

# REVISÃO DE SISTEMAS DE CARREGAMENTO PARA VEÍCULOS ELÉTRICOS UTILIZANDO SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

**Tiane Do Nascimento Vargas** (Unicamp) - tiane.donascimentoavargas@gmail.com

**Guilherme Cerbatto Schmitt Prym** (UNICAMP) - guilhermeprym@gmail.com

**Marcelo Gradella Villalva** (UNICAMP) - villalva@unicamp.br

**Gilson Mario Vieira Machado** (Instituição - a informar) - gilson.machado.cc@gmail.com

**Gilson Mario Vieira Machado** (UNICAMP) - gilson.machado.ee@gmail.com

## **Resumo:**

*Nos últimos anos os veículos elétricos (VE's) voltaram a ser destaque no mercado automobilístico, principalmente, devido a questões ambientais, pois há a necessidade da diminuição da emissão de poluentes na atmosfera, principalmente a diminuição do CO<sub>2</sub>. Neste contexto, tem-se buscado formas de tornar os VE's totalmente livres de poluição e uma maneira de atingir este objetivo é por meio da implementação de sistemas fotovoltaicos (FV) para o carregamento das baterias destes veículos. Desse modo, este documento apresenta uma revisão dos conceitos sobre o carregamento das baterias dos VE's empregando FV abordando a situação brasileira no mercado dos VE's e as perspectivas para o futuro.*

**Palavras-chave:** *Carregamento de VE's, Sistemas Fotovoltaicos, Situação Brasileira*

**Área temática:** *Mercado, economia, política e aspectos sociais*

**Subárea temática:** *Impactos sociais, econômicos e ambientais de energias renováveis*

# REVISÃO DE SISTEMAS DE CARREGAMENTO PARA VEÍCULOS ELÉTRICOS UTILIZANDO SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

**Tiane do Nascimento Vargas** – tiane.donascimento.vargas@gmail.com

**Gilson Mario Vieira Machado** – gilson.machado.ee@gmail.com

**Guilherme Cerbatto Schmitt Prym** – guilhermeprym@gmail.com

**Marcelo Gradella Villalva** – villalva@unicamp.br

Universidade Estadual de Campinas (Unicamp), Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação (FEEC)

**Resumo.** Nos últimos anos os veículos elétricos (VE's) voltaram a ser destaque no mercado automobilístico, principalmente, devido a questões ambientais, pois há a necessidade da diminuição da emissão de poluentes na atmosfera, principalmente a diminuição do CO<sub>2</sub>. Neste contexto, tem-se buscado formas de tornar os VE's totalmente livres de poluição e uma maneira de atingir este objetivo é por meio da implementação de sistemas fotovoltaicos (FV) para o carregamento das baterias destes veículos. Desse modo, este documento apresenta uma revisão dos conceitos sobre o carregamento das baterias dos VE's empregando FV abordando a situação brasileira no mercado dos VE's e as perspectivas para o futuro.

**Palavras-chave:** Carregamento de VE's, Sistemas Fotovoltaicos, Situação Brasileira

## 1. INTRODUÇÃO

Os VE's são sinônimo de inovação, contudo, este tipo de veículo possui uma longa história, com os seus primeiros exemplares datados em meados do século XIX na França e Inglaterra (Moreira, 2013). Com o desenvolvimento das estradas começou-se a exigir maior autonomia dos veículos e juntamente com a melhoria e barateamento dos combustíveis fosseis como a gasolina, os veículos elétricos praticamente desaparecerem em meados de 1930 (Ferreira, 2018). Porém, a partir de 1970 com a crise do petróleo e também devido as questões ambientais os carros elétricos voltaram a ter destaque na indústria (Biya, 2019).

Nos últimos anos, o setor de geração de energia elétrica vem experimentando mudanças significativas, principalmente na geração através dos recursos energéticos distribuídos (Vargas *et al.*, 2019). Tais mudanças juntamente com os incentivos governamentais tornaram os VE's e os veículos híbridos-elétricos uma alternativa para a redução dos gases poluentes emitidos para a atmosfera (Zanng *et al.*, 2019). Contudo, para que esses veículos realmente contribuam com a redução da poluição, a fonte de energia elétrica que carrega as baterias desses veículos deve ser uma fonte renovável, como a solar fotovoltaica, por exemplo.

A geração de energia elétrica solar fotovoltaica está aumentando a sua participação na matriz energética mundial, devido principalmente a redução nos custos de produção desta energia além dos benefícios que está pode oferecer para a sociedade (Vargas *et al.*, 2019). Logo, pode-se utilizar essa matriz de energia elétrica como uma solução para a deficiência de autonomia dos VE's, utilizando-a para o carregamento das baterias dos VE's em longos percursos, através da construção de eletropostos em estradas permitindo maior autonomia aos veículos elétricos (Silva, 2015).

## 2. VEÍCULOS ELÉTRICOS

A utilização dos VE's em grande escala apresenta alguns desafios. O primeiro desafio é a limitação proporcionada pelas baterias. Atualmente, mesmo com suas baterias completamente carregadas, estes veículos têm autonomia reduzida quando comparado com veículos a combustão. Outro desafio a se considerar é o tempo de carregamento das baterias desse tipo de veículo, que é maior que o tempo necessário para abastecer veículos a combustão.

