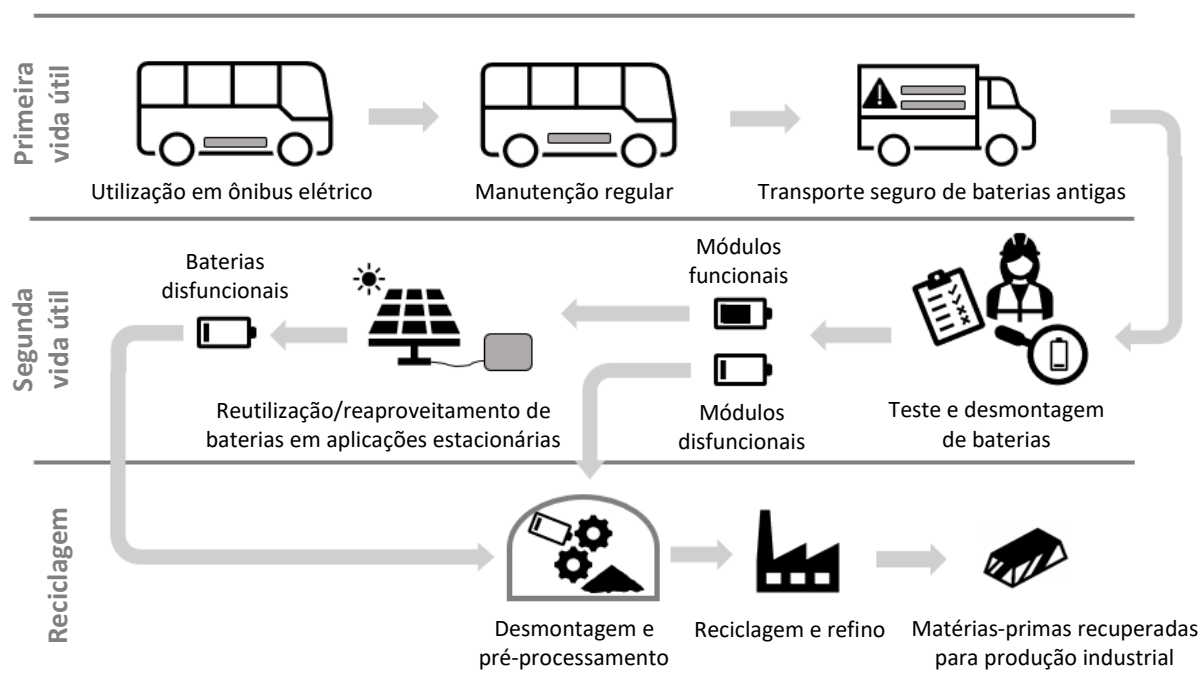


Figura 4 Opção de gestão ideal para baterias de ônibus elétricos

Fonte: Oeko-Institut

2.5 Desafios de fim de vida útil de outros componentes de ônibus elétricos selecionados

2.5.1 Pneus

Pneus usados e em fim de vida útil para carros e ônibus são um fluxo de resíduos amplamente não resolvido em muitos países e regiões do mundo. Embora alguns pneus de carros usados possam encontrar um segundo uso (p. ex., guarnições de barcos, produção de móveis), as opções de reciclagem são limitadas a algumas poucas opções de downcycling⁶ (subciclagem) como a produção de esteiras. Na pior das hipóteses, os pneus usados são queimados a céu aberto, o que é feito para reduzir o volume de resíduos ou para recuperar a malha de aço embutida para ser vendida para usinas de reciclagem de aço. Essas práticas são altamente poluentes e devem ser claramente desencorajadas/proibidas.

Os pneus têm um poder calorífico muito alto e podem servir como combustível derivado de resíduos (CDR) em processos industriais. Muito comumente, resíduos de pneus são utilizados como combustível para fornos de cimento. Essa opção de gestão (recuperação de energia) está no segundo nível mais baixo da hierarquia de resíduos (ver Seção 2.1), e geralmente ajuda a substituir o carvão como o principal tipo de combustível na produção de cimento. Se for escolhida essa opção de gestão, é preciso garantir que os perfis de emissão dos fornos para produção de cimento estejam alinhados às melhores práticas nacionais e internacionais e que possam acompanhar o ritmo dessas mudanças na composição dos combustíveis.

⁶ O termo "downcycling" descreve as operações de reciclagem que geram um material de qualidade inferior.

2.5.2 Cabos

Os cabos têm núcleo de metal (principalmente de cobre ou alumínio) e são isolados com plásticos. O tipo de plástico para isolamento varia muito, mas geralmente consiste em PVC ou PE com vários aditivos aplicados. A maioria dos mercados de sucata solicita aos fornecedores que entreguem um núcleo metálico avulso, sem qualquer isolante. Embora esses isolantes plásticos possam ser removidos por meios mecânicos (p. ex., descascamento, decapagem, granulação e triagem), as operações relacionadas exigem mão-de-obra intensiva ou investimentos em maquinário. Sendo assim, os operadores do setor informal às vezes recorrem à incineração dos cabos a céu aberto. Essa incineração a céu aberto gera poluição considerável, que inclui a formação e emissão de poluentes orgânicos persistentes (POPs) altamente perigosos. A geração de POPs é particularmente relevante para cabos isolados com PVC que contenham cloro.



Figura 5 Incineração a céu aberto – um método muito poluente de tratar os resíduos de cabos
Fonte: Oeko-Institut

2.5.3 Componentes eletrônicos

Os componentes elétricos e eletrônicos contêm uma ampla variedade de materiais e substâncias, muitos dos quais com propriedades perigosas. Componentes eletrônicos, como placas de circuito impresso com microchips, têm concentrações relevantes de cobre e metais preciosos e, por isso, são procurados por sucateiros e recicladores. Em geral, é importante que os componentes elétricos e eletrônicos não sejam descartados ou reciclados em operações descontroladas, muito poluentes e ineficientes em termos de recuperação de matérias-primas.

2.5.4 Plásticos

Peças e componentes de plástico são usados em muitas partes dos ônibus, principalmente no interior (p. ex., forro interno, poltronas, almofadas). Embora muitos tipos de plástico possam teoricamente ser bem reciclados, existem vários problemas práticos para fazer isso na vida real:

- Muitos plásticos usados são revestidos ou mesclados, dificultando ou até impossibilitando a separação correta dos polímeros.
- Aditivos como retardadores de chamas podem limitar o uso de plásticos reciclados e criar obstáculos para o uso de plásticos reciclados.
- Os veículos em fim de vida útil são desmontados ou fragmentados com foco principal na recuperação de metais. Materiais menos valiosos acabam na chamada "fração leve do resíduo", que consiste em uma grande variedade de materiais comumente usados apenas para recuperação de energia (ou descartados por completo).

No entanto, alguns materiais podem ter um potencial de reciclagem considerável. Entre outros, as peças plásticas internas dos veículos são frequentemente feitas de ABS-PC, que é um polímero de engenharia bastante valioso. Além disso, peças como para-choques são comumente feitas de PP (polipropileno). Caso esses materiais possam ser recuperados em forma pura e não estejam contaminados com retardadores de chama ou outros aditivos críticos, eles podem ter um potencial de reciclagem considerável. Potenciais semelhantes também podem existir para elementos de poliamida (PA), como carpetes e capas de poltronas.

2.5.5 Fluidos refrigerantes

Todos os ar-condicionados usam fluidos refrigerantes. Embora os fluidos refrigerantes antigos e que destroem a camada de ozônio tenham sido banidos globalmente, os substitutos que costumam ser usados ainda têm um potencial de aquecimento global muito expressivo quando liberados sem controle. O R134a, por exemplo, tem um potencial de aquecimento global 1.430 vezes maior que o CO₂. O vazamento de fluido refrigerante de sistemas de ar-condicionado é muito comum e pode ocorrer durante a operação normal, acidentes ou descomissionamento, de modo que, na maioria dos cenários de ciclo de vida, a emissão total de fluidos refrigerantes deve ser presumida⁷. Ônibus públicos comuns contêm cerca de 10 kg de R134a (BMU & UBA 2011), o que significa que uma emissão total tem um impacto no aquecimento global equivalente a cerca de 10 t de CO₂ por ônibus. Substitutos com potencial de aquecimento global significativamente menor estão prontamente disponíveis e incluem R1234yf e CO₂. Na União Europeia, o uso de fluidos refrigerantes no ar-condicionado de veículos é limitado a substâncias com um potencial de aquecimento global não superior a 150 vezes o do CO₂ (União Europeia 2006a). Portanto, é recomendável ter como meta o uso de ônibus elétricos que utilizem exclusivamente esses substitutos ecológicos (ver a Seção 3.1).

⁷ Supondo que uma emissão total possa até mesmo ser uma estimativa conservadora, já que os fluidos refrigerantes são frequentemente recarregados durante inspeção e manutenção. Portanto, as emissões do ciclo de vida de um ônibus podem ser significativas.

