

Controle da Recarga de Veículos Elétricos Híbridos *Plug-in* utilizando a Lógica Fuzzy

John J. A. Saldanha, Ana P. C. de Mello e Eduardo M. dos Santos

Grupo de Energia e Sistemas Elétricos de Potência - GESEP

Universidade Federal do Pampa - UNIPAMPA

Alegrete, Brazil

john.jefferson.as@gmail.com, anamello@unipampa.edu.br e eduardosantos@unipampa.edu.br

Resumo-- Os veículos elétricos híbridos *plug-in* (VEHPs) são uma alternativa para reduzir emissões poluentes, dado que substituem veículos movidos a combustíveis fósseis. Eles precisam conectar-se na rede elétrica para recarregar suas baterias. Assim, se uma grande quantidade de veículos requisitarem recarga simultaneamente e sem nenhuma coordenação adequada, problemas na operação do sistema elétrico podem se originar, especialmente em períodos de alta demanda. Entre os problemas que podem surgir, destacam-se sobrecarga de linhas e despacho de plantas termoeletricas para atender a demanda crescente. Logo, é importante realizar um controle de recarga destes veículos. Este trabalho propõe um sistema para o controle da recarga dos VEHPs utilizando lógica fuzzy. O sistema desenvolvido calculará a taxa de recarga de cada VEHP dada a condição da rede elétrica, a vontade do consumidor e o estado atual dos veículos. Com o sistema, espera-se reduzir o impacto na rede elétrica, dado que a recarga será realizada de forma planejada e controlada.

Palavras-chave-- Controle da taxa de recarga, lógica fuzzy, *smart grids*, veículo elétrico híbrido *plug-in*.

I. INTRODUÇÃO

A indústria automotiva está crescendo rapidamente e os veículos movidos por combustíveis fósseis compõem a maior parcela deste setor. Entretanto, preocupações com o meio ambiente também tem crescido consideravelmente, levantando sérias questões sobre os efeitos prejudiciais dos poluentes emitidos por estes veículos.

Os veículos elétricos *plug-in* (VEPs) apresentam-se como uma alternativa para reduzir as emissões dos veículos movidos a combustão interna e ao mesmo tempo diminuir a dependência do setor automotivo em combustíveis fósseis. Estes veículos são movidos por motores elétricos alimentados por energia armazenada em suas baterias, podendo ter apenas motores elétricos (puramente elétricos) ou motores elétricos em conjunto com motores a combustão (híbridos).

As frotas de veículos elétricos híbridos *plug-in* (VEHPs) possuem projeções de crescimento mais otimistas frente aos puramente elétricos, pois apresentam maior autonomia e baixo índice de emissão de poluentes locais. Assim, o VEHP

é uma tecnologia proeminente com grande expectativa de exercer um papel fundamental na indústria automotiva.

Ambos os tipos veículos elétricos *plug-in* precisam se conectar na rede elétrica de tempo em tempo para recarregar suas baterias. Neste caso, o veículo consome energia do sistema, atuando como carga para o mesmo.

O VEHP também pode ser utilizado para prestar serviços auxiliares para a rede elétrica, visando seu benefício. Tais veículos são chamados de V2G, do inglês *vehicle-to-grid* ou veículo-para-rede. Eles podem fornecer regulação de tensão e frequência, dar suporte para entrada de fontes alternativas e minimizar perdas em redes elétricas de distribuição [1-3].

Quando colocado para recarregar sua bateria, o VEHP atua como carga para o sistema elétrico de potência. Assim, se uma quantidade significativa de VEHPs requisitarem recarga ao mesmo tempo e sem coordenação, o sistema poderá sofrer com certas complicações. Como indicado por [4-7], a recarga não coordenada de veículos elétricos *plug-in* pode gerar problemas de estabilidade, sobrecarga de linhas de distribuição e aumento da demanda durante períodos de pico. Esta última, pode ocasionar o despacho de plantas de geração caras e poluentes.

Dessa forma, é importante realizar a recarga coordenada dos veículos elétricos *plug-in* e este artigo propõe um sistema inteligente para o controle da recarga de uma frota de VEHPs.

