

CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA



Universidade Federal
de Campina Grande

LUCAS GUEDES DE A. ROCHA



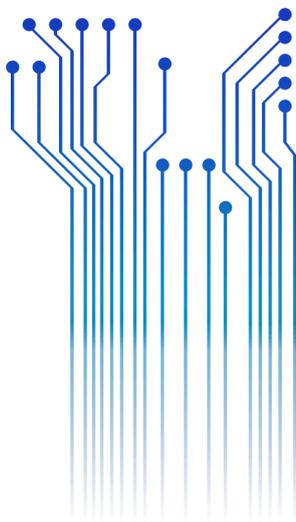
Centro de Engenharia
Elétrica e Informática

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**INTEGRAÇÃO DE VEÍCULOS ELÉTRICOS AO SISTEMA DE SMART GRID
COMO BANCO DE BATERIAS**



Departamento de
Engenharia Elétrica



Campina Grande
2019

LUCAS GUEDES DE A. ROCHA

INTEGRAÇÃO DE VEÍCULOS ELÉTRICOS AO SISTEMA DE SMART GRID COMO BANCO DE
BATERIAS

*Trabalho de Conclusão de Curso submetido à
Coordenação do Curso de Graduação em
Engenharia Elétrica da Universidade Federal
de Campina Grande como parte dos requisitos
necessários para a obtenção do grau de
Bacharel em Ciências no Domínio da
Engenharia Elétrica.*

Área de Concentração: Eficiência Energética

Professor Montiê Alves Vitorino, D.Sc.
Orientador

Campina Grande
2019

LUCAS GUEDES DE A. ROCHA

INTEGRAÇÃO DE VEÍCULOS ELÉTRICOS AO SISTEMA DE SMART GRID COMO BANCO DE
BATERIAS

*Trabalho de Conclusão de Curso submetido à
Coordenação do Curso de Graduação em
Engenharia Elétrica da Universidade Federal
de Campina Grande como parte dos requisitos
necessários para a obtenção do grau de
Bacharel em Ciências no Domínio da
Engenharia Elétrica.*

Área de Concentração: Eficiência Energética

Aprovado em / /

Professor Edmar Candeia Gurjão
Universidade Federal de Campina Grande
Avaliador

Professor Montiê Alves Vitorino
Universidade Federal de Campina Grande
Orientador, UFCG

Dedico este trabalho a Deus, à minha família e à minha companheira, os responsáveis por não me faltar força quando foi preciso lutar pelos meus sonhos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus porque todo dia é um milagre, agradeço por tudo, todos os dias, agradeço pelas conquistas até o momento e peço a ele para me dar sabedoria para conquistar muito mais.

Agradeço aos meus pais Sebastião Rocha e Maria Aparecida Guedes, e irmãos Samuel Guedes e Samara Guedes, que sempre me deram todo o amor, além de me proporcionarem a melhor educação. Pelo apoio nas minhas decisões e por acreditarem em mim nessa jornada.

Agradeço à minha namorada Leticia Costa, que se fez presente em todos os momentos, pela energia positiva e sensibilidade para agir da melhor forma em cada situação, conhecendo-me mais do que eu mesmo, sabendo ser construtiva em cada palavra, ajudando-me assim a tudo conquistar.

Agradeço ao professor Montiê Vitorino, que me orientou neste trabalho, pela visão inovadora do tema dado, por toda ajuda, confiança e incentivo para a realização dessa pesquisa.

Agradeço a todos os professores que tive a honra de adquirir um pouco de conhecimento ao longo da minha vida, vocês merecem o maior dos reconhecimentos dentre as profissões.

Agradeço a coordenação que sempre se fizeram dispostos a ajudar em todos os momentos e sanar todas as dúvidas.

Enfim, agradeço a todos que de alguma forma, passaram pela minha vida e contribuíram para a construção de quem sou hoje.

RESUMO

As redes inteligentes (*Smart Grids*) são um sistema moderno de energia elétrica que permite o fluxo bidirecional de energia e se utiliza da tecnologia da informação e técnicas de controle para fazer com que o sistema seja mais eficiente (econômica e energeticamente), confiável e sustentável. Os veículos elétricos com sua arquitetura simples e alto desempenho, vem dominando o setor automobilístico. Suas principais características são os seus motores elétricos e suas baterias que utilizam a energia elétrica proveniente da rede, concedendo-os a vantagem da alta conectividade e do uso de energias renováveis. Nesse contexto, esse trabalho apresenta o conceito do uso dos veículos elétricos como armazenamento distribuído de energia (*Vehicle to Grid*), que concilia em um sistema único integrado as redes inteligentes e os veículos elétricos e oferece assim, uma grande gama de utilidades e benefícios para o sistema elétrico e seus consumidores. Neste trabalho foi feito o estudo de diversos artigos científicos publicados sobre o tema e como resultado, foram sumarizados simulações, testes e experiências, bem como seus respectivos resultados.

Palavras-chave: Smart Grid, Veículos Elétricos, Sistema Integrado, Eficiência Energética, Qualidade Energética.

ABSTRACT

The Smart Grids are a modern electric power system that allows bi-directional power flow and uses information technology and control techniques to improve the system more efficiency (economically and energetically), reliable and sustainable. Electric cars with its simple architecture and high performance, are dominating the automotive sector. Its main characteristics are its electric motors and its batteries that use the electrical energy coming from the grid, granting them the advantage of high connectivity and the use of renewable energies. In this context, this work presents the concept of the use of electric vehicles as distributed energy storage resource (Vehicle to Grid), which combines in a single integrated system the smart grid and the electric vehicles and offers a wide range of utilities and benefits to the electrical system and its consumers. In this work, several scientific articles published on the subject were studied and, as a result, simulations, tests and experiments were summarized, as well as their respective results.

Keywords: Smart Grid, Electric Vehicles, Integrated System, Energy Efficiency, Energy Quality.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Representação conceito Smart Grid.	16
Figura 2 – Infraestrutura e utilidades da Smart Grid.	18
Figura 3 – Representação do conceito de microgrid.	19
Figura 4 – Esquema de um carro elétrico com fluxo bidirecional de potência.	22
Figura 5 – Os componentes e o fluxo de energia de um sistema V2G.	31
Figura 6 – Características dos leveis dos carregadores AC/DC.	32
Figura 7 - Configuração de carregamento CA nível 1 e 2 (carregador integrado).	33
Figura 8- Configuração de carregamento CA nível 1 e 2 (carregador off-board).	33
Figura 9 - Controle e a implementação do VPP no contexto V2G.	35
Figura 10 - Visão geral da infraestrutura de medição avançada no contexto V2G.	36
Figura 11 - Visão geral da infraestrutura de comunicação no contexto V2G.	37
Figura 12 - Perfil de demanda de carga atual (25/09/2015).	41
Figura 13 - Perfil de demanda de carga projetada para 2031 com 23% de penetração e carregamento descoordenado.	41
Figura 14 - Perfil de demanda de carga projetada para 2031 com 23% de penetração e carregamento coordenado.	41
Figura 15 - Perfil de demanda de carga atual (25/09/2015).	42
Figura 16 - Perfil de demanda de carga projetada para 2031 com 23% de penetração e carregamento descoordenado.	42
Figura 17 - Perfil de demanda de carga projetada para 2031 com 23% de penetração e carregamento coordenado.	42
Figura 18- Curva de geração fotovoltaica.	44
Figura 19 – Padrão de velocidade aleatória dos ventos.	45
Figura 20 - Representação dos valores de geração e demanda do sistema sem a utilização do armazenamento de energia.	45
Figura 21 - Curva de carga despachada para a rede com a utilização do armazenamento de energia.	46
Figura 22 – Resultados do projeto na ilha Iki.	47

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Vantagens e dificuldades das redes inteligentes e dos veículos elétricos.....	27
Tabela 2 – Tipos de carregadores de veículos elétricos.	31

SUMÁRIO

1	Introdução.....	13
1.1	Objetivos.....	13
1.2	Estrutura do Trabalho.....	14
1.3	Metodologia.....	14
2	Smart Grid.....	15
2.1	Breve Contexto Histórico.....	15
2.2	Fundamentação Teórica.....	16
2.3	Tecnologias.....	18
2.3.1	Medidores inteligentes.....	18
2.3.2	Microgrids.....	18
2.3.3	Armazenamento de energia.....	20
3	Veículos Elétricos.....	21
3.1	Breve Contexto Histórico.....	21
3.2	Fundamentação Teórica.....	22
3.3	Tecnologias.....	23
3.3.1	Conjunto de baterias.....	23
3.3.2	Conversor Bidirecional.....	24
4	Motivação e Desafios.....	25
4.1	Dificuldades Smart Grid.....	25
4.1.1	Estabilidade do sistema.....	25
4.1.2	Alternativas de armazenamento.....	25
4.2	Dificuldades Veículos Elétricos.....	26
4.2.1	Tempo em desuso.....	26
4.2.2	Aumento de carga.....	26
5	Veículos Elétricos como Armazenamento Distribuído de Energia.....	27
5.1	Introdução.....	27
5.1.1	Vantagens.....	28
5.2	Fundamentação Teórica.....	28
5.3	Infraestrutura.....	30
5.3.1	Sistema de carregamento.....	31
5.3.2	Sistema de comunicação e controle.....	34
5.4	Métodos de Coordenação.....	38
6	Estudo de Casos.....	40
6.1	Literatura I: Electric Vehicles As Distributed Energy Resources, Rocky Mountain Institute, 2016.....	40
6.1.1	California.....	41
6.1.2	Texas.....	42

6.1.3	Resultados.....	43
6.2	Literatura II: Electric Vehicle As Distributed Energy Storage Resource For Future Smart Grid, Ahmad Zahedi, James Cook University, 2012.	43
6.2.1	Simulações.....	45
6.2.2	Resultados.....	46
6.3	Literatura III: IEEE Electrification Magazine, IEEE, Setembro 2018.	46
6.3.1	Resultados.....	47
6.4	Visão geral sobre as literaturas de armazenamento distribuído de energia.	48
6.5	Literatura IV: Smart Grid – The New and Improved Power Grid: A Survey, IEEE, 2012.	49
7	Conclusão	50
	Referencias	51

1 INTRODUÇÃO

Nesta nova era, vemos o processo de modernização da rede elétrica, conhecido como *Smart Grid*. Esse novo conceito inclui a integração de fontes alternativas e renováveis de energia e o melhor aproveitamento da energia produzida pelas tecnologias de geração distribuída, como solar e eólica. Devido à natureza intermitente da energia solar e eólica, e suas variações repentinas de potência produzida, torna o uso de dispositivos de armazenamento de energia essencial para a estabilização do sistema.

Por outro lado, concomitantemente com o desenvolvimento do *Smart Grid*, temos também a massificação dos veículos elétricos, que intrinsecamente, carregam consigo um banco de baterias, que se visto em larga escala, possui um potencial de armazenamento suficiente para suprir, totalmente ou parcialmente, a necessidade do uso de dispositivos de armazenamento de energia para o *Smart Grid*.

Diante desta realidade, surge a ideia do uso dos veículos elétricos como armazenamento distribuído de energia, que sugere a utilização das baterias presentes nos carros elétricos para suprir a necessidade do *Smart Grid* com relação ao uso de dispositivos de armazenamento de energia. Assim, podemos obter grandes vantagens com a união dessas duas tecnologias, tais como a absorção de pacotes excessivos de energia na rede elétrica oriundo de fontes renováveis, como solar e eólica, equalização da curva de carga da rede, regulação de tensão e frequência, correção do fator de potência, capacidade de reserva e suavização das oscilações na geração de energia oriundas das fontes renováveis variáveis e intermitentes.

Além dos impactos direcionados ao funcionamento e à qualidade da energia elétrica, serão abordados impactos socioeconômicos e ambientais que essa metodologia trará.

1.1 OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho é o estudo da metodologia do uso dos veículos elétricos como armazenamento distribuído de energia, como uma abordagem eficaz para melhoria da qualidade de energia do sistema elétrico, principalmente para o bom funcionamento de tecnologias como o *Smart Grid*.

Este trabalho visa realizar o estudo da metodologia do uso dos veículos elétricos como armazenamento distribuído de energia, mais especificamente a partir do uso integrado das baterias

dos carros elétricos à rede elétrica, contemplando seus benefícios e estratégias para a sua implementação.

Além disso, este trabalho busca introduzir o tema e despertar interesse no meio científico brasileiro, pois foi notada uma escassez, quase inexistência, de pesquisas sobre o tema abordado em fontes nacionais.

1.2 ESTRUTURA DO TRABALHO

O presente trabalho encontra-se estruturado em sete capítulos. No Capítulo 1 é feita uma introdução ao tema e os objetivos que o trabalho busca alcançar. Nos capítulos 2 e 3 são abordados os temas de *Smart Grid* e Veículos Elétricos, constando a evolução histórica, a fundamentação teórica e as tecnologias atualmente empregadas, todas as informações importantes e essenciais para o bom desenvolvimento do tema principal do trabalho. No Capítulo 4 é feita uma síntese das dificuldades encontradas e abre caminho para demonstrar a motivação do trabalho como metodologia solucionadora.

Em seguida, no Capítulo 5, é apresentado o foco de estudo contemplado por este trabalho, o uso dos veículos elétricos como armazenamento distribuído de energia. Neste capítulo é apresentado ao leitor uma introdução sobre o tema, sua fundamentação teórica, infraestrutura e métodos de coordenação. No Capítulo 6 foi feita uma análise dos principais artigos relacionados ao tema e é demonstrado, de forma sintetizada, os resultados desenvolvidos pela aplicação de projetos ao redor do mundo. Por fim, no Capítulo 7 é apresentada a conclusão adquirida do trabalho e é discutido possibilidades de trabalhos futuros.

1.3 METODOLOGIA

A metodologia utilizada foi à base de pesquisa de um grande número de artigos científicos publicados relacionados a cada tema abordado, para que em seguida fossem feitas meta análises de cada caso de estudo e posteriormente serem apresentados de forma compacta com o objetivo de elucidar de forma simples em um único trabalho, um tema tão inovador, extenso e complexo.

2 SMART GRID

2.1 BREVE CONTEXTO HISTÓRICO

Desde a criação da primeira rede de energia elétrica feita por Nikola Tesla em 1888, não aconteceram inovações significativas na maneira como a energia elétrica é fornecida ao consumidor. Nos últimos cinquenta anos, as redes não evoluíram para encarar os desafios das mudanças modernas. Possibilidades do uso de energia alternativa e intermitente, metas de economia de energia para redução de picos de demanda e controles digitais para aumentar a confiabilidade e agilizar a restauração são alguns exemplos de desafios que terão que ser enfrentados nos próximos anos.

A situação mais indesejável em uma rede elétrica é a interrupção de fornecimento. Em alguns casos essa falha no fornecimento se prolonga por várias horas, aumentando o tempo de espera da população pelo retorno da eletricidade. Essa situação afeta toda a economia, fazendo com que áreas de produção, de prestação de serviços e diversas outras áreas sofram impactos, gerando prejuízos.

Vivemos na era da tecnologia, e chega a ser surpreendente que as empresas de distribuição ainda dependam dos clientes para serem notificadas de uma falta de energia.

Segundo informações da Agência Nacional de Energia Elétrica, ANEEL, a média de perdas elétricas no Brasil é de 16%. Há um grande espaço para avanço nessa área.

Nossa matriz de geração é limpa. Contudo, nos últimos anos, estamos acompanhando o crescimento do número de usinas térmicas. Devido à dificuldade de construção de grandes usinas hidráulicas, fica evidente a necessidade de investimentos em pequenas geradoras, que estejam mais próximas aos centros de cargas e que ofereçam mais oportunidades de comercialização.

O conceito de *Smart Grid* permite o uso eficiente da energia elétrica e, assim, configura-se como importante ferramenta no enfrentamento desses desafios.

As primeiras tentativas de se instalar alguma inteligência na rede decorreram da medição eletrônica, que foi usada para monitorar o comportamento da carga de grandes consumidores. Com a instalação de equipamentos de comunicação, esses medidores iriam proporcionar o monitoramento em tempo real e o uso de aplicativos para a resposta de demanda.

A implantação de redes inteligentes tem avançado ao redor do mundo. Hoje, muitos países têm se dedicado a estudos sobre essa tecnologia, e alguns já iniciaram a instalação dessas redes, com destaque para Itália, Estados Unidos, Japão e alguns outros países europeus [1].

