

VI ENEI Encontro Nacional de Economia Industrial

Indústria e pesquisa para inovação: novos desafios ao desenvolvimento sustentável

30 de maio a 3 de junho 2022

Implementação da tecnologia Vehicle-to-grid (V2G) em aplicações de frotas comerciais: avaliação de desafios econômicos, operacionais e regulatórios

Luiza Masseno de Pinho Santiago Leal*;
Nivalde José de Castro**;
Thereza Aquino***;
Vinicius José da Costa****;
Leonardo Gonçalves *****

Resumo: Diante da urgência na mitigação dos efeitos negativos das mudanças climáticas, países e regiões ao redor do mundo buscam implementar inovações tecnológicas de baixo carbono em diferentes atividades econômicas. No setor de transportes, a descarbonização está calcada no processo de eletrificação, a partir do desenvolvimento de Veículos Elétricos (VE). Diante das perspectivas de difusão da mobilidade elétrica, a implementação da tecnologia *Vehicle-to-Grid* (V2G) apresenta o potencial de contribuir para a melhoria do desempenho da rede elétrica e facilitar a integração de fontes renováveis intermitentes e variáveis. No âmbito das frotas comerciais, ao longo dos últimos anos, os VE apresentam uma tendência de expansão acelerada no mercado e questionamentos surgem acerca do seu impacto no sistema elétrico. A implementação do V2G torna-se alvo de diversos projetos pilotos ao redor do mundo. Dessa forma, o objetivo geral desse trabalho é mapear e analisar os desafios econômicos, operacionais e regulatórios no processo de implementação da tecnologia V2G em aplicações de frotas comerciais. Busca-se ainda avaliar os potenciais benefícios dessa nova tecnologia, indicar requisitos e restrições avaliados a partir dos projetos pilotos e analisar as principais inovações regulatórias nesse processo. A metodologia consistiu na revisão sistemática da bibliografia acerca da experiência internacional, a partir da utilização de bases de artigos científicos, nomeadamente, Scopus e Web of Science. O período de análise do estudo se concentrou entre 2010 e 2021. Também foi realizada revisão documental de bibliografia acerca de estudos de casos de projetos pilotos de V2G para aplicações em frotas comerciais. Os resultados demonstram a necessidade de projetos pilotos e pesquisas para a avaliação acerca dos nichos de mercado de frotas comerciais mais favoráveis para a implementação do V2G, considerando seus requisitos e restrições no âmbito econômico e operacional. Os resultados indicam ainda inovações regulatórias e ações de formuladores de políticas públicas para o estabelecimento de um quadro regulatório consistente e claro para a inserção dessa nova tecnologia.

Palavras-chave: vehicle-to-grid; mobilidade elétrica; frotas comerciais; inovação; descarbonização.

Código JEL: L8

Área Temática: Tecnologias Sociais e Ambientais – 7.3. Inovação, desenvolvimento e sustentabilidade

Implementation of Vehicle-to-Grid (V2G) technology in commercial fleet applications: assessment of economic, operational and regulatory challenges

Abstract: Based on the urgency of mitigating the negative effects of climate change, countries and regions around the world seek to implement low-carbon technological innovations in different economic activities. In the transport sector, decarbonization is based on the electrification process, based on the development of Electric Vehicles (EV). In view of the prospects for the diffusion of electric mobility, the implementation of Vehicle-to-Grid (V2G) technology has the potential to contribute to improving the performance of the electric network and facilitate the integration of intermittent and variable renewable sources. In the context of commercial fleets, over the last few years, EVs have shown a trend of accelerated expansion in the market and questions arise about their impact on the electrical system. The implementation of V2G becomes the target of several pilot projects around the world. Thus, the general objective of this work is to map and analyze the economic, operational and regulatory challenges in the process of implementing V2G technology in commercial fleet applications. It also seeks to evaluate the potential benefits of this new technology, indicate requirements and restrictions evaluated from the pilot projects and analyze the main regulatory innovations in this process. The methodology consisted of a systematic review of the bibliography about the international experience, based on the use of scientific article bases, namely Scopus and Web of Science. The period of analysis of the study focused between 2010 and 2021. A documentary review of the bibliography was also carried out on case studies of V2G pilot projects for applications in commercial fleets. The results demonstrate the need for pilot projects and research to evaluate the most favorable commercial fleet market niches for the implementation of V2G, considering their requirements and restrictions in the economic and operational scope. The results also indicate regulatory innovations and actions by public policymakers to establish a consistent and clear regulatory framework for the insertion of this new technology.

Keywords: vehicle-to-grid; electric mobility; commercial fleets; innovation; decarbonization

*Mestranda do Programa de Pós-graduação em Planejamento Energético (PPE/COPPE – UFRJ). E-mail: luizamassenoleal@gmail.com.

**Professor Doutor no Instituto de Economia da UFRJ. E-mail: nivalde.castro@gmail.com.

***Professora Escola Politécnica/UFRJ. E-mail: taquino@poli.ufrj.br.

****Graduando de Ciências Econômicas no Instituto de Economia da UFRJ. E-mail: vinicius.braz@graduacao.ie.ufrj.br.

*****Graduando de Ciências Econômicas no Instituto de Economia da UFRJ. E-mail: leonardo.goncalves@graduacao.ie.ufrj.br.

1. Marco Teórico

O setor de transporte mundial atravessa um processo disruptivo a partir da emergência de tecnologias voltadas para a construção de uma economia de baixo carbono, como os veículos elétricos. As inovações tecnológicas em desenvolvimento impulsionam a transformação da cadeia produtiva da indústria automobilística e o desenvolvimento de novos produtos e serviços de suporte ao ecossistema da mobilidade elétrica. As atividades inovadoras emergentes dessa mudança tecnológica criam, por sua vez, oportunidades para o aumento de investimentos, geração de novos empregos e renda no longo prazo.

O processo de inovação pode ser definido como a introdução de um novo produto ou processo, incluindo suas combinações, que se difere significativamente do utilizado previamente pelas unidades, disponibilizado para consumo de usuários ou para aplicação em processos. Esta visão é contemplada em Teece (1986), o qual define que uma inovação consiste em um certo conhecimento técnico sobre como fazer as coisas de modo mais eficiente do que o atual estado da arte. Em Gallouj *et al.* (1997) a inovação ainda é definida como qualquer mudança que afete um ou mais aspectos característicos de um processo - como técnico, de serviço ou competência. Em Rogers (1983), a inovação é generalizada como uma ideia, prática ou objeto que é percebido como novo.

Segundo OCDE (2006), existem quatro categorias abrangentes de fatores relacionados com a inovação: i) as condições estruturais mais amplas dos fatores institucionais e estruturais nacionais, como fatores jurídicos, econômicos, financeiros e educacionais; ii) a base de ciência e engenharia, a partir do conhecimento acumulado e instituições de ciência e tecnologia; iii) os fatores de transferência, os quais

influenciam os elos de fluxo de informações e competência e absorção de aprendizado; e iv) o dínamo da inovação, o qual constitui o domínio central da inovação comercial, pois cobre fatores dinâmicos dentro das firmas ou em seu entorno que tem um impacto direto na sua capacidade inovadora.

As condições estruturais determinam os parâmetros gerais em que as empresas existem e realizam seus negócios. O ambiente institucional geral fornece as condições estruturais nas quais a inovação pode ocorrer, englobando, por exemplo: o sistema educacional básico, a infraestrutura de comunicações, as instituições financeiras, o contexto legal e macroeconômico, a estrutura da indústria e o ambiente competitivo (OCDE, 2006).

