

VEÍCULOS ELÉTRICOS NO TRANSPORTE DE CARGAS: PROPOSTAS PARA VENCER OS DESAFIOS QUE AINDA IMPEDEM SEU CRESCIMENTO

LEANDRO ROCHA BARROS

PROGRAMA DE ENGENHARIA DE TRANSPORTES/ COPPE/ UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO

VEÍCULOS ELÉTRICOS NO TRANSPORTE DE CARGAS: PROPOSTAS PARA VENCER OS DESAFIOS QUE AINDA IMPEDEM SEU CRESCIMENTO

1. INTRODUÇÃO

Devido à urbanização, à globalização, ao crescimento populacional, ao desenvolvimento cada vez maior das grandes cidades por todo o mundo e ao *boom* vivido pelo *e-commerce* nos últimos anos, teve-se como consequência a expansão da circulação de veículos e bens nas vias urbanas, e o transporte de cargas tornou-se ainda mais um suporte vital para atender as necessidades da população e promover o desenvolvimento social e econômico dos países, o que levou também a um grande aumento na demanda de energia. Porém, não houve a conscientização quanto à utilização de energias limpas e os derivados do petróleo continuaram sendo os principais combustíveis utilizados, o que fez com que as emissões de poluentes atmosféricos e gases do efeito estufa atingissem valores exorbitantes, o que levou à preocupação mundial sobre suas consequências para o planeta, sendo as principais delas as mudanças climáticas.

Liimatainen *et al.* (2019) comentaram que mundialmente, as emissões de CO₂ dos transportes chegam a 9 trilhões de toneladas anuais e o transporte de cargas é responsável por pouco menos da metade das emissões do setor. Essa situação se agrava porque há uma tendência de aumento das emissões entre 56% a 70% devido ao grande crescimento esperado na demanda por transporte de cargas, o que compromete os avanços obtidos na eficiência energética. Outro dado que corrobora esta situação foi demonstrado por Gangloff *et al.* (2017), que disseram que a estimativa de aumento nos quilômetros percorridos por caminhões é de 80% para 2050 comparados aos níveis de 2010.

Avanços nesse objetivo já são claramente percebidos, como na tendência da substituição dos veículos a combustão interna pelos elétricos, que vem ocorrendo de forma lenta, porém contínua. Talebian *et al.* (2018) afirmaram que a eletrificação pode resultar numa redução das emissões de gases do efeito estufa e da contaminação do ar em larga escala se a energia for gerada a partir de fontes renováveis ou se as instalações de produção estiverem equipadas com tecnologias de captura de carbono, fato que deve ser muito considerado, já que conforme demonstrado por Juan *et al.* (2016), o setor de transportes representa pouco mais de 25% do total do consumo mundial de energia.

Como vantagens, os veículos elétricos não emitem poluição atmosférica pelo tubo de escape; seus ruídos são praticamente imperceptíveis, e por isso são adequados para entregas noturnas, aumentando sua flexibilidade operacional; apresentam menores custos operacionais, o que é fundamental para o transporte de cargas, já que percorrem elevadas quilometragens diárias. Os custos operacionais são reduzidos devido aos menores consumo e custo de energia por quilômetro percorrido e também menor custo de manutenção, este numa faixa entre 20 a 30% (Quak *et al.*, 2016a; Margaritis *et al.*, 2016; Ehrler *et al.*, 2019) se comparado aos veículos convencionais. Poderiam ser maiores se necessárias a substituição de peças e principalmente da bateria, porém, estas, o motor e a eletrônica dificilmente apresentam problemas, o que aumenta a confiabilidade nesses veículos e sua vida útil. Um dos motivos deste benefício é que o motor possui um número bastante inferior de peças móveis de rotação sujeitas a desgaste.

Outros benefícios dos veículos elétricos são o motor e o sistema de transmissão mais leves; não necessitam da substituição de filtros e fluidos operacionais; não consomem energia quando parados no trânsito; sua aceleração é mais rápida devido à maior eficiência energética e ao deslocamento suave dos motores elétricos; e são mais fáceis e confortáveis de serem conduzidos

devido a não possuírem sistema de embreagem. Seu sistema de propulsão apresenta maior eficiência, que corresponde ao percentual de energia elétrica gasta convertida em energia útil para o veículo, entre 59 a 62%, valor calculado pela multiplicação das eficiências da bateria, do carregador (90% cada uma), e do motor elétrico (entre 72,4% a 76,2%), esta última já ajustada para perdas no inversor, transmissão e sistemas auxiliares (Vaz *et al.*, 2015). O valor da eficiência de um veículo a combustão interna é de aproximadamente 35% (Tanco *et al.*, 2019).

Apesar dos inúmeros benefícios que a eletrificação do transporte de cargas apresenta, ainda realiza uma pegada ecológica discreta no ambiente urbano, já que os estudos e pesquisas sobre sua eletrificação ficaram relegados a terceiro plano em comparação com os veículos elétricos destinados ao transporte público e principalmente com os carros particulares, já possuindo em ambos grande impacto no planejamento de transportes e na formulação de políticas públicas. Outro agravante é que os efeitos negativos dos transportes dificilmente são levados em consideração no desenvolvimento das atuais políticas e estratégias logísticas.

Face ao acima exposto, o objetivo deste artigo será mostrar quais os desafios ainda existentes para o crescimento na utilização dos veículos elétricos no transporte de cargas e propor soluções para vencer estes desafios, o que será realizado através de uma revisão da literatura, contribuindo com o estado da arte do tema.