2.2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

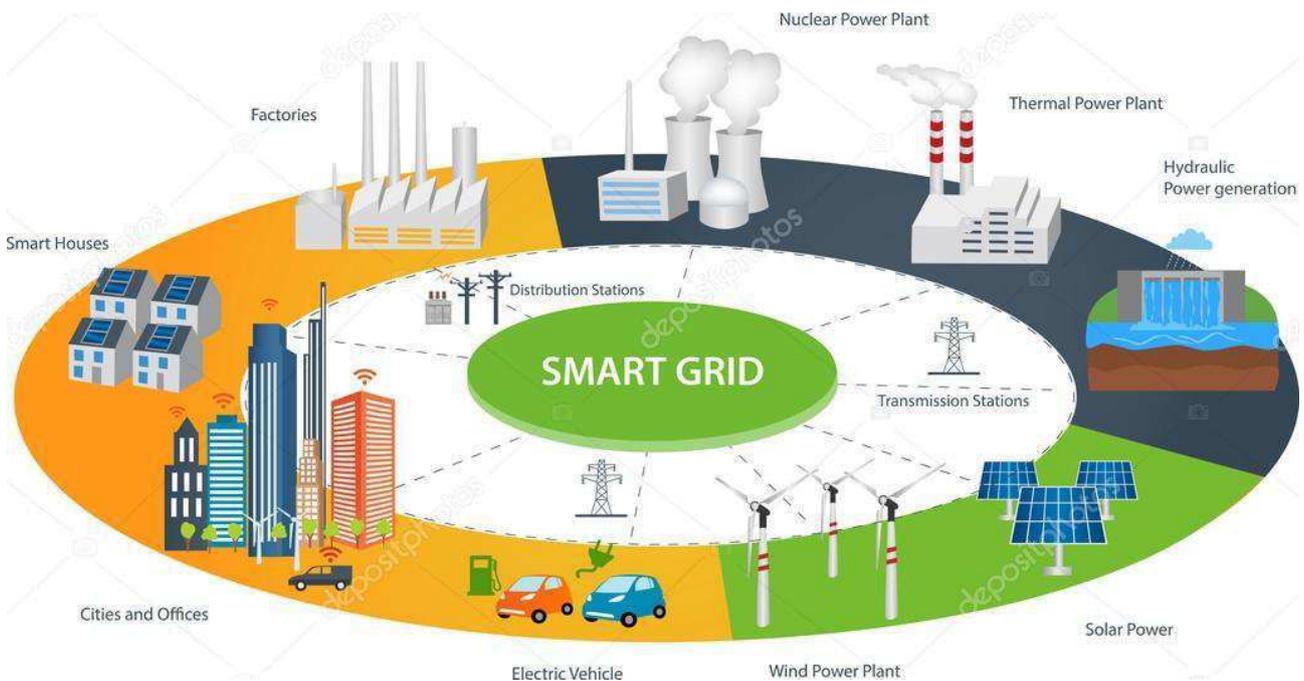
A rede elétrica inteligente, ou *Smart Grid*, é algo difícil de definir em poucas palavras. Não é uma simples tecnologia, equipamento ou metodologia. É um conceito que engloba todos esses elementos, abrangendo diversas áreas do conhecimento [3].

O instituto americano de tecnologia e padrões, NIST (National Institute of Standards and Technology), define *Smart Grid* como “uma rede moderna que permite o fluxo bidirecional de energia, usando comunicação nos dois sentidos e técnicas de controle, que possibilitará novas funcionalidades e novas aplicações” [4].

“O processo de tornar o sistema elétrico mais inteligente é uma evolução e não um evento pontual.” - Agência Internacional de Energia (IEA) [5].

Smart Grid deve ser interpretado mais como um conceito do que uma tecnologia específica. O termo rede elétrica inteligente refere-se a um sistema de energia elétrica que se utiliza da tecnologia da informação para fazer com que o sistema seja mais eficiente (econômica e energeticamente), confiável e sustentável. Em termos gerais é a aplicação de tecnologia da informação para o sistema elétrico de potência (SEP), integrada aos sistemas de comunicação e infraestrutura de rede automatizada. Especificamente, envolve a instalação de sensores nas linhas da rede de energia elétrica, o estabelecimento de um sistema de comunicação confiável em duas vias com ampla cobertura de diversos dispositivos e automação dos ativos [44].

Figura 1 – Representação conceito Smart Grid.



Fonte: ([48], 2016).

A definição de redes elétricas inteligentes ainda não está completamente consolidada, mas nesse sistema devem constar os seguintes atributos:

- Sistemas de transmissão e distribuição transparentes e controláveis;
- Fontes de energia renovável, geração distribuída e armazenamento de energia nos dois lados do medidor;
- Capacidade para resposta à demanda e controle de demanda [3].

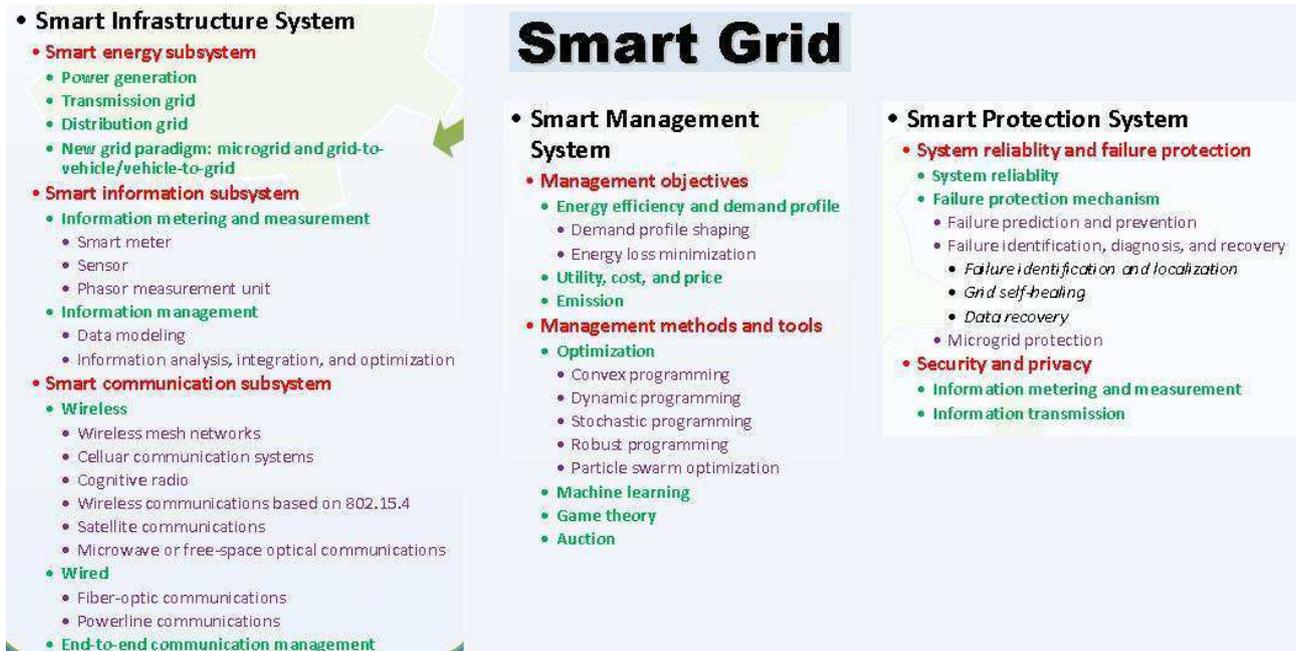
Para a modernização da rede, alguns conceitos devem estar associados:

- Confiabilidade;
- Eficiência;
- Segurança;
- Questões ambientais;
- Competitividade.

As principais funções requeridas em uma rede inteligente são:

- Auto-recuperação;
- Motivar consumidores a serem mais participativos;
- Fornecer uma energia de melhor qualidade;
- Permitir vários tipos de geração e armazenagem de energia;
- Maior envolvimento do mercado;
- Permitir uma maior utilização de geração intermitente de energia [1].

Figura 2 – Infraestrutura e utilidades da Smart Grid.



Fonte: (Technol, 2008).

2.3 TECNOLOGIAS

Para que haja um bom funcionamento do conceito de *Smart Grid*, é necessário implementar novas tecnologias que darão suporte para o seu funcionamento, serão abordadas rapidamente as tecnologias mais relevantes para este trabalho.

2.3.1 MEDIDORES INTELIGENTES

Os medidores inteligentes são dispositivos utilizados para medir o consumo de energia elétrica. O que difere esses equipamentos de medidores mais simples é o fato de que os medidores inteligentes permitem o fluxo bidirecional de energia, além de coletar uma quantidade de informações sobre o consumo muito maior do que os medidores comuns. Assim, pode ser feita uma monitoração e tarifação mais detalhada da energia, e a integração da rede elétrica como um todo é facilitada pelo grande fluxo de informações [3].

2.3.2 MICROGRIDS

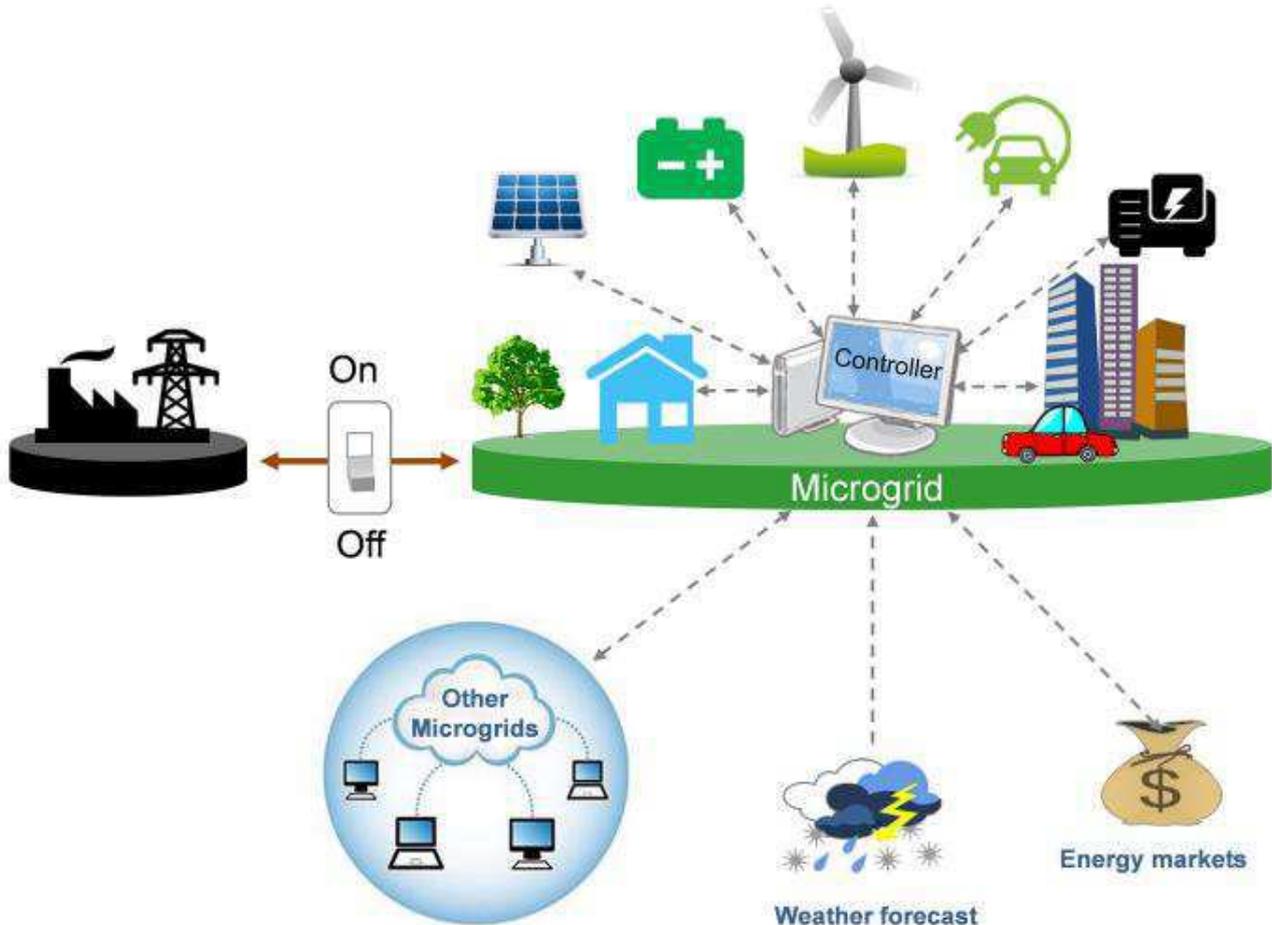
As Microgrids são pequenos sistemas de potência de vários megawatts (100MW) com três características principais: geração distribuída com capacidade de armazenamento opcional, centros

de carga autônomos e a capacidade de operar interconectadas ou isoladas da rede. O armazenamento pode ser proporcionado por baterias, supercapacitores, flywheels ou outras fontes.

Em alguns aspectos, as Microgrids podem ser significativamente mais complexas. Por exemplo, eles podem incluir elementos CC e inversores para conversão. Eles também podem exercer maior controle sobre uma ampla variedade de cargas, e a conexão com a rede pode ser flexível.

As microgrids possibilitam a operação ininterrupta da rede, onde o fornecimento da rede pode ser instável. Nesse caso, a capacidade de autossuficiência de uma microgrid entra em ação. As Microgrids inteligentes têm que gerenciar de maneira otimizada as cargas interconectadas e os recursos de energia distribuída (incluindo as renováveis), tanto no modo conectado à rede quanto isoladas. Uma Microgrid autônoma é uma Microgrid operada e coordenada por controles automáticos inteligentes sem uma dependência significativa da intervenção humana [7].

Figura 3 – Representação do conceito de microgrid.



Fonte: ([49], 2018).

2.3.3 ARMAZENAMENTO DE ENERGIA

Conforme a demanda por energia elétrica aumenta, é necessário implementar sistemas de armazenamento da energia gerada, com a finalidade de realizar um ajuste fino da demanda e evitar sobrecargas na rede [3], para isto, é utilizado bancos de baterias que possam absorver a energia excessiva nos momentos de pico de geração e devolver essa energia nos momentos de déficit [11].

Além disso, o desenvolvimento e a implantação do armazenamento de energia em massa desempenhará um papel fundamental no apoio à infraestrutura do sistema de fornecimento de energia necessária para os serviços ao consumidor, como o mercado de compra e venda de energia, e na integração de fontes renováveis intermitentes por toda a rede elétrica. Sem um “inventário” para acessar, as concessionárias possuem pouca flexibilidade na gestão da produção e entrega de eletricidade [7]. Da mesma forma, o armazenamento de energia fornece serviços auxiliares à rede, como a regulação da tensão, da frequência e a correção do fator de potência.

3 VEÍCULOS ELÉTRICOS

3.1 BREVE CONTEXTO HISTÓRICO

No começo do século XX os veículos elétricos dominavam o cenário automobilístico norte americano. Fatores como a inexistência de marchas, ausência de ruídos e vibrações foram cruciais para a manutenção da existência deste tipo de automóvel durante alguns anos; a autonomia era um atributo menos valorizado, já que a maioria dos carros circulava apenas dentro das pequenas cidades da época. Com o passar dos anos, a diminuição do preço dos derivados do petróleo associada com a falta de tecnologia apropriada para as baterias fez com os carros a combustão interna aparecessem mais fortemente no mercado automobilístico e acabasse roubando toda a fatia anteriormente voltada para a frota eletrificada; por volta de 1910 os veículos elétricos já estavam quase que totalmente superados [13].

A crise energética entre 1970 e 1980 trouxe consigo novamente o interesse pela tecnologia de veículos elétricos por parte dos governos e institutos de pesquisa em vários lugares do mundo. Vários outros fatores vêm impulsionando o ressurgimento cada vez mais latente deste tipo de carro, como a preocupação com questões ambientais (considerando que o setor de transportes é um dos maiores responsáveis pelas emissões de gases do efeito estufa em todo mundo), preocupação com a questão energética e a volatilidade do petróleo (segundo a Agência Internacional de Energia (IEA) a média anual da demanda de energia crescerá 1,5% entre 2007 e 2030, enquanto que a produção de petróleo expandirá anualmente apenas cerca de 1%) e o elevado desenvolvimento tecnológico (que propicia o surgimento de novas tecnologias que podem ser incorporadas aos atuais avanços no campo das baterias, levando ao aumento da autonomia e da vida útil das mesmas) [5].