Atualmente, existem três possibilidades para o carregamento das baterias dos VE's: o carregamento lento, semirrápido e rápido. O carregamento lento dura cerca de 6 a 8 horas e é recomendado para ser realizado em residências e empresas. Já o tipo semirrápido tem duração de 1 a 2 horas e é recomendado para espaços públicos, como shopping centers e vias públicas. Em contrapartida, o carregamento rápido apresenta o tempo estimado de 30 minutos para atingir cerca de 80% da carga e cerca de 1 hora para atingir 100% da carga e é recomendado para o uso de eletropostos em rodovias, pontos de taxi e espaços públicos (CPFL, 2019).

A Tab.1 apresenta informações sobre os tipos de recarga do Corredor Elétrico Sul do Brasil disponíveis no estado de Santa Catarina. Os dados apresentados foram obtidos através de uma missão coordenada pela ANEEL, estes dados têm como objetivo avaliar o desempenho dos equipamentos de recarga e a experiência do usuário. Além disso, estes resultados serão utilizados como referência para o desenvolvimento da malha de pontos de recarga de baterias para os VE brasileiros (Aneel, 2019).

Tabela 1: Tipos de recargas disponíveis no Corredor Elétrico do Sul do Brasil no estado de Santa Catarina

Posto	Tipo de Carga
Angeloni-Joinville(SC)	Semirrápida: 1x Tipo 2 trifásico 220V-32 A 1x NBR14136-220V-20A
CERTI-UFSC Florianópolis SC	Semirrápida: 1x Tipo 2 trifásico 220V-32 A 1x NBR14136-220V-20A
Sinuelo-Araquaria (SC)	Rápida: 1x CHAde Mo 50-500V-125A 1Xccs 50-500V-125A 1x Tipo trifásico 220V-63 A
Angeloni-Blumenau (SC)	Semirrápida: 1x Tipo 2 trifásico 220V-32 A 1x NBR14136-220V-20A
Angeloni- Porto Belo (SC)	Rápida: 1x CHAde Mo 50-500V-125A 1Xccs 50-500V-125A 1x Tipo trifásico 220V-63 A
Ipiranga Ilha Bela-Florianópolis (SC)	Rápida: 1x CHAde Mo 50-500V-125A 1Xccs 50-500V-125A 1x Tipo trifásico 220V-63 A

Fonte: (Aneel, 2019)

Hoje, a grande maioria dos VE's utiliza a rede elétrica da concessionária para realizar o carregamento de suas baterias (Ferreira, 2018), assim, mesmo que o motor elétrico não emita poluentes, em caso do uso da rede elétrica tradicional se a matriz energética utilizada para gerar a energia emitir poluentes, o VE deixará de ser zero emissões poluentes. Em face a esse problema, para que de fato os VE sejam livres da emissão de carbono, começou-se a utilizar a energia solar fotovoltaica para a construção de eletropostos, permitindo aos usuários realizar o carregamento de suas baterias com energia elétrica de uma fonte limpa. Além disso, com o barateamento energia solar fotovoltaica, os usuários podem instalar módulos fotovoltaicos em suas residências, utilizando essa matriz energética tanto para o carregamento de seus veículos quanto para alimentar suas residências.

### 3. SISTEMAS FOTOVOLTAICOS E VEÍCULOS ELÉTRICOS

Durante o processo de carregamento os VE's são vistos pelo sistema de distribuição como uma carga, em outras palavras, os VE's drenam dos sistemas de potência uma corrente alta. Esse comportamento dos VE's gera instabilidades no sistema de potência, além de ocasionar em maiores custos para os consumidores. Uma maneira de minimizar estes impactos gerados pelos VE's é através do uso de sistemas FV para o carregamento das baterias dos VE's.

Para utilizar sistemas FV para a recarga das baterias dos VE's, deve-se levar em consideração alguns fatores, como por exemplo como as células fotovoltaicas são construídas. Atualmente, no mercado de células fotovoltaicas encontram-se diferentes tecnologias de módulos fotovoltaicos, sendo que as células cristalinas do tipo policristalinas e monocristalinas são as mais conhecidas. Os módulos do tipo policristalino praticamente dominaram o mercado durante muito tempo, entretanto, nos últimos anos devido à redução nos custos da produção dos módulos do tipo monocristalino e a sua melhor eficiência quando comparado aos módulos policristalinos, estes aumentaram a sua participação no mercado em relação as células do tipo policristalinas (Villalva, 2019).

Estes módulos são então conectados em série formando as chamadas *strings*, para que a tensão CC necessária para realizar o carregamento das baterias dos VE seja obtida. Além da conexão em série, as várias *strings* são conectadas em paralelo formando os *arrays*, para que a potência no barramento necessária para a recarga seja atingida. Outro importante elemento a se levar em consideração nesses sistemas é o controlador de carga (Cheddadi *et al.*,2018). Dentre os controladores de cargas para a recarga dos VE's um dos mais empregados em sistema FV-VE é o controlador de carga bidirecional, pois esse dispositivo permite o controle total do fluxo de potência, tornando-se indispensável para os casos em que ocorre a transferência da energia das baterias do VE para a rede elétrica, como por exemplo em sistemas que empregam o conceito V2G (*Vehicle-to-grid*) (Cheddadi *et al.*,2018).

