

O impacto da recarga de veículos elétricos na rede de energia e a gestão de recargas

RESUMO

O setor de transporte é responsável por grande parte da emissão de gases poluentes e conseqüentemente pelo efeito estufa e poluição ambiental. A demanda por desenvolvimento sustentável aliado aos avanços tecnológicos tem sido fator decisivo para aumentar os investimentos na área de veículos elétricos (Electric Vehicles - EV). A redução do preço dos EVs tem os tornado cada vez mais acessíveis aos consumidores e o aumento da demanda por energia, consequência da massiva inserção dos EVs na rede de energia, têm resultado na reformulação das indústrias elétricas através das *smart grids*, responsáveis por proporcionar maior interatividade, bidirecional, entre as concessionárias e os consumidores. Este artigo apresenta o conceito de *smart grid* e alternativas para a gestão de recargas dos EVs, em horários cuja demanda de energia é menor, a custos mais baixos e com menor emissão de gases poluentes, a partir da utilização de energias renováveis.

Palavras-chave: Veículo elétrico, *Smart grid*, Gestão de recarga, Recarga inteligente.

ABSTRACT

The transport sector is responsible for a large part of the polluting gas emission and consequently for the greenhouse effect and environmental pollution. The demand for sustainable development together with technological advances has been decisive for increasing investments in the Electric Vehicles (EV) area. The price reduction of EVs has made these vehicles more accessible to consumers and the increased energy demand, consequence of the massive insertion of EVs in the grid, has resulted in the electric industries reformulation through smart grids, responsible for providing bidirectional interactivity between energy company and consumers. This article presents the concept of smart grids and alternatives for EV recharges managing, when

the energy demand is lower, at lower costs and with less polluting gases emission, based on the use of renewable energies.

Keywords: Electric vehicle, Smart grid, Recharge management, Smart charging.

1. INTRODUÇÃO

O setor de transporte é responsável por 23% das emissões de dióxido de carbono (CO₂), uma das causas do aquecimento global. Se nenhuma medida for tomada a tendência é a de que em 2050, 50% das emissões de CO₂ provenha deste setor (NOVAIS, 2016).

Pesquisadores do mundo inteiro têm então buscado alternativas inteligentes e sustentáveis para melhorar o sistema de transporte e reduzir seu impacto sobre a poluição ambiental (DAHMANE, GHANES, *et al.*, 2019). Tendo em vista a demanda por desenvolvimento sustentável, a conscientização de que os recursos naturais são finitos, aliados aos avanços tecnológicos têm aumentado os investimentos na área de veículos elétricos (*Electric Vehicles - EV*).

De acordo com a *International Energy Agency* (2019) a diminuição do preço dos EVs é consequência da redução do preço das baterias, tornando-os cada vez mais acessíveis aos consumidores, até 2040 é previsto mais de 60 milhões de EVs.

Com o aumento da quantidade de EVs, é evidente o aumento da demanda por energia. Estudos recentes revelam que a troca da frota atual de veículos por EVs deve resultar em um aumento de 23% no consumo de energia, chegando até a 43% em horário de pico, quando o proprietário chega em sua residência, após o trabalho (ZWEISTRA, JANSSEN e GEERTS, 2020).

Utilizar a infraestrutura disponível de forma eficiente pode minimizar os investimentos adicionais necessários para aumentar a capacidade de geração de energia (LÓPEZ, GAGNÉ e GARDNER, 2019). Neste contexto, a recarga de EVs pode ser classificada em (NOUR, SAID, *et al.*, 2019):

- Recarga não controlada (*Uncontrolled charging*): a recarga do EV inicia no instante em que chega ao ponto de recarga, em geral, na casa ou no trabalho,

em potência máxima e em horário de pico, exercendo forte impacto sobre a rede de energia. Esta estratégia é adotada principalmente quando nenhum incentivo, em relação às tarifas dinâmicas, é oferecido se a recarga é realizada em horários fora do pico;

- Recarga inteligente (*Smart charging*): esta estratégia consiste em controlar o horário do início da recarga e as taxas de carregamento a partir de tarifas dinâmicas, disponibilizadas pela concessionária, e de algoritmos inteligentes resultando em uma rede de energia mais eficiente e otimizada.