2.5.6 Outros poluentes

Os veículos podem conter várias outras substâncias poluentes, que podem ser liberadas no meio ambiente durante ou após o tratamento de fim de vida útil. Em resposta a isso, a União Europeia proibiu o uso de algumas substâncias perigosas, principalmente os metais pesados chumbo, mercúrio, cádmio e cromo hexavalente em veículos. A proibição permite certas exceções, como o uso de determinadas concentrações de metais pesados em ligas e chumbo em baterias de chumbo-ácido. As exceções são revistas periodicamente (União Europeia 2000).

3 Medidas para melhorar a economia circular das baterias de ônibus elétricos

3.1. Medida 1: Concentrações reduzidas de substâncias nocivas

| | |
|---------------------------|--|
| O quê? | Projeto e uso de ônibus que reduzem o teor de substâncias perigosas. |
| Por quê? | Substâncias perigosas podem ter efeitos prejudiciais à saúde humana e ao meio ambiente, especialmente durante a fase de fim de vida útil. Além disso, essas substâncias muitas vezes são obstáculos para uma reciclagem de alta qualidade. |
| Relevância para políticas | Alta: Os regulamentos e proibições de substâncias são mais eficazes quando impostos e executados por meio de um quadro regulatório nacional. |

A aquisição de ônibus elétricos oferece a oportunidade de selecionar modelos que envolvem concentrações reduzidas de substâncias nocivas e facilitam a gestão de fim de vida útil neste sentido. Devido à legislação na União⁸ Europeia e em algumas outras regiões, o mercado global de veículos já desenvolveu soluções para fabricar veículos amplamente isentos dos metais pesados cádmio, chumbo, mercúrio e cromo hexavalente, e com ar-condicionado sem gases de efeito estufa (ver as Seções 2.5.5 e 2.5.6).

O Quadro 1 propõe um texto para o processo de aquisição de ônibus elétricos, amplamente baseado nos regulamentos de veículos de passageiros em vigor na União Europeia, de modo que muitos fabricantes de ônibus elétricos já devem estar familiarizados com os requisitos relacionados. Vale ressaltar que os requisitos do Quadro 1 não se aplicam apenas aos ônibus elétricos, mas também a outros veículos, inclusive veículos de passageiros e veículos com motor de combustão convencional.

⁸ Os requisitos para fluidos refrigerantes são baseados na Diretiva da UE 2006/40/EC relacionada a emissões de sistemas de ar-condicionado em veículos motorizados (Diretiva MAC). Os demais requisitos relacionados a substâncias são baseados na Diretiva 2000/53/EC da UE sobre veículos em fim de vida útil (Diretiva ELV).

Quadro 1: Critérios preliminares para a aquisição de ônibus elétricos com concentrações reduzidas de substâncias nocivas

O ar-condicionado dos ônibus deve utilizar um fluido refrigerante com um potencial de aquecimento global não superior a 150 equivalentes de CO₂.

Além disso, os ônibus elétricos não devem conter chumbo, mercúrio, cádmio ou cromo hexavalente. As exceções são possíveis para:

- Chumbo como elemento de composição de ligas, nas seguintes aplicações:
 - Aço para máquinas e componentes de aço galvanizado por imersão a quente com teor máximo de 0,35% de chumbo por peso
 - Ligas de alumínio com teor de chumbo de até 0,4% de chumbo por peso
 - Ligas de cobre contendo até 4% de chumbo por peso
- Chumbo e compostos de chumbo nos seguintes componentes:
 - Chumbo em baterias de chumbo-ácido
 - Chumbo em soldas de alta temperatura por fusão (ou seja, ligas à base de chumbo contendo 85% ou mais de chumbo por peso)
 - Componentes elétricos e eletrônicos que contenham chumbo em vidro ou cerâmica, em um composto de vidro ou de matriz cerâmica, em um material vitrocerâmico ou em um composto de matriz vitrocerâmica
 - Chumbo em materiais cerâmicos dielétricos à base de PZT de capacitores que façam parte de circuitos integrados ou semicondutores discretos
- Cromo hexavalente nas seguintes aplicações:
 - Cromo hexavalente como agente anticorrosivo do sistema de resfriamento de aço carbono em refrigeradores de absorção com teor de até 0,75% por peso na solução de resfriamento:
 - projetado para operar total ou parcialmente com aquecedor elétrico, com uma entrada de energia elétrica média utilizada ≥ 75 W em condições de funcionamento constantes;
 - projetado para operar totalmente com aquecedor não elétrico.

Caso sejam necessárias novas exceções para o uso de chumbo, mercúrio, cádmio ou cromo hexavalente, elas deverão ser especificadas na oferta, incluindo uma justificativa técnica para cada exceção solicitada. Uma exceção só poderá ser concedida mediante explicação convincente de que a substituição tenha impacto negativo na segurança do produto ou gere mais danos ambientais.

3.2 Medida 2: Dimensionamento adequado de ônibus e baterias

| | |
|---------------------------|--|
| O quê? | Processo de aquisição de modelos de ônibus elétricos adaptados às realidades locais. |
| Por quê? | Certificar-se de que os modelos de ônibus elétricos sejam adequados aos requisitos locais, de modo que a usabilidade em longo prazo seja informada. |
| Relevância para políticas | Baixa: O dimensionamento adequado de ônibus elétricos e baterias depende das condições e demandas locais e não pode ser determinado em nível de política centralizada. |

O conteúdo de energia da bateria determina a autonomia de um BEB: Quanto maior a capacidade, maior a distância que um ônibus pode percorrer sem recarga adicional. Uma fase de utilização prolongada de ônibus elétricos ajuda significativamente a evitar a produção de novos veículos de transporte e está de acordo com o conceito de prevenção de resíduos que tem a mais alta prioridade na hierarquia de resíduos (ver a Seção 2.1). Devido às implicações de alto custo das baterias (ver a Seção 2.3.1), o superdimensionamento da bateria deve ser evitado. No entanto, o subdimensionamento também é um risco, pois a capacidade da bateria subdimensionada pode afetar significativamente a funcionalidade do ônibus: Ônibus que não puderem completar um dia inteiro de operação podem exigir a compra de capacidades de ônibus reserva, ou até mesmo uma substituição completa.

Em termos de capacidade da bateria e quilometragem do ônibus, os seguintes aspectos devem ser considerados na etapa de aquisição:

- Condições climáticas quentes e frias têm impacto no desempenho e na quilometragem do BEB. Entre outros, isso se deve ao aquecimento ou resfriamento elétrico necessário da cabine de passageiros (Wang et al. 2020). Em clima frio (-5 °C a 0 °C), a redução pode chegar a 38% (Henning et al. 2019) com efeitos semelhantes em climas quentes. Além disso, a recarga da bateria consome mais tempo em clima quente, o que pode limitar efetivamente a eficácia da recarga durante o trajeto (McGuffie 2021).
- Os requisitos de energia e a autonomia também dependem do terreno em que o ônibus circula. Em terreno plano, os BEBs geralmente atingem uma autonomia maior do que em terrenos acidentados (Wang et al. 2020).
- A capacidade das baterias diminui com o tempo. Os veículos (ou suas baterias) são comumente substituídos quando a capacidade cai significativamente abaixo de 80% de seu valor original. Isso significa que a autonomia do ônibus também é reduzida ao longo do tempo para cerca de 70% a 80%.
- Com base nos estudos disponíveis, pode-se demonstrar que manobras abruptas e imprevisíveis do veículo, como ocorre em congestionamentos de trânsito, resultam em uma redução do estado de integridade esperado da bateria. (Wang et al. 2020). Faixas exclusivas para ônibus podem, portanto, não apenas aumentar a qualidade do serviço dos sistemas de transporte público, mas também permitir o uso de baterias de longa duração. Todos os fatores acima podem fazer com que os ônibus circulem dentro das faixas de

autonomia e quilometragem esperadas. Esses cenários negativos podem ser mitigados por uma ou mais das seguintes medidas:

- Especificar os requisitos operacionais da vida real (faixas de temperatura, terreno, peso adicional como passageiros etc.) nos documentos do processo de licitação e exigir que os proponentes garantam uma quilometragem dos BEBs definida conforme as condições e um período predefinido (ver também o Quadro 2).
- Uso de BEBs novos para rotas mais longas e com maior consumo de energia. Uma vez reduzida a capacidade da bateria, ela pode ser transferida para rotas mais curtas e com menor consumo de energia.

Quadro 2: Exemplo de melhores práticas – requisitos de qualidade para ônibus elétricos na cidade de Leipzig

A cidade de Leipzig (Alemanha) trabalha com uma transição gradual de sua frota de ônibus para ônibus elétricos a bateria. Os ônibus são adquiridos e operados pela Leipziger Verkehrsbetriebe, uma agência de transporte municipal. Em sua estratégia de processos de licitação, a Leipziger Verkehrsbetriebe exige que os fornecedores garantam que os ônibus e suas baterias atinjam os requisitos mínimos de desempenho por dez anos em operação constante. Em vez de usar apenas indicadores indiretos de desempenho (p. ex., pelo menos 80% da capacidade restante da bateria após um determinado número de anos), as especificações dos processos de licitação e contratos exigem que os ônibus elétricos ainda possam – após dez anos de operação constante sob as condições específicas de Leipzig – percorrer uma distância de 80 km com a carga das baterias. Os 80 km são derivados das condições operacionais típicas em Leipzig, uma combinação de recargas na garagem e em rota. Outras condições operacionais em Leipzig também são especificadas nos documentos dos processos de licitação, incluindo informações sobre o terreno e as faixas de temperatura predominantes. Caso um ou mais ônibus elétricos fornecidos não atendam a esse requisito, o fornecedor é contratualmente obrigado a providenciar uma solução, como a substituição da bateria.