O inversor bidirecional também é um elemento importante para o funcionamento dos sistemas de carregamento dos VE's . Esse dispositivo atua de acordo com fluxo de potência, funcionando como conversor CC-CA operando como um inversor quando a rede requer energia do barramento CC, e atuando como conversor CA-CC operando no modo retificador quando o link CC é requerido pela rede (Ramkumar *et al.*,2019). Existem inúmeras topologias de inversores bidirecionais sendo a divisão mais básica entre esses conversores: os conversores isolados e não isolados. Ao se falar em sistemas de carregamentos de VE conectada à rede utilizando sistemas FV os conversores isolados são mais

utilizados, pois esses conversores operam em níveis altos de tensão e fornecem isolamento galvânico entre a corrente CA e CC (Pengchebg *et al.*, 2018).

Outra consideração muito importante a se levar em conta na hora de construir um sistema FV para o carregamento de baterias de VE's é a natureza intermitente da matriz energética solar (Neta, 2014). Esta característica torna a geração de energia elétrica através dessa fonte completamente dependente das condições climáticas. Desse modo, as variações na temperatura e irradiância solar interfere diretamente nas curvas I-V e P-V, as quais caracterizam os módulos fotovoltaicos, tornando desse modo o ponto de máxima potência dos módulos variáveis. Logo, para sistemas de carregamento de VE é de suma importância que o conversor CC-CC possua a função de SPMP - Seguidor do ponto de máxima potência (Shawu *et al.*, 2017).

Por mais que sejam tomadas medidas para mitigar o problema da dependência das condições climáticas desse tipo de sistema, ele ainda se faz presente. Uma maneira de se implementar o uso de sistemas FV para o carregamento de baterias dos VE's e contornar o problema gerado pela intermitência de sua matriz energética é a partir da combinação entre a geração solar fotovoltaica e a rede elétrica, ou o uso de outra geração distribuída (Neta, 2014).

Atualmente existem dois tipos de sistemas FV-VE de recarga: FV conectado à rede elétrica ('*on-grid*') e FV autônomo ('*off-grid*' ou '*PV-standalone*'). Ao empregar um sistema de carregamento com conexão à rede o sistema torna-se mais flexível possibilitando que na ausência do VE a energia gerada não consumida possa ser injetada na rede da concessionária de energia elétrica (Gamboa, 2010). A Fig. 1 apresenta uma topologia de um sistema de carregamento de VE conectado *on grid*, constituído de um sistema fotovoltaico, um inversor CA-CC, controlador de carga bidirecional e um conversor (Bhatti, 2016).

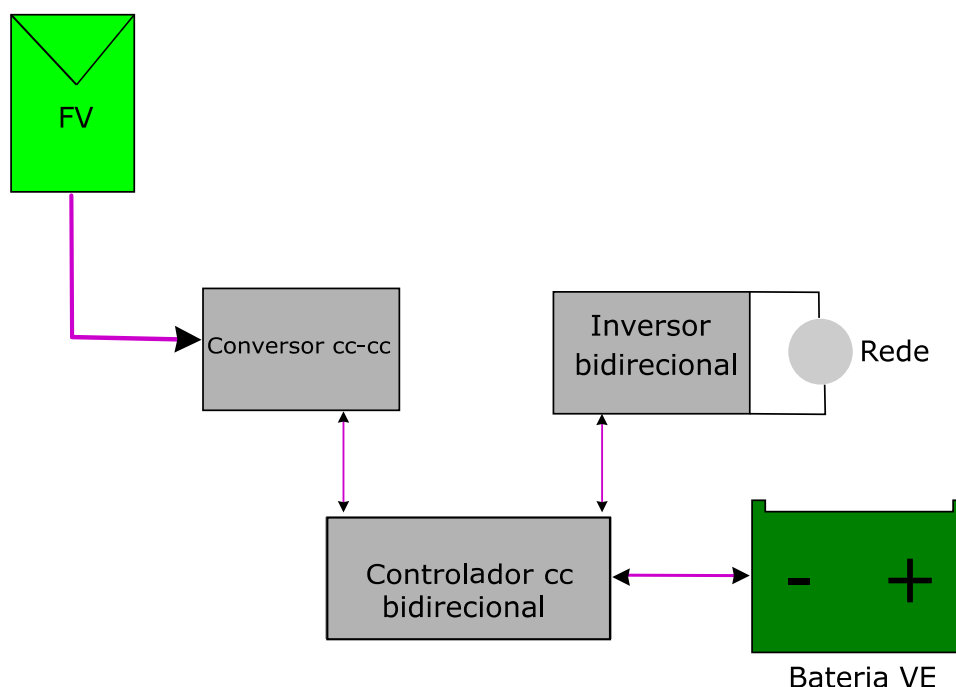


Figura 1- Sistema FV de carregamento de VE conectado à rede

Fonte: Adaptado de RAMKUMAR *et al* (2019)

Ao se pensar em locais afastados os sistemas autônomos solares fotovoltaicos apresentam-se como uma boa alternativa para o carregamento de VE's, além disso, já existem carregadores autônomos híbridos os quais permitem o uso de fontes de energia secundária como por exemplo a célula combustível e bateria auxiliar. No caso de carregamento autônomo utiliza-se banco de baterias para ao armazenamento da energia gerada durante os períodos de sol para que possa ser utilizada quando está fonte não estiver disponível. Um benefício do uso de sistemas autônomos para o carregamento é a suavizar as mudanças repentinas de energia geradas pela energia solar fotovoltaica (Chiang, 2009). A Fig.2 apresenta o esquemático de sistema autônomo de carregamento de baterias de VE. Enfatiza-se que neste caso o principal componente do sistema de carregamento é o controlador de carga, constituído por um conversor CC-CC com capacidade de rastreamento de SPMP (Bhatti, 2016).