Considerando o impacto da recarga não controlada na rede de energia, caso nenhuma medida seja tomada, serão necessários altos investimentos para aumentar a capacidade de geração de energia. Neste sentido, este trabalho apresenta alternativas para gestão de recargas dos EVs a fim de diminuir o impacto desta nova demanda na rede de energia.

2. SMART GRID

A tradicional rede de energia permite apenas a comunicação unilateral, na qual a concessionária fornece controle de dados básicos sobre a energia aos consumidores. Com o advento dos EVs e o aumento da demanda por energia, as indústrias elétricas têm se reformulado, através das *smart grids*.

O termo *smart grids* - ou redes elétricas inteligentes - surgiu em 2005 e refere-se as adaptações no setor elétrico cujo objetivo é tornar o sistema de entrega de energia mais eficiente e interativo, capaz de lidar com novas fontes de energias (descentralizadas, renováveis e intermitentes) e novas demandas (RIVERA, ESPOSITO e TEIXEIRA, 2013). Neste sentido as tecnologias de informação e comunicação são utilizadas no monitoramento e gestão desde a produção, distribuição até o consumo de energia.

Grande quantidade de dados são gerados e consumidos pela *smart grid*, tanto do lado da demanda quanto da concessionária de energia, de fontes como medidores, dispositivos da infraestrutura de energia, além de dados auxiliares como

clima e localização geográfica (SANCHEZ e RIVERA, 2017). Desta forma o consumidor tendo o conhecimento sobre seu perfil de consumo pode participar ativamente do sistema energético.

A implantação das *smart grids* podem ser compreendidas em três subáreas (BANDEIRA, 2012):

- Inteligência no sistema de fornecimento de energia elétrica: ocorre por parte da concessionária de energia, que automatiza e melhora as operações de geração, transmissão e distribuição de energia, além de disponibilizar os dados em tempo real aos consumidores;
- Substituição dos medidores eletromecânicos por medidores eletrônicos: proporciona a interface e a comunicação, rápida e eficiente, entre a concessionária de energia e o consumidor;
- Inteligência no consumo: indústrias e residências que utilizam de equipamentos e sistemas inteligentes, juntamente com os dados disponíveis na *grid* para conectar/desconectar equipamentos, reduzir o consumo e injetar energia na rede elétrica, com base nos dados de tarifas e desempenho da rede.

3. CENÁRIO BRASILEIRO E MUNDIAL DAS SMART GRIDS

Nesta conjuntura de eficiência energética e preservação ambiental, países do mundo inteiro têm investido no setor de *smart grids*. Estados brasileiros, como São Paulo e Paraná, já estão colocando em prática projetos pilotos das *smart grids*. A motivação comum entre as concessionárias, para a implantação das *smart grids*, refere-se à mobilidade elétrica e ao aumento da demanda por energia. Assim, uma das soluções é o gerenciamento das recargas de EVs, que só é possível com as *smart grids*. A TABELA 1 apresenta os interesses de cada país com as *smart grids*.

TABELA 1 - PAÍSES E MOTIVAÇÕES PARA A IMPLANTAÇÃO DAS SMART GRIDS

| País | Motivações |
|----------------------|---|
| EUA (BANDEIRA, 2012) | Segurança no fornecimento, prevenção contra ataques |

| | |
|---|--|
| | terroristas, hackers, falhas e desastres naturais. |
| União Europeia (BANDEIRA, 2012) | Ambiental e geração distribuída. |
| Países em desenvolvimento (BANDEIRA, 2012) | Reduzir perdas comerciais, furto de energia e fraudes em medidores. |
| China (CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS, 2012) | Aumentar a eficiência da rede e geração de energia através de fontes renováveis. |
| Índia (CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS, 2012) | Aumentar a eficiência da rede e geração de energia através de fontes renováveis. |
| Japão (CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS, 2012) | Geração de energia através de fontes renováveis e a inserção dos EVs. |

A Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) tem investido em medidas de incentivo à implantação das *smart grids* no Brasil, seja através de resoluções para a implantação de medidores eletrônicos nas residências, incentivo à geração distribuída a partir de energias renováveis, além de modificações nas estruturas tarifárias visando tarifas dinâmicas para os consumidores residenciais (BANDEIRA, 2012).