Quase um século depois de ter sido substituído por modelos movidos à combustão interna, os veículos elétricos (EVs) têm emergido no cenário mundial e é a mais nova aposta para o futuro do transporte terrestre. Fatores como a maior preocupação acerca de questões ambientais, segurança energética e rápido desenvolvimento tecnológico estão guiando esta ideia para um futuro cada vez mais próximo [17].

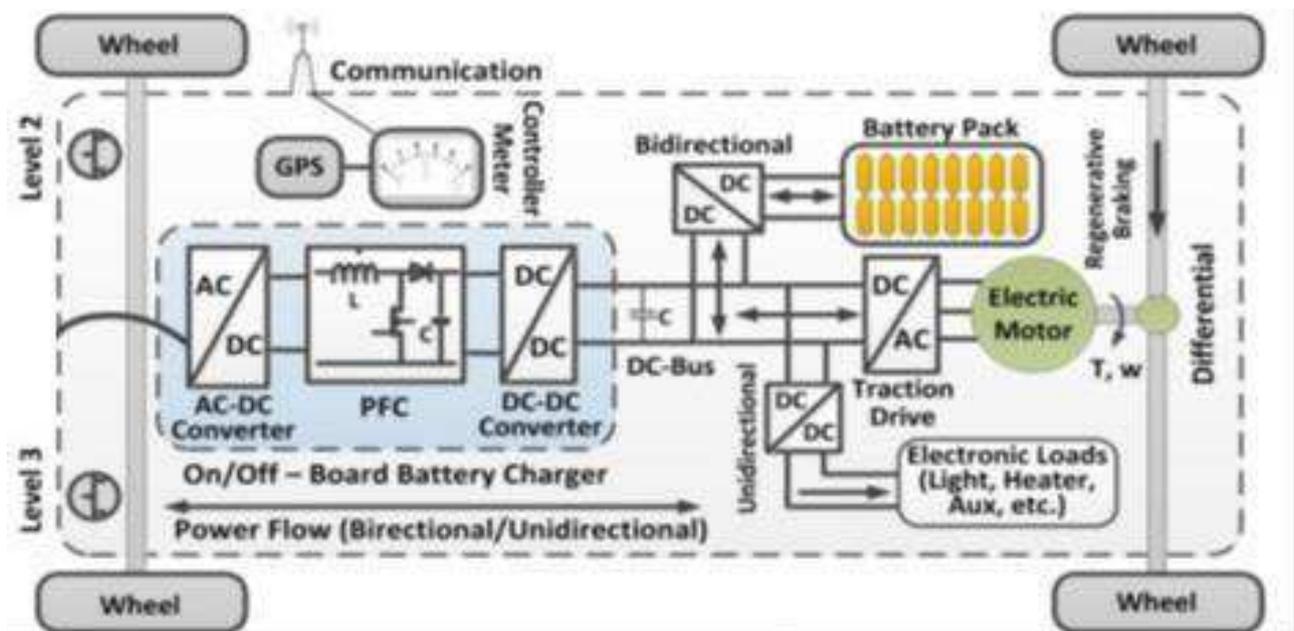
Além disso, deve-se considerar que o setor de transporte tem consumido uma fatia cada vez maior da produção mundial de petróleo (chegando a quase 70% de todo petróleo consumido nos Estados Unidos no ano de 2012), e ainda, representa uma das maiores fontes de gases do efeito estufa. Com isso, o setor automobilístico tem se tornado um dos principais alvos para novas

políticas ambientais e de energia; muitos países ao redor do mundo têm adotado ou estão adotando medidas para aumentar a disseminação de veículos híbridos e elétricos no mercado [8].

3.2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O veículo elétrico é aquele que utiliza, pelo menos, um motor elétrico como forma de tração para o transporte de pessoas, objetos ou cargas. A diferença entre um carro a combustão interna e um veículo puramente elétrico é notada facilmente. O carro tradicional é alimentado por um reservatório de combustível e movido por um motor à explosão interna; ao mesmo tempo existe um alternador (gerador elétrico) que converte uma parte da energia mecânica produzida pelo motor em energia elétrica para alimentar alguns periféricos do carro como o sistema de ignição ou a recarga da bateria. Por outro lado, o carro puramente elétrico é alimentado unicamente por um banco de baterias que alimenta um conversor usado para acionar o motor elétrico, o conjunto mecânico por sua vez aciona as rodas; o conversor pode ser do tipo CC/CC ou do tipo CC/CA, tudo depende da topologia utilizada em cada veículo (sendo o conversor CC/CC o mais utilizado). Em alguns casos, quando existe o chamado KERS (sistema de recuperação da energia liberada na frenagem), o conversor é capaz de controlar o fluxo de potência em ambos os sentidos, ora da bateria para o motor e ora do motor para a bateria, aumentando a eficiência energética do conjunto. [2]

Figura 4 – Esquema de um carro elétrico com fluxo bidirecional de potência.



Fonte: (IEEE, 2013).

Os veículos elétricos possuem numerosas vantagens, como por exemplo:

- Menor custo por quilômetro rodado, esta economia chega a ser três vezes maior comparado aos carros a combustão convencionais;
- Menor custo com manutenção, pois possuem um sistema mecânico simples, com muito menos peças móveis, sujeitos a menor desgaste;
- Pode ser abastecido com energia elétrica obtida de fontes renováveis, tornando-os menos poluentes;
- Não produzem gases e nem ruídos da combustão, reduzindo assim a poluição emitida pelos gases de exaustão e a poluição sonora;
- Possui uma tecnologia embarcada muito mais ampla e robusta, essencial para a era da tecnologia e informação;
- Possui sistemas inteligentes de condução e segurança;
- Desempenho automotivo superior, os motores elétricos reagem instantaneamente e possuem um torque muito elevado, além disso, os carros elétricos possuem um centro de gravidade rebaixado [13].

3.3 TECNOLOGIAS

A fim de aumentar o embasamento teórico sobre as tecnologias presentes nos veículos elétricos, serão destacadas as tecnologias mais relevantes ao tema do trabalho.

3.3.1 CONJUNTO DE BATERIAS

A bateria é um componente central em veículos elétricos. Existem vários tipos de baterias utilizáveis em um veículo elétrico, como as de chumbo-ácido (PbA), as de níquel-hidreto metálico (NiMH), as de sódio e as de íon-lítio [17], dentre os tipos de bateria, as de íon-lítio vem se destacando e incorporam cada vez mais veículos elétricos de alta performance.

As baterias de íon-lítio apresentam uma série de vantagens em relação a outras baterias, elas armazenam o dobro ou o triplo do que as demais, nelas não existem o efeito memória, costumam ser mais leves do que outras baterias recarregáveis do mesmo tamanho, tem uma densidade de energia muito mais alta do que as outras baterias, suportam muito mais ciclos de carga e descarga, entre outras vantagens [17].

A autonomia da bateria dos veículos elétricos vem crescendo rapidamente como consequência do alto investimento em pesquisas de desenvolvimento na área. Nos dias atuais a capacidade média das baterias dos veículos elétricos populares é de 24kWh, o que equivale ao consumo médio diário de uma residência. Existem modelos de carros elétricos em que a capacidade das baterias atingem os 100kWh.

3.3.2 CONVERSOR BIDIRECIONAL

Para o controle ou o condicionamento de energia elétrica, a conversão de potência elétrica de uma forma para outra é necessária, e as características de chaveamento dos dispositivos de potência permitem essas conversões. Os conversores estáticos de energia realizam essas funções de conversão de potência [RASHID, 1999].

Os conversores CC/CC podem ser classificados em abaixadores e/ou elevadores de tensão e são estruturas que utilizam chaves semicondutoras, permitindo a transferência de energia entre a fonte e a carga. O controle do fluxo de energia é realizado por das chaves que atuam em condução ou bloqueio.

Os pesquisadores estão investigando uma nova topologia de bateria integrada com conversores bidirecionais de CA/CC CC/CC para os veículos elétricos. A topologia proposta poderia ser operada em quatro modos: carregamento e descarregamento da bateria com a rede e fluxo de energia bidirecional entre a bateria e o sistema de transmissão [18].

Esta tecnologia de conversores bidirecionais possibilita a maior interação dos carros elétricos com a rede, podendo hora estar absorvendo energia da rede e hora entregando à mesma.

4 MOTIVAÇÃO E DESAFIOS

Embora tenham sido abordados grandes benefícios oferecidos pelo *Smart Grid* e pelos veículos elétricos, existem fatores que dificultam a sua implementação e fatores que se mal administrados podem trazer um aproveitamento muito reduzido, chegando ao ponto de provocar prejuízos na qualidade da energia elétrica do sistema. Diante disto fica claro a necessidade de estudos cuidadosos sobre o tema, como por exemplo, a busca de soluções que visem superar as dificuldades encontradas e aumentar seus benefícios, melhorando a eficiência e o desempenho das tecnologias adotadas.

Diante deste raciocínio, a grande motivação deste trabalho é apresentar uma solução simples, mas inteligente, que possui grandes impactos no aproveitamento do conceito de *Smart Grid*, integrada com os Veículos Elétricos, para extrair ao máximo seus benefícios.

Ao longo do trabalho ficarão evidentes os impactos ambientais, energéticos e socioeconômicos dos estudos apresentados.

4.1 DIFICULDADES SMART GRID

4.1.1 ESTABILIDADE DO SISTEMA

Atualmente, apenas uma pequena porção da eletricidade é gerada por fontes renováveis de energia e elas causam pouco impacto na qualidade e confiabilidade geral da rede elétrica. No entanto, esforços mundiais estão voltados a aumentar consideravelmente a contribuição de fontes renováveis para a produção de eletricidade. Quando a contribuição de fontes renováveis, como solar e eólica, aumentar para cerca de 20% da geração total, a natureza intermitente dessas fontes pode começar a causar impactos negativos perceptíveis na rede elétrica. Sem o equilíbrio entre a demanda e a oferta, é difícil para a frequência do sistema se estabilizar. A frequência cai quando a demanda excede a oferta e, inversamente, a frequência aumenta quando a oferta excede a demanda [12].

4.1.2 ALTERNATIVAS DE ARMAZENAMENTO

Atualmente são conhecidas diversas formas de armazenamento de energia que diferem em termos de desempenho, custo e maturidade tecnológica. Entre as tecnologias mais maduras estão:

reservatórios de água e posterior geração hidroelétrica, “rodas inerciais” (*flywheels*), banco de baterias e tanques de armazenamento de calor [10].

Para o armazenamento da energia elétrica excessiva proveniente das usinas geradoras, está em foco a utilização de banco de baterias que possibilitam absorver a energia excessiva nos momentos de pico de geração e devolver essa energia nos momentos de déficit.

Existem grandes esforços de pesquisa e desenvolvimento para as tecnologias de baterias, mas a sua implantação generalizada é dificultada por desafios em densidade de energia, eficiência energética, vida útil, capacidade de armazenamento e taxa de transferência de carga e custos [11].

4.2 DIFICULDADES VEÍCULOS ELÉTRICOS

4.2.1 TEMPO EM DESUSO

Durante a utilização diária dos automóveis, o tempo em que passam estacionados é muito maior do que o tempo que estão deslocando-se, durante cerca de 90% do tempo os automóveis permanecem estacionados.

Nos veículos elétricos isso quer dizer que suas baterias passam a maioria do seu tempo em desuso, um equipamento valioso, que pode ser melhor aproveitado e trazer mais utilidades durante a sua vida útil.

4.2.2 AUMENTO DE CARGA

Um ponto básico na dificuldade de se utilizar carros elétricos envolve a geração de uma quantidade de energia elétrica capaz de prover a energia adicional demandada pelos veículos. Entretanto, salvo algum evento extraordinário, a introdução dos veículos elétricos será gradual, sendo a demanda inicial acomodada pelas margens de segurança existentes em grande parte dos sistemas elétricos. Ao longo prazo, a migração do padrão de uma grande parcela da frota veicular demandará a construção de novas usinas de geração de energia elétrica. Como afirmam Yang e McCarthy (2009, p. 17), “*if each of the 240 million registered vehicles in the United States charged 5-10 kWh per day, this would require an additional 12–23% electricity generation.*” [17].

Em decorrência da maior demanda, os transformadores das ruas seriam sobrecarregados, exigindo assim investimentos em infraestrutura do sistema elétrico para suportar esse aumento de carga. O uso descoordenado do carregamento dos veículos elétricos tornar-se-ia assim um vilão para o sistema elétrico.

5 VEÍCULOS ELÉTRICOS COMO ARMAZENAMENTO

DISTRIBUÍDO DE ENERGIA

5.1 INTRODUÇÃO

Diante das informações abordadas no trabalho até o momento, podemos destacar que cada uma das duas tecnologias possuem suas vantagens e dificuldades. Com uma análise mais profunda, podemos perceber que elas possuem características que suprem as dificuldades uma da outra. Tendo isso em vista, foram desenvolvidas metodologias para o desenvolvimento de um sistema onde os veículos elétricos deixam de ser vistos apenas como um meio de transporte e passam a serem vistos como uma peça fundamental do sistema elétrico, integrando-os ao *Smart Grid* e assim extraindo o máximo potencial da utilização das duas tecnologias.

Tabela 1 – Vantagens e dificuldades das redes inteligentes e dos veículos elétricos.

	Fonte de energia	Armazenamento	Coordenação de carga
Smart Grid	Instabilidade de carga causada pelas fontes renováveis	Necessita de um sistema de armazenamento de energia	Tem como principal característica o alto nível de coordenação de carga
Veículos Elétricos	Capacidade de absorção de carga proveniente de fontes renováveis	Em larga escala, oferece banco de baterias com capacidade suficiente	Necessita de um sistema de coordenação de carga e descarga

Fonte: (Autor próprio).

A integração dos veículos elétricos possui desafios de como acomodar o carregamento dos veículos elétricos sem aumentar o pico de carga do sistema ou sobrecarregar equipamentos do sistema de distribuição onde os veículos elétricos estão agrupados, e oportunidades, como gerenciar a carga dos veículos elétricos para otimizar os recursos da rede e manter os limites operacionais de energia no seu custo mínimo. Os reguladores e concessionárias precisam considerar como aproveitar as sinergias entre o carregamento inteligente dos carros elétricos e as necessidades operacionais da rede, de forma a maximizar os benefícios para todos os clientes e para a sociedade como um todo [16].

Assim, a metodologia que sugere uma solução e é estudada e abordada neste trabalho é conhecida como “Veículos elétricos como armazenamento distribuído de energia”, em literaturas estrangeiras pode ser encontrado como “*Vehicle to Grid (V2G)*”.

5.1.1 VANTAGENS

Os veículos elétricos serão parte integrante da rede elétrica e poderão fornecer serviços valiosos. A ideia de usar a bateria dos veículos elétricos como armazenamento distribuído tem vários benefícios para a rede elétrica como:

- Potência extra durante picos de demanda;
- Equalização da curva de carga, corte dos picos de carga e preenchimento dos vales;
- Suavização das oscilações na geração de energia oriundas das fontes renováveis variáveis e intermitentes, como energia solar e energia eólica;
- Viabilização do uso de renováveis em alto valor de penetração pelo aumento de sua confiabilidade;
- Redução da utilização de usinas térmicas de energia, que são fontes mais caras, menos eficientes e menos responsivas, para suprir as demandas de pico;
- Diminui a dependência de países isolados sobre os recursos fósseis;
- O armazenamento distribuído possui resposta rápida em comparação com as usinas geradoras;
- Controle de estabilidade ativa, como tensão, frequência e fator de potência;
- Fonte de energia ininterrupta;
- Estimula novo mercado energético, onde pode ser rentável carregar veículos elétricos quando os preços da energia estão baixos e depois despachar energia desses veículos nos momentos de maior demanda e preço, para dar suporte à rede [12].