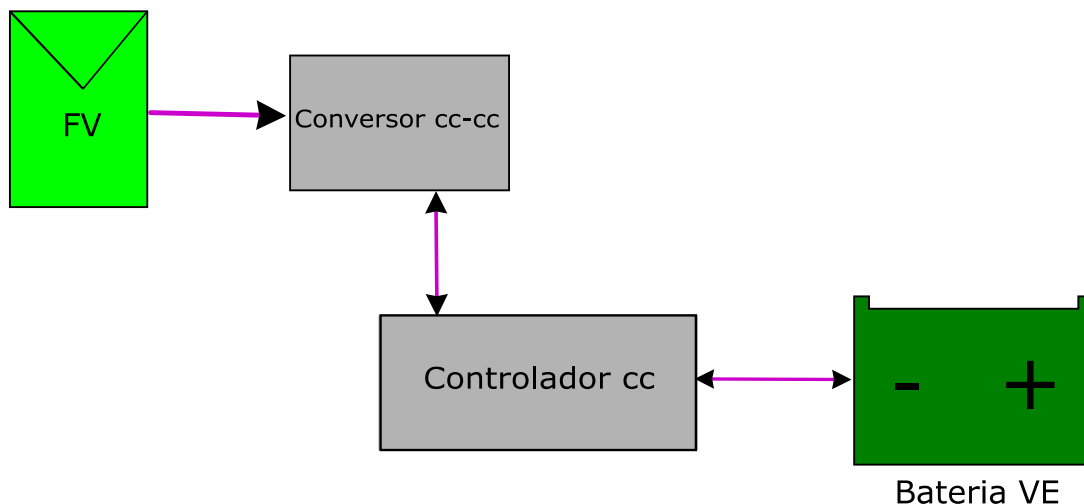


Figura 2 – Sistema FV autônomo de carregamento de VE  
Fonte: Adaptado de Bhatti (2016)

Outra maneira de incorporar os VE's a um sistema fotovoltaico é a através da construção de estações de carregamentos em estacionamentos, utilizando carports solares, utilizando desse modo a energia elétrica gerada para carregar as baterias dos VE (Mouli, 2019). A implementação de carports solares podem trazer muitos benefícios, alguns destes são enumerados a seguir:

- A bateria do VE funciona como um sistema de armazenamento para a energia gerada pelo sistema fotovoltaico (Birnie, 2009), (LOPES *et al.*, 2009);
- Reduzem-se os impactos negativos em larga escala na rede de distribuição da interação entre VE e sistema fotovoltaico (Kempton, 2008);
- O longo tempo em que os VE's permanecem estacionados permite a implementação da tecnologia V2G, ou seja, pode oferecer energia a rede quando esta necessitar (Tulpulr, 2013);
- Redução no custo do carregamento do VE e a redução de CO<sub>2</sub> (Mouli, 2019).

### 3.1 Modos de recarga utilizando sistemas FV

Quando a bateria do VE é plugada a estação de carregamento, aciona-se um controlador central que é responsável por realizar uma análise das possibilidades de carregamento do VE, considerando a disponibilidade da energia solar fotovoltaica ou não. Podendo-se optar por 5 modos de carregamento que serão descritos nos itens a seguir:

- Modo 1 - Carga realizada apenas pelo sistema FV:** Quando o controlador identifica que a energia elétrica gerada pelo sistema FV é suficiente para realizar a carga das baterias do VE, essa é realizada totalmente pelo sistema FV. O processo de carga das baterias ocorre através do conversor CC-CC com SPMP e do carregador CC, como mostra a Fig.2. Neste modo, o carregador é desconectado da rede elétrica da concessionária e o carregador CC é utilizado como regulador de tensão CC mantendo a tensão de acordo com o perfil de carregamento do VE (Bhatti, 2016).
- Modo 2 - Carga realizada apenas pela rede elétrica da concessionária:** O modo de carga 2 ocorre quando o controlador identifica que o sistema FV não é capaz de realizar o carregamento das baterias, e assim a carga ocorre apenas pela rede elétrica da concessionária. Primeiramente, a energia elétrica CA é convertida para CC através de um inversor bidirecional, operando como retificador. E por sua vez o carregador CC opera adequando a tensão para as baterias do VE, como é apresentado na Fig. 3.