Em países desenvolvidos, o desenvolvimento e aplicação do conhecimento técnico-científico se consolidam como pontos fundamentais para o aproveitamento de oportunidades em novos mercados. De acordo com Schilling (2014), institutos de pesquisa, como universidades, laboratórios governamentais e organizações não governamentais, fornecem a pesquisa de base e aplicada que constitui um dos pilares da inovação. Os melhores resultados, em geral, são provenientes da participação colaborativa de todas as unidades, de forma que exista uma complementaridade de suas características. Em suma, a colaboração sistemática em rede se torna um método de mitigar as fraquezas de cada agente dentro do processo de inovação.

De modo geral, um fator fundamental para uma maior capacidade das tecnologias inovadoras em gerar impactos positivos na atividade econômica é como se dá o seu processo de difusão. Em OCDE (2006), aponta-se que a difusão da inovação é o modo como as inovações se espalham, através de canais de mercado ou não, a partir de sua primeira implantação mundial para diversos países e regiões e para distintas indústrias/mercados e empresas. Desse modo, a difusão é o processo pelo qual uma inovação é transmitida através de certos canais ao longo do tempo entre os membros de um sistema social (ROGERS, 1983). Assim, a difusão é um tipo especial de comunicação, em que as mensagens dizem respeito a uma nova ideia.

Segundo Teece (1986), um dos fatores que podem afetar o lucro de um inovador, são os ativos complementares. Os ativos complementares não possuem um relacionamento direto com a inovação, mas seu domínio por parte do inovador é essencial para garantir que os lucros fiquem retidos por este agente. Desse modo, são ativos que indicam quem ganha ou perde no processo de inovação e demonstra que os agentes que possuem maior familiaridade com os ativos da inovação e seus ativos complementares possuem uma vantagem competitiva no mercado. A empresa inovadora pode estabelecer uma série de estratégias de acesso aos ativos complementares, existindo a possibilidade do estabelecimento de contratos com terceiros ou até mesmo a promoção da integração de outros agentes à sua cadeia produtiva para garantir o uso destes ativos. De acordo com Rothaermel (2001), aquisições, *joint ventures* e alianças são exemplos de cooperação entre incumbentes e entrantes que garante um benefício mutual característico dos ativos complementares. No caso da mobilidade elétrica, os ativos complementares mais evidentes são as estações de recarga.

Além disso, destaca-se que uma das características do processo de inovação é a incerteza, de forma que o desenvolvedor de um produto inovador não possui a garantia de que os altos investimentos necessários serão recuperados através de sua comercialização no mercado. Dessa forma, é possível observar que a inovação de um novo produto ou serviço não é algo simples. No caso de inovações em serviços, do ponto de vista de uma empresa, faz pouco sentido desenvolver um serviço sem levar em conta o resultado financeiro.

Conforme apontado por Vasconcellos *et al.* (2011), destaca-se que a inovação em serviços é caracterizada pela introdução de uma característica ou um conjunto de características (tecnológicas ou não tecnológicas) que propiciem a prestação de um serviço para o usuário final de uma nova maneira, ou de uma maneira melhorada. O usuário final deve reconhecer que o conjunto dessas características seja traduzido como benefício e tenha impacto positivo em sua avaliação da prestação do serviço. Além disso, as inovações de serviços também podem ser caracterizadas como um novo processo que é adotado, colocado em prática e cria valor para um ou mais stakeholders. Em suma, segundo Barcet (2010), uma inovação em serviços é, portanto, uma inovação nos efeitos obtidos pela(s) utilização(ões).

Ainda de acordo com Barcet (2010), as condições microeconômicas e condições sistêmicas estão relacionadas com o funcionamento das inovações de serviços. No primeiro caso, as condições dizem respeito à importância da organização, do papel da produção, da forma como o conhecimento circula no

processo de coordenação, e à implementação de competências, tanto interpessoais como técnicas, na oferta de serviços. Portanto, a eficácia da inovação no âmbito microeconômico depende muito mais da estrutura organizacional da oferta do que das tecnologias utilizadas. Em relação às condições sistêmicas, ressalta-se que a maioria das inovações em serviços fazem parte de uma série de mudanças que ocorrem na sociedade. Essas mudanças não dizem respeito apenas a um tipo específico de ator ou a um tipo de problema. Em vez disso, uma inovação em serviços muitas vezes tem efeitos sistêmicos significativos, pois afeta o ecossistema de um setor ou de uma parcela da sociedade (BARCET, 2010).

De acordo com Barcet (2010), a implementação de uma inovação de serviços não afeta apenas o objeto da transformação, ou o produto, mas também todas as relações construídas entre indivíduos, mercado e técnicas de produção, o que caracteriza um sistema específico com dinâmica própria. Como resultado, a eficácia e a sustentabilidade de uma inovação de serviço pressupõem a presença de condições sistêmicas. O desenvolvimento de uma inovação em serviços, portanto, só faz sentido pleno como parte dessa visão global ou sistêmica da realidade.

A eletrificação de frotas comerciais constitui uma inovação em serviços. No entanto, tal processo implica em uma série de desafios operacionais, econômicos e comportamentais. Dentre os desafios, por sua vez, destaca-se a necessidade de evitar sobrecargas na rede elétrica a partir da concentração dessas frotas e evitar maiores custos de adaptação do sistema. É diante desse contexto que se insere o estudo da tecnologia *Vehicle-to-Grid* (V2G) para as estações de recarga de veículos elétricos.

2. Metodologia

A metodologia do presente artigo consistiu na revisão sistemática da literatura, a partir das bases de artigos científicos *Scopus* e *Web of Science*. A busca abrangeu artigos científicos de 2010 a 2021 e buscou-se selecionar os artigos que tratam de revisões da literatura acerca da utilização do V2G e utilização do V2G em frotas comerciais. Além disso, foram priorizados os artigos que analisam os atributos, requisitos e restrições para a aplicação do V2G, principalmente aspectos econômicos, regulatórios e operacionais. A Figura 1 mostra as etapas do processo de busca e seleção dos artigos. O portfólio final consistiu em 32 artigos.

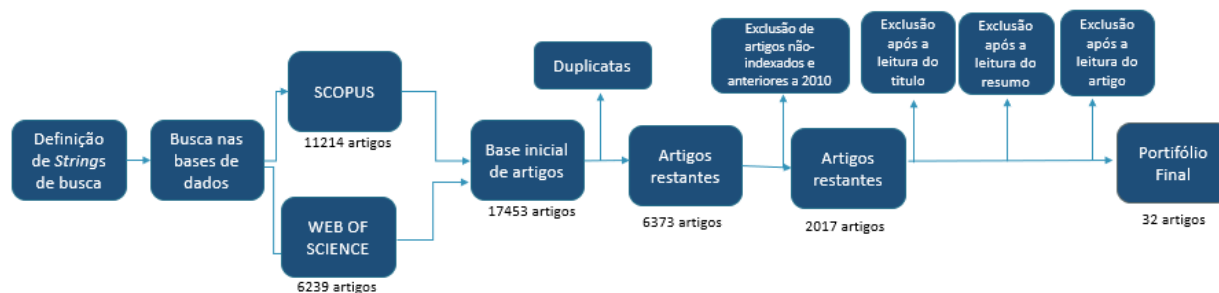


Figura 1 – Metodologia de pesquisa utilizada para a revisão sistemática e número de artigos

Fonte: Elaboração própria.