A partir desta introdução, o presente artigo terá mais quatro seções. A segunda mostrará qual foi a metodologia usada para sua escrita. A terceira será uma revisão bibliográfica a respeito dos desafios existentes. A quarta será uma proposta de soluções para resolver o problema da pesquisa. E a quinta será as conclusões deste trabalho.

2. METODOLOGIA

Foi realizada uma revisão bibliográfica sobre o tema proposto, na qual artigos foram selecionados inicialmente a partir do título e resumo de cada um deles. Após essa seleção, foi realizada a leitura destes e foram escolhidos aqueles que apresentaram maior quantidade e qualidade de informações a respeito do tema. Estes trabalhos estão dentro do período de 2014 a 2020, por representar o que há de mais recente sobre o tema, sem delimitação espacial.

Após a leitura de artigos que tratavam sobre veículos elétricos para transporte urbano de cargas de maneira geral e adquirir conhecimento quanto aos seus benefícios e aos desafios que ainda impedem seu crescimento no mercado, buscou-se entender cada desafio encontrado e a procurar artigos cujo objetivo fosse propor soluções para cada um deles individualmente. Após estes serem analisados, foram selecionadas soluções para ultrapassar cada desafio que ainda impede uma maior utilização dos veículos elétricos no transporte urbano de cargas e então apresentá-las neste artigo.

Sabe-se que os veículos elétricos são uma tecnologia ainda em fase de aprimoramento se comparados aos consolidados veículos convencionais e que seus níveis de vendas no mercado, apesar de crescentes ainda são baixos, o que faz com que sua introdução no transporte de cargas não seja imediata e sim gradual. Devido a isso, as soluções propostas neste artigo, para cada desafio enfrentado pelos veículos elétricos, são aquelas que atualmente apresentam benefícios técnicos e/ou financeiros que podem ajudar no crescimento dos veículos elétricos no transporte de cargas.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Como ocorre com novas tecnologias, é necessário resolver os mais variados desafios que apresentarão em seu desenvolvimento, o que faz com que a mudança dos veículos a combustão interna para os elétricos não seja imediata. Os desafios ao seu desenvolvimento são inúmeros, sendo os principais a falta de informações da população e das empresas sobre este tipo de força motriz e seus benefícios ambientais, o que gera uma desconfiança de muitos e faz com que seu potencial não seja explorado ao máximo; os altos investimentos de aquisição, impulsionados principalmente pelos investimentos em pesquisa, desenvolvimento e pelo custo das baterias; a baixa autonomia, que pode exigir recargas frequentes, inclusive entre clientes de uma mesma operação de distribuição ou coleta de cargas, já que reduzir o número de entregas não é uma opção lucrativa, e também o aumento da capacidade da bateria, que apresenta um excessivo peso, que pode chegar a 450 kg (Porchera *et al.*, 2016), o que reduz a capacidade de carga útil dos veículos. Outro entrave é a infraestrutura de recarga necessária que ainda está em estado bastante inicial, o que leva a insegurança de muitos condutores sobre se conseguirão realizar suas atividades por completo sem sofrerem com a ansiedade de alcance.

A ansiedade de alcance consiste na preocupação dos motoristas em conseguir realizar todo o percurso com a capacidade da bateria existente, o que pode fazer com que o processo de descarga acelere através de uma mudança no estilo de condução, com acelerações rápidas, altas velocidades e frenagens bruscas, o que leva a necessidade de um treinamento para os condutores dos veículos elétricos. Esse receio seria mais comum nos motoristas de transporte urbano de cargas, pois costumam percorrer elevadas quilometragens diárias e dirigem por mais horas ao decorrer de um dia útil.

Como diminuir os tempos de recarga, aperfeiçoando uma de suas melhores alternativas que é ser feita diretamente à rede elétrica, além de implementar outros métodos de recarga, são resultados que se deseja alcançar, e investimentos e adaptações na infraestrutura são necessários para isto. Os veículos também podem fornecer energia ao sistema elétrico em horários de pico e realizar o abastecimento em horários de baixa demanda, utilizando o conceito denominado *Vehicle-to-grid* (V2G) ou recarga bidirecional, que absorve o excesso de eletricidade e o devolve ao sistema para períodos de picos de carga, obtém custos mais baixos de recarga através de tarifas comerciais, reduz a pressão sobre a rede elétrica decorrente da recarga simultânea dos veículos e permite aos proprietários dos veículos vender o excedente de energia (Ferro *et al.*, 2018). Outra necessidade que apresentam quanto à recarga é a padronização dos equipamentos, instalações e normas (Talebian *et al.*, 2018), já que diferentes conectores, tomadas, sistemas de pagamento e regras complicam o processo, reduzindo o desejo das organizações de comprarem veículos elétricos para suas frotas (Wang e Thoben, 2017).

