

Veículos elétricos conectados a Smart Grids: os desafios do fluxo bidirecional de cargas (V2G)

Amaro Krob*, Roberto C. Leborgne*, Andrea Collin**

*Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre-RS, 90040-060 BR
(Tel: +555133086000; e-mail: amaro.krob, roberto.leborgne @ufrgs.br)

**Universidade La Salle, Canoas-RS, 92010-000 BR
(Tel: +555134768500; e-mail: andrea.krob @unilasalle.edu.br)

Abstract: The increase in sales of electric vehicles (EV) it's creating a new and great challenge for the planning of expansion and operation of electric energy distribution systems in Brazil. The new energy demand for charging vehicular batteries will also enable the bidirectional power flow from the Vehicle to Grid (V2G), which when properly approved by the regulatory authorities will result in an opportunity to improve the quality and cost of energy for all. This work presents the state of the art regarding the charging of electric vehicles and the main aspects related to the standardization of chargers in national and international markets. In addition, it carries out an analysis with recommendations that expand the discussions around the regulation of the sector, allowing the full potential of the bidirectional power flow to be used in the distribution grid.

Resumo: O aumento nas vendas de veículos elétricos (EVs) está criando um grande desafio para o planejamento de expansão dos sistemas de distribuição de energia elétrica no Brasil. A nova e crescente demanda por carregamento de baterias veiculares gera a possibilidade de implantação do fluxo bidirecional de cargas do veículo para a rede (V2G), que quando devidamente homologado pelas autoridades regulatórias, resultará em uma oportunidade para melhorar a qualidade e o custo da energia para todos. Este trabalho apresenta o estado da arte com relação ao carregamento de veículos elétricos e os principais aspectos relacionados com a padronização dos carregadores nos mercados nacional e internacional. Além disso, realiza uma análise com recomendações que ampliam as discussões no entorno da regulamentação do setor, validando o potencial do fluxo bidirecional de carga quando empregado nas redes de distribuição das concessionárias de energia elétrica.

Keywords: ANEEL, Batteries, CHAdeMO, Electric Vehicles, IEEE 2030, IEEE 1547, Renewable Energy, SAE J1772, Smart Grid, V2G.

Palavras-chaves: ANEEL, Baterias, CHAdeMO, Energias Renováveis, IEEE 2030, IEEE 1547, SAE J1772, Smart Grid, Veículos Elétricos, V2G.

1. INTRODUÇÃO

A possibilidade de utilização das energias renováveis (ER) como fonte geradora nas instalações consumidoras exige novas funcionalidades de comunicação e gerenciamento do lado do consumidor de energia. Esta nova concepção dos sistemas de energia, faz parte da denominação geral de *Smart Grid*, a qual tem sido traduzida para o português como redes elétricas inteligentes e deve ser entendida como um conceito ao invés de uma tecnologia ou equipamento específico (Falcão 2010). Este conceito é definido, como, um sistema elétrico automatizado que agrega novas funcionalidades às redes elétricas atuais, como medição e monitoramento em tempo real, proporcionando flexibilidade para os consumidores e produtores de eletricidade (Hledik 2009).

Ao analisarmos as oportunidades que surgem com a *Smart Grid*, pode-se destacar a conexão dos veículos elétricos (EVs) à rede, sendo este um grande desafio para o planejamento de expansão e operação dos sistemas de distribuição de energia elétrica. Segundo o relatório G-HEV (2020), os EVs

representarão 54% das vendas até o ano de 2040 conforme mostra a Figura 1, quando comparados com os veículos de motor a combustão interna (ICE).

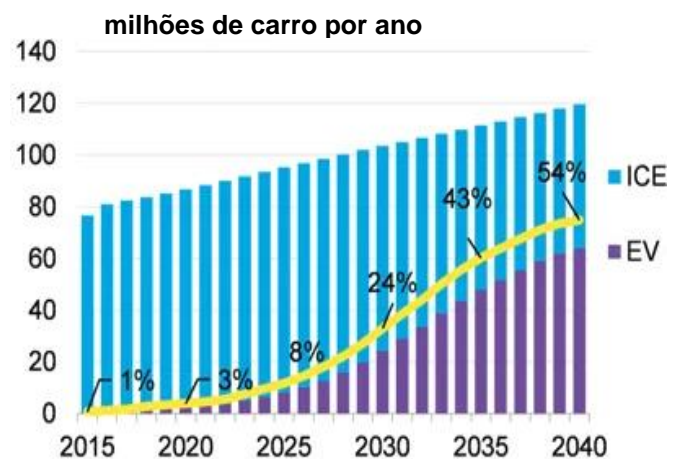


Fig. 1. Vendas de EVs x ICE (adaptada de G-HEV 2020)