Os *strings* de busca utilizados foram: i) “*vehicle to grid*” and V2G; ii) “*vehicle to grid*” and regulation; iii) “*vehicle to grid*” and “*charging infrastructure*”; iv) “*vehicle to grid*” and privacy; v) “*vehicle to grid*” and tariff; vi) “*vehicle to grid*” and standards; vii) “*vehicle to grid*” and technology; viii) “*vehicle to grid*” and battery; ix) “*vehicle to grid*” and integration; x) “*vehicle to grid*” and applications; xi) “*vehicle to grid*” and peak shaving; xii) “*vehicle to grid*” and “*valley filling*”; xiii) “*vehicle to grid*” and “*ancillary and regulation services*”; xiv) “*vehicle to grid*” and renewable energy integration; xv) “*vehicle to grid*” and economics; e xvi) “*vehicle to grid*” and costs. Além da revisão sistemática da literatura, buscou-se por

relatórios de agências internacionais e estudos de casos de projetos pilotos para a construção e consolidação do conhecimento acerca de aplicações do V2G em frotas comerciais.

3. Redes inteligentes e a eletrificação do setor de transportes

Diante de um contexto de transição energética, pautado pela necessidade de descarbonização mundial, percebe-se o avanço nos esforços de eletrificação das atividades econômicas. Aliado a esse processo, ocorre o aumento da participação de fontes renováveis na geração de eletricidade. Segundo dados da BP (2021), a participação de fontes renováveis no mundo cresceu de 18% para 28% no período de 2000 a 2020, como mostra o Gráfico 1.

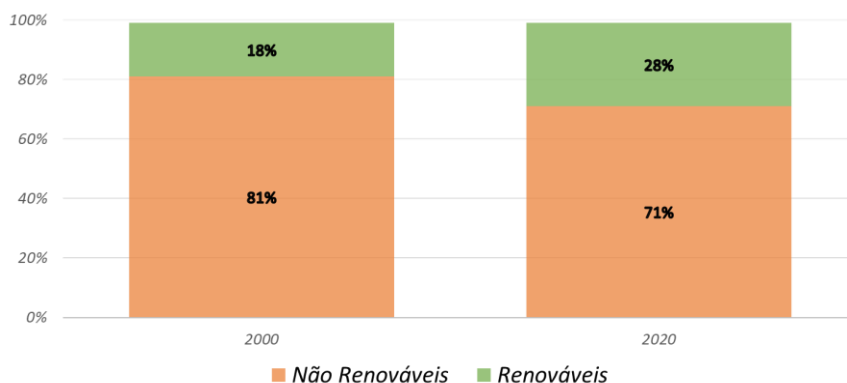


Gráfico 1 - Participação de fontes renováveis e não renováveis na matriz elétrica mundial: em 2000 e 2020 (em %)

Fonte: Elaboração própria, a partir de dados da BP (2021).

Dentre essas fontes renováveis, destacam-se eólica e solar, caracterizadas por sua intermitência e alta variabilidade. Em paralelo, percebe-se também a maior presença dos agentes denominados “prosumidores” - ou seja, consumidores que produzem sua própria energia. Tal conjunto de fatores implica em uma busca por novas fontes de armazenamento, mecanismos de flexibilidade e gerenciamento da demanda.

A partir desse contexto, a difusão da Mobilidade Elétrica (ME) intensifica as preocupações de entidades do setor elétrico acerca do equilíbrio entre a demanda e oferta de eletricidade. Segundo relatório da *International Energy Agency (IEA)*, *Global EV Outlook 2020*, em 2030, no cenário de políticas declaradas, a demanda global de eletricidade de Veículos Elétricos (VE) aumentará cerca de seis vezes em relação aos níveis de 2019, para cerca de 550 TWh. No Cenário de Desenvolvimento Sustentável, por sua vez, esse aumento é de quase onze vezes em relação a 2019, para cerca de 1000 TWh (IEA, 2020). Diante dessas perspectivas, a busca pelo gerenciamento dos padrões de carregamento de VE, estímulo ao carregamento em períodos de alta geração de eletricidade e desestímulo ao carregamento em picos de demanda tornam-se diretrizes importantes para a garantia da qualidade e segurança do suprimento de energia. Busca-se, assim, a garantia da integração harmoniosa da geração de energia com base em fontes renováveis variáveis e eletrificação de diversos setores, como o setor de transportes.

O surgimento desses novos desafios e tecnologias disruptivas, abre a possibilidade de alteração do paradigma vigente do sistema elétrico, a partir do conceito de redes inteligentes. Esse conceito une uma série de tecnologias, soluções para o consumidor e direcionadores de políticas e regulações (DILEEP, 2020). A rede inteligente busca atingir o estabelecimento de uma rede elétrica flexível, resiliente, eficiente, econômica e confiável. Além disso, prevê melhoria e rapidez na qualidade de dados e informações da rede elétrica. As redes inteligentes abrem ainda a perspectiva de fluxos bidirecionais de energia elétrica e de comunicação e possibilitam adoção de políticas de gerenciamento da demanda e a microgeração de energia, impulsionando a difusão de fontes renováveis e geração distribuída.

O conceito de redes inteligentes está calcado na busca por uma operação eficiente e otimização dos ativos, a partir da menor necessidade de infraestrutura nova, maiores reduções de custos, mitigação de

impactos ambientais do sistema elétrico e mitigação de riscos de desabastecimento de energia elétrica (DANTAS, 2015; HAN; XIAO, 2016). A resiliência do sistema também é amplificada a partir da identificação de problemas, rápida resposta e recuperação do sistema, minimizando o tempo de inatividade e da perda financeira. As principais diferenças entre a rede inteligente e as redes convencionais do sistema elétrico estão apresentadas no Quadro 1.

Quadro 1 - Comparação das principais características da rede inteligente e da rede convencional do sistema elétrico

Rede Inteligente	Rede Convencional
Comunicação bidirecional em tempo real	Comunicação unidirecional
Sistema de geração de energia distribuída	Geração de energia centralizada
Rede interconectada	Rede radial
Grande número de sensores envolvidos	Pequena quantidade de sensores básicos é utilizada
Operação digital	Operação mecânica
Controle e monitoramento automático	Controle e monitoramento manual
Controle de amplo alcance	Controle limitado
Resolução rápida de problemas de qualidade de energia	A resposta a problemas de qualidade de energia é lenta
Consumidores estão envolvidos, informados e podem participar da geração de energia	Os consumidores são desinformados e não participam da geração de energia
Preocupação com segurança e privacidade	Sem preocupação com segurança e privacidade

Fonte: Elaboração própria, a partir de Butt et al. (2021) e Dileep (2020).

A viabilidade da implantação das redes inteligentes está intimamente associada aos avanços tecnológicos em áreas como eletrônica, dispositivos de sensoriamento, armazenamento de dados e comunicação. No âmbito dos VE, a rede inteligente possibilita a gestão e monitoramento da recarga ao longo do tempo e programação de recarga para horários fora de pico do sistema elétrico. Os VE também podem se tornar geradores e dispositivos de armazenamento, através da tecnologia *Vehicle-to-Grid* (V2G), a qual será analisada na próxima seção.