Práticas como a tarifação diferenciada para grandes consumidores já são adotadas no Brasil, na tarifária horo-sazonal, por exemplo, a tarifa varia de acordo com as horas do dia e períodos do ano. Atualmente os consumidores residenciais também têm acesso à tarifa branca cujos valores são diferenciados ao longo das horas do dia, sendo classificadas em três períodos: fora de ponta (0h-19h), horário intermediário (19h-20h e 23h-24h) e horário de ponta (20h-23h) (ANEEL, 2019).

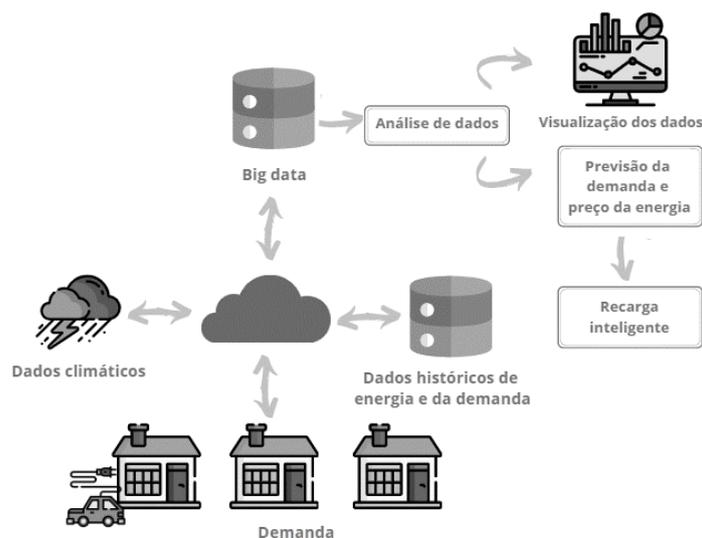
Experiências internacionais de resposta à demanda também são constatadas (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2019). No estado da Califórnia nos Estados Unidos, em dias de *Critical Peak Pricing*, ou seja, quando a demanda de energia está muito alta, as empresas são chamadas a reduzir o consumo de energia entre 14h e

18h. Durante estas horas a tarifa de energia é até 35 vezes maior do que a tarifa normal. A tarifa em tempo real, é um dos métodos mais avançados de tarifação horária, amplamente adotada na Espanha. A tarifa é calculada, por hora, com base nos encargos da produção de energia, no custo de gestão comercial, na oferta e demanda. Nas cidades de Shanghai e Jiangsu, na China, os consumidores têm seus aparelhos controlados remotamente pela concessionária que avisa ao consumidor quando o aparelho será desconectado, em caso de alta demanda, e este é remunerado em uma tarifa por kWh reduzido.

4. GESTÃO DA RECARGA DE EVs

Nesta seção destacamos as alternativas existentes para gerenciar a recarga de EVs e diminuir o seu impacto na rede de energia. A gestão da recarga dos EVs ocorre conforme exhibe a Figura 1, os dados climáticos, de demanda e os dados históricos, que compõe a base de dados utilizada para entender os padrões de demanda e consumo, são empregados para a visualização e/ou recarga inteligente dos EVs.

Figura 1 – Gestão de recarga.



4.1. Dashboards para a Visualização e Simulação da *Smart Grid*

Os dados das *smart grids* podem ser disponibilizados em *dashboards*, que são painéis visuais contendo um conjunto de informações, de modo centralizado, sendo

bastante utilizado na tomada de decisões e gestão de informações. No âmbito de EVs os *dashboards* são úteis para a gestão de recarga de forma eficiente e econômica com base na situação da rede de energia.

Chin, et al (2017) apresenta um *dashboard web* para a visualização e simulação da *smart grid*, que inclui o ajuste de parâmetros e a visualização do efeito destes ajustes na rede. Os parâmetros são: (i) desativar geradores; (ii) temperatura ambiente; (iii) nível de congestionamento da rede; e (iv) incentivo para diminuir o consumo de energia. No *dashboard* também são apresentados gráficos sobre a oferta, demanda, tarifa de energia e carga acumulada nos alimentadores.