3.3 Medida 3: Durabilidade e garantia das baterias

| | |
|---------------------------|---|
| O quê? | Certificar-se de que apenas baterias de alta qualidade sejam usadas em ônibus elétricos. |
| Por quê? | Baterias de alta qualidade têm vida útil mais longa, as substituições são menos frequentes, portanto, são mais eficientes e econômicas. |
| Relevância para políticas | Alta: Os requisitos mínimos de durabilidade podem ser integrados à legislação nacional sobre baterias e/ou veículos |

Embora a medida 2 estabeleça incentivos ao fornecimento de ônibus de alta qualidade, não se pode excluir a possibilidade de os concorrentes apresentarem soluções de qualidade inferior em termos de baterias, aceitando substituições mais frequentes de equipamentos muitas vezes às custas do comprador. Embora essa estratégia siga considerações econômicas de curto prazo, ela obviamente entra em conflito com os princípios da economia circular e tem efeitos colaterais negativos na economia e na sociedade em geral (ver o capítulo 2). Para evitar efetivamente o uso de baterias abaixo do padrão, requisitos mínimos de durabilidade podem ser previstos nos documentos dos processos de licitação. Os critérios mínimos de durabilidade para baterias de veículos elétricos (incluindo as de ônibus elétricos)

foram desenvolvidos pela Comissão Econômica das Nações Unidas para a Europa (UNECE) em 2022 e estão resumidos na Tabela 2.

| Idade do veículo/km | Estado de energia certificada ⁹ |
|---|--|
| Desde o início da vida útil até 5 anos de uso ou 100.000 km, o que ocorrer primeiro | 80% |
| Veículos com mais de 5 anos ou 100.000 km, e até 8 anos ou 160.000 km, o que ocorrer primeiro | 70% |

Tabela 2 Requisitos mínimos de desempenho para baterias de veículos elétricos, segundo a UNECE

Fonte: (UNECE 2022)

No entanto, o atual nível de exigência dos requisitos da UNECE não é adequado como requisito mínimo para baterias¹⁰ de ônibus elétricos. Dados de fabricantes e usuários de ônibus elétricos indicam que a vida útil de >10 anos é possível com baterias e ônibus elétricos existentes (MassTransit 2015; Aamodt et al. 2021). Os avanços na tecnologia e a competição entre os fabricantes continuarão a aumentar ainda mais a vida útil e a qualidade das baterias. Recomenda-se, portanto, determinar requisitos de desempenho e durabilidade mais ambiciosos em documentos de processos de licitação e contratos; indicativamente por cerca de 12 a 15 anos de operação dos ônibus elétricos. A determinação deve ter com base as informações atuais do setor sobre garantias e especificações de desempenho de baterias dos principais fornecedores. Se nenhum critério baseado em informações de mercado puder ser estabelecido, os critérios mínimos do quadro abaixo podem ser utilizados como ponto de partida¹¹.

Quadro 3: Critérios preliminares para a aquisição de ônibus elétricos com baterias duráveis

O fornecedor deve garantir que o estado de energia certificada (SOCE) das baterias dos ônibus elétricos esteja de acordo com os seguintes requisitos mínimos de desempenho ou acima:

| Idade do veículo/km | Estado de Energia Certificada |
|--|-------------------------------|
| Desde o início da vida útil até 6 anos ou 400.000 km, o que ocorrer primeiro | 80% |
| Veículos com mais de 6 anos ou 400.000 km, e até 10 anos ou 500.000 km, o que ocorrer primeiro | 70% |

O fornecedor deve comprovar a conformidade por meio de protocolos de ensaio independentes, de acordo com os métodos e procedimentos de verificação estabelecidos no Regulamento Técnico Global das Nações Unidas sobre Durabilidade de Baterias em Veículos Elétricos.

⁹"Estado de energia certificada" (*State of Certified Energy, SOCE*) significa o desempenho de energia utilizável da bateria medido ou a bordo em um ponto específico de sua vida útil, expresso como uma porcentagem da energia utilizável certificada da bateria (UNECE 2022).

¹⁰ Pode haver critérios da UNECE revisados e adequados para baterias de ônibus elétricos disponíveis no futuro. Portanto, consultar as informações da UNECE pode ser útil ao definir a durabilidade da bateria e os critérios de garantia.

¹¹ Uma breve pesquisa de mercado realizada em 2023 indica que os fabricantes de VE já ofereceram no mercado garantias de 6 a 12 anos, com quilometragem ilimitada; portanto, os valores mínimos apresentados são facilmente alcançáveis pelo setor (MassTransit 2015).

3.4 Medida 4: Rotulagem das baterias

| | |
|---------------------------|---|
| O quê? | Certifique-se de que as baterias dos ônibus elétricos tenham plaquetas de identificação e códigos QR contendo informações sobre as características da bateria para terceiros envolvidos na reutilização/recondicionamento de íons e gestão de fim de vida útil. |
| Por quê? | O fácil acesso a informações sobre as características da bateria pode ajudar na tomada de decisões corretas na gestão de fim de vida útil. |
| Relevância para políticas | Alta: A rotulagem da bateria é mais eficaz quando aplicada uniformemente a todos os tipos de veículos elétricos. A melhor forma de se atingir essa meta é por meio de normas do setor combinadas a funções obrigatórias para aplicação dessas normas. |

As empresas que utilizam baterias de veículos usadas em excesso e em fim de vida útil precisam de informações sobre suas características para tomar decisões significativas sobre os métodos de manuseio e gestão, ajudando assim a otimizar a gestão de fim de vida útil.

Informações específicas da bateria podem ser fornecidas pelo fabricante de forma que qualquer terceiro possa ter acesso a elas facilmente. Esse aspecto já foi abordado por muitos fóruns e iniciativas e é discutido usando a palavra-chave 'passaporte de bateria'. Embora ainda não exista um formato estabelecido para o passaporte de bateria citado, a Califórnia começará a exigir que, em veículos elétricos registrados a partir de 2026, as baterias sejam rotuladas com um identificador digital (código QR) vinculado às informações on-line sobre a química da bateria (tipo de cátodo e ânodo), fabricante, data de fabricação, tensão mínima e capacidade nominal (California Code of Regulations, 2022). Uma abordagem semelhante é adotada pelo Projeto de Regulamento Europeu de Baterias e pode prever uma rotulagem obrigatória de baterias com esses códigos QR até 2027 (Comissão Europeia 2020). Além disso, a China já tem (e está planejando expandir) requisitos de rotulagem de baterias de VEs (Bej et al. 2022).

Embora essa rotulagem possa ser uma ferramenta útil para auxiliar na gestão de fim de vida útil, os sistemas ainda não estão estabelecidos de maneira uniforme. No entanto, pode ser exigido que os fabricantes de ônibus elétricos forneçam informações sobre as baterias de maneira facilmente acessível (ver Quadro 4).

Quadro 4: Critérios de projeto para rotulagem de baterias de ônibus elétricos

O fabricante deve equipar todos os bancos de baterias com uma plaqueta de identificação/identificador digital bem visível e acessível (p. ex., código QR) vinculado a um site de dados com informações sobre pelo menos as seguintes características da bateria:

- a química da bateria (tipo de cátodo e ânodo)
- o fabricante
- a data de fabricação
- as tensões mínima, máxima e média
- a capacidade nominal

O site deve manter as informações por pelo menos 15 anos a partir da data de fabricação e deve ser disponibilizado ao público sem qualquer custo ou cadastramento.

A rotulagem e as informações fornecidas devem ainda se alinhar aos formatos comuns do setor para essa finalidade, incluindo o tamanho, projeto e posicionamento das plaquetas e o formato de geração dos dados digitais. Informações sobre outras características da bateria devem ser fornecidas adicionalmente por meio do sistema, de acordo com as práticas estabelecidas e os requisitos legais.

3.5 Medida 5: Testes na vida real

| | |
|---------------------------|--|
| O quê? | Teste de protótipos de ônibus elétricos antes das decisões finais de aquisição |
| Por quê? | Certificar-se de que os modelos de ônibus elétricos sejam adequados aos requisitos locais, de modo que a usabilidade em longo prazo seja informada. |
| Relevância para políticas | Baixa: O teste na vida real se destina a testar a adequação do veículo em um contexto local específico. As abordagens de políticas centralizadas têm efeitos limitados aqui. |

A Medida 2 dá ênfase à necessidade de os ônibus atenderem às necessidades locais e serem capazes de operar de forma robusta em um determinado ambiente. Embora muitos desses aspectos relacionados possam e devam ser especificados em documentos de processos de licitação (p. ex., distância e características das rotas, modos de recarga, faixas de temperatura ambiente), existem vários aspectos e características dos ônibus que podem ser negligenciados no processo, mas que podem acabar sendo relevantes na operação do dia a dia, como o número de passageiros e bagagem adicional. Nesse contexto, as agências e operadoras de trânsito podem ter como objetivo testar novos modelos de ônibus elétricos antes das ordens de compra. Na maioria das situações, os fabricantes — por razões compreensíveis — só estarão dispostos a conceder *test drives* em condições controladas (sem passageiros, fora da operação de rotina), uma prática que já pode revelar muitos aspectos práticos da adequação do ônibus e apoiar muito a seleção de modelos adequados conforme descritos na Seção 3.2. Caso um número maior de ônibus seja adquirido, os fabricantes também podem concordar com testes na vida real, na operação do dia a dia.