Sua área de mercado ainda apresenta uma pequena quantidade de veículos e variedade de modelos, sobretudo de vans e caminhões maiores (Quak *et al.*, 2016a), já que até agora os veículos elétricos foram desenvolvidos para soluções tecnológicas isoladas e não em um conceito geral de logística, salvo poucas exceções (Ehrler *et al.*, 2020). Outra dificuldade é o baixo número de oficinas para manutenção, reparos e trocas de peças, que são muito distintas em relação aos veículos convencionais. Este fato ocorre devido a ser um produto ainda em sua fase introdutória, pouco utilizado e ao baixo número de especialistas no ramo, poucos conhecem as especificações técnicas desses veículos para corrigi-los. Quando ocorrem problemas técnicos, ainda há o risco considerável de não haver disponibilidade de peças e recursos para resolvê-los de imediato (Quak *et al.*, 2016b), podendo chegar a semanas ou até meses de reparo, o que ocasiona graves problemas para a flexibilidade operacional das empresas. Outro motivo é que muitos fabricantes ainda não oferecem suporte eficiente nas necessidades quando comparados ao rápido atendimento das montadoras de veículos convencionais, além de apresentarem alto custo quando for necessário o reparo, o que pode fazer com que muitos

motoristas se decepcionem com a nova tecnologia e se desmotivem para continuarem conduzindo veículos elétricos, reduzindo sua competitividade no mercado.

Um problema ambiental que enfrentam é a falta de um mercado de segunda mão para as baterias e os veículos elétricos, com os processos de reciclagem e reutilização ainda em níveis muito abaixo do ideal no Brasil, especialmente o primeiro. No país, para a reciclagem das baterias de íon de lítio, que são as mais utilizadas, ainda não foi estabelecido um modelo de negócios viável devido à baixa taxa de coleta e à tecnologia imatura. Outra dificuldade que enfrentam é que em temperaturas extremas, como no verão ou no inverno, ou em condições climáticas variáveis, como as chuvas, as condições do ar como um componente dos acessórios dos veículos, principalmente das baterias, consomem uma quantidade de eletricidade e reduzem massivamente o alcance de condução. Ehrler *et al.* (2020) citaram que limpadores e sistemas de ar condicionado se enquadram nesta situação, sendo o segundo o equipamento auxiliar de maior consumo de energia em muitos veículos.

Resumidamente, os problemas que ainda impedem a substituição em grande número dos veículos convencionais pelos elétricos no transporte de cargas são a maturidade tecnológica insuficiente e o caso comercial ainda não comprovadamente viável. Os mais importantes desafios são o desconhecimento dos usuários, os elevados custos de aquisição, a baixa autonomia, o alto tempo de recarga, a elevada resistência interna ou autodescarga em temperaturas extremas e os baixos níveis do mercado de segunda mão para as baterias.

4. ANÁLISE DO PROBLEMA

Serão propostas a seguir soluções para resolver cada desafio ainda enfrentado pelos veículos elétricos descritos no item anterior. As soluções propostas são aquelas que atualmente apresentam benefícios técnicos e/ou financeiros que podem ajudar na resolução do tema proposto.

4.1 Desconhecimento dos usuários

Para solucionar o problema da desconfiança de muitos motoristas quanto à nova tecnologia dos veículos elétricos, uma das alternativas é realizar a transição dos veículos a combustão interna para os elétricos passando primeiramente pelos modelos híbridos, que são aqueles que combinam um motor a combustão interna com um ou mais motores elétricos para propulsão e por combinar os dois tipos, o motor a combustão interna tem menor porte que nas configurações convencionais. Suas principais vantagens em relação aos veículos convencionais são grandes diminuições no consumo e custo de combustível por distância percorrida, das emissões de gases do efeito estufa e poluentes nocivos à atmosfera e do nível de ruídos emitidos. Como desvantagens, apresentam peso e dimensões superiores devido à estrutura sofisticada e ao peso da bateria, e também devido a isto, um custo superior de aquisição, porém menores que os dos veículos totalmente elétricos; e a bateria não pode ser recarregada diretamente à rede elétrica, necessitando o veículo ser abastecido com combustível, com exceção dos híbridos plug-in (Iwan *et al.*, 2014). Estão sendo utilizados até que a produção de novos modelos de baterias aumente, e conseqüentemente, seus custos, e os de aquisição e ciclo de vida dos veículos diminuam. Apresentam eficiência de 30 a 40% maior que os veículos somente a combustão interna (Vaz *et al.*, 2015).

Wang e Thoben (2017) comentaram que as empresas de logística estão investindo financeiramente em treinamentos para que os motoristas se adaptem às peculiaridades técnicas e operacionais dos veículos elétricos e os conduzam com maior eficiência para que possam

saber quantos quilômetros podem percorrer antes de uma recarga ser necessária e aproveitar ao máximo a recuperação de energia através da frenagem regenerativa, que transforma energia cinética do automóvel em movimento em energia elétrica que é restaurada na bateria para uso futuro, reduz o consumo de eletricidade de 25% a 30% (Nicolaidis *et al.*, 2018b) e o desgaste dos freios (Quak *et al.*, 2016b). Este treinamento garante uma condução eficiente e confortável, que aliada à expansão das redes urbanas de recarga e a facilidade de serem veículos de marcha automática e saudáveis, pois não emitem poluentes atmosféricos e gases do efeito estufa, além dos níveis de ruídos serem muito baixos, leva os condutores a terem uma visão positiva do uso dos veículos elétricos, e as experiências obtidas no trabalho fazem com que também os utilizem em seus veículos particulares e a divulguem suas vantagens, proporcionando a chegada de novos usuários ao ramo.

Empresas que já implantaram os veículos elétricos e obtiveram resultados satisfatórios, com base na experiência adquirida, costumam expandir sua participação em suas frotas particulares. A imagem verde que apresentam as ajudam, combinada à manutenção do nível de serviço, a fortalecer o relacionamento com os clientes existentes e a conquistar novos, porém muitos ainda relutam devido a um possível aumento nos preços de entrega oriundo da utilização dos veículos elétricos, mas acredita-se que a maioria deles os escolheriam caso os preços sejam iguais. Outro problema é que a maioria dos clientes não tem conhecimento se receberão seus produtos por um veículo a combustão interna ou elétrico, o que atrapalha a divulgação da imagem corporativa positiva devido ao uso dos veículos elétricos.