O VEHP só será utilizado para auxiliar a rede elétrica caso o consumidor esteja disposto a fornecer o automóvel para este propósito. Assim, além de levar em conta a condição atual do sistema elétrico, deve-se considerar os requerimentos do consumidor em ter seu veículo totalmente recarregado no período de recarga. Dessa forma, define-se que o proprietário do veículo deve inserir uma prioridade na qual deseja que sua bateria seja totalmente preenchida dentro do tempo de conexão para recarga.

Para cumprir com os requisitos de cada um dos veículos elétricos, enquanto considerando as restrições da operação da rede elétrica, é necessário um sistema de decisão para controlar a recarga. Este sistema é aplicado em entidades

denominadas agregadores, que são uma interface entre a rede e uma frota de VEHPs [8].

A construção de tais ferramentas utilizam um grande número de variáveis de entrada com um número indefinido de veículos requisitando recarga. Problemas similares foram resolvidos em [9-11], onde programações estocástica, quadrática e dinâmica foram aplicadas. Entretanto, a prioridade do consumidor, conforme incluído neste artigo, não existe nos trabalhos pesquisados. Dessa forma, a prioridade do consumidor caracteriza a contribuição deste artigo em face a outras metodologias.

Este artigo propõe uma metodologia baseada em lógica fuzzy, pois a prioridade do consumidor é um requisito subjetivo para o sistema. Em adição, pesquisas em metodologias utilizadas anteriormente indicam que a lógica fuzzy é muito útil para incorporar conhecimento humano [12-15], sendo adequada para criar o sistema de controle da recarga.

A seção seguinte apresenta a estrutura geral do sistema para o controle da recarga dos VEHPs. Na sequência, a modelagem do controlador fuzzy para esta aplicação é exposta. A quarta seção apresenta o cálculo da taxa de recarga de cada VEHP. Em seguida, os resultados e discussões são expostos. Por fim, as conclusões do trabalho são apresentadas.

II. SISTEMA PARA O CONTROLE DA RECARGA

As principais variáveis da recarga de um VEHP são: a porcentagem do estado de carga (SOC, do inglês *state of charge*) da bateria a ser atingido, o tempo para realizar esta tarefa e a prioridade que cada consumidor atribui para o processo. Com estas variáveis, o controlador fuzzy do agregador calcula a taxa de recarga de cada VEHP.

A metodologia proposta assume que o operador da rede não se comunica com cada veículo requisitando recarga. Ao invés, o agregador estabelece uma conexão entre a rede elétrica e uma frota de VEHPs, possuindo controle sobre cada veículo e controlando a recarga.

O agregador recebe informações da operação do sistema, como seu estado atual e demanda total. Do veículo elétrico, o agregador recebe dados como os estados de carga inicial e final da bateria, horários inicial e final da recarga. Por fim, o consumidor também insere a prioridade com a qual ele quer que a recarga aconteça.

Já o sistema de controle da recarga considera: o estado de carga inicial do veículo; a condição atual do sistema elétrico; o horário que o VEHP foi conectado para recarga; o estado de carga final a ser atingido; o horário da desconexão do veículo e; a necessidade que o proprietário do veículo quer que a bateria esteja totalmente recarregada no período de conexão.

O estado de carga inicial, SOC_i , do veículo e a capacidade da sua bateria, B_{cap} , são obtidos assim que ele é conectado no agregador para recarga. SOC_i representa a porcentagem da bateria que está recarregada. B_{cap} , em Wh, indica a quantidade de energia que a bateria armazena quando totalmente carregada.

A condição atual do sistema é incluída utilizando um valor máximo de demanda que o agregador pode requisitar da rede elétrica para que nenhuma complicação ocorra. Este valor é representado por P_D , em watts (W). Assim, um valor apropriado de potência é repassado para o agregador e este, por sua vez, distribui para os veículos sob seu comando.