4. Definição do V2G e aplicação para o caso de frotas comerciais

4.1 Definição do V2G e potenciais benefícios

Atualmente, o mundo apresenta uma série de políticas públicas de incentivo e investimentos privados voltados para a construção do ecossistema da ME. Esses esforços vêm apresentando resultado, dado o aumento expressivo de VE em diferentes regiões do mundo. Segundo dados da IEA (2022), em 2021, as vendas de VE mais que dobraram em relação ao ano anterior para 6,6 milhões, representando cerca de 9% do mercado. Vale ressaltar que tal aumento ocorre ao mesmo tempo em que a pandemia reduz o mercado global de carros convencionais e os fabricantes lidam com gargalos da cadeia de suprimentos.

Essa tendência de crescimento de vendas de VE, por sua vez, aumenta a preocupação acerca dos impactos na rede elétrica. O aumento do perfil de carga durante os horários de pico da rede elétrica, podem implicar em sobrecarga de componentes do sistema de energia, perdas de transmissão, desvios de tensão, desequilíbrio de fases harmônicas e problemas de estabilidade do sistema. Indica-se, assim, riscos acerca da qualidade da energia e confiabilidade do sistema (HABIB et al., 2018).

Como solução para essas questões, os recentes avanços tecnológicos na distribuição de eletricidade e gerenciamento de carga apresentam o potencial de facilitar a integração de VE na rede e minimizar riscos ao sistema elétrico. O conceito básico do V2G consiste em um sistema no qual os VE podem ser carregados ou descarregados na rede. A bateria dos VE adiciona flexibilidade à rede e otimiza o perfil de carga do sistema elétrico, armazenando o excesso de energia elétrica em horários que a oferta de energia elétrica é maior que a demanda e entregando energia nos horários de pico de demanda de energia. Os consumidores se tornam capazes de gerenciar suas próprias cargas para reduzir o consumo nos horários de pico. O armazenamento da bateria também pode ser usado para fornecer serviços auxiliares, como, por exemplo, energia reativa, tensão, controle de frequência e energia de emergência durante uma queda de energia (SHEN; JIANG; LI, 2015; BUTT et al., 2021). Segundo a plataforma V2G Hub (2022), os projetos já realizados e/ou em andamento no mundo eram 96 no total em janeiro de 2022 - com destaque para a Europa e Estados Unidos.

As projeções da IEA (2020) para 2030, incluindo apenas China, Índia, União Europeia e Estados Unidos, apontam que o V2G pode ajudar a evitar 380 terawatts-hora (TWh) de necessidades de geração de eletricidade durante o pico de demanda. Se o V2G dos VEs for o responsável por atender a demanda de pico ao invés da geração baseada em combustíveis fósseis, cerca de 330 milhões de toneladas de emissões de CO₂ seriam evitadas globalmente.

Em suma, dentre os benefícios de um sistema V2G, destaca-se a maior flexibilidade de programação de uma carga controlável para acomodar as necessidades da rede, como fonte alternativa de energia em horários de pico e fornecimento de serviços auxiliares ao sistema de energia. (SHEN; JIANG; LI, 2015). As perdas de linha e quedas de tensão são reduzidas para a rede de distribuição e a qualidade e confiabilidade do fornecimento de energia podem ser aprimorados. A tecnologia V2G pode transformar os VEs em ativos para operadores de sistemas de transmissão, operadores de sistemas de distribuição e fornecedores de eletricidade (GSCHWENDTNER et al, 2021). O V2G, assim, facilitaria a integração de VEs e fontes renováveis, promovendo uma solução de baixo carbono para o setor de transportes.

Os incentivos governamentais e tarifas horárias podem favorecer a implantação da tecnologia, garantindo benefícios econômicos aos usuários. Os benefícios econômicos a partir da implementação do V2G são maiores considerando uma tarifa horária, em que a energia seria armazenada nos VE no período de menor tarifa (fora de ponta) e poderia ser devolvida ao sistema no período de maior tarifa (período de ponta). A partir disso, os custos operacionais de recarga de VEs são reduzidos a partir da arbitragem de preços horários, ou seja, compra de energia em momentos de tarifa baixa e venda de energia em momentos de alta na tarifa.

A utilização dessas baterias já existentes pode implicar em maior economia de custos de investimento no armazenamento de baterias para a rede elétrica (GSCHWENDTNER et al., 2021). Assim, quando houver necessidade, os VEs podem contribuir na injeção de energia nas redes e se comportar como pool de capacidade de armazenamento. O V2G possibilita ainda a redução de maiores investimentos em construção de novas usinas de geração e em capacidade da rede elétrica para atender picos de demanda da rede elétrica, diminuindo, assim, o custo geral do sistema. O Quadro 2 apresenta uma síntese dos principais benefícios da tecnologia *vehicle-to-grid*, elaborada a partir da revisão sistemática da literatura.

Benefícios da tecnologia vehicle-to-grid

Aumento da confiabilidade do sistema: através de redução dos distúrbios na qualidade da energia. Fonte alternativa de energia nos horários de pico. Redução das consequências e a probabilidade de apagões generalizados.

Fornecimento de serviços auxiliares ao sistema de energia. As perdas de linha e quedas de tensão são reduzidas para a rede de distribuição.

Redução do custo geral do sistema: redução de maiores investimentos em construção de novas usinas de geração, capacidade da rede elétrica para atender picos de demanda da rede elétrica e armazenamento de energia.

Economia de custos operacionais ao consumidor: Redução de preços da eletricidade na recarga dos VEs. Incentivos governamentais e tarifas por tempo de uso podem garantir benefícios econômicos aos usuários.

Sustentabilidade ambiental: Facilita a integração de fontes renováveis intermitentes.

Fonte: Elaboração própria, a partir de Dileep (2020), Habib et al (2018), Butt et al. (2021), Shen; Jiang e Li (2015), Gschwendtner et al. (2021).

O agrupamento de carregamento de VEs, como frotas elétricas concentrados em uma determinada área, ou em casos de existência de carregamentos de alta potência (por exemplo, para veículos comerciais, caminhões, ônibus) pode-se resultar em congestionamento local da rede elétrica. Diante disso, o V2G e a gestão da energia apresentam ainda mais relevância.

Em suma, o V2G apresenta o potencial para contribuir para a melhoria do desempenho da rede elétrica, maior eficiência, estabilidade, confiabilidade, sustentabilidade ambiental e econômica. Apesar desse potencial, a recarga bidirecional ainda está em fase de testes, com um número crescente de projetos pilotos e poucas aplicações comerciais (GSCHWENDTNER et al., 2021). Para a implementação dessa tecnologia, é necessária a análise de uma série de requisitos e restrições operacionais, presente na seção seguinte.

4.2 Requisitos e restrições: âmbito econômico e operacional

A implementação da tecnologia do V2G depende da aquisição de estações de carregamento próprias e de VEs que permitem o fluxo de energia bidirecional aliados aos recursos de comunicação. Os VEs devem estar equipados com conectores plug-in e medidores inteligentes para contabilizar a potência de entrada e saída e enviar o nível de carregamento da bateria para os operadores. Esses medidores têm capacidade de comunicação bidirecional e de monitoramento dos dados em tempo real, auxiliando ainda na implementação de um escalonamento inteligente para otimizar a energia disponível na rede (BUTT et al., 2021; BIBAK et al, 2021).