Ehrler *et al.* (2020) disseram que conhecer características como tamanho da frota, tipo de serviço realizado e de carga transportado, propriedade e uso dos veículos, padrões de horário de turno de trabalho, expectativas dos usuários e perceber como ocorre a adequação de suas organizações ao uso dos veículos elétricos, podem ajudar os líderes a desenvolverem e divulgarem seus negócios, trazendo um crescimento exponencial para esta atividade.

4.2 Custos de aquisição

Quanto aos altos custos de aquisição, deve-se aumentar os incentivos em pesquisas que visam a produção de baterias mais baratas, elemento mais caro dos veículos, o que impactaria diretamente na redução dos preços dos veículos elétricos e conseqüentemente, aumentariam sua competitividade no mercado. Tanco *et al.* (2019) mostraram que os preços no futuro para novas tecnologias de baterias tendem a diminuir para valores entre 50 US\$/kWh a 100 US\$/kWh ou até menores. Também afirmaram que em 2030 as baterias irão compor apenas 18% do custo dos veículos comparados a 48% em 2016.

Outros fatores que levarão à redução dos preços são o aumento da produção dos veículos elétricos que se verificará com o decorrer do tempo, aliado ao desenvolvimento de processos aprimorados para reduzir o custo de produção. Muitos líderes de frota ainda não os utilizam devido ao seu alto valor de aquisição, apesar do segmento e da demanda de carga que entregam e operações que realizam serem adequados à esta tecnologia.

4.3. Autonomia

Quak *et al.* (2016a) comentaram que o pensamento em relação à autonomia dos veículos elétricos mudou. Obviamente, mantém-se a ideia de que o aumento do alcance das baterias beneficiará a todos, mas as empresas estão privilegiando, através de testes e demonstrações, descobrir quais os segmentos de carga e operações da logística mais adequados aos veículos elétricos levando em consideração todos os detalhes da cadeia de suprimentos, já que o crescimento na utilização destes no transporte urbano de cargas não será rápido. Para Nicolaidis

et al. (2018a), as entregas a domicílio são o serviço mais adequado à substituição dos veículos convencionais pelos elétricos, pois a maioria de suas viagens são realizadas em curtas distâncias, com frequentes paradas e os veículos utilizados são aqueles com baterias com faixa elétrica disponível para o percurso solicitado, que devem manter uma margem mínima de segurança do estado de carga entre 20% a 30%.

Outra solução é desenvolver uma adequada roteirização, já que como as distâncias das entregas normalmente são conhecidas com antecedência, as rotas podem ser otimizadas para se ajustarem à autonomia dos veículos elétricos. Ehrler *et al.* (2020) comentaram que nesse contexto devem ser conhecidas características como rotas média, mais longa e mais curta, números médio, máximo e mínimo de paradas para recarga e o tempo de duração de cada uma destas. Além disso, afirmaram que os sistemas inteligentes de planejamento de rotas são o elo de conexão entre os conceitos inovadores do transporte urbano de cargas e os veículos elétricos, já que a roteirização baseada em experiências anteriores tem limitações quanto aos veículos elétricos, e também podem ajudar a acelerar de maneira bem-sucedida na mudança para a nova tecnologia de veículos.

4.4 Tempo de recarga

Um dos desafios que os veículos elétricos ainda enfrentam para seu crescimento no mercado é o seu alto tempo de recarga, o que leva a preocupações quanto ao prazo de entrega das mercadorias devido ao uso ineficiente do tempo dos motoristas. Uma das soluções seria investir em melhorias na infraestrutura das redes elétricas para suprir a demanda necessária, como por exemplo, implantar estações de recarga rápida ao longo das estradas. Nicolaidis *et al.* (2018a) afirmaram que os custos para a implantação da infraestrutura de recarga são comparáveis a outros projetos de infraestrutura urbana, não apresentando custo tão elevado quanto o esperado. Estes custos estão divididos em equipamentos, instalações e conexão à rede. Mas para Iwan *et al.* (2019), os países em desenvolvimento, como é o caso do Brasil, precisam, além destes investimentos específicos para os veículos elétricos, desenvolver simultaneamente uma rede de estradas, estacionamentos, oficinas de reparo e outros elementos essenciais. Essas melhorias são um pré-requisito essencial, que mesmo com a diminuição dos custos de compra e os menores custos operacionais, sem elas não haverá o aumento do interesse pela adoção massiva dos caminhões elétricos.

Uma alternativa que vem sendo estudada é realizar a recarga parcial dos veículos após o início do serviço com carga completa, o que aumenta a flexibilidade logística para diversas operações. A recarga parcial é de grande utilidade junto ao uso de carregadores mais rápidos, denominados CHAdeMO (*Charge de move*) ou carregadores rápidos por corrente contínua (*DC Fast Chargers*), pois consegue elevar o estado de carga e o alcance em poucos minutos, já que a maioria deles fornecem uma recarga de 80% e de 100 a 160 quilômetros de alcance em apenas 20 minutos de recarga, o que reduz os custos caso houvesse uma recarga completa, já que estes carregadores apresentam preços mais altos para recarregarem os veículos (Iwan *et al.*, 2014), e é a ideal durante um processo de entrega de mercadorias pela sua rápida duração. Ferro *et al.* (2018) estipularam como valor ideal do estado de carga 80% da capacidade da bateria. Como desvantagem, ainda não são compatíveis com todos os veículos elétricos, especialmente com os híbridos plug-in.