Duas variáveis temporais são adicionadas ao sistema de controle da recarga: o horário que o veículo é conectado na rede elétrica para recarga, t_i , e o horário que será desconectado pelo consumidor, t_f . O horário inicial é recebido pelo agregador na conexão do VEHP e o horário final é inserido pelo consumidor.

Além de informar t_f , o consumidor também deverá inserir o estado de carga da bateria que ele quer ao final da recarga, SOC_f , e a prioridade na qual quer que o SOC final seja atingido. A prioridade é utilizada para reforçar a necessidade de possuir a bateria recarregada até SOC_f durante o tempo que o VEHP está conectado. Esta estrada é a contribuição dada por este trabalho, comparado com as outras metodologias.

Com todas as variáveis, o sistema irá calcular a taxa de recarga, TxR , para cada veículo elétrico híbrido *plug-in* no agregador. Esta taxa indica a porcentagem da potência disponibilizada pela rede elétrica que será repassada para cada VEHP. A Fig. 1 ilustra a arquitetura geral do sistema de controle da recarga e suas variáveis previamente definidas.

III. MODELAGEM DO CONTROLADOR FUZZY

A lógica fuzzy apresenta-se como uma técnica eficaz para modelar sistemas complexos através da incorporação de conhecimento humano. Dessa forma, ela foi escolhida para compor o núcleo do controle da recarga deste trabalho.

A representação geral do controlador fuzzy do sistema é ilustrada na Fig. 2. O controlador possui duas variáveis de entrada e uma de saída, respectivamente: ΔSOC , *prioridade* e TxR_o . Um conjunto de regras pré-definidas é responsável por mapear as duas entradas para a saída.

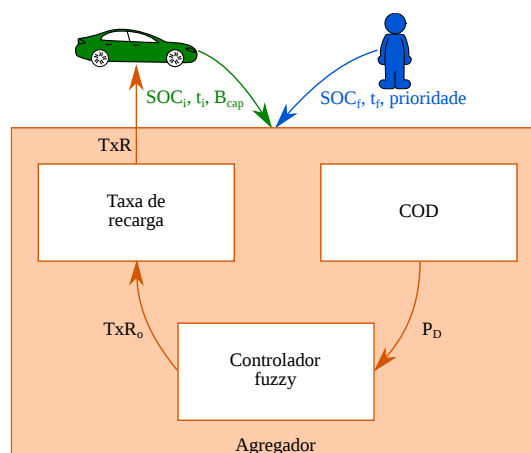


Figura 1. Arquitetura geral do Sistema para o Controle da Recarga de Veículos Elétricos Híbridos Plug-In.

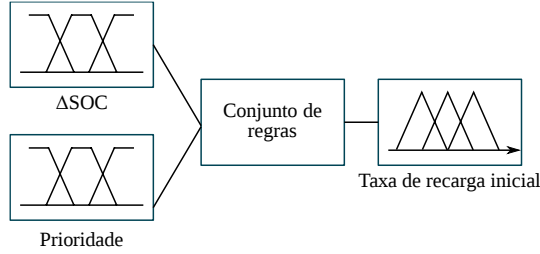


Figura 2. Estrutura do controlador fuzzy para esta aplicação.

ΔSOC representa a porcentagem da bateria a ser recarregada, *prioridade* indica a prioridade que o consumidor quer que o veículo seja totalmente recarregado no período destinado para recarga e TxR_o é a taxa de recarga inicial retornada pelo controlador.

Todas as funções de pertinência das variáveis de entrada e saída e o conjunto de regras foram escolhidas empiricamente. Realizaram-se testes com diferentes combinações e o conjunto que retornou os melhores resultados foi escolhido para compor o controlador. As subseções a seguir apresentam os detalhes da modelagem do controlador fuzzy.

A. Funções de Pertinência

A variável de entrada ΔSOC foi dividida em três conjuntos fuzzy: baixa, média e alta. Isto implica que a bateria pode necessitar de baixa, média ou alta carga. As funções de pertinência representando cada conjunto foram alocadas conforme exposto na Fig. 3.