A possibilidade de utilizar as baterias dos EVs como armazenadores, aliado ao fluxo bidirecional de energia, traz excelentes oportunidades para as concessionárias, como por exemplo: gerenciamento de energia, *backup*, equilíbrio de carga, controle de tensão, estabilização da rede, entre outros.

A recarga do banco de baterias de um EV é um processo que varia com o tipo de bateria utilizado e com a capacidade de retornar energia para rede elétrica. O tempo e a forma de reabastecimento do EV devem ser compatíveis com o tipo de bateria empregada, garantindo a segurança do processo de recarga e evitando que o banco de baterias tenha sua vida útil reduzida. Diversos tipos de baterias podem ser utilizadas em aplicações veiculares, logo, diferentes requisitos podem ser exigidos do carregador de baterias de um EV (Rodrigues et al. 2014).

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A infraestrutura de energia elétrica é tradicionalmente vista em termos de centrais elétricas que fornecem eletricidade para as instalações consumidoras. Nestas instalações, as cargas são energizadas sem administração ou controle do consumo. Com a *Smart Grid*, além de operar e gerenciar, é possível medir o consumo de energia dos equipamentos em tempo real (IEEE 2030:2011). Nesta seção serão apresentadas as principais características das redes elétricas inteligentes, bem como os padrões e normas aplicadas aos carregadores de EVs e suas especificações técnicas.

2.1. Rede Elétrica Inteligente

A *Smart Grid* proporciona a integração dos sistemas de energia elétrica com os sistemas de comunicações e a tecnologia da informação, criando uma infraestrutura de energia elétrica aprimorada, permitindo a evolução para novas aplicações nas instalações do usuário final.

Um dos aspectos importantes para o sucesso de uma *Smart Grid* é a interoperabilidade, que é a capacidade de duas ou mais redes, sistemas, dispositivos, aplicativos ou componentes trocarem informações com padrões abertos. Para avançar na implantação das redes elétricas inteligentes, às organizações precisam ter capacidade de se comunicar e transferir dados significativos entre uma variedade de sistemas de informação e infraestruturas diferentes, inclusive em diferentes regiões geográficas. A interoperabilidade está associada com os seguintes elementos:

- Componentes: *hardware/software* que permite a comunicação máquina a máquina. A interoperabilidade de componentes é frequentemente centrada em protocolos e infraestrutura;
- Formatos de dados: está relacionado com as mensagens transferidas por protocolos de comunicação, precisam ter um formato bem definido de sintaxe e codificação;
- Nível de conteúdo: está relacionado a troca de conteúdo entre os diferentes equipamentos e as interfaces com os usuários.

A interoperabilidade das redes elétricas inteligentes permite que as concessionárias, consumidores e outras partes interessadas adquiram *hardware* e *software* no mercado, que podem ser prontamente incorporados à rede para interagir com outros componentes na mesma infraestrutura. A diversidade de novos equipamentos de *Smart Grid* que surgem a cada dia, aumenta significativamente os desafios da interoperabilidade. Neste caso, é imprescindível observar e adotar os padrões disponíveis no mercado.

O *Smart Grid Interoperability Reference Model* (SGIRM), apresentado na Figura 2 (IEEE 2030:2011) é uma ferramenta que fornece às partes interessadas um entendimento comum dos critérios de interoperabilidade do sistema de energia, comunicações e tecnologia da informação.