Nicolaidis *et al.* (2018b) demonstraram outra alternativa para reduzir o tempo de recarga, através do sistema denominado CoM (*Charge-on-the-move*). Consiste em um sistema de recarga dinâmica que atua no subterrâneo da infraestrutura rodoviária e transfere energia sem fio para os veículos enquanto eles estão em movimento, o que justifica a grande redução da

capacidade da bateria instalada nos veículos e elimina a ansiedade de alcance; reduz os custos, pois é gratuito, a massa dos veículos e o tempo ocioso para as paradas para recarga, que são alguns dos principais desafios para o uso generalizado dos veículos elétricos. São instalados em locais pré-determinados ao longo das rotas de maior fluxo de tráfego, buscando uma distribuição geográfica igualitária por número e capacidade de carga, o que evitaria instalações de recarga de grandes capacidades em poucas localidades; afastados dos depósitos de carregamento de mercadorias, pois estão dentro do estado de carga suficiente; e não são afetados por variações climáticas. Seu uso é o ideal para entregas de longas distâncias.

Este sistema está ligado à técnica IPT (*Inductive power transfer*), na qual há transferência de energia sem contato entre dois circuitos LC (indutor-capacitor) próximos, através de bobinas da unidade de carga da rodovia (primária) e do veículo (secundária), que geram um campo magnético circular que pode chegar a até 98% de eficiência na transferência de energia quando há um forte acoplamento entre elas. Quando não há a possibilidade de usar o magnetismo ou a distância entre os circuitos é grande (a partir de 10 mm), eles devem ser ajustados a uma única frequência de ressonância para funcionarem, a fim de evitar perdas de energia e reduzir o risco de choque elétrico. O circuito primário possui uma corrente alternada, que energiza a bobina, e o fluxo magnético é transmitido para o veículo produzindo uma fonte de corrente contínua para o motor elétrico e a bateria. A potência de recarga instalada depende da demanda de veículos utilizando o sistema, da velocidade média de deslocamento, do total de quilômetros da pista eletrificados (Teoh *et al.*, 2016), do ciclo de condução e do peso dos veículos, da distância entre os sistemas e das especificações das baterias (Nicolaidis *et al.*, 2018b). Outro benefício da técnica IPT é proporcionar a redução do número de veículos das frotas das empresas, o que representa um significativo aumento na eficiência e no lucro e redução nos custos.

Juan *et al.* (2016) demonstraram que outra possibilidade além da recarga é um sistema de remoção da bateria sempre que estiver quase totalmente descarregada e substituí-la por outra totalmente carregada, método denominado troca de bateria, processo que ocorre em estações destinadas a tal serviço. A disponibilidade de baterias totalmente carregadas depende do tamanho da estação, do total de carregadores e da demanda pelas baterias e carregadores que a estação apresenta. Sua principal vantagem é a velocidade, a operação pode levar menos de 10 minutos, tempo próximo ao reabastecimento dos veículos a combustão interna e menor do que na recarga realizada através dos carregadores rápidos, além de que não apenas melhora a produtividade dos veículos, que são modelados para ter o alcance duplicado, mas também reduz o custo comparado à recarga rápida. Margaritis *et al.* (2016) demonstraram que essa operação automatizada pode levar apenas de 3 a 5 minutos. Esses fatores, junto ao suprimento extra de energia da rede e a confiabilidade das estações maximizam o valor deste projeto.

As características das estações de troca de bateria são as seguintes: as baterias quase totalmente descarregadas deixadas no local são recarregadas durante a noite quando o custo do serviço é menor; as viagens para os motoristas são facilitadas pois começam o percurso com uma bateria com sua carga máxima; e a recarga das baterias é feita lentamente para prolongar sua vida útil. Uma opção para os condutores é adquirir um plano junto às montadoras no momento da compra dos veículos que permite que a troca da bateria seja ilimitada, o que proporciona uma economia nos custos operacionais dos veículos. Outra possibilidade é que as empresas de logística insiram a troca de bateria em seus modelos de negócios de propriedade, estabelecendo e operando as estações sozinhas.

4.5 Temperaturas extremas

Yuksel e Michalek (2015) explicaram que em temperaturas muito baixas, as reações eletroquímicas que ocorrem no interior das baterias, que consistem na migração de elétrons de

um eletrodo para o outro, tornam-se mais lentas e reduzem sua eficiência e a energia disponível, pois a capacidade de extraí-la é comprometida, o que pode levá-las a perderem até 40% de sua capacidade. Isso ocorre porque a resistência interna da bateria aumenta, o que diminui a energia que pode ser extraída. O efeito das temperaturas baixas é maior porque o aquecimento elétrico da cabine consome mais energia que o resfriamento e a ventilação. Em veículos com uma bateria de íon de lítio modelo NMC (óxido de lítio-níquel-mangânese-cobalto), os efeitos da resistência interna são insignificantes e um pré-condicionamento térmico da cabine pode aumentar o alcance em cerca de 24% em relação as perdas na eficiência, sem o processo de aquecimento.