A implementação e operação do sistema de V2G tem como principal desafio o elevado investimento necessário. O equipamento e instalação do carregador bidirecional apresenta maiores custos do que os carregadores tradicionais. Além disso, dependendo do operador do sistema de distribuição podem ocorrer especificações da solicitação de conexão e taxas de avaliação associadas. Em algumas localidades, a pré-qualificação da infraestrutura de recarga para fornecimento de serviço à rede pelo operador do sistema de transmissão também é presente.

O impacto da tecnologia V2G no ciclo de vida das baterias dos VEs constitui um fator capaz de afetar a avaliação da viabilidade econômica desse sistema. Diversos estudos são realizados para o aprofundamento e detalhamento do grau de degradação da bateria ao longo do tempo com a tecnologia V2G e tempo requerido para a troca da bateria. Os ciclos de carga e descarga frequentes envolvidos na operação podem aumentar a resistência interna da bateria e, consequentemente, diminuir sua capacidade

útil (BIBAK et al., 2021). Segundo Jain e Jain (2016) e Yilmaz e Krein (2011), para o prolongamento da vida útil da bateria, dois pontos são necessários: ciclos de descarga rasos e correntes de baixa carga-descarga, evitando exercer estresse extra na bateria.

As frotas comerciais são consideradas como os primeiros adotantes de V2G, pois operam de acordo com horários pré-definidos e estão estacionadas na mesma área, o que reduz os custos de infraestrutura (GSCHWENDTNER, 2021). No entanto, outros requisitos devem ser destacados para o alcance de uma implementação benéfica do V2G. Dentre estes, destacam-se: i) os VEs da frota estarem geralmente disponíveis para transferir energia para a rede durante a maioria das horas de pico, geralmente, entre 17h e 21h; ii) ter uma bateria de grande capacidade, com pelo menos 15% de sua capacidade útil restante no final do turno. Com uma bateria quase vazia no fim do turno, a economia potencial diminui devido ao potencial limitado de descarga; iii) ter uma bateria com capacidade suficiente para saída para atividades no dia seguinte; iv) os VEs da frota estarem carregando durante os horários de baixa demanda de eletricidade, geralmente, entre 22h e 05h da manhã; e v) ter tarifas horárias de eletricidade. O prêmio de custo para soluções V2G deve ser compensado pelos benefícios financeiros derivados do uso da tecnologia.

Vale ressaltar que a aplicação da telemetria na gestão de frotas tem se mostrado cada vez mais presente nas experiências de eletrificação. A utilização dos dados de telemetria engloba o rastreamento e rota de veículos, monitoramento do comportamento do motorista, monitoramento das condições do veículo e gerenciamento de eventos de carregamento (MELLEN; DOOTY; SCHEANEN, 2020). O tempo que o VE está conectado à rede e o tempo que este se encontra em utilização pela empresa são variáveis críticas para a avaliação de benefícios econômicos potenciais para determinada frota. O V2G se torna favorável para casos de frotas com baixas taxas de utilização diária (exemplo: 6 a 8 horas diárias) e frotas em que seu carregamento não ocorre durante o horário de pico. Diversas particularidades das frotas devem ser consideradas para uma avaliação detalhada e consistente das condições de implementação do V2G diante da operação da atividade da empresa e/ou entidade governamental. O consumo da frota pode variar dependendo do tipo de rota diária, recarga durante o percurso, comportamento do condutor, temperatura, peso e demais aspectos que impactam diretamente na autonomia do VE.

A perda de oportunidade de atendimento de serviço ou impacto negativo nas atividades das empresas não são aceitáveis em um ambiente competitivo. Em suma, é possível observar que os benefícios financeiros podem variar significativamente entre os usuários de frotas dependendo dos padrões de direção, do tipo de carregamento da frota, do ciclo de trabalho típico da empresa e dos preços regulamentares.

Em estudo do projeto e4Future do Reino Unido, chegou-se à conclusão de que o benefício financeiro a ser obtido a partir do V2G só é possível quando as frotas apresentam uma demanda de eletricidade suficientemente alta. A instalação de carregadores V2G em um local com pouco consumo geral de energia pode não ser viável financeiramente, pois as atividades de descarga da frota levam a custos adicionais. Para tais sites, a melhor opção seria o carregamento inteligente em substituição ao V2G (OLDFIELD et al, 2020).

Em Tomié e Gallo (2012), é realizado estudo acerca da utilização do V2G em frotas comerciais urbanas de baixa utilização. Nesse caso, as rotas de direção são fixas e os tempos de operação regulares, fornecendo uma janela definida para a direção e também para a recarga. Os resultados demonstraram que o V2G para regulação de frequência pode melhorar o caso de negócios para VEs em casos de carga de eletricidade alta e preços horários de eletricidade favoráveis (TOMIÉ; GALLO, 2012). O Quadro 3 apresenta uma síntese dos principais requisitos e restrições para a implementação da tecnologia V2G em frotas comerciais, segundo a revisão sistemática da literatura.

Quadro 3- Implementação da tecnologia V2G em frotas comerciais: principais requisitos e restrições.

Implementação da tecnologia V2G em frotas comerciais	
Principais requisitos	Infraestrutura de carregamento bidirecional
	Compatibilidade do VE com carregamento bidirecional
	Demanda de eletricidade relativamente alta e necessidade de flexibilidade no site da frota de VEs

	Necessidade de tecnologias avançadas de comunicação e informação. Importância da telemetria na gestão de frotas.
	Incentivos governamentais (por exemplo, projetos pilotos, apoio financeiro)
	Arcabouço regulatório e de serviço para fornecimento de energia à rede
	Mecanismos tarifários (por exemplo, preço horário de eletricidade)
	Participação ativa do governo, concessionárias de energia, agregadores V2G e proprietários de VEs
Principais restrições	Alto custo de aquisição, instalação e comissionamento da infraestrutura de recarga bidirecional
	Ciclos de descarga rasos e correntes de baixa carga-descarga, evitando exercer estresse extra na bateria
	Perfil de atividade favorável: Rotas e horários fixos, frotas que permanecem estacionadas a maior parte do dia. Favorável para casos de frotas com baixas taxas de utilização diária (exemplo: 6 a 8 horas diárias)
	Padrão de carregamento favorável: Carregamento durante o horário fora do pico (22h-05h); e descarga para a rede elétrica durante o horário de pico (17h-21h)
	Horários de chegada e saída da frota e o respectivo estado da carga da bateria. Necessidade uma porcentagem mínima de capacidade útil restante da bateria no final do turno
	Infraestrutura de carregamento durante o percurso realizado pela frota diariamente
	Consumo de energia e variáveis determinantes na autonomia do VE

Fonte: Elaboração própria, a partir de Oldfield et al. (2020), Tan, Ramachandaramurthy e Yong (2016), Tomié e Gallo (2012) e Bibak (2021).

5. Desafios e inovações regulatórias

A construção de um arcabouço regulatório e de serviço constitui elemento essencial para a implementação da tecnologia V2G. Como destacado em Amanra e Marco (2019), o modelo do V2G se baseia em um agregador, o qual a partir das informações recebidas, toma uma decisão para um conjunto de comando de carga/descarga de VEs. Os proprietários de veículos, por sua vez, ganhariam parte dessas receitas, pois estavam conectados à rede desse agregador durante a operação.