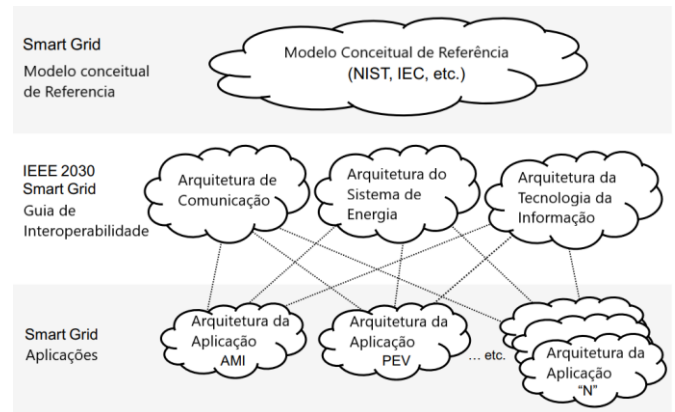


Fig. 2. Modelo de referência SGIRM (adaptada de IEEE 2030:2011)

O objetivo do modelo SGIRM é permitir extensibilidade, escalabilidade e capacidade de atualização das redes elétricas inteligentes. Para realizar uma transição de redes legadas para uma infraestrutura de energia elétrica inteligente e segura, devem ser observadas as necessidades de todas as partes interessadas, incluindo clientes e entidades regulatórias, desenvolvendo uma abordagem baseada em padrões e soluções de processos, além de negócios flexíveis e interoperáveis.

2.2. Normas técnicas e padrões

A norma (IEC 61851:2020) em conjunto com a (IEC 61851-1:2013), apresentam os requisitos para as estações de recarga em corrente contínua com conexão condutiva ao veículo. Estas estações possuem uma tensão nominal entre 1.000VCC e 1.500VCC. Esta norma inclui as informações sobre a conexão condutiva, limitada à descrição da interface de potência e de sinalização. Os requisitos referentes ao fluxo de potência bidirecional estão em estudo.

A norma (IEC 61439-7:2020) define os requisitos específicos aplicáveis aos equipamentos de recarga, onde a tensão nominal não excede 1.000VCA ou 1.500VCC, destinados a serem utilizados com os equipamentos projetados para a geração, transmissão, distribuição, conversão de energia elétrica e comando de equipamentos de recarga. Abrange os conjuntos acionados por pessoas comuns

(em contato com equipamentos elétricos plugáveis e não plugáveis), instalados em marinas, acampamentos, locais de eventos e outros espaços públicos externos similares, como estações de recarga para veículos elétricos.

A norma (IEC 62196-2:2013) se aplica aos plugues e tomadas fixas e móveis de EVs, com pinos de contato tubular de configurações normalizadas, denominados acessórios. Esses acessórios têm uma tensão de operação nominal menor que 500VCA, 50 a 60 Hz e uma corrente nominal que não excede 63A trifásico ou 70A monofásico, destinados à recarga condutiva de veículos elétricos.

O padrão (SAE J1772:2010) define os requisitos gerais físicos, elétricos, protocolos de comunicação e o desempenho para sistemas de carga condutiva do veículo elétrico e do plugue acoplador. Também conhecido como plugue J, é o padrão norte-americano para veículos elétricos mantido pela *SAE International* e tem o título formal de "*SAE Surface Vehicle Recommended Practice J1772, SAE Electric Vehicle Conductive Charge Coupler*". A intenção deste padrão é definir uma arquitetura de sistema de carregamento elétrico comum a todos os fabricantes, incluindo requisitos operacionais, funcionais e dimensionais para a entrada do veículo e o conector de acoplamento.

O padrão *CHArge de Move*, utiliza o carregamento em CC (CHAdEMO 2021), com potência de 6kW a 400kW (o padrão de 900kW encontra-se em preparação). Este padrão aplica diretrizes rígidas no projeto de carregadores para garantir a segurança elétrica em quaisquer condições de operação. Está pronto para *Smart Grid* e possui capacidade de carregamento bidirecional. Funciona com comunicação CAN (rede de comunicação a bordo dos EVs), tornando a sua integração com o resto do carro fácil e confiável. O conector CHAdEMO é idêntico em todo o mundo, reduzindo custos para os fabricantes de EVs e permitindo viagens entre países.

2.3. Carregadores de baterias para EVs

Existem inúmeros tipos de carregadores de bateria, bem como padrões de recarga, classificados conforme a Figura 3 e detalhados através dos padrões NBR/IEC 61851 e NBR/IEC 62196, recentemente adotados pela ABNT no Brasil. A escolha dos padrões IEC para o sistema de recarga brasileiro apresenta algumas vantagens, uma vez que tem compatibilidade com os padrões SAE J1772 e CHAdEMO, atualmente utilizados pelos norte-americanos, europeus e japoneses (Rodrigues et al. 2014).