O desempenho melhora em temperaturas altas, mas ocorre uma aceleração de elétrons que causa uma perda mais rápida da massa ativa, que consiste no material ativo responsável por armazenar a energia na bateria, o que faz com que a bateria descarregue mais rápido, mantendo a necessidade de rigorosos requisitos de gerenciamento térmico. Além disso, o calor também ajuda na evaporação da água do eletrólito. Tudo isso aumenta a autodescarga e o processo de corrosão dos componentes da bateria, e pode levar também a sobrecargas no sistema elétrico e, em casos extremos, até explosões por conta dos gases da corrosão e evaporação. O pré-condicionamento térmico da cabine antes da viagem nessas condições aumenta o alcance em cerca de 10% (Yuksel e Michalek, 2015).

Uma das soluções para reduzir a ansiedade de alcance dos motoristas nestas situações seria os veículos possuírem no painel um indicador da faixa restante, consumo de energia em tempo real e o estado de carga. Esta medida é uma ajuda para projetos de veículos elétricos futuros para transporte de cargas, porque a falta de dados realistas sobre o consumo de energia ainda é um empecilho, sobretudo correlacionados à temperatura ambiente, que deve ser analisada em suas variações sazonal, diária e geográfica. Outro fator que deve ser aprimorado para esta situação é o treinamento dos condutores, para que devido às mudanças ocorridas nas condições das viagens como possíveis congestionamentos, baixa visibilidade, consumo de energia maior devido ao aquecedor ou ar condicionado e elementos climáticos como chuvas e neve, utilizem ciclos de condução adequados às temperaturas.

4.6 Mercado de segunda mão

Chen *et al.* (2019) mostraram que existem três opções de processos para as baterias em fim de vida útil: remanufatura, reaproveitamento e reciclagem, que dependem do seu *design*, qualidade e capacidade nominal, que corresponde ao percentual da carga inicial contida na bateria no momento analisado. Os dois primeiros estendem o uso das baterias, enquanto o terceiro encerra o ciclo, portanto, o ideal seria que elas fossem remanufaturadas ou reaproveitadas primeiro, para depois serem recicladas. A remanufatura consiste na reforma das baterias e suas etapas são o diagnóstico, desmontagem parcial, substituição de células e/ou módulos danificados e remontagem para serem novamente utilizadas em veículos elétricos e é o método mais aconselhável para maximizar o valor, minimizar o consumo de energia e as emissões do ciclo de vida. Porém, é a opção mais rigorosa em termos de qualidade das baterias, que devem atender os requisitos de capacidade nominal mínima, potência e ciclo de vida para a realização do processo. Por exemplo, quando uma bateria é incapaz de manter a capacidade nominal desejada, a remanufatura não é economicamente viável e o reaproveitamento é mais adequado. A remanufatura de baterias de íon de lítio degradadas economiza mais de 70% do custo de substituição das baterias.

O reaproveitamento é o método em que as baterias são reconfiguradas para uma segunda utilização em aplicações menos exigentes, como por exemplo, sistemas estacionários de armazenamento de energia, extraindo mais valor e estendendo sua vida útil além da primeira utilização. Não requer apenas a substituição de células e/ou módulos danificados, mas também a reconfiguração dos módulos e/ou do pacote das baterias, estabelecendo um novo sistema de gerenciamento de bateria para ser inserido na nova utilização. Este tem como função transmitir informações da capacidade nominal e assim, agilizar as operações de teste e classificação para seu segundo uso, que são os principais custos de reconfiguração para o reaproveitamento das baterias. Ainda enfrentam diversos desafios para sua melhor utilização, sendo esses a confiabilidade dos módulos e/ou pacotes das baterias, diferentes métricas de desempenho, os riscos de utilização em funções não-originais e a desconfiança de alguns clientes por se tratarem de baterias degradadas, que pode ser resolvida se os fabricantes fornecerem serviços de garantia, consultoria, instalação, manutenção e modelos de negócios baseados em serviços.

A reciclagem é a opção que pode acomodar baterias de todos os modelos e capacidades nominais, porém, a quantidade de elementos químicos nas majoritariamente utilizadas baterias de íons de lítio, que são em sua maioria NMC ou NCA (óxido de lítio-níquel-cobalto-alumínio), impõe alguns desafios técnicos e econômicos. Outro desafio é que os pacotes destas baterias são estruturas complexas, compostas por vários módulos, nos quais inúmeras células, de geometria prismática ou cilíndrica, são conectadas em diferentes configurações seriais-paralelas, como soldagem, ligação de fios e junção mecânica.

Ir diretamente da primeira utilização no veículo para a reciclagem é menos recomendável do ponto de vista do ciclo de vida, pois forneceram benefícios insuficientes, o desempenho é incerto e ocorrerão inevitáveis perdas de materiais e energia no processo. As vantagens da reciclagem são que as baterias se tornam parte da economia circular ao invés de resíduos descartáveis, com isso, elementos valiosos retornam mais rapidamente para a cadeia de valor, diminuindo a necessidade de extração de novos recursos, o que reduz as emissões de gases do efeito estufa; e a capacidade de crescimento desse método, e por isso, é o método mais aplicável para baterias em fim de vida útil.

A tabela 1 mostra os benefícios técnicos e/ou econômicos de cada solução proposta para resolver os desafios enfrentados para o crescimento dos veículos elétricos no transporte de cargas.