A figura do agente agregador torna-se necessária, pois este se comunica com os carregadores (e os veículos aos quais eles estão conectados) para entender suas necessidades de energia e programação operacional, além dos requisitos de alcance. Em suma, os agregadores são entidades comerciais que atuam como um elo entre o operador do sistema e a frota de veículos, fornecendo a infraestrutura e os fluxos de informações necessários para garantir a receita dos usuários de VEs e fornecer serviços de rede (MEENAKUMAR, 2020).

O agregador se comunica com os operadores do sistema de transmissão e de distribuição para analisar a disponibilidade de energia atual e projetada e as taxas de eletricidade associadas aos VE. O agregador deve participar do mercado de eletricidade por meio de diferentes serviços auxiliares da rede, organizando e otimizando o carregamento de VEs e gerenciando o perfil de carga. (RHOMBUS ENERGY SOLUTIONS, 2020; RAVI; AZIS, 2022). A não existência da figura do agregador acarretaria maiores ineficiências pois cada carregador precisaria se comunicar com os demais agentes do sistema elétrico. A Figura 2 apresenta um esquema ilustrativo do fluxo de dados e arquitetura do sistema V2G, destacando o papel do agregador.

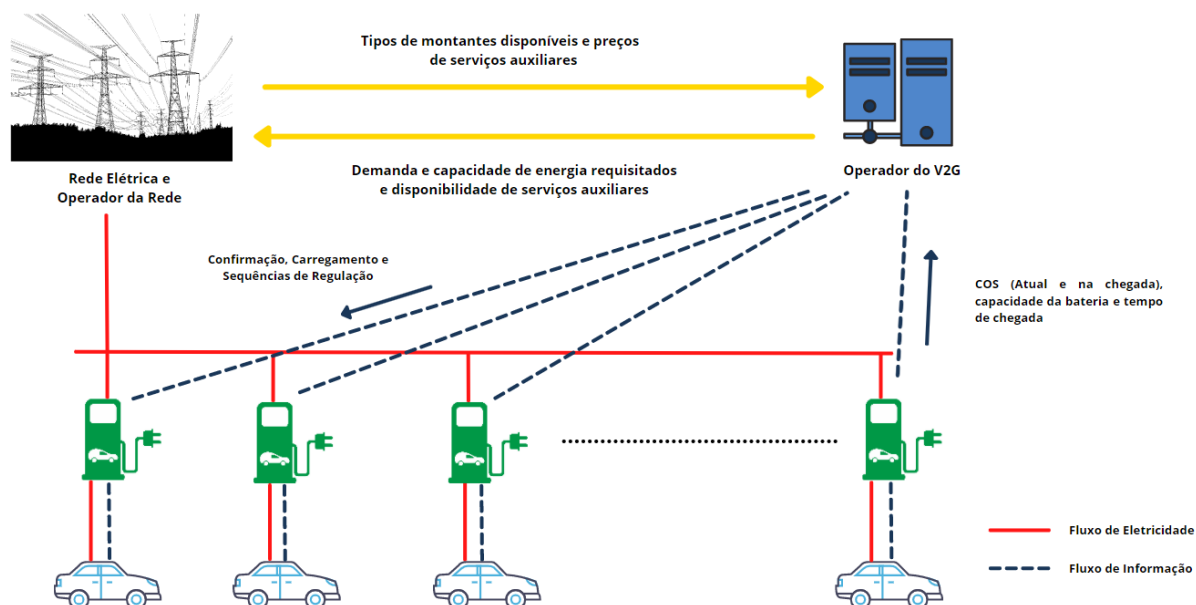


Figura 2 - Esquema ilustrativo do fluxo de dados e arquitetura do sistema V2G.

Fonte: Adaptado e traduzido de Ravi e Azis (2022).

O agregador é responsável por estabelecer uma conexão com cada veículo da frota de VEs, que possui um contrato de serviço para utilização da sua bateria. No entanto, caso o motorista do VE não cumpra o contrato e saia antes do horário de partida pré-notificado, a bateria pode não estar suficientemente carregada no momento da desconexão. O agregador é responsável ainda pelo estabelecimento de outro contrato, com o operador da rede, e se comunica para decidir o tipo de serviço e capacidade de regulação a fornecer à rede ou a potência exigida pelo agregador para carregar os VEs. O operador de rede inteligente envia demandas ao agregador, que por sua vez solicita que os VEs forneçam os serviços demandados (RAVI; AZIS, 2022).

Vale ressaltar que diferentes estratégias para agregação V2G estão sendo propostas por pesquisadores da comunidade acadêmica e da indústria. O objetivo de cada estratégia de agregação geralmente depende do objetivo do sistema de controle. Segundo Amanra e Marco (2019), as estratégias de agregação ideal, em geral, são propostas visando reduzir as funções de custo relacionadas ao custo de energia para um conjunto de concessionárias de rede, além do preço de carregamento para proprietários de VEs. Essas estratégias frequentemente também consideram diferentes mercados de serviços auxiliares. O operador do sistema de transmissão, o qual é responsável por manter a operação segura e confiável, adquire esses serviços de sistema, como reservas operacionais e regulação de frequência, dos participantes do mercado (ROMÁN, 2011). Caso o V2G permita o mercado de serviços ao operador, verifica-se a necessidade de um arcabouço regulatório para fornecimento desses serviços auxiliares.

Em Meenakumar (2020), é realizada a proposição de um modelo de otimização para maximizar as receitas de um portfólio de serviços V2G oferecidos por meio de um agregador de VE, negociando eletricidade no mercado do dia seguinte e fornecendo serviços auxiliares e balanceamento com base na estrutura atual do mercado de eletricidade do Reino Unido. Os resultados das execuções do modelo sugerem que os serviços de rede V2G podem gerar receitas potencialmente significativas para os agregadores e, consequentemente, valor para os consumidores finais.

Em suma, a tecnologia V2G facilita a transferência bidirecional de energia, utilizando as baterias de VE como ativos de armazenamento móveis distribuídos e oferecendo flexibilidade adicional da rede. No entanto, para maximizar o potencial de fornecimento de flexibilidade por meio de serviços V2G, é provável que alguma forma de agregação seja necessária, dada a natureza altamente distribuída de VE como recursos flexíveis de pequena escala (MEENAKUMAR, 2020).

O tema da flexibilidade não é apenas abordado na literatura, mas também tem sua real dimensão. Na Diretiva da UE 2019/944 de 5 de junho de 2019 sobre regras comuns para o mercado interno da

eletricidade, o tema da flexibilidade da rede indica a gestão do congestionamento para aumentar a eficiência da rede de distribuição, com a ajuda de geração distribuída, armazenamento de energia ou serviços de resposta do lado da demanda. As conclusões desta Diretiva indicam que a utilização de VE (e mais especificamente o seu armazenamento de energia) é viável e necessária. No entanto, ainda não há solução para a criação de um mercado de flexibilidade. Diferentes estudos realizados por organizações que associam operadores do sistema de distribuição e transmissão e outras empresas de energia indicam a necessidade de criar tal mercado. Além disso, pesquisadores estudam diferentes desenhos de mercado e estruturas tarifárias para serviços de frequência e tensão, bem como leilões e licitações (ZAGRAJEK, 2021; GSCHWENDTNER, 2021).