Quadro 5: Exemplo de melhores práticas – teste com protótipos de ônibus na Índia

Na Índia, cinco grandes cidades (Delhi, Calcutá, Surat, Bengaluru e Hyderabad) uniram forças em suas iniciativas para adquirir ônibus elétricos. Neste "Grande Desafio", um total de 5.450 ônibus elétricos foram adquiridos por meio de um processo de licitação. Embora esse grande volume tenha permitido um desconto significativo nos preços unitários, também permitiu a introdução de novos requisitos nos processos de licitação. Entre outros, o processo de licitação considerou uma etapa intermediária em que os três proponentes melhor avaliados foram solicitados a fornecer protótipos para testes reais. Os resultados desse teste foram utilizados na seleção final do fornecedor (Modi 2022).

Um processo de licitação comparável de monitoramento em larga escala para operação de ônibus elétricos foi publicado em 2022 (6.465 ônibus elétricos) e outro está planejado para 2023 (~5.000 ônibus elétricos) (Convergence 2022). Essa agregação de demanda abre possibilidades significativas para determinar requisitos de economia circular, incluindo os descritos em todas as demais medidas recomendadas.

3.6 Medida 6: Interoperabilidade da infraestrutura de recarga

| | |
|---------------------------|--|
| O quê? | Garanta a interoperabilidade da infraestrutura de recarga com diferentes modelos de ônibus elétricos. |
| Por quê? | Sistemas de recarga interoperáveis podem ser utilizados com uma ampla variedade de modelos de ônibus elétricos, portanto, geralmente têm uma longa vida útil, o que propicia a conservação de recursos e a redução de custos em longo prazo. |
| Relevância para políticas | Alta: Os tomadores de decisão podem regulamentar a interoperabilidade das interfaces e os protocolos de recarga em nível centralizado (nacional). |

Em muitos casos, a aquisição de ônibus elétricos e o fornecimento de infraestrutura de recarga é solicitado no processo de licitação como um pacote – pelo menos na fase inicial de implementação dos ônibus elétricos em um determinado local. Embora essa estratégia de aquisição tenha muitas vantagens, é importante considerar que os sistemas de recarga devem ser projetados de forma que também possam ser utilizados em modelos de ônibus elétricos de outros fabricantes que possam completar a frota posteriormente. Sem infraestrutura de recarga interoperável, uma frota de ônibus elétricos pode depender de um número muito limitado de fornecedores de ônibus elétricos ou pode ser forçada a instalar uma infraestrutura de recarga paralela para outros modelos de ônibus elétricos. Portanto, é de grande importância instalar uma infraestrutura de recarga interoperável.

Para tanto, um órgão de transporte/gerente de frota deve primeiramente decidir sobre o tipo de recarga que pretende aplicar em determinada cidade e principalmente escolher dentre as seguintes opções:

- Recarga por tomada (condutiva)/recarga pantográfica/recarga por indução
- Recarga na garagem/recarga na garagem + recarga em rota

Quando a infraestrutura física já estiver instalada, os seguintes aspectos devem ser considerados:

- Tipos e métodos de recarga (condutiva: CA/CC ou indutiva)
- Potência de saída
- Interfaces de recarga tanto da estação de recarga quanto do próprio ônibus elétrico (saídas, entradas, faces de conectores)
- Protocolo de comunicação entre o carregador e a bateria dos ônibus elétricos

A tomada das estações de recarga existentes deve coincidir com a tomada da nova frota. No sentido contrário, a infraestrutura deve ser adaptada para garantir a continuidade da operação tanto nos ônibus novos quanto nos antigos. Considerando esses aspectos, os critérios de interoperabilidade devem ser especificados nos documentos do processo de licitação. Quando a infraestrutura de recarga estiver instalada, o processo de licitação deve incluir obrigações de fornecer os conversores e adaptadores necessários ou as modificações necessárias para garantir a interoperabilidade e a compatibilidade com a frota. Esses critérios devem se referir a normas e padrões internacionais relacionados às interfaces do usuário, bem como ao protocolo de comunicação de recarga. A tabela a seguir contém uma visão geral das normas e padrões comuns nesta área.

| Norma | Descrição |
|--|--|
| Conectores, entradas, plugues | |
| IEC 62196 | Série de normas internacionais para plugues e tomadas para recarga de veículos elétricos |
| SAE J1772 | Norma norte-americana para conectores elétricos para veículos elétricos, mantida pela SAE International: Acoplador de Recarga Condutiva para Veículos Elétricos SAE. |
| GB/T 20234 | Norma nacional chinesa para conjuntos de conexões para recarga condutiva de veículos elétricos. |
| CHAdEMO | Norma japonesa para recarga em CC para veículos elétricos. |
| Carregador de bordo, Equipamento para Abastecimento de Veículos Elétricos (Electric Vehicle Supply Equipment, EVSE) | |
| IEC 61851 | Norma internacional para sistemas de recarga condutiva de veículos elétricos |
| GB/T 27930 | Norma chinesa para recarga de bateria de veículo elétrico com cabo |
| Comunicação VE para EVSE | |
| ISO 15118 | Norma internacional para veículos rodoviários - Interface de comunicação veículo-rede (carga/descarga bidirecional) |
| DIN ESPEC 70121 | Especificação técnica alemã sobre comunicação digital entre uma estação de recarga de VE em CC e um veículo elétrico para controle de recarga em CC no sistema de recarga combinado. |
| DIN ESPEC 70122 | Especificação técnica alemã sobre ensaios de conformidade para comunicação digital entre uma estação de recarga de VE em CC e um VE para controle. |
| GB/T 27930 | Norma chinesa sobre protocolos de comunicação entre o carregador condutivo externo e o sistema de gestão de baterias. |
| Sistemas de transferência de energia sem fio (Wireless Power Transfer, WPT) | |
| IEC 61980 | Norma internacional para sistemas de transferência de energia sem fio (WPT) para veículos elétricos. |
| GB/T 38775 | Normas nacionais chinesas para recarga indutiva ou sem fio. |
| EVSE de comunicação para Sistema de Gestão de Estação de Recarga (Charging Station Management System, CSMS) | |

| | |
|------------------|---|
| IEC 63110 | Norma internacional que define um protocolo para a gestão de infraestruturas de carga e descarga de veículos elétricos (atualmente em desenvolvimento). |
| OCPP | Protocolo de Ponto de Recarga Aberto (<i>Open Charge Point Protocol</i> , OCPP). |

Tabela 3 Visão geral das normas comuns para recarga de veículos elétricos

Fonte: Adaptado de Vector Informatik GmbH

Quadro 6: Exemplo de melhores práticas – Interoperabilidade da infraestrutura de recarga em Israel

Israel determinou que todos os novos ônibus para transporte público devem ser totalmente elétricos a partir de 2030. Os ônibus movidos a diesel representam atualmente menos de 1% do total de veículos no país, portanto, essa meta é altamente alcançável. O Ministério de Proteção Ambiental de Israel, juntamente com o Ministério dos Transportes e Segurança Rodoviária, coordenaram seus esforços para atingir esse objetivo por meio de uma combinação de regulamentos e normas. Um pilar importante de sua estratégia era alcançar a interoperabilidade da infraestrutura de recarga para veículos públicos e privados. O governo desenvolveu padrões obrigatórios com base nos requisitos de recarga em CC da UE CCS-tipo 2 e do Protocolo de Ponto de Recarga Aberto (OCPP) para comunicação entre pontos de recarga e veículos elétricos. O uso de normas e regulamentos já existentes e aceitos ajuda na fiscalização da importação e no registro de veículos. Para apoiar ainda mais a adoção de ônibus elétricos, o Ministério dos Transportes administra estações de recarga para frotas municipais e frotas privadas de ônibus elétricos mediante o pagamento de uma taxa. Modelos comerciais baseados em recarga nas garagens também estão presentes, tanto para frotas públicas de ônibus elétricos quanto para pessoas físicas, independentemente da marca do veículo. Embora essa abordagem seja bem-sucedida para alcançar a interoperabilidade, uma deficiência da política nacional é a mudança de 100% para os ônibus elétricos sem garantir disponibilidade suficiente de estações de recarga. Essa situação tem impedido a utilização de novos ônibus elétricos atualmente parados nas garagens, o que representa perda de rentabilidade para os operadores de frotas estatais e privados.