Tabela 1: Benefícios técnicos e/ou econômicos das soluções propostas

Desconhecimento dos usuários
Transição através dos veículos híbridos. Técnico - Por combinarem um motor a combustão interna com um ou mais motores elétricos, são mais amadurecidos tecnologicamente que os veículos puramente elétricos. Econômico - Possuem custo de aquisição menor que os veículos puramente elétricos.
Treinamento dos condutores. Técnico - Permite aos motoristas se adaptarem às peculiaridades técnicas e operacionais dos veículos elétricos e os conduzirem com maior eficiência. Econômico - Muitas empresas já possuem condições financeiras para investir em treinamentos para seus motoristas.
Altos custos de aquisição
Pesquisas para a produção de baterias mais baratas. Econômico - As baterias são o elemento mais caro dos veículos elétricos, e a redução do seu preço reduziria dos veículos conjuntamente.
Baixa autonomia

Testes e demonstrações. Técnico - Descobrir quais os segmentos de carga e operações logísticas mais adequados aos veículos elétricos.
Roteirização. Técnico - Sistemas inteligentes de planejamento de rotas realizam esta atividade, facilitada pela maioria das distâncias já serem conhecidas.
Alto tempo de recarga
Estações de recarga rápida. Técnico - Fornecem uma recarga de 80% e de 100 a 160 quilômetros de alcance em apenas 20 minutos. Econômico - Os custos para sua implantação são comparáveis a outros projetos de infraestrutura urbana, não sendo tão elevados quanto o esperado.
Implantação do sistema de recarga subterrâneo. Técnico - Mantém o estado de carga em níveis elevados, o que reduz o tempo ocioso para paradas para recarga. Econômico - Reduz os custos de recarga por ser gratuito; a capacidade da bateria instalada nos veículos, que se tornam mais baratos; e o número de veículos das frotas das empresas. Aumenta a carga útil dos veículos e por consequência, a capacidade e o lucro das entregas realizadas.
Implantação de estações de troca de bateria. Técnico - Pode levar menos de 10 minutos e se automatizadas, apenas de 3 a 5 minutos. Econômico - Custos menores comparados às estações de recarga rápida.
Autodescarga ou resistência interna da bateria em temperaturas extremas
Pré-condicionamento térmico da cabine dos veículos. Técnico - Aumenta o alcance em relação às perdas de eficiência da bateria.
Painel de informações nos veículos. Técnico - Indica a faixa restante, o consumo de energia em tempo real e o estado de carga.
Baixos níveis de mercado de segunda mão para as baterias
Remanufatura das baterias. Técnico - Minimiza o consumo de energia e as emissões do ciclo de vida. Econômico – Maximiza o valor das baterias e economiza mais de 70% do custo para substituí-las.
Reaproveitamento das baterias. Técnico – Estende sua vida útil além da primeira utilização. Se os fabricantes fornecerem serviços de garantia, consultoria, instalação, manutenção e modelos de negócios baseados em serviços, superam a desconfiança enfrentada por serem baterias degradadas. Econômico – Extrai mais valor do uso das baterias.
Reciclagem das baterias. Técnico - Pode acomodar baterias de todos os modelos e capacidades nominais, que se tornam parte da economia circular. Econômico - O retorno de elementos valiosos mais rapidamente para a cadeia de valor diminui a necessidade de extração de novos recursos e por consequência, as emissões de gases do efeito estufa.

Fonte: Elaboração própria

5. CONCLUSÃO

A introdução dos veículos elétricos no transporte de cargas já se iniciou, de maneira ainda lenta, porém contínua. É fundamental saber quais os segmentos de carga e operações da logística mais adequados à sua utilização para que se possa o máximo possível substituir os veículos a combustão interna pelos elétricos com o objetivo principal de reduzir as emissões de gases do efeito estufa e suas consequências devastadoras para o meio ambiente, e de poluentes atmosféricos, que causam graves danos à saúde da população. Uma preocupação que ainda causam é quanto às emissões das fontes que deram origem à energia elétrica, sendo essencial o uso de energias renováveis para que a eletricidade seja uma energia limpa desde sua produção até sua utilização.

Porém, por ser uma tecnologia ainda em fase inicial de desenvolvimento, os veículos elétricos apresentam desafios à sua introdução no transporte de cargas, como a infraestrutura necessária

para seu funcionamento ainda em estado inicial, os altos custos de aquisição, a baixa autonomia, elevado tempo de recarga, altas taxas de autodescarga ou resistência interna em temperaturas extremas, mercado de segunda mão em níveis muito abaixo do ideal para as baterias, e tudo isso pode levar a população e as empresas a preferir os veículos elétricos mesmo com os seus benefícios ambientais devido à sua imaturidade tecnológica e ao caso comercial ainda não comprovadamente viável.

Investir em pesquisas que levem a produção de baterias mais baratas, elemento mais caro dos veículos, e assim reduzir seu custo de aquisição; utilizar sistemas avançados de roteirização que permitam aproveitar suas autonomias; implementar diferentes infraestruturas de recarga, como as estações por recarga rápida ou de troca de baterias; colocar no subterrâneo das principais rodovias sistemas de recarga por indução eletromagnética; maior treinamento para os condutores se adaptarem às peculiaridades técnicas e operacionais dos veículos e assim os conduzirem com eficiência, sobretudo em temperaturas extremas; e investir no desenvolvimento da economia circular, através dos processos de remanufatura, reaproveitamento e reciclagem, são propostas de soluções a serem implementadas para que os veículos elétricos possam crescer na atividade do transporte urbano de cargas e assim, proporcionar maior qualidade de vida à população, levando a melhorias nos aspectos social, ambiental e econômico do planeta.