5.2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O *Smart Grid* ajuda na conexão de fontes distribuídas, contudo a integração de fontes intermitentes é um dos maiores desafios para uma matriz energética limpa. As fontes renováveis modernas, como eólica e solar, dependem de fatores externos para determinar a sua geração, como a presença de ventos e dias ensolarados [3]. Devido à natureza intermitente da energia solar e da energia eólica, e também devido a variações repentinas da energia produzida por essas fontes intermitentes, o uso de dispositivos de armazenamento é essencial [12].

O *Smart Grid* possibilita a integração de centrais geradoras de energia e garante a participação ativa de pessoas com microgeração em seus domicílios ou empresas no mercado de energia nacional. Além disso, possibilita também a integração na rede de reservatórios de energia [3].

Um bom ponto de partida é ver a carga armazenada nos veículos elétricos como um recurso de energia distribuída, como geração distribuída e sistema de armazenamento, que pode ser direcionado para proporcionar utilidades para a rede. A demanda de carregamento dos veículos elétricos deve ser gerenciada, temporal e geograficamente, para minimizar possíveis aumentos nos custos gerais do sistema elétrico e, ao mesmo tempo, atender às necessidades dos clientes [16].

Com a tecnologia apropriada, vehicle-to-grid (V2G), os veículos elétricos podem ser uma carga flexível. A utilização das baterias dos carros elétricos poderia ser feita de forma que, quando a oferta energética estiver maior que a demanda, as baterias sejam carregadas, suavizando a carga da rede, e quando a demanda estiver maior que a oferta, as baterias se descarreguem, oferecendo a energia armazenada para suprir a demanda da rede [3]. Por consequência, os veículos elétricos fornecerão serviços ao sistema elétrico, tais como regulação de tensão e frequência, correção do fator de potência e capacidade de reserva.

Para a concessionária, os veículos elétricos são cargas dinâmicas difíceis de serem programadas, mas também um potencial de backup para a rede elétrica. Esses desafios obrigam as mudanças no planejamento, operação e controle da rede elétrica. A adoção dos veículos elétricos pode agregar valor à rede elétrica em termos de desempenho, eficiência e melhorias na qualidade de energia, mas isto só é possível se a integração de todo o grande número de veículos elétricos for bem planejada e tecnicamente reorganizada para estar em conformidade com os padrões operacionais do sistema de potência.

Para este fim, uma comunicação em tempo real avançada é um ingrediente vital para a troca de informações entre as partes. Portanto, para operar com sucesso este cenário, a plataforma de rede inteligente é indispensável.

Com o mercado de energia desregulamentado, o cenário de preços em tempo real é bastante intuitivo, mas requer sistemas avançados de controle de medição, informação e comunicação. Na infraestrutura de rede inteligente, o preço e a comunicação em tempo real são concebíveis através de medição inteligente e tecnologia avançada de informação e comunicação (TIC). Com a programação inteligente do carregamento dos veículos elétricos, também é possível aliviar as tensões nas instalações do sistema de distribuição de energia. Essas relações mútuas entre os veículos elétricos e a rede inteligente são uma combinação perfeita para um modelo moderno de sistema de energia.

Entretanto, a bateria de um único veículo é um recurso muito pequeno cujo impacto na rede é insignificante e representa apenas ruído. Portanto, os veículos elétricos precisam ser agregados para que a rede aproveite sua presença, tanto no lado da oferta, para fornecer energia e equilibrar a demanda, quanto no lado da demanda, para consumir nos momentos apropriados.

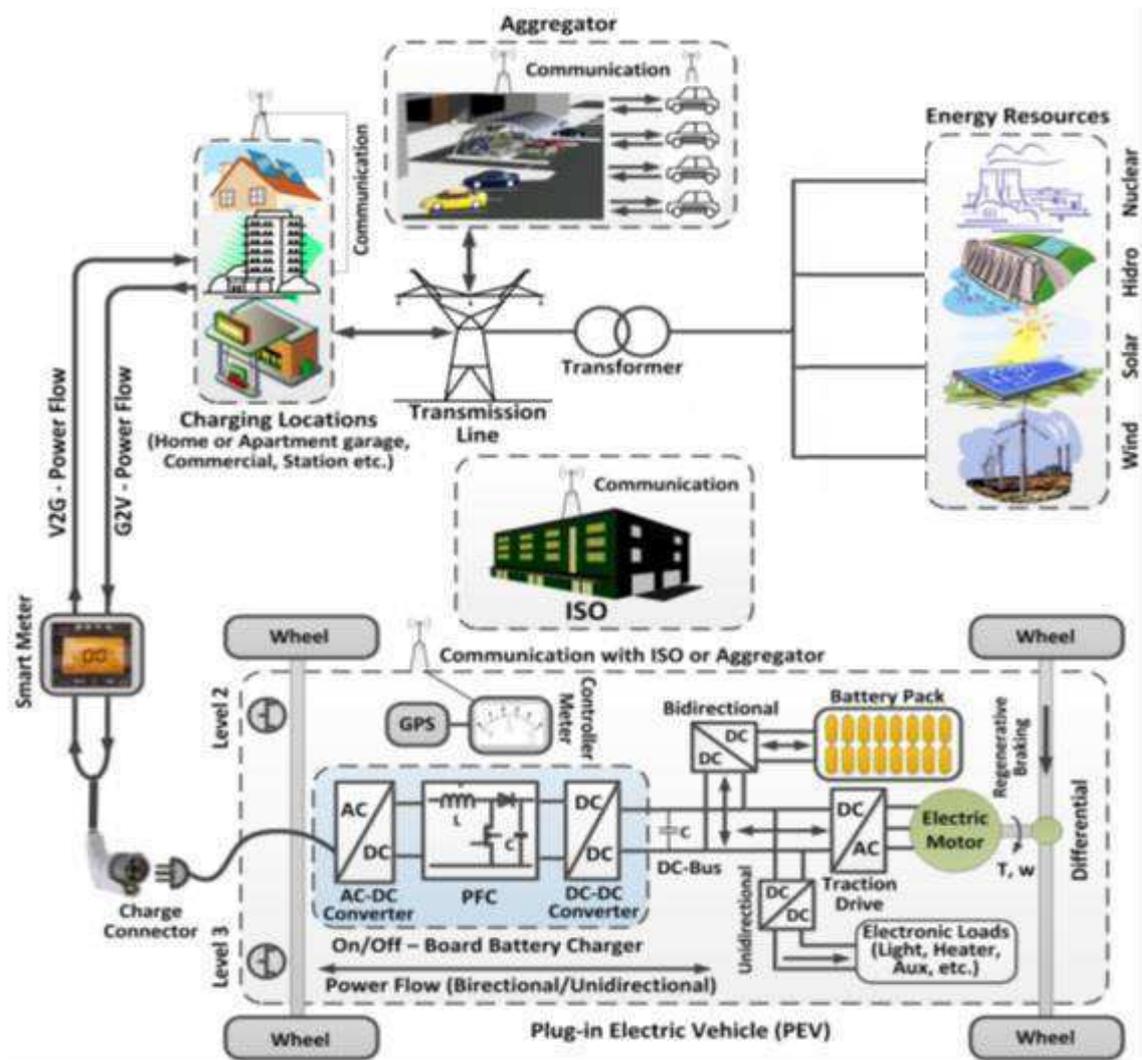
O agregador é introduzido como o controlador do V2G. O agregador é responsável pelo agrupamento dos veículos elétricos para atuar como um armazenamento distribuído de energia, e para fazer a interface com o Operador de Sistema Independente ou Organização de Transmissão Regional, é a entidade crítica para tornar o conceito de V2G implementável. Para manter a estabilidade da rede, o fluxo de energia bidirecional e a comunicação precisam ser controlados entre os veículos agregados e a rede. O agregador tem que saber em tempo real os parâmetros característicos (padrões de condução, estado de carga, capacidade total, etc.) dos veículos elétricos agregados para a resposta de gerenciamento de rede, como problemas de gerenciamento do lado da demanda, regulação de frequência e outros serviços auxiliares. Quando a rede elétrica solicita ou libera energia, o operador da rede elétrica envia sinais ao agregador para gerenciar a carga e a descarga dos veículos elétricos. A agregação pode melhorar a compatibilidade do V2G com os mercados de serviços auxiliares, melhorando a confiabilidade, distribuindo os veículos e estabelecendo limites mínimos e máximos de contrato.

5.3 INFRAESTRUTURA

Para melhor identificar as oportunidades trazidas pelo uso dos veículos elétricos como armazenamento distribuído de energia, o entendimento de sua estrutura integrada é vital e indispensável. Os componentes e o fluxo de energia de um sistema V2G estão representados na Fig. 5. O sistema consiste em seis subsistemas principais [45]:

- 1) Recursos energéticos e concessionária de energia;
- 2) Um operador e agregador de sistemas independentes;
- 3) Locais e infraestrutura de carregamento;
- 4) Fluxo bidirecional de energia elétrica e comunicação entre cada veículo elétrico e operador ou agregador;
- 5) Medição e controle inteligente on-board e off-board;
- 6) O próprio veículo elétrico com o seu sistema de gerenciamento de energia.

Figura 5 – Os componentes e o fluxo de energia de um sistema V2G.



Fonte: (IEEE, 2013).

5.3.1 SISTEMA DE CARREGAMENTO

Tabela 2 – Tipos de carregadores de veículos elétricos.

		
<p>Carregador Portatil</p>	<p>Wall Box</p>	<p>Estação de carregamento</p>
<p>Usado para carregar em um plugue de eletricidade doméstica. É um carregador de baixa velocidade (mais de 15 horas para carregar 25kWh).</p>	<p>Geralmente é instalado em garagens privadas e pode executar carregamento de velocidade média (8 horas para carregar totalmente uma bateria de 25kWh).</p>	<p>Instalado nas via pública, é capaz de carregar 25kWh em menos de 3 horas (e até 40 ou 20 minutos para carregadores de alta velocidade).</p>

Fonte: (FGI Consulting, 2015).

Existem vários níveis de carga para os veículos elétricos que refletem a capacidade de energia e a duração do carregamento. Esses níveis foram padronizados para refletir os cenários de carregamento lento ou rápido. O carregamento lento (normalmente até 8 h PHEV ou 20 h BEV) pode ser experimentado em casa ou no escritório, enquanto o carregamento rápido (normalmente de 15 min a 1 h) em estações de carregamento dedicadas em locais públicos ou comerciais. Como mostrado na Fig. 6, o Nível 1 de CA é praticamente realizado em ambiente doméstico, enquanto o Nível 2 de CA é adequado para áreas públicas e comerciais como locais de trabalho, cinemas, shoppings. No entanto, o carregamento rápido CC está previsto para cobrir as estações de carregamento públicas, privadas ou comerciais. A potência de carga fornecida é geralmente determinada pelas classificações nominais do carregador de bateria e, nos estudos mais recentes, a tensão das baterias dos veículos elétricos é tipicamente limitada a um de barramento CC menor ou igual a 400 Vcc.

Figura 6 – Características dos níveis dos carregadores AC/DC.

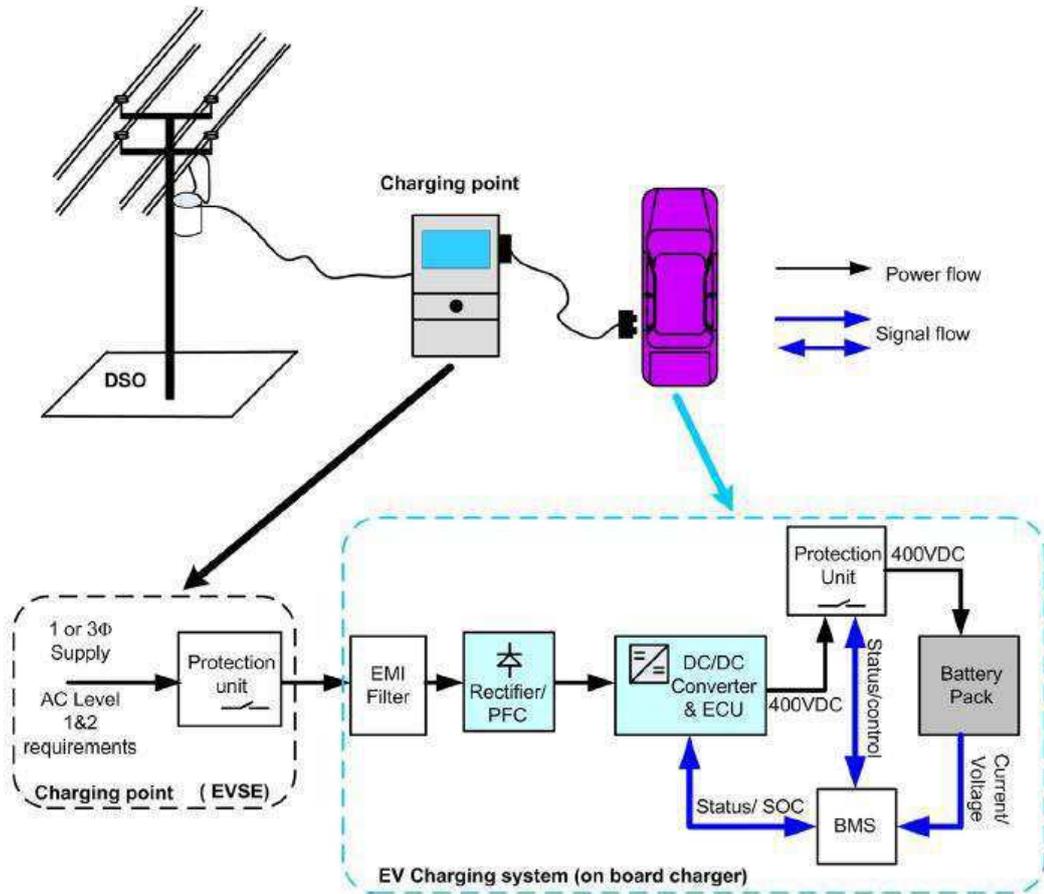
Power level type	Voltage level [V]	Current capacity [A]	Power capacity [kW]	Remark(s)
AC Level 1	120VAC	12 16	1.4 1.9	1-phase supply (EV contains an on-board charger) Charging time PHEV: 7 h BEV: 17 h
AC Level 2	240VAC	Up to 80	19.2	1 or 3-phase supply (EV contains an on-board charger) 3.3 kW charger PHEV: 3 h BEV: 7 h 7 kW charger PHEV: 1.5 h BEV: 3.5 h
AC Level 3	-	-	> 20	Under development
DC Level 1	200-500VDC	< 80	Up to 40	3-phase supply (EVSE contains an off-board charger) 20 kW charger PHEV: 22 min BEV: 1.2 h
DC Level 2	200-500VDC	< 200	Up to 100	3-phase supply (EVSE contains an off-board charger) 45 kW charger PHEV: 10 min BEV: 20 min
DC Level 3	200-600VDC	< 400	Up to 240	Under development

Fonte: (ELSEVIER, 2014).

No entanto, o sistema de energia atual fornece tensões CA para as cargas. Para fornecer energia à bateria dos veículos elétricos, um circuito retificador de energia é obrigatório, mas o custo e os problemas térmicos limitam a capacidade de energia do circuito retificador. Observando que, a infraestrutura de carregamento rápido de CC requer capacidade de alta potência como pode ser observado na Fig. 6, o tamanho e o volume do circuito retificador têm um grande impacto na infraestrutura de carregamento, uma vez que reflete as dimensões do circuito a ser usado nos veículos elétricos.