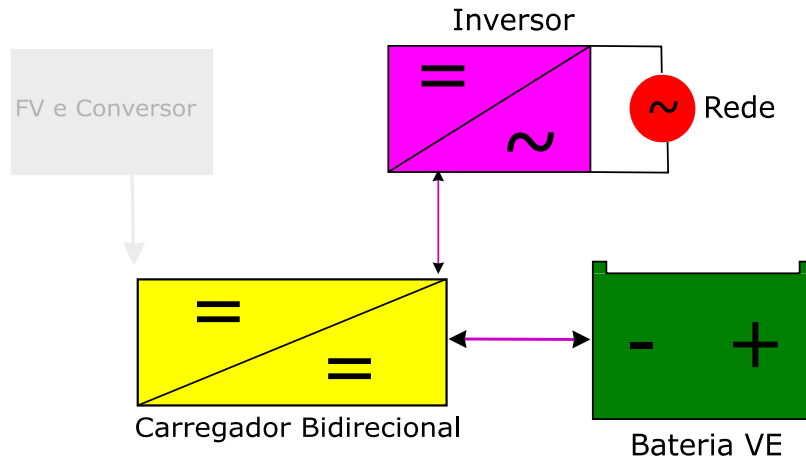


Figura 3 - Carga realizada apenas pela rede elétrica da concessionária  
 Fonte: Adaptado de Bhatti (2016)

- c) **Modo 3 - Carga realizada pelo sistema FV e a rede elétrica da concessionária:** Quando o sistema FV é capaz de realizar uma parcela da carga das baterias, porém não completa, o sistema FV e a rede de energia elétrica da concessionária pode trabalhar juntas para suprir a carga do VE, como é apresentado na Fig.4. A quantidade de energia elétrica provida da rede elétrica da concessionária dependerá da capacidade do sistema FV em contribuir para o carregamento. Desse modo, no caso em que há a variação da irradiância, o controlador deverá monitorar o sistema FV e ajustar a tensão da rede elétrica, para que seja mantida a tensão necessária para a carga do VE.

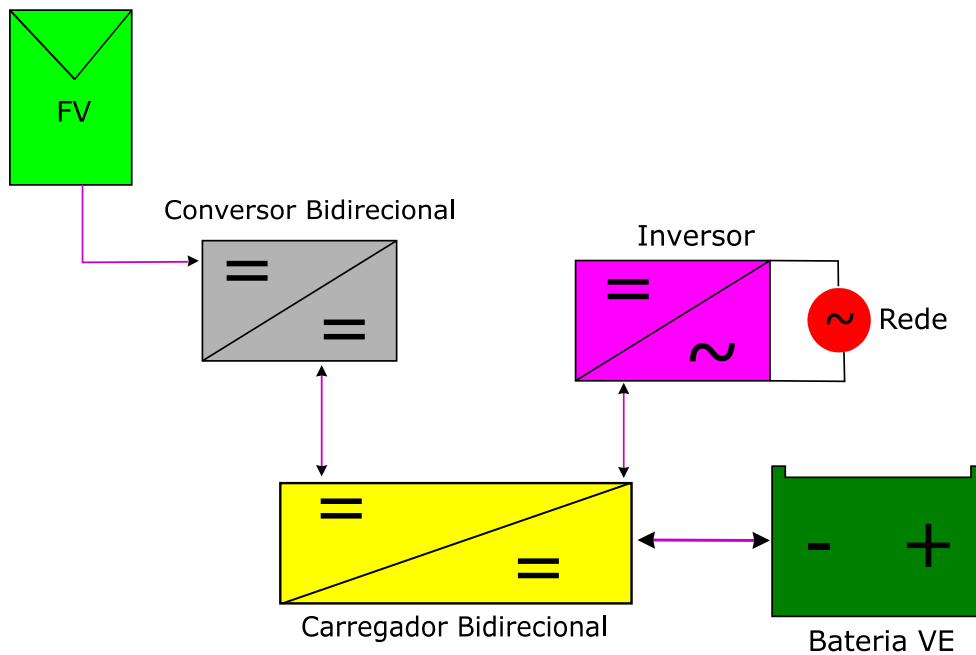


Figura 4 – Carga realizada pelo sistema FV e a rede elétrica da concessionária  
 Fonte: Adaptado de Ramkumar. *et al.* (2019)

- d) **Modo 4 - VE desconectado:** Quando há geração de energia solar fotovoltaica e não há VE para realizar carga a energia gerada pode ser injetada na rede da concessionária. Este processo ocorre através do conversor CC-CC o qual possui o SPMP, e pelo inversor bidirecional operando no modo inversor, como é apresentado na Fig.5.

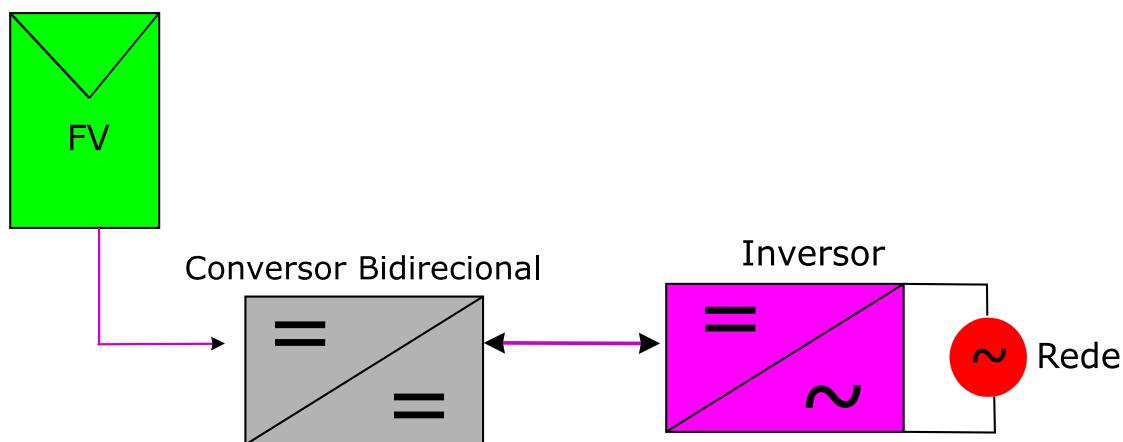


Figura 5 - VE desconectado  
Fonte: Adaptado de Bhatti (2016)