Há várias possibilidades para a caracterização dos carregadores de baterias para EVs, mas, de forma geral, podemos classificá-los como “embarcados” (ou *on-board*, localizados a bordo do veículo) e “externos” (ou *off-board*, localizados fora do veículo) (Yilmaz et al. 2013). Carregadores embarcados são associados à recarga noturna ou de oportunidade, enquanto os externos são relacionados às estações de recarga rápida (Hagbin et al. 2010).

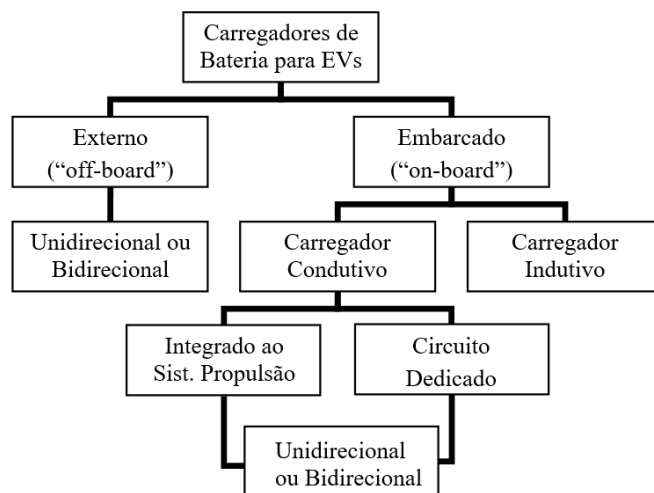


Fig. 3. Classificação de carregadores (Rodrigues et al. 2014)

2.4. Fluxo Bidirecional de cargas (V2G)

Tanto os carregadores embarcados quanto os externos podem permitir fluxo de potência bidirecional entre a rede elétrica e o banco de baterias do EV, ou seja, podem operar como carregadores avançados (Erb et al. 2010). Os circuitos eletrônicos utilizados nos carregadores de baterias para EVs são tipicamente compostos por um conversor CA-CC, conectado à rede por meio de um filtro de eliminação de harmônicos e um conversor CC-CC, conforme ilustrado na Figura 4. Em geral, carregadores embarcados utilizam alimentação monofásica ou bifásica (Figura 4a) e carregadores externos são alimentados por tensões trifásicas (Figura 4b). No caso de carregadores avançados, ambos os conversores estáticos (CA-CC e CC-CC) devem ser bidirecionais em corrente.

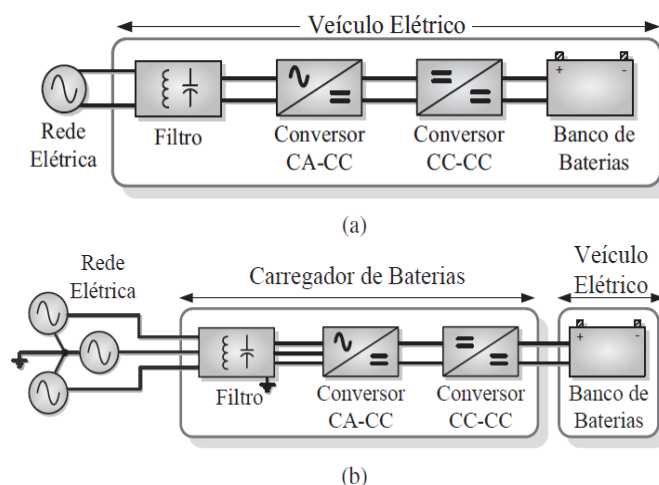


Fig. 4. Carregadores de baterias para EVs - diagrama de blocos (circuitos típicos): (a) carregador embarcado; (b) carregador externo (Rodrigues et al. 2014)

A seguir apresentamos o estado da arte e os avanços na regulamentação do V2G no mercado local e global.

3. ESTADO DA ARTE

Conforme o conceito de *Smart Grid* evolui, o controle e gerenciamento de equipamentos e cargas avança. Este processo, traz consigo recursos como a geração distribuída, onde as fontes geradoras e de armazenamento elétrico fornecem energia ao sistema de potência totalmente interligado. Hoje, os sistemas de comunicação e informação tornam o sistema de energia moderno e mais inteligente.