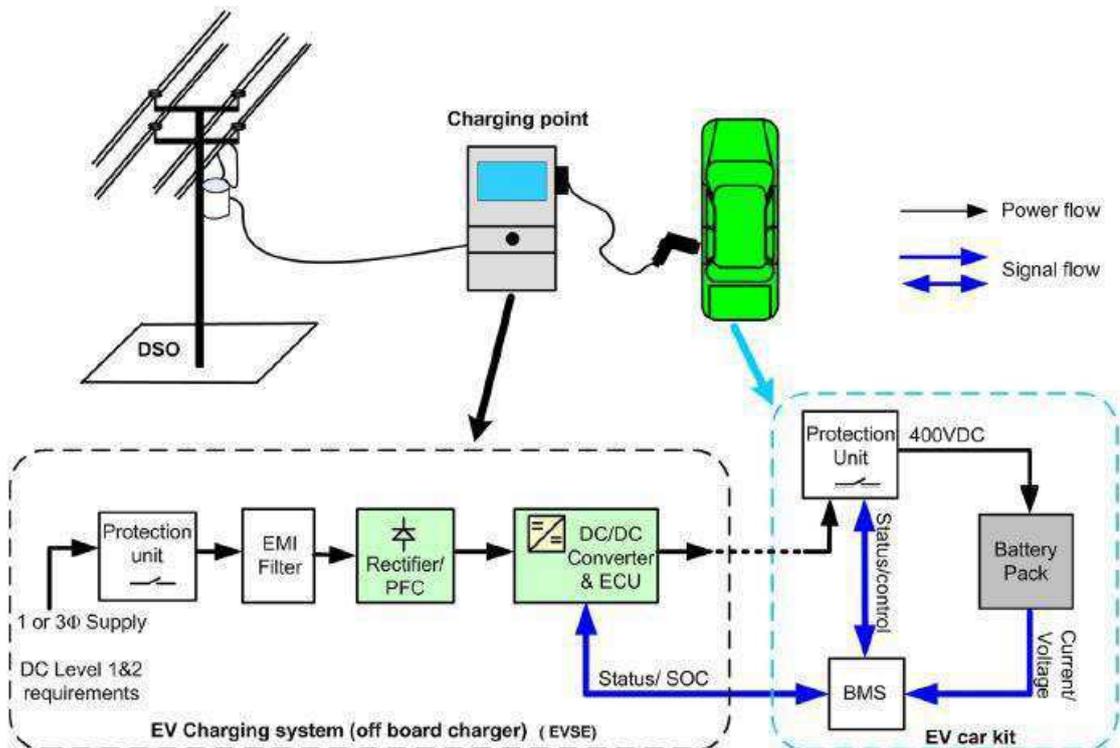
Os avanços nos conversores de potência bidirecionais para carregadores elétricos com baixa interferência eletromagnética para suportar o V2G agora podem ser padrão para os veículos elétricos. As Figs. 7 e 8 ilustram as configurações de carregamento dos veículos elétricos para os requisitos de Nível 1 e 2 em CA (o veículo elétrico inclui um carregador de bordo) e os CC 1 e 2 incluem um carregador off-board, respectivamente.

Figura 7 - Configuração de carregamento CA nível 1 e 2 (carregador integrado).



Fonte: (ELSEVIER, 2014).

Figura 8- Configuração de carregamento CA nível 1 e 2 (carregador off-board).



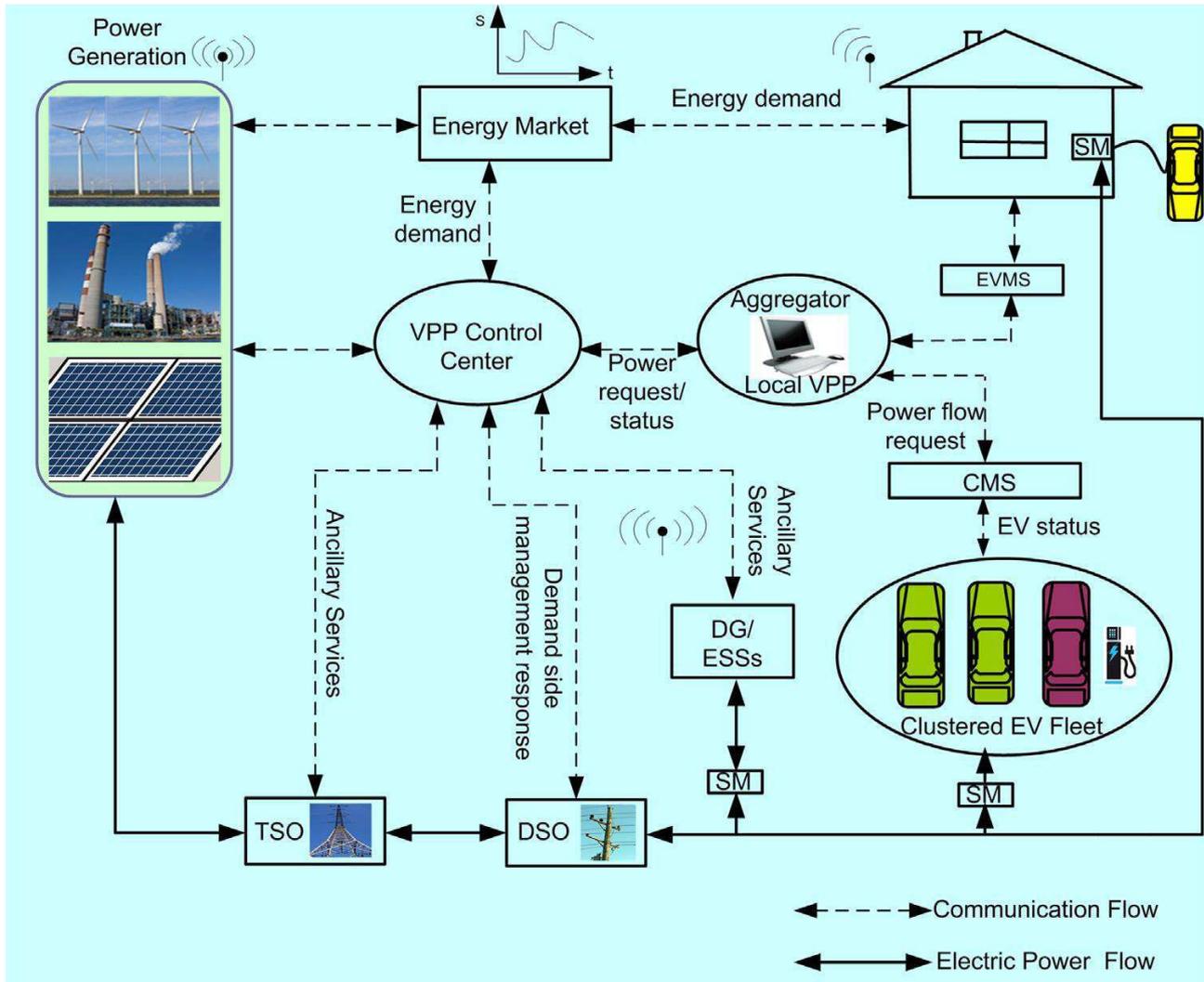
Fonte: (ELSEVIER, 2014).

5.3.2 SISTEMA DE COMUNICAÇÃO E CONTROLE

A espinha dorsal desse cenário de integração é a entidade de serviços públicos e o proprietário do veículo elétrico, ambas as partes podem aproveitar a interação do sistema à custa de controle avançado, TICs e compromissos de operação. A arquitetura mais comum envolve explicitamente o agregador e ganhou interesse para os pesquisadores nos últimos anos. O agregador é considerado um encarregado central que coordena todas as atividades operacionais necessárias, como comunicação com o operador do sistema de distribuição (DSO), operador de sistema de transmissão (TSO) e provedores de serviços de energia. Na maioria dos casos, o agregador mantém a ligação entre os participantes do mercado de energia e os proprietários dos veículos elétricos. Além disso, a realização desta integração pode ser concebida dentro do conceito de usina elétrica virtual (Virtual Power Plants), no qual os veículos elétricos são agrupados e controlados como uma única fonte distribuída de energia. Dentro da arquitetura usina elétrica virtual, os veículos elétricos são visíveis para o sistema de distribuição, sistema de transmissão e operador de rede, através do agregador e podem facilmente participar do mercado de energia.

A estrutura conceitual da usina elétrica virtual (VPP) oferece um cenário de agregação que facilita o controle e troca de informações entre a entidade de serviços públicos (centro de controle) e a frota de veículos elétricos para facilitar a realização do V2G. A figura 9 ilustra o controle e a implementação do VPP no contexto V2G. Dentro dos participantes da rede elétrica e do mercado de energia, o agregador de veículos elétricos funcionará como uma usina virtual. Como mostrado na Fig. 9, a frota de veículos elétricos é agrupada na estação de carregamento e fornece status como o estado de carregamento disponível / energia disponível para o sistema de gerenciamento de cobrança (CMS) que se comunica com o centro de controle do agregador (controle VPP local). No centro de controle da usina elétrica virtual, a energia agregada da bateria pode ser despachada para fornecer serviços auxiliares sempre que solicitado pelo sistema de distribuição ou pelo sistema de transmissão. O centro de controle da VPP está configurado para centralizar o gerenciamento de fluxo de energia e comunicação entre os participantes do mercado de energia (ou seja, clientes e produtores de energia) e operadores de rede.

Figura 9 - Controle e a implementação do VPP no contexto V2G.

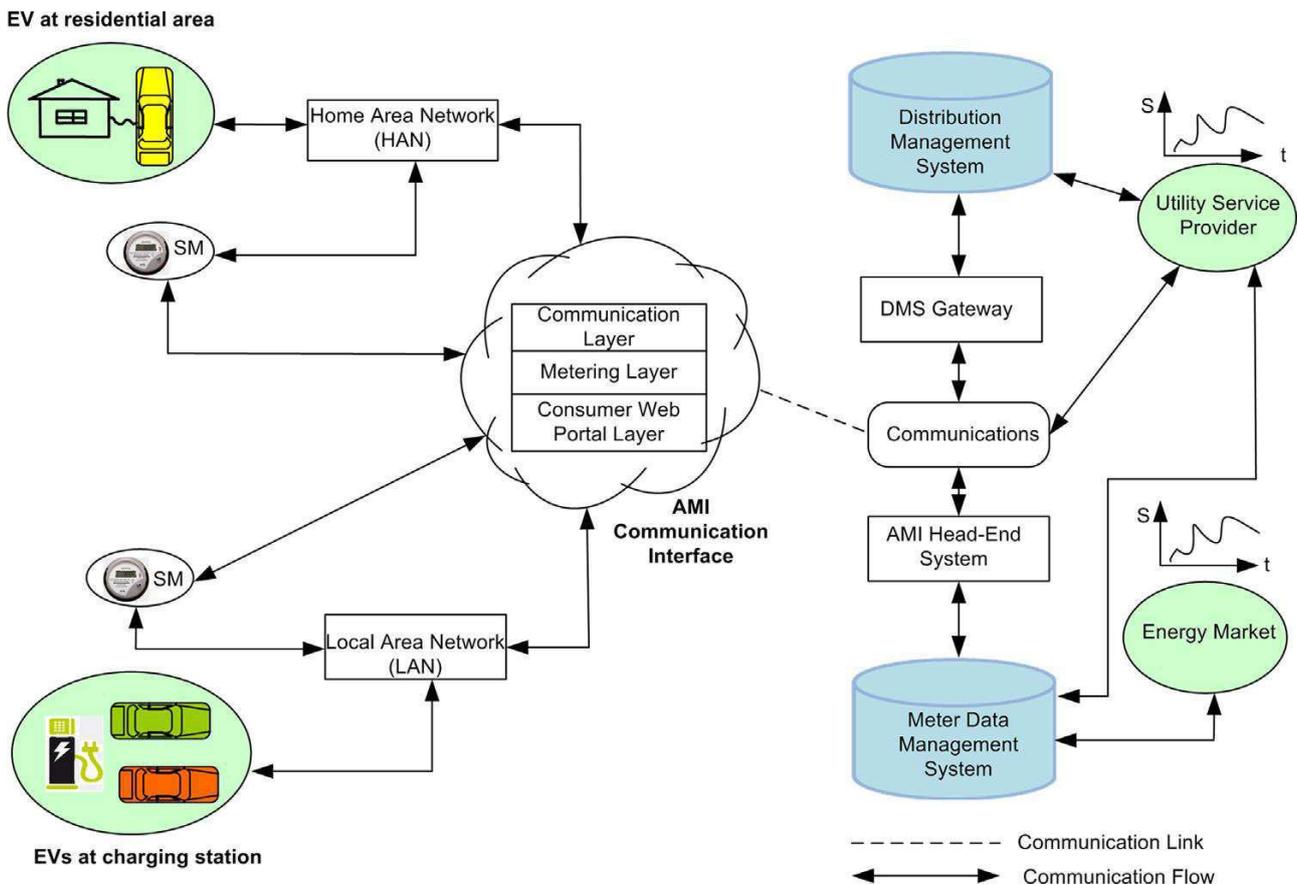


Fonte: (ELSEVIER, 2014).

A padronização de tecnologias e protocolos na comunicação de distribuição de energia elétrica são os principais motivos para a implementação da rede inteligente interativa. O sistema de gerenciamento de energia (EMS) na rede inteligente é realizado medindo, analisando e relatando o uso ou a demanda de energia em um fenômeno quase em tempo real. A medição inteligente é um componente essencial no esforço para realizar as funcionalidades de EMS on-line na rede inteligente. Na integração dos veículos elétricos na rede elétrica, um medidor inteligente (SM) desempenha um papel importante na obtenção da informação em tempo quase real da energia demandada ou consumida. Assim, os medidores inteligentes tornam o processo de previsão de energia, como previsão do dia seguinte ou intradiário, e preços de energia mais viáveis. Esses são os papéis fundamentais dos medidores inteligentes na operação da rede inteligente. Para este fim, as tecnologias avançadas na medição inteligente são necessárias para acomodar as cargas dinâmicas de EV. Assim, a infraestrutura de medição avançada (AMI) é uma estrutura que abrange a medição e comunicação inteligentes em tempo real como uma única unidade.

O sistema AMI encapsula várias tecnologias e aplicações que são integrados como uma única unidade funcional. Eles incluem sistema de gerenciamento de dados de medidor (MDMS), rede de área residencial (HAN), medidores inteligentes, hardware de computador, software, redes avançadas de sensores e diferentes tecnologias de comunicação. As tecnologias de comunicação na estrutura da AMI podem ser sem fio ou sobre a linha de energia, que fornecem um link de comunicação bidirecional entre a rede da concessionária, medidores inteligentes, vários sensores, instalações de rede de computadores e sistemas de gerenciamento de veículos elétricos.

Figura 10 - Visão geral da infraestrutura de medição avançada no contexto V2G.



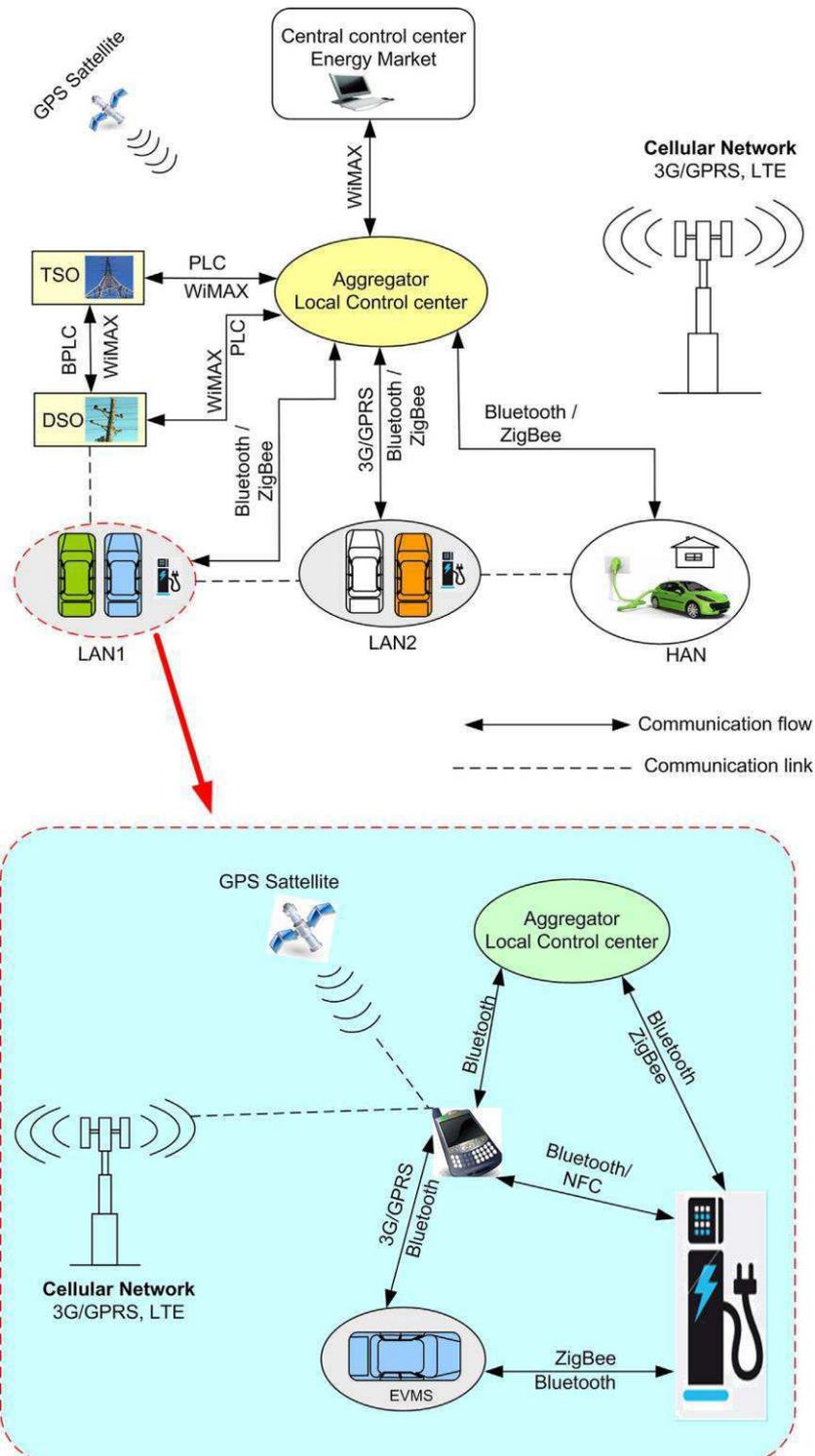
Fonte: (ELSEVIER, 2014).