- e) **Modo 5 - V2G:** Esse processo pode apresentar boas vantagens econômicas em determinadas horas do dia, como por exemplo, quando a tarifa de energia elétrica é elevada, logo se houver energia excedente do VE esse poderá alimentar a rede em que está conectada (Tan *et. al* 2012) Este processo ocorre por meio do carregador CC-CC bidirecional e do inversor, como é apresentado na Fig.6. Contudo, este processo pode diminuir a vida útil da bateria do VE logo deve-se aplicar ele quando o ganho econômico seja alto (Vaishnav *et. al* 2011).

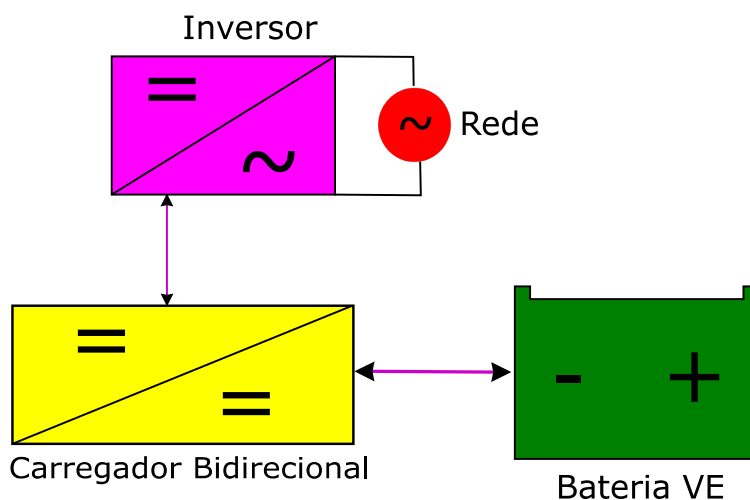


Figura 6 - V2G  
Fonte: Adaptado de Bhatti (2016)

### 3.2 Situação Brasileira

Os VE's nos últimos anos têm aumentado a sua participação no mercado mundial, nos EUA, Europa e China são os principais fabricantes dos VE's representando cerca de 90% da produção mundial. Recentemente, a França anunciou que a partir de 2040 será encerrado a venda de veículos a combustão no país, já a Noruega possui a perspectiva de em 2030 encerrar a venda dos veículos a combustão no país (National Geographic, 2017).

Em contrapartida o Brasil registrou entre os meses de janeiro e agosto de 2019 um crescimento de 38% da frota de veículos elétricos, representando cerca de 15 mil VE's. Até 2030 estima-se que os VE irão representar cerca de 5% da frota brasileira, o que representa cerca de 2 milhões de VE's nas ruas (Globo, 2019). Esses valores estimulam a busca por tecnologias para o carregamento das baterias desses VE's, principalmente tecnologias para o carregamento residencial, pois ao adicionar um VE a conta de energia elétrica tende a ter um aumento considerável, estimulando a busca de formas sustentáveis e baratas para recarregar estes veículos, tornando o uso da energia solar fotovoltaica atraente. O primeiro eletroposto abastecido por energia fotovoltaica solar aberto ao público foi inaugurado em maio de 2018 na cidade de Cuiabá no MT. Contudo, desde de 2010 a Petrobras possui o seu eletroposto na cidade do Rio de Janeiro abastecido com energia solar permitindo cargas do tipo semirrápidas e a troca de baterias.

No Brasil existem ainda programas criados para fomentar a pesquisa e desenvolvimento dos VE's, como o programa que criado em 2006 por meio da parceria entre as hidrelétricas Itaipu Binacional e KWO - *Kraftwerke Oberhasli AG*. Até agora, esta parceria resultou no desenvolvimento de mais de 80 protótipos de carros elétricos produzidos em seu Centro de Pesquisa, Desenvolvimento e Montagem de Veículos elétricos (CPDM-VE), instalado em Itaipu. Esta iniciativa juntamente em parceria com a Fiat, resultou no desenvolvimento do Pálio Weekend em uma versão elétrica que apresenta autonomia de 100 quilômetros, atingindo a velocidade de 110Km/h, com tempo de carregamento total de sua bateria em 8 horas (Bastos, 2019).

Recentemente, o governo brasileiro começou a legislar sobre a frota de VE's, com a atuação presente da ANEEL que através da Resolução normativa nº 819/2018 realizou a sua primeira regulamentação sobre a recarga dos VE's. A principal vantagem de tal normativa é proporcionar certezas para possíveis investidores, essa regulamentação permite que ocorra maiores investimentos em infraestrutura permitindo a expansão do mercado.