Sanchez e Rivera (2017) apresentam um *dashboard* contendo dados de energia e clima, de Porto Rico, disponibilizados em tempo real através de plataforma *web*. A partir da análise e classificação destes dados a plataforma fornece previsões de demanda, necessidades dos serviços de energia, incentivo ao uso de energias limpas, participação do consumidor e armazenamento de energia.

Destaca-se também a ferramenta GridLAB-D (2008) desenvolvida pelo *Pacific Northwest National Laboratory*, para simular a distribuição de energia coordenando o *status* de milhões de dispositivos independentes. E a ferramenta GOSS (2014) para gestão, integração e análise da *smart grid*.

4.2. Recarga Inteligente dos EVs

A vantagem dos EVs é que a recarga pode ser realizada no período em que o veículo fica estacionado, através da recarga inteligente, dando prioridade para períodos cuja produção de energia é superior à demanda e com tarifas mais baixas, exercendo assim menor impacto sobre a rede, principalmente em horários de pico (CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS, 2012).

Alguns autores apresentam estratégias, bem-sucedidas de recargas inteligentes, para maximizar a utilização da energia fora do horário de pico, fornecendo ao consumidor energia a menor custo. Nour, Said, Ali e Farkas (2019) propõem a aplicação de conhecimento a base de regras e a utilização de dados como

o valor da tarifa horária e a condição de carga (*State of Charge - SoC*) dos EVs para a recarga inteligente no Egito. Já Dahmane, Ghanes, Chenouard e Alvarado-Ruiz (2019) propõem a recarga inteligente a partir da análise de dados como: preço diário da energia; informações do veículo; necessidades do consumidor; a temperatura ambiente; e a temperatura da bateria.

Khatiri-Doost e Amirahmadi (2017) propõem uma abordagem de recarga inteligente para minimizar a demanda e diminuir a perda de energia. Os autores propõem 3 períodos de recarga, similar a tarifa branca, e as recargas são realizadas dentro deste período definido pelo proprietário do EV. Também são analisados dados como a variação diária de carga e o preço da energia em diferentes horários.

López, Gagné e Gardner (2019) propõem uma estratégia de recarga inteligente, em tempo real, para minimizar o custo da recarga de EVs. O método utiliza o aprendizado de máquina (*Machine Learning - ML*), para definir o período de recarga dos EVs, e a programação dinâmica para classificar os dados históricos, que são utilizados para treinar os modelos de ML na tomada de decisões em tempo real.

Para a análise, foi utilizada uma base de dados composta por 17 EVs do Canadá, contendo informações como: o número de viagens; data; hora; posição; velocidade atual; e a velocidade máxima alcançada pelo veículo. Já a base de dados de energia contém o preço e a demanda, de hora em hora. Os dados históricos, sobre a temperatura local da cidade, também foram utilizados. O intervalo para o escalonamento de recarga foi definido de 15 em 15 minutos (LÓPEZ, GAGNÉ e GARDNER, 2019).

Yang, et al. (2017) propõem um modelo de previsão, da disponibilidade de energia baseado na temperatura, umidade, horário e número de pessoas recarregando seus EVs. O modelo de previsão é obtido através do algoritmo *Support Vector Machine* e da análise do consumo de energia. Experimentos realizados constataram que as variáveis tempo e umidade não influencia significativamente na previsão. Os dados foram coletados durante 15 dias.

Em Arif, Ahamed e AL-Ammar (2013) a recarga dos EVs é tratada como um problema de tomada de decisão, através do *Pursuit Algorithm*. Desta forma é definido o horário de início da recarga do EV, para que o menor custo de recarga seja obtido. Assume-se que a tarifa de energia é dinâmica e que o preço mais alto é durante o período de maior demanda. Foram testados 10 EVs, sendo estabelecido pelo usuário o horário em que o EV deveria estar completamente carregado. Averiguou-se que a recarga dos EVs sem a estratégia proposta aumenta o custo da recarga em 14,5%, com relação ao consumo de energia sem o EV, e com a recarga inteligente este aumento do custo é de apenas 7%.