As informações coletadas pela AMI podem ser usadas para implementar sistemas inteligentes de decisão e controle. Conclui-se que a implantação de veículos elétricos utilizando a plataforma AMI consegue reduzir o consumo de energia máxima em 36%. Ele desloca 54% da demanda de energia para o período fora de pico. Por isso, libera as tensões do sistema de energia durante a demanda de pico.

O agregador ou utilitário de EV pode acessar as informações de energia por meio do MDMS. Usando o portal da web do consumidor, a interface homem-máquina pode ser realizada entre o EVMS, o MDMS, o provedor de serviços públicos e o mercado de energia.

Para facilitar esse carregamento inteligente, também é utilizada a tecnologia de identificação RFID (Identificação por radiofrequência). Os proprietários dos veículos elétricos são envolvidos através da aplicação móvel na web para adquirir informações e ter controle sobre o carregamento, usando parâmetros como o estado desejado de carga, horários de chegada e partida e as opções de serviços para maximizar o lucro.

Figura 11 - Visão geral da infraestrutura de comunicação no contexto V2G.



5.4 MÉTODOS DE COORDENAÇÃO

Nos primeiros dias dos veículos elétricos, a carregamento era simples. Chega-se em casa, liga-se o carro diretamente em uma tomada ou na estação de carregamento e quando o carro estiver totalmente carregado, o carregamento para. Este método descoordenado de carregamento pode causar sobrecargas nos transformadores de distribuição e pode causar desequilíbrio entre as fases da rede. Assim, faz-se necessário o uso de métodos de controle de carga inteligente para maximizar os benefícios do uso dos veículos elétricos integrados a rede.

Maximizar os benefícios do uso dos veículos elétricos para acionistas e consumidores exigirá maneiras de influenciar a cobrança, de modo que o carregamento aconteça quando o estado de carga da rede esteja com baixa demanda e conseqüentemente os custos da energia na rede elétrica forem mais baixos. O carregamento nessas horas ajudará a maximizar a utilização dos recursos da rede, limitar a necessidade de atualizações do sistema de distribuição e evitar a necessidade de investir em capacidade adicional de geração de pico.

A abordagem mais direcionada é a imposição de preços variáveis de energia no tempo, em que os preços da eletricidade variam ao longo do dia, e assim, fornecem sinais no mercado que ajudam a transferir os períodos de pico do sistema para períodos de baixa demanda.

A forma mais simples de preços variáveis no tempo é a taxa de tempo de uso, que oferece preços diferentes para energia consumida durante períodos fixos do dia: preços reduzidos quando a demanda é tipicamente baixa e preços altos quando a demanda é tipicamente alta.

Enquanto as taxas de tempo de uso são uma boa maneira de começar a suportar a demanda dos veículos elétricos, ao se atingir níveis mais altos de penetração de veículos elétricos ou alta densidade de veículos elétricos em um único circuito, será exigido um gerenciamento mais inteligente das cargas de carregamento para evitar a criação de novos picos de demanda quando os veículos estão sendo carregados e para evitar impactos localizados em transformadores de vizinhança, segmentos de linha de distribuição ou transformadores de alimentação.

Um desses mecanismos regulatórios seria a precificação dinâmica, na qual os preços da eletricidade podem variar de hora em hora (ou com maior frequência) para refletir com mais precisão o custo em tempo real da geração e entrega de energia do que as taxas de tempo de uso. Com os preços dinâmicos, equipamentos de carregamento automatizado (incluindo medidores inteligentes e controladores de carga) podem ler e responder a preços que refletem as condições imediatas da rede.

Hoje, os motoristas de veículos elétricos podem usar sua estação de recarga doméstica, um aplicativo ou os sistemas de bordo do veículo para garantir que o carregamento ocorra durante os

horários de menor demanda, e utilize o método da taxa de tempo de uso ou da precificação dinâmica para gerenciar seu carregamento.

No futuro, nessa era emergente de ampla adoção de veículos elétricos e gerenciamento do carregamento dos veículos elétricos como um recurso de energia distribuída, sistemas de controle avançados serão necessários para permitir a visão de um método otimizado de precificação em tempo real e cobrança altamente flexível. Várias arquiteturas são possíveis, algumas já existem, enquanto outros são conceituais, mas cada um determinará quanto controle e que tipos de mercado serão possíveis com eles [16].

6 ESTUDO DE CASOS

As microgrids podem servir como plataformas ideais para a realização dos objetivos de uma smart grid, incluindo confiabilidade, integração de fontes renováveis, diversificação de fontes de energia e resposta flexível à demanda. Por causa de sua escala, eles facilitam abordagens sistemáticas, mas inovadoras, para resolver as necessidades de energia local e global [7].

As revisões de literaturas e numerosos projetos pilotos confirmam que a metodologia de *Vehicle to Grid* (V2G) pode ser integrada ao sistema elétrico de forma a proporcionar benefícios aos clientes de serviços públicos, acionistas, proprietários de veículos, sociedade e o sistema elétrico em geral.

6.1 LITERATURA I: ELECTRIC VEHICLES AS DISTRIBUTED ENERGY RESOURCES, ROCKY MOUNTAIN INSTITUTE, 2016.

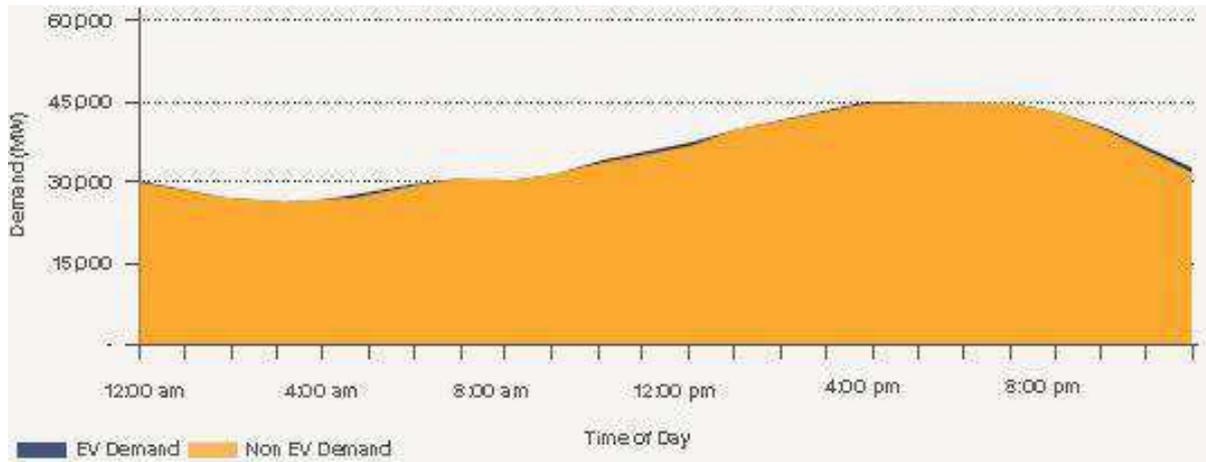
O estudo demonstra dentre outras informações, resultados de simulações de equalização da curva de carga para alguns estados Norte Americanos. Para cada estado, mostra-se a carga do sistema elétrico em um cenário atual e em um cenário com alta penetração de fontes renováveis e de veículos elétricos. Em seguida, analisa-se como o cenário de alta penetração pode afetar o perfil de carga do sistema quando o carregamento dos veículos elétricos é feito de forma descoordenada versus quando o carregamento é otimizado.

Para estimar a quantidade de energia solar e eólica instalada em 2031 no cenário de alta penetração, assumiu-se um caminho de crescimento linear em direção ao seu Padrão de Portfólio Renovável e em seguida mostra-se o efeito de cargas de veículos elétricos no perfil de demanda para enfatizar como a coordenação do carregamento pode ajudar a suavizar o perfil de carga.

Para o perfil de carregamento coordenado de cada estado, transferiu-se 90% da carga de carregamento dos veículos elétricos para os vales para representar uma coordenação ideal.

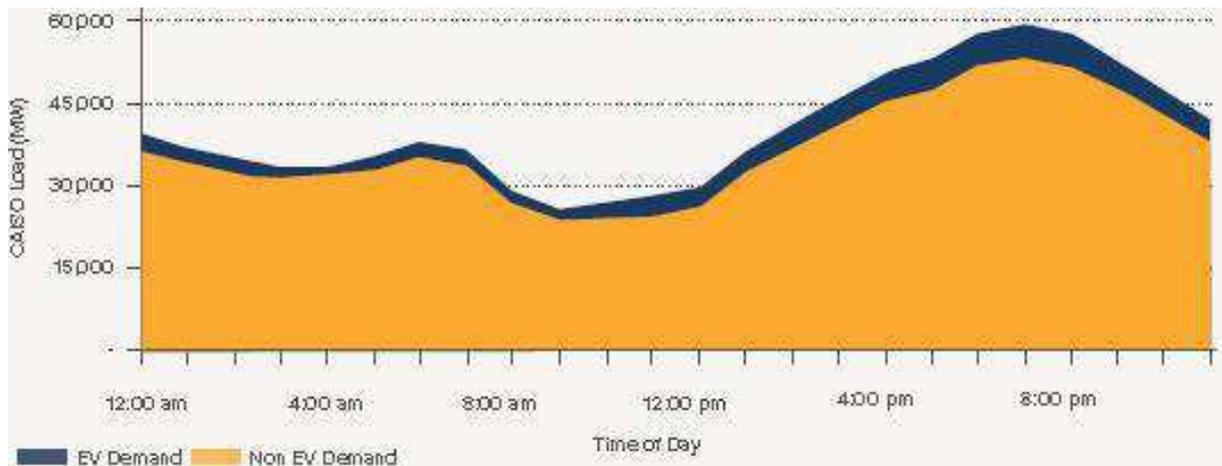
6.1.1 CALIFORNIA

Figura 12 - Perfil de demanda de carga atual (25/09/2015).



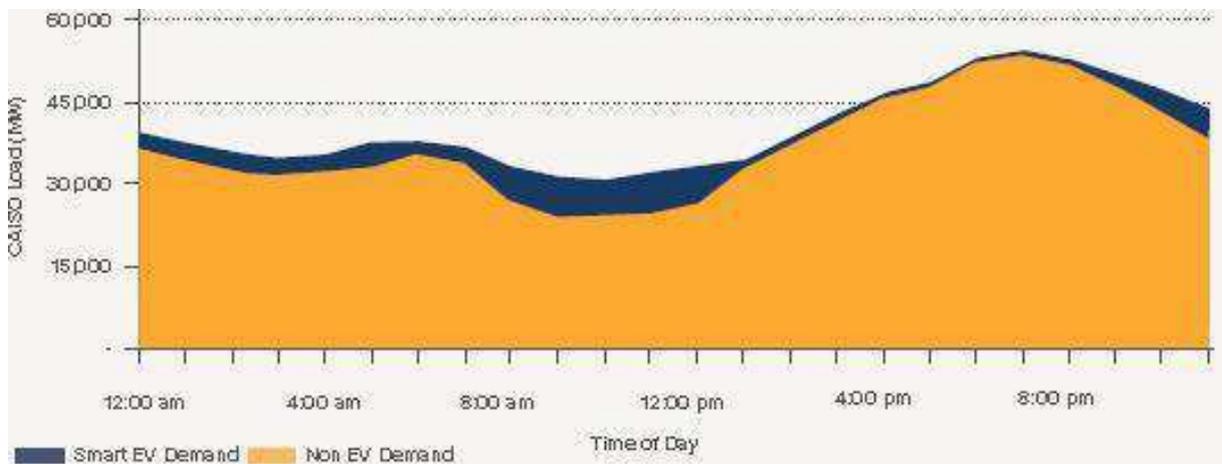
Fonte: (ROCKY MOUNTAIN INSTITUTE, 2016).

Figura 13 - Perfil de demanda de carga projetada para 2031 com 23% de penetração e carregamento descoordenado.



Fonte: (ROCKY MOUNTAIN INSTITUTE, 2016).

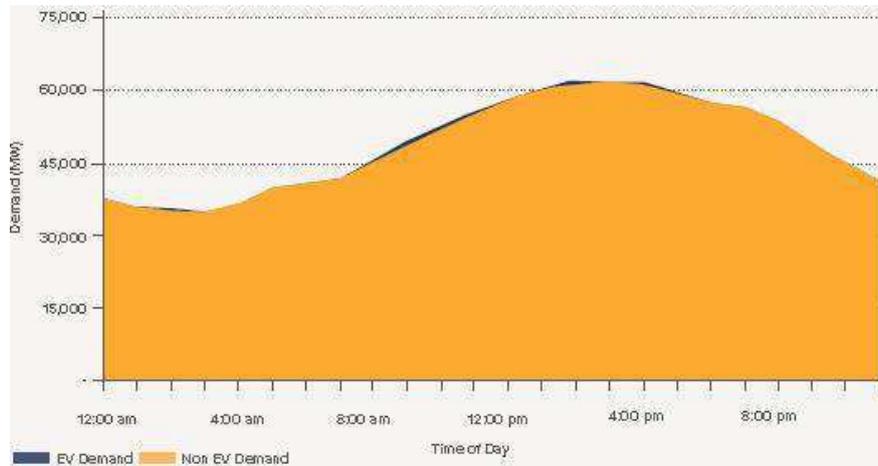
Figura 14 - Perfil de demanda de carga projetada para 2031 com 23% de penetração e carregamento coordenado.



Fonte: (ROCKY MOUNTAIN INSTITUTE, 2016).

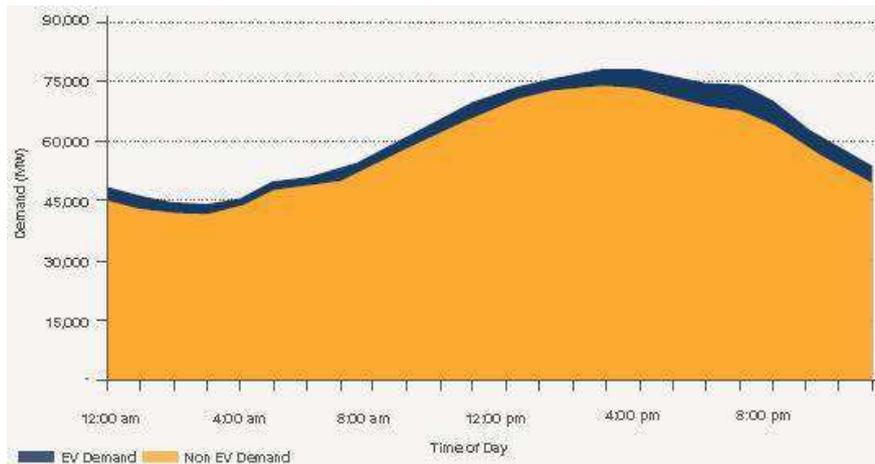
6.1.2 TEXAS

Figura 15 - Perfil de demanda de carga atual (25/09/2015).