De acordo com Zagrajek (2021), um dos problemas na definição da estrutura legal para a operação da tecnologia V2G é justamente definir a posição dos sistemas de armazenamento de energia por bateria nos mercados locais de energia. Os fluxos de receita potenciais para os serviços fornecidos pelo V2G ao VE são semelhantes aos das fontes convencionais de armazenamento de energia (MEENAKUMAR, 2020). Como a tecnologia V2G utiliza o armazenamento de energia instalado em VE, pode-se concluir que sem regulamentação adequada não será possível implementá-lo de forma eficiente. Além disso, a regulação do armazenamento de energia é parte fundamental do processo de desenvolvimento sustentável para o uso de fontes alternativas de energia.

Os padrões de comunicação também precisam ser especificados por normas reguladoras, a fim de permitir o carregamento bidirecional e estabelecer padrões de interconexão de carregadores bidirecionais às redes de distribuição. A garantia da interoperabilidade entre diferentes equipamentos e partes interessadas requer que os padrões de comunicação sejam amplamente aceitos para várias interfaces, como entre mercados de eletricidade, agregadores, carregadores, veículos e demais agentes do sistema elétrico. Verifica-se ainda a necessidade de cooperação e colaboração internacional entre os setores de transporte e eletricidade para estabelecer estes padrões (GSCHWENDTNER, 2021; MEENAKUMAR, 2020).

O amadurecimento adicional da tecnologia V2G será necessário para reduzir custos e melhorar o desempenho e, eventualmente, sustentar um modelo de negócios viável. Segundo Meenakumara (2020), ao comparar as receitas geradas pelos serviços V2G com os custos de investimento, verifica-se que os custos de investimento superam ainda as receitas geradas pelo V2G. Assim, muitas distribuidoras hesitam em explorar soluções inteligentes em oposição ao reforço da rede, considerando a falta de casos de uso economicamente atraentes e/ou confiáveis. No entanto, vale ressaltar que é comum na experiência internacional que reguladores forneçam incentivos ou removam desincentivos de modo a influenciar as atividades das concessionárias reguladas, como a implantação de programas, investimentos e tecnologias de serviços públicos ainda emergentes. Segundo Gschwendtner (2021), outro desafio regulatório importante para o desenvolvimento de modelos de negócios para a tecnologia do V2G é evitar a dupla tributação do carregamento e descarregamento de baterias em vários países, como Dinamarca, França, Alemanha, Holanda, Reino Unido e EUA. Assim, é necessária uma definição legal adequada de baterias que evite a tributação como consumidor e como gerador.

Segundo Gschwendtner (2021), no que diz respeito às ações de decisores políticos, também são destacadas a necessidade de: i) se evitar um efeito *lock-in* à infraestrutura de carregamento unidirecional através de incentivos políticos existentes; ii) apoio às soluções inteligentes no nível do operador do sistema de distribuição; e iii) simplificação da participação de mercado para pequenos provedores. Em relação à concorrência tecnológica, existe o risco de que as políticas de suporte existentes para infraestrutura de recarga tradicional evitem que os provedores de infraestrutura sejam incentivados a buscar e fornecer soluções inovadoras, como a recarga bidirecional. Os formuladores de políticas poderiam ainda apoiar os operadores dos sistemas de distribuição na exploração e implementação de soluções inteligentes de acordo com o tipo de rede. Por fim, destaca-se que a possibilidade de tornar os mercados existentes no nível do operador do sistema de transmissão mais acessíveis para pequenos prestadores de serviços (GSCHWENDTNER, 2021).

Em Ravi e Azis (2022), destaca-se ainda que a tecnologia V2G requer um certo nível de cibersegurança para uma operação bem-sucedida, uma vez que a rede digital lida com grandes quantidades de dados, tornando o V2G um alvo perfeito para ataques cibernéticos (RAVI; AZIS, 2022).

Por fim, é importante salientar a necessidade de maiores estudos e análises acerca do impacto do V2G através de projetos-pilotos. Atualmente, há evidências empíricas limitadas sobre as oportunidades e desafios para a implantação de soluções V2G em escala, com um número relativamente pequeno de testes comerciais e tecnológicos em estágio inicial em todo o mundo (MEENAKUMAR, 2020). A partir dessas pesquisas, será possível formular, implementar e acompanhar inovações regulatórias que busquem solucionar esses desafios. O Quadro 4 busca sintetizar os principais desafios e inovações regulatórias analisadas no processo de implementação da tecnologia V2G.

Quadro 4: Principais desafios e inovações regulatórias presentes no processo de implementação da tecnologia V2G

Desafios e inovações regulatórias
Necessidade de marco regulatório para o mercado de flexibilidade. Normas e regras claras acerca das atividades e responsabilidades dos agentes. Definição de desenhos de mercado e estruturas tarifárias para serviços de frequência e tensão.
Necessidade de um agregador. Este se comunica com os carregadores, com os operadores do sistema de transmissão e de distribuição para analisar a disponibilidade de energia atual e projetada e as taxas de eletricidade associadas aos VE. Diferentes estratégias para agregação V2G estão sendo propostas por pesquisadores da comunidade acadêmica e da indústria.
Estabelecimento de contratos com frotas de VEs e operadores da rede.
Hesitação de distribuidoras em relação a soluções inteligentes. Necessidade de programas e incentivos por parte de reguladores e formuladores de políticas públicas.
Desenvolvimento de padrões para equipamentos de carregamento e protocolos de comunicação. Garantia da interoperabilidade entre diferentes equipamentos e partes interessadas.
Evitar dupla taxação. Tecnologias de armazenamento ainda não estão formalmente definidas na regulamentação de eletricidade em muitos países, assim, os provedores de flexibilidade V2G precisam pagar taxas de energia para carga e descarga.
Evitar efeito <i>lock-in</i> à infraestrutura de recarga unidirecional por meio de incentivos de políticas existentes.
Desafios acerca de privacidade e segurança de dados dos usuários.

Fonte: Elaboração própria, a partir de Gschwendtner (2021), SEPA (2022) e Ravi e Azis (2022).

6. Considerações finais

Em suma, a tecnologia do V2G se apresenta como uma tecnologia disruptiva no âmbito do setor elétrico e potencial facilitadora da difusão de VEs aliada ao aumento de energias renováveis na geração de eletricidade. Essa inovação tecnológica poderia amenizar o risco ao sistema elétrico diante de um potencial excesso de demanda de recargas, assim como possibilitar que os VEs atuem como fonte de oferta de energia flexível, ou seja, como uma bateria para um sistema elétrico, facilitando a integração de fontes renováveis. Além disso, apresenta como potencial a redução de custos do sistema de energia e das contas de energia elétrica dos consumidores ao evitar o consumo de energia para recarga de seus VEs nos horários da ponta, momento em que a tarifa pode ser mais elevada.

A tecnologia do V2G ainda se encontra em uma fase inicial de desenvolvimento, foco de projetos pilotos. No caso de frotas comerciais, observa-se a necessidade de maiores estudos e análises para avaliação dos melhores casos de utilização da tecnologia e metodologias de implementação. Essas metodologias devem considerar os benefícios para o sistema, clientes e sociedade. Objetiva-se, assim, que pesquisas futuras auxiliem a desenvolver propostas de valor para diferentes segmentos de usuários de VEs.

Observa-se ainda a necessidade de estudos para a implementação de um quadro regulatório e jurídico adequado para o desenvolvimento da tecnologia. Uma regulação clara e consistente, a qual identifique os principais agentes e determine suas funções e atribuições poderá fornecer uma maior confiança para investimentos nesse novo mercado. A coordenação e cooperação entre diferentes atores do ecossistema da

mobilidade elétrica torna-se de extrema relevância nesse processo, dentre eles: i) fabricantes de automóveis; ii) fabricantes de componentes; iii) empresas de desenvolvimento de tecnologia; iv) empresas de energia elétrica; e v) reguladores.