Neste contexto, a EDP juntamente com as empresas *Volkswagen, ABB, Electric Mobility Brasil e Simens*, noticiaram a construção de 30 estações de carregamento de VE com carregamento ultrarrápido. Estes postos terão a capacidade de realizar o carregamento em aproximadamente em 30 minutos, e irão cobrir toda a região do estado de São Paulo. Além disso, por meio dessa parceria será realizada a conexão entre 64 postos de recarga, cobrindo um total de 2.500 quilômetros interligando as cidades de São Paulo, Rio de Janeiro, Vitoria, Curitiba e Florianópolis (Abril, 2019).

#### 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Apesar dos VE's existirem a um longo tempo nos últimos anos o interesse por eles tem aumentado expressivamente, devido principalmente, a questões ambientais. Uma das principais vantagens no uso dos VE's é que seus motores não geram poluentes, ou seja, não emitem gases a atmosfera. Contudo, se a fonte de energia utilizada para alimentar os VE's sejam fontes não limpas esses VE's irão emitir gases de forma indireta. Com o crescente desenvolvimento e barateamento de tecnologias voltadas a geração solar fotovoltaica, o emprego dessa matriz energética tornou-se atraente e está tornando-se uma aliada na redução dos gases poluentes, permitindo que os VE's sejam de fato 'verdes'.

No Brasil os VE's ainda são vistos como novidade, contudo há um significativo aumento de sua adoção ano após ano na frota automobilística brasileira. Como o Brasil apresenta grande potencial para a geração de energia solar fotovoltaica o uso de carregadores solares para VE's podem trazer muitas vantagens ambientais, e com o aumento de usuários e barateamento deste tipo de veículo, futuramente pode-se obter vantagens econômicas para os seus usuários.

Neste contexto, o investimento na construção de eletropostos mitigando o problema da autonomia das baterias pode ajudar a impulsionar maiores investimentos no setor em geral, para que o Brasil aumente a sua frota de VE's. Contudo, ressalta-se que para que este tipo de veículo possa realmente trazer benefícios para a população e ao meio ambiente, estes eletropostos devem carregar as baterias com energia de origem limpa, e nesse contexto, devido ao seu potencial energético no Brasil, o uso de energia solar como essa fonte de energia limpa é extremamente atraente perspectiva para o seu crescimento na frota automobilista brasileira.

#### Agradecimentos

Os autores agradecem ao apoio dos órgãos CAPES e CNPq.

#### REFERÊNCIAS

- Abril. EDP lança rede com pontos de recarga de carros elétricos: Empresa oferece 30 pontos que podem carregar veículos em até 30 minutos em corredor que liga São Paulo a Florianópolis, Curitiba, Rio de Janeiro e Vitória. 2019. Disponível em: <<https://exame.abril.com.br/negocios/edp-lanca-rede-com-pontos-de-recarga-de-carros-eletricos/>>. Acesso em: 19 nov. 2019.
- Aneel. Recarga de Veículos Elétricos: Levantamento de informações do Corredor Elétrico Sul do Brasil. 2019. Disponível em: <<https://www.aneel.gov.br/documents/10184/0/Recarga+de+Ve%C3%ADculos+El%C3%A9trico+s++Levantamento+de+informa%C3%A7%C3%B5es+do+Corredor+El%C3%A9trico+Sul+do+Brasil/fad49adf-0e06-062e-ef11-814e6232f372?version=1.0>>. Acesso em: 18 nov. 2019.
- Bastos, Gisleine. Carro elétrico 4: a indústria nacional tem vez. Disponível em: <<http://gislenebastos.com.br/carro-eletrico-4-a-industria-nacional-tem-vez/>>. Acesso em: 16 nov. 2019.
- Birnie, D. P., "Solar-to-vehicle (S2V) systems for powering commuters of the future," J. Power Sources, vol. 186, no. 2, pp. 539–542, Jan. 2009.
- Biya, T.S., Sindhu, M.R., 2019. Design and Power Management of Solar Powered Electric Vehicle Charging Station with Energy Storage System, Coimbatore- International conference on Electronic, Communication and Aerospace Technology (ICECA).
- Cheddadi, Y, Errahimi, F, Es-sbai, N, Alaoui, C. 2018, 'A technological review on electric vehicle DC charging stations using photovoltaic sources', IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, FEZ-Marrocos.