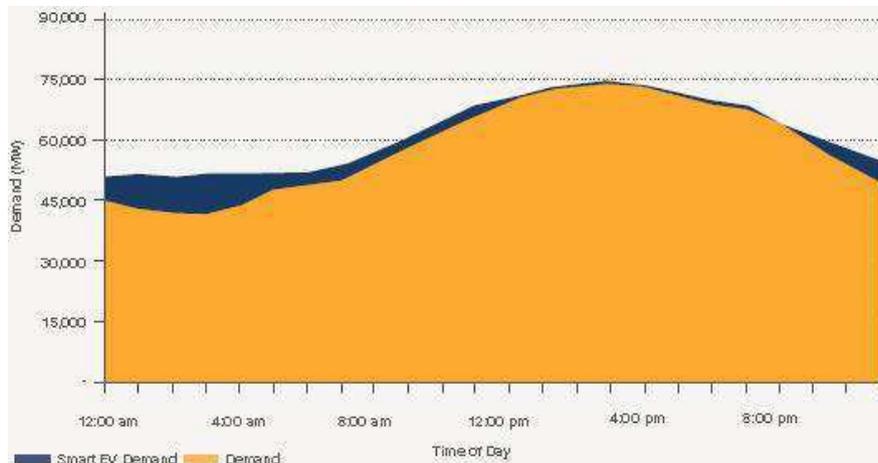
Fonte: (ROCKY MOUNTAIN INSTITUTE, 2016).

Figura 16 - Perfil de demanda de carga projetada para 2031 com 23% de penetração e carregamento descoordenado.



Fonte: (ROCKY MOUNTAIN INSTITUTE, 2016).

Figura 17 - Perfil de demanda de carga projetada para 2031 com 23% de penetração e carregamento coordenado.



Fonte: (ROCKY MOUNTAIN INSTITUTE, 2016).

6.1.3 RESULTADOS

A diferença das curvas de carga dos métodos descoordenados e coordenado de carregamento é clara. Deslocar a carga dos veículos elétricos para preencher os vales e reduzir os picos cria um perfil de carga mais uniforme em todo o sistema. Esta descoberta demonstra que o carregamento coordenado pode ajudar a otimizar o uso dos recursos da rede, evitando assim ter que se investir em novas infraestruturas para suprir a demanda de geração de pico e até integrar mais energia solar e eólica.

6.2 LITERATURA II: ELECTRIC VEHICLE AS DISTRIBUTED ENERGY

STORAGE RESOURCE FOR FUTURE SMART GRID, AHMAD ZAHEDI,
JAMES COOK UNIVERSITY, 2012.

O estudo demonstra resultados de simulações da suavização da curva de geração de energia, por meio da redução das variações de carga oriundas das fontes renováveis de energia (solar e eólica), quando possuírem um alto grau de penetração na rede.

Neste estudo, o sistema de energia é composto por um gerador de carga de base, um gerador solar fotovoltaico e gerador eólico. A curva de geração solar fotovoltaica é construída com base em um modelo matemático. Para fins de simulação, a curva de operação da energia eólica é simulada com a distribuição de Weibull. Essas duas unidades geradoras de eletricidade devem fornecer energia para uma carga diária típica com um período de pico. Como ambos os geradores são de natureza intermitente, este estudo examinou o papel potencial das baterias dos veículos elétricos para ajudar a rede.

Considerações:

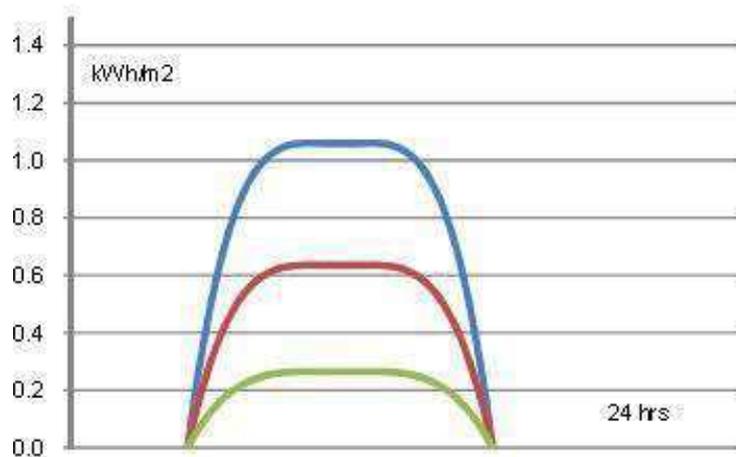
- O fornecimento total de eletricidade a partir da geração deve equilibrar a demanda total.
- Usar dispositivos de armazenamento de energia para equalizar a demanda e oferta de eletricidade é essencial.
- A carga base inclui fontes de energia de usinas movidas a combustíveis fósseis. Na simulação, a geração da carga base foi modelada como constante.

- A geração fotovoltaica depende fortemente da hora do dia, do nível da radiação solar e das condições meteorológicas. Neste estudo, o seguinte modelo empírico foi desenvolvido com base na operação real de energia solar fotovoltaica.

$$P_{pv} = aR^5 + bR^4 + cR^3 + dR^2 + eR^1 + f \quad (1)$$

Onde R representa a radiação solar.

Figura 18- Curva de geração fotovoltaica.



Fonte: (JAMES COOK UNIVERSITY, 2012).

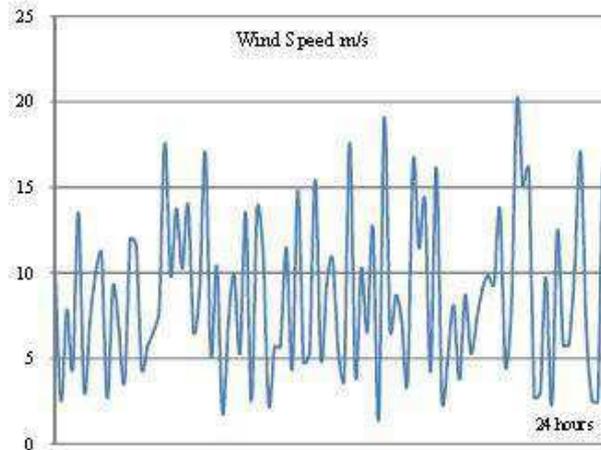
- Devido à variação da velocidade do vento, é difícil controlar ou prever a potência de saída das fontes eólicas. No entanto, desenvolver e usar um modelo operacional adequado para a turbina eólica é um fator importante para prever a produção de energia da turbina eólica durante sua operação. A potência de saída de uma turbina eólica é proporcional à velocidade do vento do local elevada à terceira potência.

$$P_w = \frac{1}{2} \rho A V^3 C_p \quad (2)$$

$$V = V_{med} / (-\ln(1 - X)) \pi \quad (3)$$

A equação 3 é utilizada para gerar dados de velocidade do vento para uma determinada média anual de velocidade. Esta equação fornece a velocidade do vento em termos da função de densidade de probabilidade “X”, que tem um valor entre 0 e 1. Nesta simulação, o valor de “X” é gerado aleatoriamente.

Figura 19 – Padrão de velocidade aleatória dos ventos.

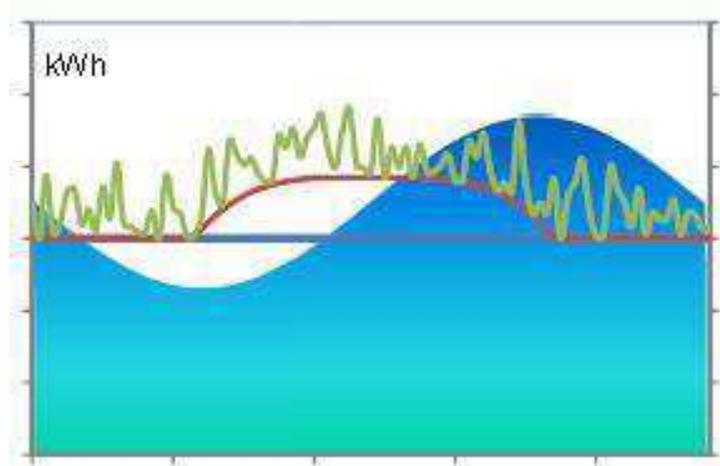


Fonte: (JAMES COOK UNIVERSITY, 2012).

6.2.1 SIMULAÇÕES

As figuras a seguir mostram os resultados das simulações. Na figura 19, a área azul representa a curva de carga típica diária, a linha reta representa uma geração de base constante, a linha vermelha representa a geração fotovoltaica, e a linha verde representa a geração eólica. Para melhor visualização da geração total de energia, empilhou-se os gráficos dos diversos tipos de geração.

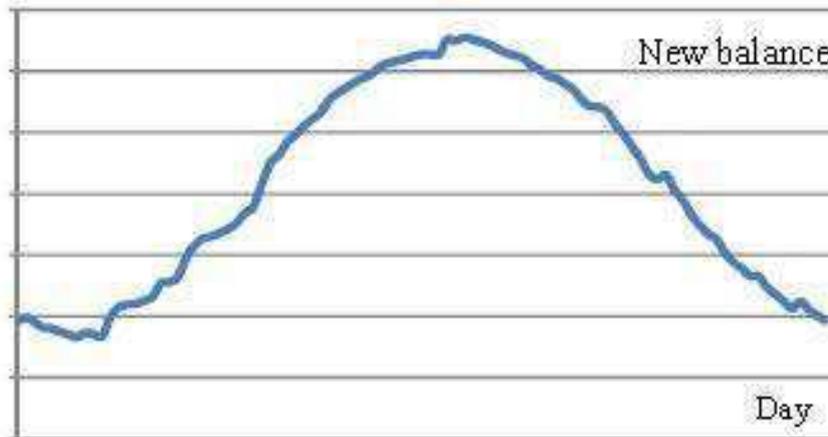
Figura 20 - Representação dos valores de geração e demanda do sistema sem a utilização do armazenamento de energia.



Fonte: (JAMES COOK UNIVERSITY, 2012).

Percebe-se que há momentos em que o sistema tem a capacidade de gerar mais energia do que o demandado, mas também há momentos em que a geração não consegue suprir a demanda, o que ocasionaria em desligamento de carga. Para contornar essa situação e aproveitar a energia excedente, simulou-se o uso do armazenamento de energia para melhor distribuir a carga de forma que ela responda e siga a curva da demanda exigida pelo sistema.

Figura 21 - Curva de carga despachada para a rede com a utilização do armazenamento de energia.



Fonte: (JAMES COOK UNIVERSITY, 2012).

6.2.2 RESULTADOS

Os resultados da simulação demonstram que o uso de veículos elétricos como armazenamento de energia distribuído, ajuda a equalizar a oferta e a demanda de energia, além de melhorar a qualidade da energia e a eficiência da geração elétrica. Assim, prevê-se que no futuro, as baterias dos veículos elétricos terão um importante papel para o sistema elétrico.

6.3 LITERATURA III: IEEE ELECTRIFICATION MAGAZINE, IEEE, SETEMBRO 2018.

Projeto de estudo: Mitsubishi electric Corporation Photovoltaic Integration with battery energy storage systems.

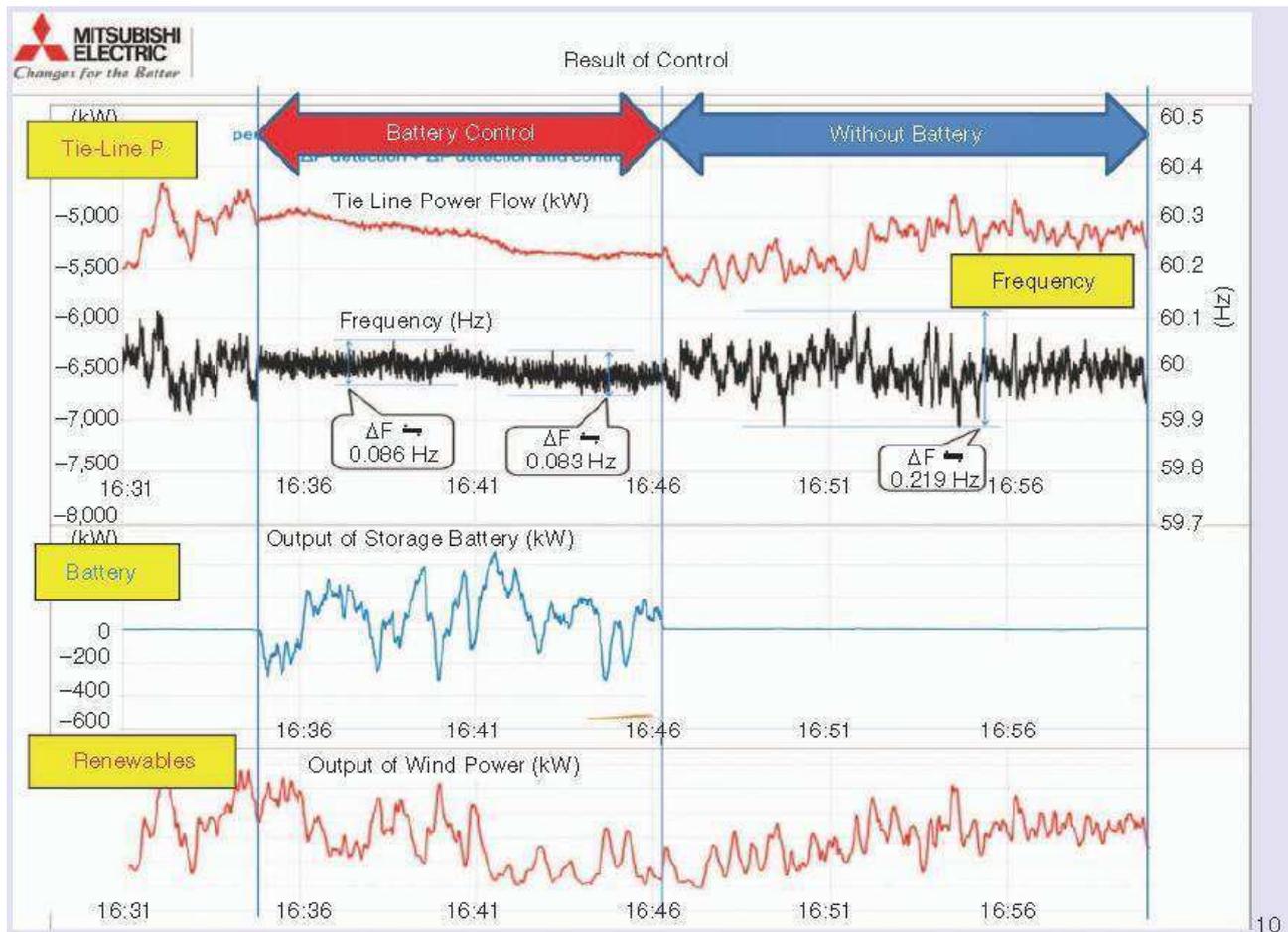
Como o Japão é um país insular que importa quase todos os seus combustíveis fósseis e, como resultado do acidente de Fukushima em 2011, o país adotou a energia renovável. Isso também se refletiu em seu compromisso de reduzir as emissões de gases de efeito estufa em 26% de 2013 a 2030. À medida que a geração renovável no Japão aumentou, as questões associadas à geração intermitente também foram introduzidas. O armazenamento de energia tem sido defendido como uma forma de reduzir os efeitos indesejáveis que vêm com as fontes renováveis, e isso foi visto em alguns dos primeiros projetos no Japão.

Um exemplo importante é o projeto de 2013, na Ilha Iki, de autoria e operado pela Kyushu Electric. A grande quantidade de geração renovável na ilha depende de uma bateria de íons de lítio de 4 MW / 1,6 MWh para suavizar as flutuações na frequência e no fluxo de energia que

acompanham a geração de energia renovável. O projeto utilizou baterias de íons de lítio, inversores e controladores. A ilha Iki usa um método de controle de feedback em conjunto com um controle feedforward para mitigar os distúrbios na frequência da rede causados pela geração renovável.

O controle de realimentação (feedback) é realizado medindo a frequência no ponto de interconexão, usando-a para desenvolver o sinal de controle para a bateria. O controle antecipado (FeedForward) mede as flutuações nas fontes de geração renovável da ilha, resultando em um sinal de controle que permite a correção antes que um erro na rede seja medido.