3.7 Medida 7: Acesso aos dados operacionais da bateria

| | |
|---------------------------|--|
| O quê? | Certificar que os fabricantes de ônibus elétricos concedam acesso aos dados operacionais da bateria. |
| Por quê? | Os dados operacionais da bateria são essenciais para permitir o monitoramento completo do estado de integridade da bateria, bem como para permitir várias medidas relacionadas à manutenção e prorrogação da vida útil das baterias. |
| Relevância para políticas | Alta: Os tomadores de decisão podem introduzir regras obrigatórias para os fabricantes de baterias e fornecedores de veículos elétricos, para conceder acesso aos dados operacionais da bateria. |

Dados e conhecimento sobre o nível de desempenho real e o histórico das baterias dos ônibus elétricos são uma pré-condição importante para uma boa gestão dos ônibus elétricos e das baterias, incluindo questões relacionadas a:

- A adequação dos ônibus para atender a uma determinada rota é suficiente?

- Quando e como a bateria deve receber manutenção /ser recondicionada?
- Qual é a vida útil remanescente esperada de uma bateria?
- O que pode ser feito para prorrogar a vida útil da bateria e garantir uma operação segura?
- Se ou quando a troca de bateria é econômica e sustentável?
- A bateria está funcionando de acordo com as garantias acordadas?
- Qual é o valor residual de uma bateria e ele é adequado para investir em uma segunda vida útil?

Embora os operadores e motoristas de ônibus geralmente possam monitorar o estado de carga (SOC) (p. ex., em uma tela na cabine do ônibus ou por acesso remoto digital), as informações do estado de integridade (SOH) nem sempre estão acessíveis para os operadores e usuários. Além disso, os dados de SOH fornecidos podem ser agregados, limitando a capacidade do usuário de obter perspectivas aprofundadas para responder às perguntas acima na íntegra.

Portanto, é importante que os fabricantes de ônibus elétricos concedam acesso aos dados de diagnóstico da bateria para seus clientes, incluindo o direito de repassar esses dados a terceiros independentes (p. ex., prestadores de serviços de diagnóstico, manutenção e reutilização/recondicionamento de baterias). Esse acesso aos dados deve ser solicitado nas especificações técnicas de forma inequívoca, especificando o tipo de sinais, a unidade física, a exatidão e frequência cujo acesso deve ser concedido. Além disso, os formatos e interfaces dos dados devem ser especificados para garantir que os dados possam ser acessados com o equipamento disponível para o público (unidades telemáticas) e analisados com software disponível para o público.

Recomenda-se também que eventuais deficiências no cumprimento dos respectivos requisitos estão sujeitos a reparação e/ou compensações financeiras.

Quadro 7: Minuta de edital de licitação em relação ao acesso aos dados de diagnóstico de baterias

Os fornecedores devem permitir o monitoramento contínuo dos dados de diagnóstico das baterias, conforme especificado na tabela abaixo, e conceder ao cliente acesso integral a esses dados. Isso também inclui o direito do cliente de estender o acesso a esses dados a qualquer terceiro por ele indicado.

| Sinal | Unidade | Resolução de valor | Resolução de prazos |
|---|---------|--------------------|---------------------|
| Corrente da bateria ao longo do tempo | A | 0,1 A | ≤ 1 s |
| Tensão da bateria ao longo do tempo | V | 0,1 V | ≤ 1 s |
| Temperatura da célula (média/mín/máx) ao longo do tempo | °C | 0,1 °C | ≤ 10 s |
| Tensão da célula (média/mín/máx) ao longo do tempo | V | 0,001 V | ≤ 1 s |
| Estado de carga da bateria (SoC) ao longo do tempo | % | 0,1% | ≤ 10 s |
| Rendimento de carga acumulada | A | 0,1 A | ≤ 60 s |

Os sinais indicados na tabela devem ser continuamente amostrados durante a operação e recarga, e fornecidos em formato digital compatível com o software disponível para o público. Todos os sinais devem ser sincronizados cronologicamente. Todos os sinais devem ser disponibilizados por meio de uma interface de saída padrão, como CAN ou FMS.

As seguintes informações adicionais sobre a bateria devem ser disponibilizadas para o cliente no momento da compra:

- Nome do fornecedor do banco de baterias
- Carga nominal do banco de baterias (em kWh)
- Química da célula da bateria
- Modelo ou número de série da bateria
- Topologia e fiação da bateria:
 - Capacidade nominal da célula (em Ah)
 - Tensão nominal da célula (em V)
 - Número de módulos por banco de baterias
 - Número de células por módulo

3.8 Medida 8: Monitoramento e manutenção profunda das baterias¹²

| | |
|---------------------------|--|
| O quê? | Certificar-se de que os dados operacionais da bateria sejam utilizados para monitoramento e manutenção de alta qualidade das baterias dos ônibus elétricos. |
| Por quê? | O monitoramento e manutenção de alta qualidade podem prolongar significativamente a vida útil da bateria. |
| Relevância para políticas | Baixa: As medidas de monitoramento e manutenção da bateria estão sob a responsabilidade dos operadores da frota de ônibus elétricos e não podem ser regulamentadas em nível central. |

Os requisitos de durabilidade dos ônibus elétricos e das baterias podem ser especificados no projeto e considerados nas especificações do processo de licitação, conforme sugerido na Medida 3. Além disso, o monitoramento e a manutenção adequados das baterias também têm grande influência na vida útil total das baterias e geralmente podem prolongar a primeira vida significativamente além dos períodos de garantia concedidos.

Esse potencial pode ser obtido por meio do monitoramento dos dados de operação (ver a Medida 7) e utilizando essas informações para gerar diagnósticos sofisticados das baterias. Com base nesses esforços orientados por dados, várias medidas podem ser adotadas para prolongar a vida útil das baterias, incluindo planejamento e condução de balanceamento de células e o intercâmbio entre determinados modelos ou células.

Ao planejar o monitoramento e a manutenção das baterias, é importante optar por uma estrutura organizacional que estabeleça incentivos para um serviço de alta qualidade e que estimule o prestador de serviços a possibilitar a maior vida útil da bateria (sem comprometer a segurança e a qualidade). Isso pode ser alcançado por meio de uma das seguintes opções:

- E-bus as a service (Ônibus elétricos como serviço): Os operadores não são proprietários dos ônibus elétricos e das baterias, mas mantêm um contrato em vigor com um fornecedor que também cuida das baterias. Com essas configurações, geralmente também é do interesse do fornecedor que os ônibus elétricos e as baterias sejam cuidadosamente monitorados e mantidos.
- Contratos especiais de monitoramento e manutenção: Os operadores podem optar por contratar um terceiro especializado em diagnóstico e manutenção de baterias. Os contratos devem ser adaptados de forma que o prestador de serviços tenha benefícios próprios tangíveis de um bom serviço, incluindo o prolongamento da vida útil¹³ das baterias. Vale ressaltar que a maior parte do monitoramento e da manutenção pode ser feita remotamente, por meio do acesso aos dados operacionais da bateria. Portanto, o acesso a esses dados é um prerequisite importante (ver medida 7).

¹² Enel X 2023.

¹³ Embora esses serviços também sejam oferecidos por muitos fornecedores de ônibus elétricos, seu principal interesse geralmente está na venda de ônibus e pode ser menos pronunciado quanto ao prolongamento da vida útil de forma significativa, acima dos períodos de garantia contratualmente acordados.

Quadro 8: Exemplo de melhores práticas – E-bus as-a-service demonstrado na Itália

Nas cidades italianas de Roma, Turim e Iglesias, está em andamento um projeto para promover a eletrificação do transporte público por meio de um modelo de ônibus elétrico como serviço (*e-bus as a service*) (Enel X 2023). Por meio de uma parceria privada, as autoridades municipais terceirizaram a implementação do serviço de ônibus elétricos. Isso inclui análises de viabilidade e custo-benefício, opções de financiamento para fornecimento de veículos, instalação de infraestrutura de recarga, operacionalização de rotas e manutenção de veículos e baterias. A digitalização dos sistemas de emissão de passagens e a análise de dados para se focar no descongestionamento das rotas mais movimentadas garantem que os cidadãos tenham uma experiência aprimorada com o transporte público. Embora isso seja obviamente lucrativo para o parceiro privado, as autoridades da cidade podem garantir, por meio da privatização, que os especialistas em eletromobilidade estejam envolvidos na transição do setor de transporte. Com um plano de desenvolvimento de capacidade local integrado, a experiência pode ser desenvolvida ao longo do tempo para garantir a continuidade das operações ao final da vigência do contrato com o prestador de serviços privado, quando os ônibus elétricos forem devolvidos ao órgão de transporte público local (Sustainable Bus 2022).

3.9 Medida 9: Contratos de descomissionamento baseados em REP

| | |
|---------------------------|--|
| O quê? | Garantir que os custos e esforços para uma boa gestão de fim de vida útil não recaiam sobre os municípios, órgãos de trânsito ou operadoras de ônibus. A Responsabilidade Estendida do Produtor (REP) deve garantir que os esforços e custos para uma boa gestão de fim de vida útil sejam cobertos pelos fabricantes. |
| Por quê? | Uma gestão de fim de vida útil adequada das baterias pode estar associada a custos adicionais. Além disso, a implementação de soluções adequadas para o fim de vida útil das baterias requer know-how específico, que não está incluído nas competências essenciais das operadoras de ônibus elétricos. |
| Relevância para políticas | Alta: A Responsabilidade Estendida do Produtor (REP) é mais bem introduzida por meio de sistemas obrigatórios em todo o país que exijam que os fabricantes e importadores adotem medidas adequadas para recuperar e gerenciar corretamente os resíduos decorrentes de seus produtos. |

Conforme indicado na Seção 2.2, a Responsabilidade Estendida do Produtor é um meio importante para garantir que as responsabilidades e os custos relacionados à boa gestão de fim de vida útil das baterias não recaiam sobre os usuários dessas baterias. Isso é particularmente relevante, pois a boa gestão de fim de vida útil das baterias dos ônibus elétricos pode estar associada a custos líquidos, o que, para muitos operadores de frotas

de ônibus, será uma mudança de paradigma em uma situação em que sempre existe a possibilidade de se vender os ônibus antigos por um preço positivo (veja também a Seção 2.3.3).