- CPFL. Mobilidade na CPFL. 2019. Disponível em: <<https://www.cpf.com.br/sites/mobilidade-eletrica/mobilidade-e/Paginas/default.aspx>>. Acesso em: 18 nov. 2019.
- Chiang S.J., Hsin-Jang, Ming-Chich C. 2009. Modeling and Control of PV Charger System With SEPIC Converter. IEEE Trans Ind Electron pp56:4344-53
- Ferreira, R.T., 2018. Planejamento do Carregamento de Veículos Elétricos Atendidos por um Eletroposto Isolado, Tese de Mestrado, Universidade Federal do Espírito Santo.
- Gamboa G, Hamilton C, Kerley R, Elmes S, Arias A, Shen J, et al. 2010. Control strategy of a multi-port, grid connected, direct-DC PV charging station for plug-in electric vehicles. In: Proceeding of IEEE energy conversion congress and exposition (ECCE); p.1173
- Globo (Brazil). Carro elétrico no Brasil: do zero aos bilhões em 10 anos. 2019. Disponível em: <<https://epocanegocios.globo.com/Tecnologia/noticia/2019/09/carro-eletrico-no-brasil-do-zero-aos-bilhoes-em-10-anos.html>>. Acesso em: 18 nov. 2019.
- Mouli. G. R. C, M. Leendertse, V. Prasanth, P. Bauer, S. Silvester, S. van de Geer, and M. Zeman, 2016 “Economic and CO2 Emission Benefits of a Solar Powered Electric Vehicle Charging Station for Workplaces in the Netherlands,” in 2016 IEEE Transportation Electrification Conference and Expo (ITEC), pp. 1–7.
- Moreira, D.A.M., 2013. Posto de Carregamento de Veículos Elétricos com Painel Fotovoltaico, Sistema de Armazenamento e Ligação a Rede Elétrica, Tese de Mestrado, Instituto Superior Técnico Lisboa.
- Mouli.G.R.C., Kefayati.M., Baldick.R., Bauer. P., 2019. ‘Integrated PV Charging of EV Fleet Based on Energy Prices, V2G, and Offer of Reserves’. IEEE Transaction on Smart Grid vol 10, pp.1313-1325, Março.
- Neta, R.M.L., 2014. Análise dos Impactos do Carregamento de Veículos Elétricos na Qualidade de Energia em Redes de Distribuição, Tese de Mestrado, Universidade Federal de Pernambuco.
- National Geographic. Electric Cars May Rule the World’s Roads by 2040. 2017. Disponível em: <<https://www.nationalgeographic.com/news/2017/09/electric-cars-replace-gasoline-engines-2040/>>. Acesso em: 18 nov. 2019.
- Tan M, Mohamed A, Mohammed O. Optimal charging of plug-in electric vehicles for a car park infrastructure. In: Proceedings of IEEE industry applications society annual meeting (IAS); 2012. p. 1–8.
- Pengcheng. Y, Yanghong. Xia, Miao. Yu, Wei. W, Yonggang. P, 2017 ‘Decentralized Coordination Control for Parallel Bidirectional Power Converters in a Grid-Connected DC Microgrid’, IEEE Trans. Smart Grid, vol. PP, no. 99, pp. 1–1.
- Ramkumar. M, Amudha. A, Krishnan. M, Kavitha.D, Sriragavi.S, 2019, ‘Bidirectional Isolated DC-DC Converter for Hybrid Electric Vehicle Charging’. International Journal of Scientific Research and Engineering Development. Vol 2. p. 278-286.
- Shaowu. Li, Honghua. Liao, Hailing. Yuan, Quing. Ai, and Kunyi. Chen, 2017, ‘A MPPT strategy with variable weather parameters through analyzing the effect of the DC/DC converter to the MPP of PV system’, Sol. Energy, vol. 144, no. Supplement C, pp. 175–184.
- Tulpule. P. J., V. Marano, S. Yurkovich, and G. Rizzoni, 2013 “Economic and environmental impacts of a PV powered workplace parking garage charging station,” Appl. Energy, vol. 108, pp. 323–332.
- Vaishnav SN, Krishnaswami H. 2011, ‘Single-stage isolated bi-directional converter topology using high frequency AC link for charging and V2G applications of PHEV’. In Proceedings of IEEE vehicle power and propulsion conference (VPPC); p. 1–4.
- Vargas. T. N., Freitas. W.L., Mello. A.P.C, 2019. ‘A Self-Healing Technique for a Smart Distribution Grid with Distributed Energy Resources’. IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies (ISGT), Gramado- Brasil.
- Villalva. M.G. 2019. Módulos monocristalinos vão dominar o mercado de energia solar. 2019. Disponível em <<https://canalsolar.com.br/index.php/artigos/item/182-modulos-mono-vao-dominar-o-mercado-solar>>. Acesso em: 8 dez. 2019
- X. Li, L. A. C. Lopes, and S. S. Williamson, 2009, “On the suitability of plug-in hybrid electric vehicle (PHEV) charging infrastructures based on wind and solar energy,” IEEE Power & Energy Society General Meeting, 2009, pp. 1–8.
- Zang. D, Lin.H, Zang.Q, Kang.S, Zhengyu.L, 2019, ‘Analysis, Design, and Implementation of a Single-Stage Multipulse Flexible- Topology Thyristor Rectifier for Battery Charging in Electric Vehicles. IEEE Transaction on Energy Conversion, vol 34. P. 47-57.
- W. Kempton and J. Tomić, 2005, “Vehicle-to-grid power implementation: From stabilizing the grid to supporting large-scale renewable energy,” J. Power Sources, 2005.
- W. Kempton, V. Udo, K. Huber, K. Komara, and S. Letendre, 2008, “A test of vehicle-to-grid (V2G) for energy storage and frequency regulation in the PJM system”.

## REVIEW OF ELECTRIC VEHICLES CHARGING USING A PHOTOVOLTAIC SYSTEM

**Abstract.** In the last years, the electric vehicles (EVs) has become notoriety in the automobile market, mainly due to environmental issues, as there is a need to reduce the emission of pollutants into the atmosphere, mainly the decrease in CO<sub>2</sub>. In this context, many research about how to make the EVs totally free from pollution are being made. In this way

*in the last years the photovoltaic system (PV) to charging the EVs batteries are being studied. In this way, this document presents a review of the concepts on charging the batteries of EVs using PV, addressing the Brazilian situation in the EV market and the prospects for the future.*

**Key words:** *EV charging, Photovoltaic Systems, Brazilian Situation*