3.1. Interoperabilidade de Redes

Na Europa os mecanismos de integração do sistema de energias renováveis (ER) com as redes das concessionárias são projetados de forma que seja conveniente, atraente e gratificante para os usuários, ao mesmo tempo que é eficiente para o setor de energia (CEM11:2011). Isto demonstra o papel central dos usuários de EVs, fazendo com que a demanda da eletromobilidade eleve a adoção por sistemas de carregamento inteligente, impactando no sistema elétrico.

Na Figura 5 é apresentado o modelo fim-a-fim das comunicações na rede *Smart Grid*, baseado no padrão (IEEE 2030:2011). Uma abordagem de rede inteligente integrada e totalmente automatizada permite inúmeras opções para os operadores de serviços e clientes, melhorando a confiabilidade do sistema de energia e a sua utilização com eficiência e segurança.

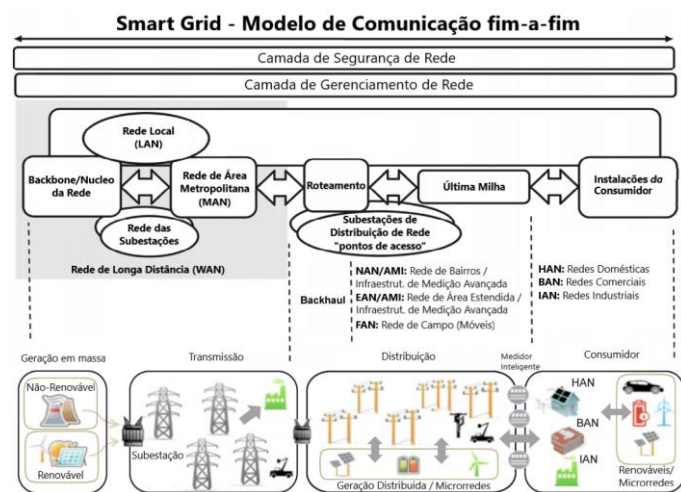


Fig. 5. Modelo de comunicação fim-a-fim da rede *Smart Grid* (adaptada de IEEE 2030:2011)

Em alguns países da Europa, todas estas funcionalidades já são realidade e agregam uma série de benefícios na matriz energética destes países.

3.2. Aspectos regulatórios

Programas de governo para o carregamento inteligente tiveram alta aceitação dos usuários na Europa (GHEV 2020). No cenário brasileiro ainda existem barreiras regulatórias e normativas da ANEEL, para a plena utilização dos benefícios desta tecnologia, conforme exposto a seguir.

No Brasil a Resolução Normativa 819 de 19 de junho de 2018 da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), cita na Seção III - Do funcionamento da estação de recarga, Art. 10: “É vedada a injeção de energia elétrica na rede de distribuição a partir dos veículos elétricos, bem como a participação no Sistema de Compensação de Energia Elétrica.” (ANEEL RN 819:2018)

3.3. Coordenação de fluxos de carga (V2G)

A implantação em larga escala de carregadores veiculares nos sistemas de energia existente é complexa, assumindo desafios técnicos em termos de coordenação, previsibilidade e balanceamento do fluxo de carga nas redes. Os custos iniciais relacionados com a compra de veículos elétricos, infraestrutura de carregamento e dispositivos de conversão de energia para a criação de fluxos bidirecionais têm protelado a implantação do V2G no Brasil.

Com aos avanços tecnológicos dos carregadores bidirecionais (V2G) e a regulamentação do setor é possível superar estes desafios, controlando o retorno da energia da bateria para a rede. Para implantar esta funcionalidade é necessário seguir o padrão (IEEE 1547:2018), conectando os EVs à rede elétrica de maneira adequada, permitindo a utilizando a energia da bateria para suprir demandas da rede com atributos que podem ter impactos no sistema de energia, com taxa de carga modulada proporcionalmente à frequência do sistema (IEEE P1547.9/D5.5:2022).

Ao armazenar energia durante o vale de demanda, à noite e devolver a energia para a rede em horários de maior consumo energético, durante o dia (Hildermeier et al. 2019) pode-se obter vantagens tarifárias.