Para a segunda variável de entrada, *prioridade*, também estabeleceram-se três conjuntos fuzzy: não, talvez e sim. Nessa situação, o proprietário do veículo pode não ter prioridade, talvez possuir prioridade ou possuir prioridade para recarregar totalmente a bateria no tempo estipulado. As funções de pertinência para esta variável são apresentadas na Fig. 4.

A variável de saída, taxa de recarga inicial, TxR_o , possui quatro conjuntos fuzzy: zero, baixa, média e alta. Assim, o veículo será recarregado a uma taxa nula, baixa, média ou alta. A disposição das funções de pertinência para estes conjuntos são ilustradas na Fig. 5.

B. Conjunto de Regras

Os conjuntos fuzzy definidos anteriormente foram relacionados através das regras apresentadas na Tabela I. Estas regras explicitam que dependendo do valor de ΔSOC e de *prioridade* do VEHP, um determinado conjunto fuzzy da saída TxR_o é disparado. Por exemplo, caso a diferença de SOC a ser completado seja baixa e o consumidor deseja que a bateria seja totalmente recarregada dentro do tempo de conexão, então a taxa de recarga inicial será definida como baixa. Caso, a bateria necessite de alta carga e também exista prioridade de recarga, então a taxa de recarga inicial é retornada como alta.

TABELA I. TxR_o ATIVADA PARA DIFERENTES COMBINAÇÕES DAS VARIÁVEIS DE ENTRADA ΔSOC E *prioridade*

ΔSOC <i>prioridade</i>	Baixa	Média	Alta
Sim	Baixa	Média	Alta
Talvez	Zero	Baixa	Média
Não	Zero	Zero	Baixa

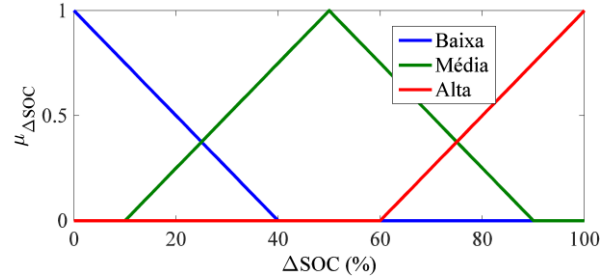


Figura 3. Funções de pertinência para a variável de entrada ΔSOC .

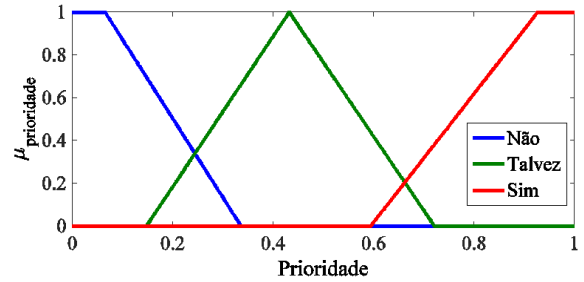


Figura 4. Funções de pertinência para a variável de entrada *prioridade*.

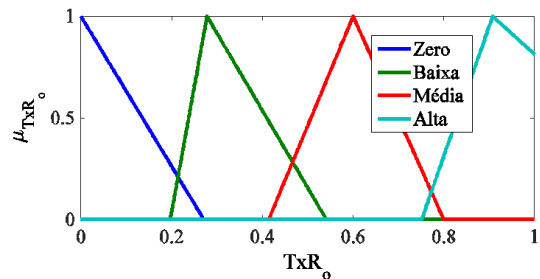


Figura 5. Funções de pertinência para a variável de saída TxR_o .

C. Outros Parâmetros

Os demais parâmetros do controlador fuzzy foram definidos como:

- Método AND: min;
- Método de implicação: min;
- Método de agregação: max;
- Método de defuzzificação: bissetor.

Os três primeiros métodos foram escolhidos com base nas recomendações de [16]. O método bissetor foi escolhido para a defuzzificação, pois foi o método que minimizou a soma de todos os tempos residuais.