Em países em que os sistemas REP para baterias de veículos elétricos já estão desenvolvidos, os órgãos de trânsito e as operadoras podem se referir às obrigações legais existentes dos fabricantes e exigir que sejam adotadas medidas adequadas para que as baterias sejam coletadas e gerenciadas por meios fornecidos e financiados pelo fabricante ou importador (dos ônibus elétricos)¹⁴.

Embora a mesma abordagem possa ser adotada em países sem esquemas de REP em vigor, com a especificação de responsabilidades pelo fim da vida útil em processos de licitação e documentos contratuais, há um desafio importante relacionado ao fato de que vários anos decorrem entre a aquisição e o descomissionamento dos ônibus elétricos: Embora a aquisição exija critérios claramente verificáveis, é difícil verificar se um contrato de devolução e reciclagem ainda será viável em 5 ou 10 anos¹⁵.

Portanto, a maneira mais confiável de garantir que a gestão de fim de vida seja assumida pelo fabricante é uma estratégia de aquisição que combine a) aquisição dos ônibus, b) manutenção e c) boa gestão de equipamentos em fim de vida útil. Particularmente, o elemento de manutenção garante que os parceiros contratados sejam expostos quando se trata de descomissionamento das baterias. Em qualquer caso, é importante que a responsabilidade pela boa gestão de fim de vida útil seja claramente especificada nos contratos – de preferência com requisitos como os propostos na Seção 3.11.

¹⁴ Além disso, os documentos de processos de licitação e contratos podem especificar indicadores-chave de desempenho para gestão de fim de vida útil, conforme sugeridos no Quadro 9.

¹⁵ Esquemas de REP bem organizados têm mecanismos previstos para esse fim. Nesses sistemas, as obrigações dos fabricantes são gerenciadas por uma ou mais Organizações de Responsabilidade do Produtor (ORP) registradas que mantêm fundos de reserva para futuras responsabilidades de coleta e reciclagem.

Quadro 9: Minuta de edital de licitação para descomissionamento de baterias, baseado em EPR

O fornecedor assumirá total responsabilidade pela gestão de fim de vida útil das baterias após a sua primeira utilização em ônibus elétricos.

A responsabilidade se acumula quando o proprietário dos ônibus elétricos e o fornecedor ou terceiro responsável pela manutenção das baterias concluírem em conjunto que a bateria não cumpre mais sua função pretendida e não pode mais ser recondicionada pelas medidas de manutenção convencionais (decisão de descomissionamento).

Uma vez que uma ou mais baterias de ônibus elétricos não possam mais cumprir sua função, elas devem ser retiradas dos veículos e gerenciadas de maneira segura e responsável, de acordo com os requisitos especificados na Seção [link para a respectiva Seção, por exemplo, conforme especificado no Quadro 11].

As responsabilidades do fornecedor abrangem todos os aspectos logísticos, administrativos e financeiros relacionados a essas tarefas e devem ser conduzidas em tempo hábil e no prazo de [X] semanas após ter sido informado sobre a decisão de descomissionamento. As responsabilidades do fornecedor podem ser cumpridas por intermédio um terceiro, designado pelo fornecedor, pressupondo-se que esse terceiro possa comprovar sua capacidade de conduzir todas as tarefas relacionadas aos devidos cuidados e de acordo com as disposições estabelecidas.

O fornecedor deve comprovar que tem capacidade suficiente para cumprir esse requisito em [nome da cidade e do país] e garantir sua disponibilidade por pelo menos [12] anos a partir da data de comissionamento dos ônibus elétricos e das baterias. Essa comprovação pode se referir às provisões adequadas emanadas de uma Organização de Responsabilidade do Produtor para baterias de veículos registradas como tal no(a) [nome do país].

3.10 Medida 10: Incentivos à reutilização da bateria

| | |
|---------------------------|---|
| O quê? | Incentivar projetos de baterias e modelos de negócios que tenham como objetivo e prevejam a reutilização/recondicionamento das baterias após a primeira utilização em ônibus elétricos. |
| Por quê? | Muitas baterias antigas que não são mais adequadas para alimentar ônibus elétricos ainda podem ser usadas em outras aplicações. Essa reutilização ou reaproveitamento aumenta significativamente a vida útil da bateria. |
| Relevância para políticas | Meio: Os tomadores de decisão podem incentivar estratégias de reutilização/reaproveitamento. Essa meta pode ser alcançada por meio de políticas de REP (ver a medida 9) que envolvam metas obrigatórias para a reutilização e o reaproveitamento de baterias. |

A Medida 9 sobre contratos de descomissionamento também pode ser estendida de forma que os fornecedores sejam incentivados a planejar utilizações na segunda vida útil para as baterias na fase de produção. Embora todas as considerações sobre a economia circular das baterias dos ônibus elétricos citem aplicações de segunda ou até terceira vida útil por meio

da reutilização/recondicionamento (ver a Seção 2.4), existem vários desafios que vão além do aspecto dos dados de diagnóstico das baterias cobertos na Medida 7:

- Os sistemas de gestão de temperatura, compartimento de proteção e BMS são adaptados às necessidades dos ônibus elétricos. Aplicações estacionárias necessitam de diferentes aspectos de projeto.
- Embora seja teoricamente possível fabricar baterias que atendam aos critérios de projeto para aplicações móveis e estacionárias ("projeto de reutilização"), a segunda fase da vida útil está alguns anos no futuro. Um projeto para reutilização só trará vantagens tangíveis para o fabricante se um número suficiente dessas baterias for disponibilizado para reutilização/reaproveitamento em uma área geográfica definida (p. ex., um país), em um prazo razoável e para entidades que cooperem com o fabricante.

Devido às várias incertezas dos futuros mercados de segunda vida útil de baterias, bem como à falta de normas claras de projetos para reutilização, apenas algumas empresas atualmente adotam essas estratégias de projetos de reutilização¹⁶.

No processo de licitação, pode-se considerar a possibilidade de encorajar esses projetos de reutilização. Especificamente, os documentos do processo de licitação podem considerar esse aspecto como um critério não obrigatório, segundo o qual os proponentes que puderem comprovar com credibilidade que seguem uma estratégia de projeto para reutilização recebam créditos extras e obtenham uma classificação melhor em comparação aos proponentes que não responderem de forma convincente a esse critério.

Recomenda-se abordar esse aspecto estreitamente vinculado aos requisitos dos contratos de descomissionamento baseados em REP (Medida 9) e à boa gestão de fim de vida útil da bateria (Medida 11).

Quadro 10: Minuta de edital de licitação para incentivar a reutilização de baterias

Os fornecedores são incentivados a projetar baterias de ônibus elétricos de forma que possam ser reutilizadas/reaproveitadas após sua primeira vida útil como baterias de ônibus elétricos e a integrar a reutilização/recondicionamento ao seu modelo de negócios. As estratégias de projeto podem envolver (sem limitação) bancos de baterias que possam ser transferidos para outras funções de armazenamento de energia sem modificação física e o uso de sistemas de gestão de baterias que permitam a interoperabilidade com uma ou mais aplicações estacionárias comuns. Modelos de negócios relacionados podem envolver (sem limitação) iniciativas para recuperar baterias usadas com o objetivo de implementá-las em aplicações de segunda vida útil, como armazenamento estacionário de energia.

O fornecedor deve indicar se segue uma ou mais dessas abordagens e fornecer explicações básicas e conceitos inerentes, incluindo links para documentos e sites relevantes. Além disso, o fornecedor deve informar se essas iniciativas:

- se aplicam aos ônibus elétricos e às baterias oferecidas no processo de licitação;
- serão implementadas ou têm previsão de implantação viável em [nome da cidade e ou do país].

¹⁶ Entre outras, a Volvo está realizando testes de reaproveitamento de baterias usadas de ônibus elétricos para aplicações solares estacionárias (Sustainable Bus 2020).