A seguir na Figura 6 apresentamos a análise da relação vetorial do carregador bidirecional que pode operar no modo de carregamento de bateria AC/DC e no modo V2G (Pan et al. 2016). No modo V2G, particularmente, o conversor bidirecional fornece energia de volta para a rede.

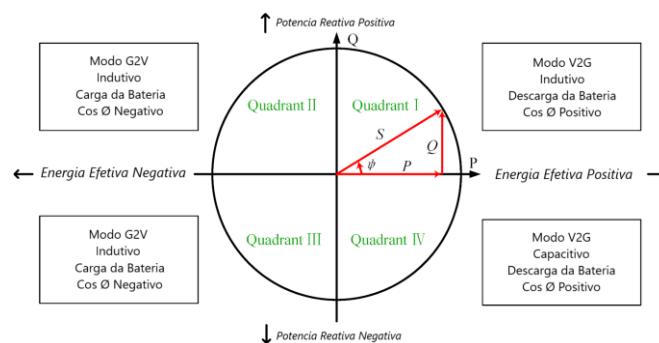


Fig. 6. Análise vetorial do carregador bidirecional V2G (adaptada de CHAdeMO 2021)

Ainda, na Europa, a comissão europeia estabeleceu metas importantes para a substituição gradual de veículos urbanos equipados com ICE por EV (G-HEV 2020). No entanto, os benefícios de implementar tal estrutura exigem uma ampla aceitação em um futuro relativamente próximo.

4. TRABALHOS RELACIONADOS

De acordo com a Empresa de Pesquisas Energéticas - EPE (EPE 187:2019), as baterias são tecnologias de armazenamento de energia que podem preencher as lacunas temporais e geográficas entre a oferta e a demanda.

Estudos também indicam que os impactos nas baterias dos veículos precisam ser levados em consideração, visto que elevados ciclos de carga e descarga reduzem a vida útil das mesmas. Em contrapartida, outras oportunidades surgem para otimizar a integração do sistema de energia e reduzir os custos de eletricidade para todos os usuários.

Com o advento das novas soluções que visam atender ao lado do consumidor, como carregamento de EVs coordenado pela *Smart Grid*, outras funcionalidades também entram no mercado, sendo elas:

- Carregamento fora do pico que pode ser oferecido pela concessionária de energia ao consumidor, promovendo o adiamento de carga dos EVs em benefício de tarifas de eletricidade diferenciadas. Estes serviços já são oferecidos por algumas concessionárias na Europa e servem de exemplo para remodelar a cobrança de EVs no Brasil.
- Agregação de pequenos consumidores conectados em redes locais, permitindo o gerenciamento e controle de forma flexível dos recursos distribuídos, como uma frota de EVs que demanda recursos em larga escala.
- Cargas flexíveis e armazenamento atrás do medidor, permitindo o controle inteligente de cargas e o armazenamento de energia distribuída, possibilitando apoiar o planejamento e a operação do sistema além de reduzir os custos relacionados.

O carregamento durante os horários de pico do sistema pode ser amplamente reduzido através de soluções simples e diretas de incentivo e políticas. Uma forma que se provou eficaz na Europa, foi a cobrança em sistemas com tarifas de eletricidade dinâmicas por tempo de uso, porém esta funcionalidade somente pode ser explorada através de medidores inteligentes. Para isto, as estruturas regulatórias e de mercado precisam ser adaptadas para explorar o potencial dos EVs. Isso permitirá ao operador do sistema variar de forma otimizada o tempo ou nível de potência em que um EV é carregado (carregamento inteligente) ou permitir que o EV injete eletricidade na casa, no edifício ou na rede. Dessa forma, o sistema pode suprir a intermitência característica de geração das energias renováveis e reduzir os custos de eletricidade (Xue et al. 2013, 2015).

5. DISCUSSÕES

Os formuladores de políticas devem considerar duas questões. Em primeiro lugar, mecanismos de mercado simples como taxas de tempo de uso, que precisam ser adequadamente projetados para evitar consequências indesejadas, como picos de demanda por eletricidade. Além disso, as tarifas devem ser projetadas para oferecer uma gama mais ampla de taxas dinâmicas e variáveis no tempo para incentivar o carregamento inteligente.