CONCLUSÃO

Do ponto de vista metodológico esta pesquisa segue a abordagem qualitativa, com objetivo descritivo através de procedimento bibliográfico. Objetivou-se esclarecer o contexto atual das *smart grids*, o impacto da recarga dos EVs na rede de energia e as abordagens existentes para lidar com esta nova demanda, como utilização de *dashboards* e a recarga inteligente de EVs. Através de análise criteriosa obteve-se uma visão das soluções existentes e da respectiva eficácia no que diz respeito ao aumento do desempenho das *smart grids*.

A análise foi realizada em 3 etapas. Primeiramente, foi realizado um levantamento bibliográfico que permitiu caracterizar as *smart grids* e o impacto da recarga dos EVs na rede de energia. Na segunda etapa, foi analisado o cenário brasileiro e mundial das *smart grids*. Por fim, são apresentadas alternativas de gerenciamento da recarga de EVs para diminuir o impacto nas *smart grids*, a TABELA 2 apresenta um resumo destas abordagens.

TABELA 2 - RESUMO DOS TRABALHOS

| Autor | Método | Resumo |
|---|------------------|---|
| (CHIN, FITZHENRY, <i>et al.</i> , 2017) | <i>Dashboard</i> | Visualização e simulação da rede para entender a rede e solucionar problemas. |

| | | |
|------------------------------------|---------------------|--|
| (SANCHEZ e RIVERA, 2017) | Dashboard | Visualização dos dados, incentivo a utilização de energias limpas e análise de como o clima interfere na geração de energias limpas. |
| (GIBSON, CIRACI, et al., 2014) | Dashboard | Gestão, integração e análise da <i>smart grid</i> . |
| (NOUR, SAID, et al., 2019) | Recarga inteligente | Maximizar a recarga dos EVs em horário fora de pico, utilizando as condições das cargas e a tarifa de energia. |
| (DAHMANE, GHANES, et al., 2019) | Recarga inteligente | Minimizar o custo da recarga considerando informações do veículo, de tarifa, clima e necessidades do proprietário. |
| (KHATIRI-DOOST e AMIRAHMADI, 2017) | Recarga inteligente | Definição dos períodos de recarga a partir de tarifas dinâmicas. |
| (LÓPEZ, GAGNÉ e GARDNER, 2019) | Recarga inteligente | Tomada de decisões em tempo real para minimizar o custo da recarga utilizando dados históricos, previsão do custo, estação do ano e clima. |
| (YANG, LI, et al., 2017) | Recarga inteligente | Predição baseada na temperatura, umidade, horário e número de pessoas conectadas. As variáveis que mais influenciam na previsão é o número de pessoas e o horário. |
| (ARIF, AHAMED e AL-AMMAR, 2013) | Recarga inteligente | Minimizar o custo da recarga definindo o melhor horário, estabelecido entre as 18h às 07h. |

Este trabalho identificou os fatores determinantes para o avanço de iniciativas tanto na área de EVs quanto da necessidade de modernização da tradicional rede de energia. Embora os trabalhos levantados indiquem que ainda haja muito a ser feito até a completa disseminação das tecnologias, tanto das *smart grids* quanto de EVs e da recarga inteligente dos EVs, principalmente no Brasil, os resultados obtidos com esta pesquisa mostram que gradualmente as concessionárias de energia, os consumidores e pesquisadores estão se adequando a esta nova realidade.

Além das medidas de incentivo à implantação das *smart grids* no Brasil a ANEEL também têm fomentado projetos de pesquisa e desenvolvimento voltado à diversas áreas, inclusive o gerenciamento da demanda e carregamento inteligente de veículos elétricos como o PD-02866-0516/2019 em parceria com a COPEL-DIS, projeto aprovado na chamada de P&D estratégico 22 (ANEEL, 2019), executado no programa de P&D da Copel Distribuição e regulado pela ANEEL. Projeto este que visa o desenvolvimento de um módulo para a integração e troca de dados entre a distribuidora de energia elétrica e o lado da demanda, essencial para o avanço da recarga inteligente no Brasil. Como trabalho futuro portanto pretende-se apresentar o módulo de integração que atualmente encontra-se em fase de desenvolvimento.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANEEL. CHAMADA DE PROJETO DE P&D ESTRATÉGICO nº 022/2018: “DESENVOLVIMENTO DE SOLUÇÕES EM MOBILIDADE ELÉTRICA EFICIENTE”, 2019. Disponível em: <https://www.aneel.gov.br/programa-de-p-d/-/asset_publisher/ahiml6B12kVf/content/temas-para-investimentos-em-p-d/656831?inheritRedirect=false>. Acesso em: 17 jun. 2020.