Como sugestão para um próximo trabalho, pretende-se demonstrar as medidas econômicas e de infraestrutura implementadas por diversos governos por todo o mundo para introduzir os veículos elétricos no transporte de cargas de seus países, analisar e comparar com a situação brasileira, e assim, propor políticas públicas que possam viabilizá-los também em território nacional.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CHEN, M.; MA, X.; CHEN, B.; ARSENAULT, R.; KARLSON, P.; SIMON, N. e WANG, Y. Recycling end-of-life electric vehicle lithium-ion batteries. **Joule**, v. 3, n. 11, p. 2622-2646, 2019.

EHRLER, V. C.; LOBIG A. e RISCHKE, D. E-vehicles for urban logistics – why is it not happening yet? – Requirements of an innovative and sustainable urban logistics concept. *In*: Pfohl, H., R. Elbert, M. Boltze e C. Friedrich (org.). **Urban Freight Transportation Systems**, Elsevier. Berlin, Germany, 2020.

EHRLER, V. C.; SCHÖDER, D. e SEIDEL, S. Challenges and perspectives for the use of electric vehicles for last mile logistics of grocery e-commerce – Findings from case studies in Germany. **Research in Transportation Economics**, 2019.

FERRO, G.; PAOLUCCI, M. e ROBBA, M. An optimization model for electrical vehicles routing with time of use energy pricing and partial recharging. **IFAC PapersOnLine**, v. 51, n. 9, p. 212-217, 2018.

GANGLOFF, J. J.; KAST, J.; MORRISON, G. e MARCINKOSKI, J. Design space assessment of hydrogen storage onboard medium and heavy duty fuel cell electric trucks. **Journal of Electrochemical Energy Conversion and Storage**, v. 14, n. 2, 2017.

IWAN, S.; ALLESCH, J.; CELEBI, D.; KIJEWSKA, K.; HOÉ, M.; KLAUENBERG, J. e ZAJICEK, J. Electric mobility in European urban freight and logistics – status and attempts of improvement. **Transportation Research Procedia**, v. 39, p. 112-123, 2019.

IWAN, S.; KIJEWSKA, K. e KIJEWSKI, D. Possibilities of Applying Electrically Powered Vehicles in Urban Freight Transport. **Procedia Social and Behavioral Sciences**, v. 151, p. 87-101, 2014.

JUAN, A. A.; MÉNDEZ, C. A.; FAULIN, J.; ARMAS, J. e GRASMAN, S. E. Electric vehicles in logistics and transportation: a survey on emerging environmental, strategic, and operational challenges. **Energies**, v. 9, n. 2, p. 1-21, 2016.

LIIMATAINEN, H.; VLIET, O. V. e APLYN, D. The potential of electric trucks – An international commodity-level analysis. **Applied Energy**, v. 236, p. 804-814, 2019.

MARGARITIS, D.; ANAGNOSTOPOULOU, A.; TROMARAS, A. e BOILE, M. (2016) Electric commercial vehicles: Practical perspectives and future research directions. **Research in Transportation Business and Management**, v. 18, p. 4-10, 2016.

NICOLAIDES, D.; CEBON, D. e MILES, J. An urban charging infrastructure for electric road freight operations: a case study for Cambridge UK. **IEEE Systems Journal**, v. 13, n. 2, p. 2057-2068, 2018a.

NICOLAIDES, D.; CEBON, D. e MILES, J. Prospects for electrification of road freight. **IEEE Systems Journal**, v. 12, n. 2, p. 1838-1849, 2018b.

PORCHERA, G. S. O.; LOSS, M. E. S.; MIRANDA, P. H. R. e LEAL, E. A. S. Vantagens e barreiras à utilização de veículos elétricos. **Anais do XIII Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia**. Resende – RJ: AEDB, 2016.

QUAK, H.; NESTEROVA, N. e VAN ROOIJEN, T. Possibilities and barriers for using electric-powered vehicles in city logistics practice. **Transportation Research Procedia**, v. 12, p. 157-169, 2016a.

QUAK, H.; NESTEROVA, N.; VAN ROOIJEN, T. e DONG, Y. Zero emission city logistics: current practices in freight electromobility and feasibility in the near future. **Transportation Research Procedia**, v. 14, p. 1506-1515, 2016b.

TALEBIAN, H.; HERRERA, O. E.; TRAN, M. e MÉRIDA, W. Electrification of road freight transport: Policy implications in British Columbia. **Energy Policy**, v. 115, p.109-118, 2018.

TANCO, M.; CAT, L. e GARAT, S. A break-even analysis for battery electric trucks in Latin America. **Journal of Cleaner Production**, v. 228, p. 1354-1367, 2019.

TEOH, T.; KUNZE, O. e TEO, C. Methodology to evaluate the operational suitability of electromobility systems for urban logistics operations. **Transportation Research Procedia**, v. 12, p. 288-300, 2016.

VAZ, L. F. H.; BARROS, D. C. e CASTRO, B. H. R. Veículos híbridos e elétricos: sugestões de políticas públicas para o segmento. **BNDES Setorial**, Rio de Janeiro - RJ, n. 41, p. 295-344, 2015.

WANG, M. e THOBEN, K. Sustainable urban freight transport: Analysis of factors affecting the employment of electric commercial vehicles. *In*: Freitag, M., H. Kotzab e J. Pannek (org.) **Dynamics in Logistics - Proceedings of the 5th International Conference LDIC**, Springer International Publishing. Bremen, Germany, 2017.

YUKSEL, T. e MICHALEK, J. J. Effects of regional temperature on electric vehicle efficiency, range, and emissions in the United States. **Environmental Science and Technology**, v. 49, n. 6, p. 3974-3980, 2015.