Em segundo lugar, novos modelos de negócios e mudanças regulatórias são necessários para equilibrar os benefícios do consumo de energia em massa e o sistema de distribuição. Os operadores da rede de distribuição devem ter permissão para ocupar um papel mais ativo nos mercados de eletricidade. A política deve permitir isso, fornecendo uma plataforma neutra para os operadores explorarem a flexibilidade inerente que os EVs (e outros recursos flexíveis) oferecem.

Finalmente, são necessários modelos de negócios que façam uso de novos regulamentos e estruturas para recompensar proprietários de EVs, junto com programas de resposta à demanda atraentes e acessíveis. Eles devem ser projetados para encorajar a participação da sociedade no consumo consciente. Para tanto é essencial observar os seguintes aspectos:

- Compreender a diversidade de necessidades, modos de mobilidade e diferentes soluções de eletrificação para que os formuladores de políticas possam priorizar os programas de políticas corretas e mecanismos de apoio à eletrificação bidirecional.
- Promover incentivos eficazes, sendo estes projetados e implementados para compensar os usuários por fornecer flexibilidade. Os agentes reguladores podem facilitar isso redesenhando tarifas e mecanismos de recuperação de custos.

A seguir apresentamos as diferentes soluções e estratégias de cobrança disponíveis na Europa:

- Carregamento fora do pico, em que o usuário de um EV escolhe intervalos de tempo específicos para carregar com base na percepção de congestionamento da rede e/ou tempo e preço de eletricidade mais baixos, considerando as necessidades de mobilidade do usuário.
- Carregamento inteligente, que envolve a variação ideal do tempo ou nível de energia no qual um EV é tarifado com base no comportamento dinâmico do fornecedor de eletricidade.
- Serviços do veículo para a rede (V2G), que permitem o fluxo de energia bidirecional entre EVs e a rede ou outros sistemas para que EVs se tornem fornecedores de eletricidade.

Quando adotadas estas diferentes medidas são capazes de produzir excelentes resultados para o gerenciamento de cargas, amenizando o pico e aliviando o sistema de energia.

6. CONCLUSÕES

Integrar EVs no sistema de energia oferece uma oportunidade de atualizar sistemas legados, aumentar a resiliência e, conforme discutido anteriormente, oferece suporte à integração com as ER, reduzindo os custos de eletricidade para todos os usuários. O custo da eletricidade pode ser reduzido tanto para proprietários de EVs quanto para outros usuários ao projetar uma infraestrutura de carregamento eficaz e um mercado consumidor totalmente integrado e ativo no sistema de energia.

As medidas expostas no capítulo de discussões desta pesquisa destravam gradualmente os potenciais benefícios para sistemas de energia, começando com carregamento fora de pico até o V2G. No entanto, elas também têm implicações no desenho do mercado de eletricidade e nos modelos de negócios, necessitando de políticas e mudanças regulatórias. As diferentes estratégias para implantar a infraestrutura de carregamento, distribuição e medição de eletricidade afetam as opções de cobrança disponíveis para os usuários e geram impacto na capacidade de interagir com a rede.

Quando utilizamos o carregamento dos EVs na aplicação residencial, é possível utilizar a geração eólica noturna é uma alternativa, ou ainda, no caso do carregamento em local de trabalho é possível utilizar a geração solar no meio do dia como alternativa desta estratégia. Mercados com flexibilidade para utilização de recursos distribuídos melhoram a integração e atraem novos usuários, permitindo investimentos em ativos da rede de distribuição.

O aproveitamento das baterias de EVs será de grande valor para aumentar a qualidade da energia, absorvendo flutuações de tensão ou de frequência. A tecnologia V2G dará suporte adicional ao uso de energia renovável e ajudará a tornar a rede mais confiável. A tecnologia V2G irá encorajar uma forma mais ativa do mercado de energia e pode criar possibilidades de receitas adicionais.