Destacam-se ainda várias áreas prioritárias de política, regulamentação e pesquisa que devem progredir para o estabelecimento do V2G, como: i) pesquisa de baterias inovadoras; ii) novos modelos de compensação para proprietários de VEs; iii) investimento em infraestrutura e tecnologia relevantes; iv) estabelecimento de um mercado livre para serviços de rede; v) o desenvolvimento de modelos de prognóstico precisos e específicos para baterias sobre como as células se degradam ao longo do tempo; e vi) estudo acerca da garantia da segurança e privacidade dos dados dos usuários (EUROPEAN COMMISSION, 2019).

7. Referências bibliográficas

AMANRA, S; MARCO, J. Vehicle-to-Grid Aggregator to support power grid and reduce Electric Vehicle charging cost, **IEEE Access**, v. 7, 178528-178538, 2019.

BARCET, A. Innovation in services: a new paradigm and innovation model. In: GALLOUJ, F; DJELLAL, F. **The Handbook of Innovation and Services: A Multi-disciplinary Perspective**, Edward Elgar, Cheltenham: 2010.

BIBAK, B; TEKINER-MOGULKOÇ, H. A comprehensive analysis of Vehicle to Grid (V2G) systems and scholarly literature on the application of such systems. **Renewable Energy Focus**, v. 36, p. 1-20, 2021.

BUTT, O. M. et al. Recent advancement in smart grid technology: Future prospects in the electrical power network. **Ain Shams Engineering Journal**, v. 12, p. 687-695, 2021.

DANTAS, G. et al. **A energia na cidade do futuro: Uma abordagem didática sobre o setor elétrico**, Babilônia Cultura Editorial. Rio de Janeiro: 2015.

DILEEP, G. A survey on smart grid technologies and applications. **Renewable Energy**, v. 146, p. 2589-2625, 2020.

EUROPEAN COMMISSION. **Understanding degradation of battery life-time is key to successful vehicle-to-grid systems**. European Commission, 2019. Disponível em: <https://ec.europa.eu/environment/integration/research/newsalert/pdf/understanding_degradation_battery_life_key_successful_v2g_523na1_en.pdf>. Acesso em: 16 jan. 2022.

GALLOUJ, F; WEINSTEIN, O. Innovation in services. **Research Policy**, v. 26, p. 537-556, 1997.

GSCHWENDTNER, C. et al. Vehicle-to-X (V2X) implementation: An overview of predominate trial configurations and technical, social and regulatory challenges. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 145, 1110997, 2021.

GUSTAFSSON, A; SNYDER, H; WITTEL, L. Service Innovation: A New Conceptualization and Path Forward. **Journal of Service Research**, v. 23, p. 111-115, 2020.

HAN, W.; XIAO, Y. Privacy preservation for V2G networks in smart grid: A survey. **Computer Communications**, v. 91-92, p. 17-28, 2016.

HABIB, S. et al. Assessment of electric vehicles concerning impacts, charging infrastructure with unidirectional and bidirectional chargers, and power flow comparisons. **International Journal of Energy Research**, v. 42, p. 3416-3441, 2018.

IEA. **Global EV Outlook 2020**. IEA, 2020. Disponível em: <<https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2020/>>. Acesso em: 04 jan. 2021.

IEA. **Electric cars fend off supply challenges to more than double global sales**. IEA, 2022. Disponível em: <<https://www.iea.org/commentaries/electric-cars-fend-off-supply-challenges-to-more-than-double-global-sales>>. Acesso em: 08 fev. 2022.

JAIN, P.; JAIN, T. Development of V2G and G2V Power Profiles and Their Implications on Grid Under Varying Equilibrium of Aggregated Electric Vehicles. **International Journal of Emerging Electric Power Systems**, v. 17, p. 101-115, 2016.

MEELEN, T; DOODY, B.; SCHWANEN, T. Vehicle-to-Grid in the UK fleet market: An analysis of upscaling potential in a changing environment. **Journal of Cleaner Production**, v. 290, 125203, 2021.

MEENAKUMAR et al. Optimal Business Case for Provision of Grid Services through EVs with V2G Capabilities. **15th International Conference on Ecological Vehicles and Renewable Energies (EVER)**, 2020.

OCDE. **Manual de Oslo: Proposta de diretrizes para a coleta e interpretação de dados sobre inovação tecnológica**, FINEP. Rio de Janeiro: 2006.

OLDFIELD, F. et al. **The drive towards a low-carbon grid: Unlocking the value of vehicle-to-grid fleets in Great Britain**. E.ON Drive, 2020. Disponível em: <<https://www.eonenergy.com/content/dam/eon-energy-com/Files/vehicle-to-grid/The%20Drive%20Towards%20A%20Low-Carbon%20Grid%20Whitepaper.pdf>>. Acesso em: 11 abr. 2021.

RAVI, S.S.; AZIZ, M. Utilization of Electric Vehicles for Vehicle-to-Grid Services: Progress and Perspectives. **Energies**, v. 15, 589, 2022.

RHOMBUS ENERGY SOLUTIONS. **Implementing vehicle to grid (V2G) from a fleet operator's perspective**. Rhombus Energy Solutions, 2020. Disponível em: <<https://rhombusenergysolutions.com/wp-content/uploads/documents/Rhombus%20V2G%20Solution%20Brief%20v3%20080520.pdf>>. Acesso em: 02 abr. 2021.

ROGERS, E. **Diffusion of Innovations**, Free Press. Nova York: 1983.

ROTHAERMEL, F. T. Incumbent's advantage through exploiting complementary assets via interfirm cooperation. **Strategic Management Journal**, v. 22, p. 687–699, 2001.

SCHILLING, M. **Strategic Management of Technological Innovation**, McGraw-Hill. Nova York: 2014.

SHAUKAT, N. et al. A survey on electric vehicle transportation within smart grid system. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 81, p. 1329-1349, 2018.

SHEN, J.; JIANG, C.; LI, B. Controllable Load Management Approaches in Smart Grids. **Energies**, v. 8, 11187-11202, 2015.

TAN, K. M.; RAMACHANDARAMURTHY, V. K.; YONG, J. Y. Integration of electric vehicles in smart grid: A review on vehicle to grid technologies and optimization techniques. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 53, p. 720-732, 2016.

TEECE, D. J. Profiting from technological innovation: Implications for integration, collaboration, licensing and public policy. **Research Policy**, v. 15, p. 285-305, 1986.

TOMIÉ, J.; GALLO, J. Using Commercial Electric Vehicles for Vehicle-to-Grid. **EVS26 International Battery, Hybrid and Fuel Cell Electric Vehicle Symposium**, 2012.

VASCONCELLOS, L. H. R; MARX, R. Como ocorrem as inovações em serviços? Um estudo exploratório de empresas no Brasil. **Gestão & Produção**, v. 18, p. 443-460, 2011.

YILMAZ, M.; KREIN, P. Review of the Impact of Vehicle-to-Grid Technologies on Distribution Systems and Utility Interfaces. **IEEE Transactions on Power Electronics**, v. 28, p. 5673-5689, 2013.

ZAGRAJEK, K. et al. Framework for the Introduction of Vehicle-to-Grid Technology into the Polish Electricity Market. **Energies**, v. 14, 3673, 2021.