Define-se como tempo residual a diferença entre o tempo que o veículo ficará conectado para recarga (Δt_{VEHP}) e o tempo necessário para recarregar a bateria utilizando a taxa de recarga calculada pelo controlador (Δt_{SOC}). Ambos as variáveis são obtidas pelas Eqs. (1) e (2), respectivamente.

$$\Delta t_{VEHP} = t_f - t_i \quad (1)$$

$$\Delta t_{SOC} = \frac{\Delta SOC}{100 \times TxR_o} \quad (2)$$

O tempo residual é, então

$$\text{Tempo residual} = \Delta t_{VEHP} - \Delta t_{SOC} \quad (3)$$

Minimizando a soma dos tempos residuais dos VEHPs garante que o método de defuzzificação escolhido é o que recarrega mais veículos dentro do tempo que estarão conectados na rede. Isso pode ser entendido também como, se o tempo que o veículo ficará conectado for menor que o tempo necessário para recarregar o SOC até final, o veículo não terá sua bateria totalmente recarregada considerando a taxa de recarga calculada.

IV. CÁLCULO DA TAXA DE RECARGA FINAL

A primeira etapa do cálculo da taxa de recarga consiste em ponderá-la diretamente em função do tempo de conexão para recarga, Δt_{VEHP} , e o tempo necessário para recarregar o veículo, Δt_{SOC} . Este peso é diretamente aplicado para cada taxa de recarga conforme a Eq. (4).

$$TxR = TxR_o \times [1 - (\Delta t_{VEHP} - \Delta t_{SOC})] \times \frac{\text{prioridade}}{\alpha} \quad (4)$$

Onde α é uma constante adimensional obtida das simulações que permite um pequeno incremento na taxa de recarga.

A Eq. (4) dita um pequeno incremento a ser aplicado na taxa de recarga considerando a taxa do controlador, a prioridade e os tempos de conexão necessários para recarregar. Se um veículo possui uma taxa de recarga menor que a esperada para atingir o SOC alvo e a prioridade é alta, então a taxa de recarga passará a ser um valor maior. Caso o mesmo veículo possua uma prioridade baixa, então a taxa de recarga irá passar por um incremento menor quando comparado ao primeiro caso.

A segunda e última etapa para encontrar a taxa de recarga é o processo de balanço de potência que os veículos irão

receber com a potência disponível no agregador, obedecendo a Eq. (5):

$$\sum_i^{n_{VEHP}} P_{VEHP_i} = P_D \quad (5)$$

Onde P_{VEHP_i} é a potência, em watts, do veículo i no agregador, n_{VEHP} é o número de VEHPs no agregador e P_D , em watts, é a potência disponível no agregador. O balanço de potência é um fator chave para coordenar o carregamento dos VEHPs com a condição atual da rede elétrica repassada pelo operador do sistema.

A Eq. (6) apresenta o primeiro passo a ser realizado para atingir o balanço. Nela, a potência requerida por cada VEHP é determinada de acordo com a taxa de recarga previamente calculada.

$$P_{req_i} = \frac{TxR_i \times B_{cap_i}}{\Delta t} \quad (6)$$

TxR_i é a taxa de recarga do veículo i ; B_{cap_i} é a capacidade da bateria do veículo i , em watts-hora; Δt é o intervalo de discretização da simulação, em horas e; P_{req_i} é a potência requisitada pelo veículo i .

Na Eq. (6), a potência requisitada é calculada utilizando: a energia que a bateria do veículo suporta e a taxa de recarga que esta bateria será recarregada, que nada mais é do que a porcentagem da capacidade da bateria. Como é necessário fazer a conversão entre energia e potência, o tempo de discretização é utilizado para tal.

Após, aplica-se a normalização matemática com relação à potência disponível no agregador para atingir o balanço de potência. A Eq. (7) apresenta a normalização feita, sendo P_D a potência disponível no agregador, em watts.

$$P_{req_i} = \frac{P_{req_i} \times P_D}{\sum_i P_{req_i}} \quad (7)$$

Com os valores da potência requisitada por cada veículo normalizados, aplica-se o processo inverso da Eq. (6) para recalcular a taxa de recarga, como mostrado na Eq. (8)

$$TxR_i = \frac{P_{req_i} \times \Delta t}{B_{cap_i}} \quad (8)$$

Assim, o valor modificado da taxa de recarga está pronto para ser repassado para os veículos elétricos híbridos *plug-in*. Este é o valor final da taxa de recarga retornada pelo sistema de controle da recarga. É com este valor que os resultados são apresentados na próxima seção. A atualização do SOC_i também é feita utilizando este valor, dado que o VEHP será recarregado a esta taxa durante o intervalo de tempo discretizado da simulação.