ANEEL. Tarifa branca é opção para consumidores em 2020. **Agência Nacional de Energia Elétrica**, 2019. Disponível em: <<https://www.aneel.gov.br/>>. Acesso em: 09 jun. 2020.

ARIF, A. I.; AHAMED, T. P. I.; AL-AMMAR, E. A. **Pursuit algorithm for scheduling PEV charging**. 4th International Conference on Power Engineering, Energy and Electrical Drives. Istanbul, Turquia: IEEE. 2013. p. 915-920.

BANDEIRA, F. D. P. M. **Redes De Energia Elétrica Inteligentes (Smart Grids)**. Brasília. 2012.

CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS. **Redes Elétricas Inteligentes: contexto nacional**. Brasília. 2012.

CHASSIN, D. P.; SCHNEIDER, K.; GERKENSMEYER, C. GridLAB-D: An open-source power systems modeling and simulation environment. **2008 IEEE/PES Transmission and Distribution Conference and Exposition**, Maio 2008. 1-5.

CHIN, G. et al. Visual steering and modeling environment for smart grid models and simulations. **2017 IEEE Power & Energy Society General Meeting**, Julho 2017. 1-5.

DAHMANE, Y. et al. Decentralized Control of Electric Vehicle Smart Charging for Cost Minimization Considering Temperature and Battery Health. **2019 IEEE International**

Conference on Communications, Control, and Computing Technologies for Smart Grids (SmartGridComm), Novembro 2019. 1-6.

GIBSON, T. et al. An Integrated Security Framework for GOSS Power Grid Analytics Platform. **2014 44th Annual IEEE/IFIP International Conference on Dependable Systems and Networks**, Junho 2014. 786-791.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. World Energy Outlook 2019, Novembro 2019. Disponível em: <<https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2019>>.

KHATIRI-DOOST, S.; AMIRAHMADI, M. Peak shaving and power losses minimization by coordination of plug-in electric vehicles charging and discharging in smart grids. **2017 IEEE International Conference on Environment and Electrical Engineering and 2017 IEEE Industrial and Commercial Power Systems Europe (EEEIC / I&CPS Europe)**, Junho 2017. 1-5.

LÓPEZ, K. L.; GAGNÉ, C.; GARDNER, M.-A. Demand-Side Management Using Deep Learning for Smart Charging of Electric Vehicles. **IEEE Transactions on Smart Grid (Volume: 10)**, Maio 2019. 2683-2691.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. Resposta da Demanda: Conceitos, Aspectos Regulatórios e Planejamento Energético, Julho 2019. Disponível em: <http://epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-389/NT_EPE_DEE-NT-022_2019-r0.pdf>.

NOUR, M. et al. Smart Charging of Electric Vehicles According to Electricity Price. **2019 International Conference on Innovative Trends in Computer Engineering (ITCE)**, Fevereiro 2019. 432-437.

NOVAIS, C. R. B. D. **Mobilidade Elétrica: Desafios e Oportunidades**. [S.l.]. 2016.

RIVERA, R.; ESPOSITO, A. S.; TEIXEIRA, I. Redes elétricas inteligentes (smart grid): oportunidade para adensamento produtivo e tecnológico local. **Banco nacional do desenvolvimento**, Dezembro 2013. Disponível em: <https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/2927/1/RB%2040%20Redes%20el%C3%A9tricas%20inteligentes_P.pdf>.

SANCHEZ, A.; RIVERA, W. Big Data Analysis and Visualization for the Smart Grid. **2017 IEEE International Congress on Big Data (BigData Congress)**, 25-30 Junho 2017. 414-418.

YANG, H. et al. Smart grid data analysis and prediction modeling. **2016 International Conference on Progress in Informatics and Computing (PIC)**, 19 Junho 2017. 541-544.

ZWEISTRA, M.; JANSSEN; GEERTS. Large Scale Smart Charging of Electric Vehicles in Practice. **Energies**, Janeiro 2020.