7. REFERÊNCIAS

- ANEEL RN 819 (2018). Resolução Normativa 819 de 19 de junho de 2018. *Agência Nacional de Energia Elétrica*.
- CEM11 (2011). Electric Vehicle and Power System Integration: Key insights and policy messages from four CEM workstreams. *11th Clean Energy Ministerial*.
- CHAdEMO (2020). Vehicle To X (V2X) Already a Reality at CHAdEMO. *CHAdEMO Association, Japan*.
- CHAdEMO (2021). CHArge de Move. Visitado em 10/12/21, <https://chademo.com/about-us/what-is-chademo/>
- EPE 187 (2019). Relatório do Grupo Temático Inserção de Novas Tecnologias - Modernização do Setor Elétrico. *Portaria nº 187/2019. Empresa de Pesquisa Energética*.
- Erb, D., Onar, O., Khaligh, A. (2010). Bi-directional charging topologies for plug-in hybrid electric vehicles. *Twenty-Fifth Annual IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition (APEC 2010)*, pp. 2066.
- Falcão, D. M. (2010). Integração de tecnologias para viabilização da smart grid. *SBSE-2010 - III Simpósio Brasileiro de Sistemas Elétricos*. Belém, Pará, Brasil.
- G-HEV (2020). Global Hybrid & EV Forecast - A wide-ranging insight on the global hybrid and electric vehicle sector. *LCM-Automotive Report*.
- Haghbin, S., Khan, K., Lundmark, S., Alaküla, M., Carlson, O., Leksell, M., Wallmark, O. (2010). Integrated chargers for EV's and PHEV's: examples and new solutions. *XIX International Conference on Electrical Machines (ICEM2010)*, pp. 1–6.
- Hildermeier, J., Kolokathis, C., Rosenow, J., Hogan, M., Wiese, C., and Jahn, A. (2019). Start with smart: Promising practices for integrating electric vehicles into the grid. *Brussels, Belgium: Regulatory Assistance Project*.
- Hledik, R. (2009). How Green Is the Smart grid?. *ELSEVIER - The Electricity Journal, Abril*, pp. 29-41.
- IEC 61439-7 (2020). Conjuntos de manobra e comando de baixa tensão. *ABNT NBR*.
- IEC 61851 (2020). Sistema de recarga condutiva para veículos elétricos. *ABNT NBR*.
- IEC 62196-2 (2013). Plugues, tomadas, tomadas móveis para veículo elétrico e plugues fixos de veículo. *ABNT NBR*.
- IEEE Std 1547 (2018). IEEE Standard for Interconnection and Interoperability of Distributed Energy Resources with Associated Electric Power Systems Interfaces.
- IEEE P1547.9/D5.5 (2022). IEEE Draft Guide to Using IEEE Std 1547(TM) for Interconnection of Energy Storage Distributed Energy Resources with Electric Power Systems, ". Vol., pp.1-83, 15 de março de 2022.
- IEEE Std 2030 (2011). IEEE Guide for Smart Grid Interoperability of Energy Technology and Information Technology Operation with the Electric Power System, End-Use Applications, and Loads. *IEEE Standard*.
- Pan, L., Zhang, C. (2016). An Integrated Multifunctional Bidirectional AC/DC and DC/DC Converter for Electric Vehicles Applications. *National Engineering Laboratory for Electric Vehicles, Beijing Institute of Technology, Beijing, China*.
- Rodrigues, M. C. B. P., Oliveira, J. G., Ferreira, A. A., Barbosa, P. G., Braga, H. A. C. (2014). Conexão de veículos elétricos à rede de energia elétrica para recarga de baterias: uma visão geral. *Eletrônica de Potência, Campo Grande*, v. 19, n.2, p.193-207.
- SAE J1772 (2010). Electric vehicle and plug in hybrid electric vehicle conductive charge coupler. *SAE Standard*.
- Xue, L., Diaz, D., Shen, Z., Luo, F., Mattavelli, P., Boroyevich, D. (2015). Dual active bridge based battery charger for plug-in hybrid electric vehicle with charging current containing low frequency ripple. *IEEE Transactions on Power Electronics*.
- Xue, L., Mattavelli, P., Boroyevich, D., Shen, Z., Burgos, R. (2013). Closed-loop control on DC link voltage ripple of plug-in hybrid electric vehicle charger with sinusoidal charging. *In Proceedings of the IEEE Energy Conversion Congress and Exposition, Denver, CO, USA*
- Yilmaz, M., Krein, P. (2013). Review of battery charger topologies, charging power levels, and infrastructure for plug-in electric and hybrid vehicles. *IEEE Transactions on Power Electronics*, vol. 28, no. 5, pp. 2151–2169.