3.11 Medida 11: Gestão bem administrada do fim da vida útil da bateria

| | |
|---------------------------|--|
| O quê? | Especificar os principais indicadores de desempenho para garantir que a gestão de fim de vida útil das baterias seja conduzida de acordo com as melhores práticas estabelecidas. |
| Por quê? | Garantir que as baterias do usuário e as baterias em fim de vida útil sejam gerenciadas de acordo com requisitos ambiciosos de economia circular. |
| Relevância para políticas | Alta: O ideal é que a gestão adequada de baterias de veículos elétricos seja regulamentada em nível nacional, de forma que os processos abaixo do padrão e as vias de descarte sejam proibidos e efetivamente sancionados. |

Uma vez descomissionados os ônibus elétricos ou suas baterias, é importante que a operação seja realizada por empresas experientes, que atuem de acordo com as melhores práticas internacionais relacionadas à saúde e segurança, reutilização e reciclagem. Basicamente, qualquer parceiro de gestão de fim de vida útil que assuma as baterias obsoletas de ônibus elétricos deverá garantir a sequência de transporte, teste, reutilização e reciclagem seguros, conforme indicados na Figura 4. No entanto, não existe uma norma internacional que defina a reciclagem adequada de baterias de íon-lítio. Portanto, os proprietários de ônibus elétricos que pretendam descomissionar baterias não contam com uma orientação clara sobre como identificar operadoras adequadas. Para solucionar esse problema, é preciso descrever os principais indicadores de desempenho em documentos contratuais de serviços de gestão de fim de vida útil (ver Quadro 9).

É importante considerar que a reciclagem completa das baterias de íon-lítio está normatizada até o momento apenas em um número limitado de países na Ásia (p. ex., China, Japão, Coreia do Sul), na Europa (p. ex., Bélgica, Finlândia, França, Alemanha) e na América do Norte (p. ex., EUA) (Sojka et al. 2020). Enquanto processos de reciclagem também estão sendo estabelecidos em países como Índia, África do Sul, Costa Rica, Colômbia e Brasil, muitas regiões do mundo ainda carecem de capacidades relacionados, de modo que uma reciclagem adequada dependerá de remessas através de fronteiras internacionais. Portanto, os contratos de descarte de baterias usadas de veículos podem, em alguns casos, contar com empresas especializadas em gestão internacional de resíduos perigosos. Vale ressaltar que esses contratos de descarte podem estar associados a custos líquidos (ver também Seção 2.3.4). A Medida 9 traz algumas orientações sobre como esses custos podem ser delegados aos fabricantes de ônibus e baterias.

Quadro 11: Definir os indicadores de desempenho para contratos de gestão adequada de fim de vida útil de baterias de veículos

As baterias devem ser coletadas, transportadas e processadas de acordo com as melhores práticas internacionais em todas as áreas relacionadas, incluindo segurança contra incêndio, segurança rodoviária e saúde e segurança ocupacional.

Todas as baterias devem ser submetidas a uma avaliação do estado de integridade com o intuito de determinar seu potencial de reutilização/recondicionamento. Baterias, módulos e células de baterias considerados adequados para reutilização/recondicionamento devem ser usados conforme os mesmos padrões.

Baterias, módulos e células de bateria consideradas inadequadas para reutilização/recondicionamento devem ser recicladas. A reciclagem deve ser conduzida de acordo com as melhores práticas internacionais e com o objetivo de prevenir efetivamente as emissões de substâncias perigosas, recuperar matérias-primas utilizadas e reduzir o volume de resíduos para descarte.

Os processos de reciclagem aplicados devem atingir pelo menos uma eficiência de reciclagem de 50% (pelo menos 50% da massa da bateria é reciclada) e permitir a recuperação de cobre, cobalto e níquel.

Todas as etapas conduzidas devem manter total conformidade com as leis e regulamentos nacionais e internacionais em vigor.

A operadora que assumir a responsabilidade pelas baterias deverá comprovar a conformidade com os requisitos acima. A operadora deverá fornecer pelo menos a seguinte documentação ao cliente:

- Todas as licenças e autorizações exigidas pela legislação nacional (a serem fornecidas antes de receber as baterias).
- Um certificado de gestão adequada de todas as baterias recebidas. O certificado deve conter informações claras sobre o paradeiro de cada bateria ou das respectivas peças e frações, dos processos de gestão aplicados e links de operadoras downstream que tenham assumido a totalidade ou parte dos materiais gerados (a serem fornecidos no prazo de 3 meses após o recebimento das baterias).

Notas de rodapé:

- A eficiência de reciclagem de 50% é um valor bastante plausível conforme as melhores práticas atuais. Na Europa, estão planejados valores mínimos obrigatórios mais ambiciosos (65% até o final de 2025, 70% até o final de 2030) em combinação com níveis mínimos específicos de recuperação de materiais (p. ex., 50% para lítio e 90% para cobalto, níquel e cobre até ao final de 2027) (Conselho da União Europeia 2023).
- A recuperação de cobre, cobalto e níquel está bem estabelecida nos atuais processos de reciclagem de baterias de íon-lítio. No futuro, o lítio pode ser adicionado a essa lista. No entanto, a recuperação de lítio ainda não é uma prática padrão.

4 Leitura adicional

As referências a seguir são consideradas materiais úteis para o planejamento de medidas referentes à economia circular das baterias de ônibus elétricos.

| | Tipo de publicação | Conteúdo | Referência |
|--|----------------------|--|---------------------------|
| Industrial Recycling of Lithium-Ion Batteries – A Critical Review of Metallurgical Process Routes | Artigo científico | Visão geral detalhada dos processos de reciclagem existentes para baterias de íon-lítio e suas especificações. | (Brückner et al. 2020) |
| Comparative study of Lithium-ion battery recycling processes | Relatório científico | Uma boa visão geral sobre a situação atual da reciclagem de baterias de íon-lítio, incluindo aspectos como substâncias perigosas. Também uma boa visão geral dos principais agentes de reciclagem em todo o mundo. | (Sojka et al. 2020) |
| International Review on Recycling Ecosystem of Electric Vehicle Batteries | Relatório | Descrição dos ecossistemas de reciclagem de baterias em vários países, incluindo Alemanha, UE, Califórnia (EUA), China, Japão e África do Sul. | (Bej et al. 2022) |
| Research on Technical Systems of Battery Electric Buses in China | Relatório | Análise de desafios e soluções para aquisição de ônibus elétricos, instalações de suporte, operação, manutenção e descomissionamento na China. | (Li et al. 2022) |
| Battery Ecosystem: A Global Overview, Gap Analysis in Indian context, and Way Forward for Ecosystem Development | Relatório | Análise de vários aspectos de tipos, aplicações, padrões, reutilização, reciclagem, etc. de baterias. Foco principal na Índia, mas também com forte perspectiva global. | (Mandal et al. 2022) |
| Second life batteries lifespan: Rest of useful life and environmental analysis | Artigo científico | Oferece uma visão global dos conceitos de reutilização/reaproveitamento de baterias. | (Casals et al. 2019) |
| A Study on the Safety of Second-life Batteries in Battery Energy Storage Systems | Relatório | Visão geral sobre a situação atual da reutilização de baterias de VE e considerações e normas de segurança relacionadas. | (Christensen et al. 2023) |