Figura 22 – Resultados do projeto na ilha Iki.



Fonte: (IEEE, 2018).

6.3.1 RESULTADOS

A figura mostra os dados do teste de controle na ilha Iki, e demonstra que, mesmo com a mudança da matriz de geração energética para fontes renováveis, o controle da bateria reduz a flutuação da frequência, mitigando o efeito da mudança da matriz energética da ilha.

6.4 VISÃO GERAL SOBRE AS LITERATURAS DE ARMAZENAMENTO DISTRIBUÍDO DE ENERGIA.

O papel dos veículos elétricos como mecanismo de armazenamento de energia tem sido amplamente explorado por múltiplos pesquisadores nos últimos anos.

Turton e Moura [20] detalham o potencial dos sistemas V2G no longo prazo (2100) usando a modelagem do sistema de energia. Além disso, eles debatem a mudança de paradigma em como os mercados de energia e mobilidade estão relacionados.

Farhoodnea et al. [21] analisa o impacto da alta penetração de veículos elétricos combinada com a energia renovável baseada no sistema de distribuição. Eles criam um simulador de modelo, cujos resultados mostram que a presença de grande quantidade de frota de veículos elétricos e de energias renováveis distribuídas pode causar problemas graves, como flutuações de frequência e tensão, distorção harmônica e redução do fator de potência.

Dang et al. [22] avalia o impacto da introdução de energia fotovoltaica e veículos elétricos na operação do transformador de potência dentro de um eco-distrito. Eles assumem a interação de um operador de sistema de gerenciamento de energia com recursos de V2G. Os resultados mostram que os veículos elétricos e a energia fotovoltaica têm um impacto importante nos períodos de sobrecarga, no entanto, mitigam os fluxos de energia e o pico de potência com a operação do sistema de gerenciamento.

Haidar et al. [23] avalia o impacto dos veículos elétricos integrados na rede em futuras redes inteligentes. Seus resultados mostram que a penetração de veículos elétricos nas redes reduz o custo da energia a ser cobrado. Uma conclusão geral desta literatura recente é que os veículos elétricos podem fornecer serviços de armazenamento de energia para as redes, incluindo redes inteligentes. Atualmente, existem alguns experimentos em todo o mundo testando a viabilidade técnica dessa interação (o projeto V2G em Delaware, o Projeto Nikolai na Dinamarca, a Ilha de Jeju na Coreia, o exército dos EUA na Califórnia, etc.).

Outros trabalhos analisam o papel dos veículos elétricos como um sistema de armazenamento distribuído de energia em regiões isoladas.

A pesquisa [24] estuda a ilha de São Miguel no arquipélago dos Açores e combina a introdução de usinas geotérmicas e fontes de energia eólica com um sistema de gerenciamento de rede. No cenário mais favorável (5900 EV, 30% de energia geotérmica adicional e 10 MW de energia eólica), o artigo conclui que 52 milhões de euros podem ser economizados, o que poderia permitir a introdução de 64% de geração de energia renovável nos dias de semana e 70% de finais de semana.

O trabalho [25] analisa a ilha Samsøe (Dinamarca). Eles atingem 100% da produção de eletricidade renovável, e assim, o veículo elétrico pode ser considerado como um veículo de emissões zero, reduzindo drasticamente o consumo de combustível fóssil e as importações de petróleo na ilha.

Uma conclusão geral de todos esses trabalhos mostra a capacidade dos veículos elétricos de integrar grandes quantidades de recursos de fontes renováveis em sistemas de energia isolados.

6.5 LITERATURA IV: SMART GRID – THE NEW AND IMPROVED POWER GRID: A SURVEY, IEEE, 2012.

Todos os sistemas de armazenamento distribuído de energia necessitam de uma metodologia de controle para a coordenação do fluxo de carga da rede. Devido ao aumento da frota de veículos elétricos e devido a sua distribuição geográfica, metodologias de coordenação avançada estão sendo exploradas por múltiplos pesquisadores nos últimos anos.

Até agora, os pesquisadores se concentraram na conexão entre as baterias e a rede elétrica [42], [32], a validação do sistema V2G [26], os serviços viáveis [43], seus benefícios ambientais e econômicos [37], seus novos mercados [28], [27] e integração de sistemas [33].

Clement et al. [34] mostra que o carregamento coordenado dos veículos elétricos pode melhorar as perdas de energia e os desvios de tensão, diminuindo a potência de pico.

Hutson et al. [38] estuda o problema da coordenação e usa um algoritmo de otimização por enxame de partículas binárias para procurar soluções ótimas que maximizem os lucros para os proprietários de veículos enquanto satisfaçam as restrições dos proprietários de sistemas e veículos. Observe que a otimização por enxame de partículas é um algoritmo de otimização estocástica iterativa. A busca de soluções é realizada de forma estocástica, permitindo que o algoritmo supere problemas não-lineares, não-diferenciáveis e descontínuos.

Os modelos Markov de estado finito também têm sido usados como uma abordagem eficaz para caracterizar a estrutura de correlação da geração de energia renovável [35], [40]. Como se pode não observar completamente o estado de transição do sistema, modelos ocultos de Markov também são usados na modelagem de sistemas de energia renovável [30], [31], [39], [41].

Considerando que, na prática, o padrão de energia dos recursos renováveis pode não seguir qualquer distribuição simples ou processo de Markov, Fang et al. [36] usou ainda a técnica de aprendizado on-line não estocástico para aprender a evolução do padrão de energia da fonte de energia renovável.

7 CONCLUSÃO

Neste trabalho foi realizado o estudo do uso dos veículos elétricos como armazenamento distribuído de energia, que visou demonstrar seus benefícios para o modo operante do sistema elétrico. Foram feitas pesquisas em artigos científicos publicados sobre o tema e com sucesso foram feitas análises e demonstrações dos resultados obtidos por eles.

O trabalho conseguiu atingir seu objetivo por expor com êxito o tema e suas consequências.

Foi demonstrado que o uso de veículos elétricos como armazenamento distribuído de energia melhora significativamente os parâmetros da rede, melhorando a qualidade e a eficiência energética do sistema.

Nos artigos apresentados podemos observar um corte nos valores de pico de demanda e preenchimento dos vales, o amortecimento das variações de carga da geração de energia oriunda das fontes renováveis, o rastreamento e equalização das curvas da oferta e demanda de carga, e a regulação da variação de frequência.

Este novo conceito faz o proveito das sinergias presentes entre o carregamento inteligente dos veículos elétricos e as necessidades operacionais da rede, de forma a maximizar os benefícios, apresentando-se como uma solução simples e eficaz.

Por ser um tema inovador, bastante extenso e complexo, o escopo abordado neste trabalho serviu de forma satisfatória como o início para um estudo aprofundado do tema. Como possíveis trabalhos futuros, espera-se que a pesquisa seja levada em diante, não só pelo autor do artigo, mas pela sociedade científica brasileira de interesse no tema, principalmente tópicos como métodos de coordenação avançadas e suas simulações, para tornar o sistema cada vez mais confiável, eficiente, autônomo e por fim, como resultado, ser aplicável com grande sucesso à sociedade em uma escala global.

REFERENCIAS

- [1] Ministério de minas e energia (MME). Relatório Smart Grid. 2010.
- [2] LPS USP. Carro Elétrico. Disponível em: <<http://www.lps.usp.br/lps/arquivos/conteudo/grad/dwnld/CarroEletrico2005.pdf>>. Acesso em: 20 nov. 2018.
- [3] UFRJ. Smart Grid. Disponível em: <https://www.gta.ufrj.br/ensino/eel878/redes1-2016-1/16_1/smartgrid/>. Acesso em: 22 nov. 2018.
- [4] N. Framework. Roadmap for smart grid interoperability standards, release 2.0 (2012), NIST Special Publication, vol. 1108.
- [5] International Energy Agency (IEA). Techonology roadmap - smart grids. Disponível em: <https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/smartgrids_roadmap.pdf>. Acesso em: 20 nov. 2018.
- [6] IEEE Electrification Magazine, IEEE, Setembro 2018.
- [7] Public Utilities Fortnightly. The Case for Smart Grid, Funding a new infrastructure in an age of uncertainty. Disponível em: <<http://www.ourenergypolicy.org/wp-content/uploads/2015/06/20150604091846-Amin-Materials-PUF-1503.pdf>>. Acesso em: 27 nov. 2018.
- [8] Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). Micro e minigeração distribuída. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/biblioteca/downloads/livros/cadernotematico-microeminigeracao.pdf>>. Acesso em: 28 nov. 2018.
- [9] UFRJ. Análise de viabilidade econômica da implantação de sistemas de baterias de lítio-íon em unidades consumidoras conectadas na média tensão. Disponível em: <<http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10024819.pdf>>. Acesso em: 27 nov. 2018.
- [10] PINI. Sistemas de armazenamento de energia: tendências para o setor elétrico. Disponível em: <<http://blogs.pini.com.br/posts/tecnologia-sustentabilidade/sistemas-de-armazenamento-de-energia-tendencias-para-o-setor-eletrico-366246-1.aspx>>. Acesso em 02 dez. 2018.
- [11] International Energy Agency (IEA). Technology Roadmap: Energy storage. Disponível em: <<https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/TechnologyRoadmapEnergyStorage.pdf>>. Acesso em 02 dez. 2018.
- [12] Ahmad Zahedi, James Cook University. Electric Vehicle as distributed energy storage resource for future smart grid. 2012.
- [13] Ergon. Benefits of electric vehicles. Disponível em: <<https://www.ergon.com.au/network/smarter-energy/electric-vehicles/benefits-of-electric-vehicles>>. Acesso em: 03 dez. 2018.
- [14] AC Propulsion. Electric Drive Vehicles: A Huge New Distributed Energy Resource. 2012.
- [15] Sustainability. Impact of Electric Vehicles as Distributed Energy Storage in Isolated Systems: The Case of Tenerife. 2015.
- [16] Rocky Mountain Institute. Electric vehicles as distributed energy resources. Disponível em: <http://www.rmi.org/pdf_evs_as_DERs.*>. Acesso em: 03 dez. 2018.

- [17] BNDES. Veículos elétricos: aspectos básicos, perspectivas e oportunidades. Disponível em: <https://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes_pt/Galerias/Arquivos/conhecimento/bnset/set32108.pdf>. Acesso em 05 dez. 2018.
- [18] IEEE. Battery, Ultracapacitor, Fuel Cell, and Hybrid Energy Storage Systems for Electric, Hybrid Electric, Fuel Cell, and Plug-In Hybrid Electric Vehicles: State of the Art. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/5446335>>. Acesso em 05 dez. 2018.
- [19] IEEE. Smart Grid – The New and Improved Power Grid: A Survey. 2012.
- [20] Turton, H.; Moura, F. Vehicle to grid systems for sustainable development: An integrated energy analysis. Technol. 2008.
- [21] Farhoodnea, M.; Mohamed, A.; Shareef, H.; Zayandehrodi, H. Power quality impacts of high-penetration electric vehicle stations on a renewable energy-based generators on power distribution systems. Measurement 2013.
- [22] Dang, X.L.; Petit, M.; Codani, P. Transformer operation conditions under introduction of PV and EVs in an eco-district. In Proceedings of the 2015 IEEE Power & Energy Society General Meeting.
- [23] Haidar, A.M.A.; Muttaqi, K.M.; Sutanto, D. Technical challenges for electric power industries due to grid-integrated electric vehicles in low voltage distributions: A review. Energy Convers. Manag. 2014.
- [24] Camus, C.; Farias, T. The electric vehicles as a mean to reduce CO₂ emissions and energy cost in isolated regions. The Sao Miguel (Azores) case study. Energy Policy 2012.
- [25] Blyth, P.L. Electric Cars on the 100% Renewable Energy Island of Samsø, February 2011. Disponível em: <http://projekter.aau.dk/projekter/files/52872570/SEPM4_2011_8.pdf>. Acesso em: 10 dez. 2018.
- [26] W. Kempton and S. E. Letendre. Electric vehicles as a new power source for electric utilities.
- [27] W. Kempton and J. Tomić. Vehicle-to-grid power fundamentals: Calculating capacity and net revenue. Journal of Power Sources.
- [28] W. Kempton and J. Tomić. Vehicle-to-grid power implementation: From stabilizing the grid to supporting large-scale renewable energy. Journal of Power Sources.
- [29] W. Kempton, J. Tomić, S. Letendre, A. Brooks, and T. Lipman. Vehicle-to-grid power: Battery, hybrid, and fuel cell vehicles as resources for distributed electric power in California. Prepared for California Air Resources Board and the California Environmental Protection Agency, 2001.
- [30] S. Bu, F. R. Yu, and P. X. Liu. Stochastic unit commitment in smart grid communications. IEEE INFOCOM 2011 Workshop on Green Communications and Networking, pages 307–312, 2011.
- [31] S. Bu, F. R. Yu, P. X. Liu, and P. Zhang. Distributed scheduling in smart grid communications with dynamic power demands and intermittent renewable energy resources. IEEE ICC'11 Workshop on Smart Grid Communications, 2011.
- [32] J. Tomić and W. Kempton. Using fleets of electric-drive vehicles for grid support. Journal of Power Sources.
- [33] WINMEC, UCLA. WINSmartEV - Electric Vehicle (EV) Integration into Smart Grid with UCLA WINSmartGrid Technology. Disponível em: <<http://www.winmec.ucla.edu/ev.asp>>. Acesso em: 12 dez. 2018.
- [34] K. Clement, E. Haesen, and J. Driesen. Coordinated charging of multiple plug-in hybrid electric vehicles in residential distribution grids. IEEE PSCE'09, pages 1–7.
- [35] F. Y. Ettoumi, H. Sauvageot, and A. Adane. Statistical bivariate modelling of wind using first-order Markov chain and Weibull distribution. Renewable Energy, 2003.
- [36] X. Fang, D. Yang, and G. Xue. Online strategizing distributed renewable energy resource access in islanded microgrids. IEEE Globecom'11, 2011.
- [37] U. of Delaware. V2G technology. Disponível em: <<http://www.udel.edu/V2G/>>. Acesso em: 14 dez. 2018.

- [38] C. Hutson, G. K. Venayagamoorthy, and K. A. Corzine. Intelligent scheduling of hybrid and electric vehicle storage capacity in a parking lot for profit maximization in grid power transactions. *IEEE Energy2030*, pages 1–8, 2008.
- [39] J. Mur-Amada and A. Bayod-Rujula. Wind power variability model part II - probabilistic power flow. 9th International Conference Electrical Power Quality and Utilisation, 2007.
- [40] D. Niyato, E. Hossain, and A. Fallahi. Sleep and wakeup strategies in solar-powered wireless sensor/mesh networks: Performance analysis and optimization. *IEEE Trans. Mobile Computing*, 2007.
- [41] T. Soubdhan, R. Emilion, and R. Calif. Classification of daily solar radiation distributions using a mixture of Dirichlet distributions. *Solar Energy*, 2009.
- [42] W. Kempton, J. Tomić, S. Letendre, A. Brooks, and T. Lipman. Vehicle-to-grid power: Battery, hybrid, and fuel cell vehicles as resources for distributed electric power in California. Prepared for California Air Resources Board and the California Environmental Protection Agency, 2001.
- [43] J. Tomić and W. Kempton. Using fleets of electric-drive vehicles for grid support. *Journal of Power Sources*, 2007.
- [44] Luiz, Fernando Cesar, (2010). Smart Grid News. Disponível em: <<http://smartgridnews.com.br/o-que-e-smart-grid/>>. Acessado em 15 dez 2018.
- [45] IEEE. Review of the Impact of Vehicle-to-Grid Technologies on Distribution Systems and Utility Interfaces. 2013.
- [46] ELSEVIER. Electric vehicles and smart grid interaction: A review on vehicle to grid and renewable energy sources integration. 2014.
- [47] LGI Consulting. EV-smart grid integration. Jan. 2015.
- [48] Depositphotos. Conceito Smart City e Smart Grid. <<https://br.depositphotos.com/107734780/stock-illustration-smart-city-and-smart-grid.html>>. Acesso em: 20 jan. 2019.
- [49] Berkeley Lab. About Microgrids. Disponível em: <<https://building-microgrid.lbl.gov/about-microgrids>>. Acesso em: 20 jan. 2019.