Tabela 4 Visão geral de publicações úteis para leitura adicional

Fonte: Compilação própria

Lista de referências

- Aamodt, A.; Cory, K.; Coney, K. (2021): Electrifying transit: A guidebook for implementing cattery electric buses, 2021. Online available at <https://www.nrel.gov/docs/fy21osti/76932.pdf>, last accessed on 13 Mar 2023. Figure 2 1: The 5-step waste hierarchy
- avicenre energy (2019): The Rechargeable Battery Market and Main Trends 2018-2030, 2019. Online available at https://rechargebatteries.org/wp-content/uploads/2019/02/Keynote_2_AVICENNE_Christophe-Pillot.pdf, last accessed on 13 Jul 2022.
- Ayeter, G. K.; Quansah, D. A.; Adjei, E. A. (2020): Towards zero vehicle emissions in Africa: A case study of Ghana. In: *Energy Policy* 143, p. 111606. DOI: 10.1016/j.enpol.2020.111606.
- Battery University (2021): Types of Lithium-ion. Online available at <https://batteryuniversity.com/article/bu-205-types-of-lithium-ion>, last updated on 22 Oct 2021, last accessed on 24 Nov 2022.
- Bej, S.; Zhimomi, T.; Hochfeld, C.; Riehle, E.-B.; Rather, Z.; Bradiya, M. R.; Maity, S. (2022): International review on Recycling Ecosystem of Electric Vehicle Batteries. New Delhi, 2022. Online available at <https://changing-transport.org/publications/review-recycling-ecosystem-electric-vehicle-batteries/>, last accessed on 8 Dec 2022.
- BMU & UBA (2011): Environmentally Sound Alternatives in Mobile Air Conditioning. Federal Ministry for the Environment, Nature Conversation and Nuclear Safety (BMU) and Federal Environment Agency (ed.), 2011. Online available at https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/419/dokumente/factsheet_mobile_air_conditioning1.pdf, last accessed on 7 Dec 2022.
- Brückner, L.; Frank, J.; Elwert, T. (2020): Industrial Recycling of Lithium-Ion Batteries—A Critical Review of Metallurgical Process Routes. In: *Metals* 10 (8), p. 1107. DOI: 10.3390/met10081107.
- California Code of Regulations (2022): Final Regulation Order, Section 1962.6, Title 13, California Code of Regulations, 2022. Online available at <https://www2.arb.ca.gov/sites/default/files/barcu/regact/2022/accii/2accifro1962.6.pdf>, last accessed on 19 Jan 2023.
- Casals, L. C.; García, B. A.; Canal, C. (2019): Second life batteries lifespan: Rest of useful life and environmental analysis. In: *Journal of Environmental Management* (232), pp. 354–363. Online available at <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.11.046>.
- Christensen, P. A.; Mrozik, W.; Wise, M. S. (2023): A Study on the Safety of Second-life Batteries in Battery Energy Storage Systems. Office for Product Safety & Standards (ed.), 2023. Online available at https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/1133213/safety-of-second-life-batteries-in-bess.pdf, last accessed on 10 Feb 2023.
- Council of the European Union (2023): Proposal for a Regulation of the European Parliament and of the Council concerning batteries and waste batteries, repealing Directive 2006/66/EC and amending Regulation (EU) No 2019/1020. Interinstitutional File: 2020/0353(COD). Brussels.
- DERA (2022): Rohstoff Preismonitor Oktober 2022, 2022. Online available at https://www.deutsche-rohstoffagentur.de/DERA/DE/Aktuelles/Monitore/2022/10-22/2022-10-preismonitor.pdf;jsessionid=2AEB7988FE0404ED8EC9B6190FFCF684.2_cid321?__blob=publicationFile&v=3, last accessed on 24 Nov 2022.
- Enel X (2023): Trasporto elettrico pubblico: le soluzioni | Enel X. Available online at <https://www.enelx.com/it/it/istituzioni/trasporto-elettrico/elettrificazione-urbana/trasporto-pubblico>, updated on 4/18/2023, checked on 4/18/2023.
- Electrive.net (1 Apr 2022): Gotion High-Tech baut LFP-Zellen mit 210 Wh/kg in Serie, 1 Apr 2022. Online available at <https://www.electrive.net/2022/04/01/gotion-high-tech-baut-lfp-zellen-mit-210-wh/kg-in-serie/>, last accessed on 30 Nov 2022.
- European Commission (2015): Circular Economy Package: Questions & Answers. Online available at https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/MEMO_15_6204, last accessed on 23 Nov 2022.
- European Commission (2020): Proposak for a Regulation of the European Parliament and of the Council concerning batteries and waste batteries, repealing Directive 2006/66/EC and amending Regulation (EU) No 2019/1020, 2020.
- European Union (2000): Directive 2000/53/EC of the European Parliament and of the Council of 18 September 2000 on end-of-life vehicles, 2000.
- European Union (2006a): Directive 2006/40/EC of the European Parliament and of the Council of 17 May 2006 relating to emissions from air-conditioning systems in motor vehicles and amending Council Directive 70/156/EEC, 2006. Online available at <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32006L0040&from=EN>, last accessed on 8 Dec 2022.
- European Union (2006b): Directive 2006/66/EC of the European Parliament and of the Council of 6 September 2006 on batteries and accumulators and waste batteries and accumulators and repealing Directive 91/157/EEC, 2006.
- Fuller, R.; Landrigan, P. J.; Balakrishnan, K.; Bathan, G.; Bose-O'Reilly, S.; Brauer, M.; Caravanos, J.; Chiles, T.; Cohen, A.; Corra, L.; Cropper, M.; Ferraro, G.; Hanna, J. et al. (2022): Pollution and health: a progress update. In: *The Lancet. Planetary health* 6 (6), e535-e547. DOI: 10.1016/S2542-5196(22)00090-0.
- Gao, Z.; Lin, Z.; LaClair, T. J.; Liu, C.; Li, J.-M.; Birky, A. K.; Ward, J. (2017): Battery capacity and recharging needs for electric buses in city transit service. In: *Energy* 122, pp. 588–600. DOI: 10.1016/j.energy.2017.01.101.

- Henning, M.; Thomas, A. R.; Smyth, A. (2019): An Analysis of the Association between Changes in Ambient Temperature, Fuel Economy, and Vehicle Range for Battery Electric and Fuel Cell Electric Buses, 2019. Online available at <https://www.sustainable-bus.com/wp-content/uploads/2019/12/electric-bus-range-cold-weather.pdf>, last accessed on 24 Nov 2022.
- Li, C.; Wu, Z.; Li, W.; Mu, K. (2022): Research on Technical Systems of Battery Electric Buses in China, 2022. Online available at <https://transition-china.org/wp-content/uploads/2022/12/Research-on-Technical-Systems-of-Battery-Electric-Buses-in-China-4.pdf>, last accessed on 10 Jan 2023.
- Mandal, A.; Dikshit, C.; Singha, H.; Parihar, A.; Tripathy, A.; Mohapatra, P. (2022): Battery Ecosystem: A Global Overview, Gap Analysis in Indian context, and Way Forward for Ecosystem Development. New Delhi, 2022. Online available at https://changing-transport.org/wp-content/uploads/GIZ_Battery-ecosystem-report.pdf, last accessed on 30 Jan 2023.
- Manhart, A.; Betz, J.; Schleicher, T.; Hilbert, I.; Smit, R.; Jung, H.; Adogame, L.; Olagunju, I.; Clews, A.; Adegun, O. (2022): Management of End-of-life Li-ion Batteries through E-waste Compensation in Nigeria, 2022. Online available at https://prevent-waste.net/wp-content/uploads/2022/05/Management-of-End-of-life-Li-ion-Batteries-through-E-waste-Compensation-in-Nigeria_Feasibility-Study_ECoN.pdf, last accessed on 2 Dec 2022.
- MassTransit (2015): BYD Announces 12 year Battery Warranty. Online available at <https://www.masstransitmag.com/home/press-release/12058920/byd-motors-llc-byd-announces-12-year-battery-warranty>, last accessed on 13 Mar 2023.
- McGuffie, M. (2021): Driving the Shift to Electric Buses in Hot Climates - Battery Electric Buses in the Phoenix Metropolitan Area, 2021. Online available at https://www.azta.org/images/uploads/event-files/Driving_the_Shift_to_Electric_Buses_in_Hot_Weather_Climates_VM_PDF.pdf, last accessed on 24 Nov 2022.
- Miaja, G. G.; Acevedo, H.; Leticia, C. J. (2022): Análisis del monitoreo de desempeño de autobuses eléctricos en la ciudad de México, 2022. Online available at <https://theicct.org/wp-content/uploads/2022/12/Mexico-hvs-ZEBRA-analisis-desempeno-buses-electricos-cdmx-dec22.pdf>, last accessed on 7 Dec 2022.
- Poworks (2020): A Comparison of NMC/NCA Lithium ion Battery and LFP Battery - Poworks. Available online at <https://poworks.com/a-comparison-of-nmc-nca-lithium-ion-battery-and-lfp-battery>, updated on 7/28/2022, checked on 4/18/2023.
- Prevent & StEP (2022): Practical Experiences with the Basel Convention: Challenges, Good Practice and Ways to Improve Transboundary Movements of E-Waste in Low and Middle Income countries, Discussion Paper, 2022. Online available at https://prevent-waste.net/wp-content/uploads/2022/04/PREVENT-STEP_Practical_Experiences_Basel-Convention_discussion-paper-2022.pdf, last accessed on 7 Dec 2022.
- Report Linker (2021): Electric Bus Market, 2021. Online available at https://www.reportlinker.com/p06180080/Electric-Bus-Market.html?utm_source=GNW, last accessed on 24 Nov 2022.
- Slattery, M.; Dunn, J.; Kendall, A. (2021): Transportation of electric vehicle lithium-ion batteries at end-of-life: A literature review. In: Resources, Conservation and Recycling 174, p. 105755. DOI: 10.1016/j.resconrec.2021.105755.
- Sojka, R.; Pan, Q.; Billmann, L. (2020): Comparative study of Lithium-ion battery recycling processes. ACCUREC Recycling GmbH (ed.), 2020. Online available at <https://accurec.de/wp-content/uploads/2021/04/Accurec-Comparative-study.pdf>, last accessed on 2 Dec 2022.
- Sustainable Bus (2020): Volvo Buses, the focus on reuse of bus batteries. A cooperation with Batteryloop. 14.09.2020, 2020. Online available at <https://www.sustainable-bus.com/news/reuse-bus-batteries-volvo-buses-batteryloop-stena-recycling/>, last accessed on 16 Feb 2023.
- UNECE (2022): United Nations Global Technical Regulation on In-vehicle Battery Durability for Electrified Vehicles, 2022. Online available at https://unece.org/sites/default/files/2022-04/ECE_TRANS_180a22e.pdf, last accessed on 10 Jan 2023.
- Wunderlich-Pfeiffer, F. (12 Oct 2022): Die Revolution der Natrium-Akkus wird absehbar. In: golem.de. 2022, 12 Oct 2022. Online available at <https://www.golem.de/news/akkutechnik-die-revolution-der-natrium-akkus-wird-absehbar-2210-168344.html>, last accessed on 19 Oct 2022.
- Zhu, J.; Mathews, I.; Ren, D.; Li, W.; Cogswell, D.; Xing, B.; Sedlatschek, T.; Kantareddy, S. N. R.; Yi, M.; Gao, T.; Xia, Y.; Zhou, Q.; Wierzbicki, T. et al. (2021): End-of-life or second-life options for retired electric vehicle batteries. In: Cell Reports Physical Science 2 (8), p. 100537. DOI: 10.1016/j.xcrp.2021.100537.