V. RESULTADOS

A metodologia proposta foi avaliada executando simulações com uma frota de VEHPs requisitando recarga no mesmo período. Os veículos possuem diferentes requisitos de recarga, como porcentagens diferentes de SOC_f e prioridades, entre outros.

A primeira simulação busca visualizar e avaliar a saída retornada pelo sistema de controle da recarga para uma frota sendo recarregado ao mesmo tempo, mas os veículos com condições diversificadas. As Figs. 6 e 7 mostram a taxa de recarga e o SOC da bateria sendo atualizados, respectivamente.

Verifica-se na Fig. 6 que as taxas de recarga permanecem constantes durante as cinco primeiras horas do tempo de simulação. Então, quando um VEHP atinge seu SOC final, as outras taxas de recarga são submetidas a um incremento. Analisando apenas os veículos apresentados no gráfico, isto acontece pelo fato de que a partir da hora 6 a potência disponível no agregador será distribuída entre os quatro veículos restantes, onde antes existiam 5. Considerando os VEHPs apresentados no gráfico, isto é causado pelo fato de que a demanda máxima no agregador será distribuída entre menos veículos do que antes, implicando em uma menor distribuição de potência para os veículos remanescentes.

Nota-se na Fig. 7 que as curvas dos SOC de cada veículo estão ordenadas de acordo com a prioridade inserida pelo consumidor. Em outras palavras, quanto maior a prioridade, maior será a taxa de recarga retornada e, conseqüentemente, o SOC será atualizado mais rapidamente.

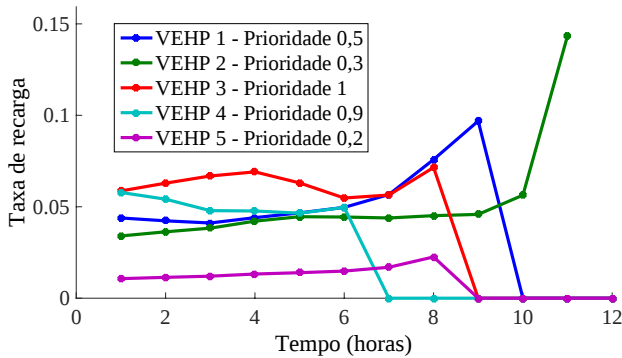


Figura 6. Taxas de recarga para alguns dos VEHPs da frota sob estudo.

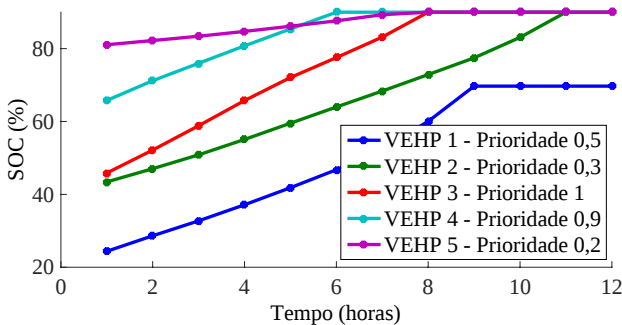


Figura 7. Estados de carga atualizados para alguns dos VEHPs da frota sob estudo.

Também observa-se na Fig. 7 que o estado de carga do veículo 3 aumenta de forma aproximadamente linear e, após atingir 70%, se estabiliza nesse valor. A prioridade para este veículo é 0,5, uma prioridade média, logo o sistema não possui a obrigação máxima para atingir o SOC final, mas deve fornecer energia a uma taxa de recarga aceitável. Este é exatamente a resposta do sistema, elevando a carga da bateria de aproximadamente 20 para 70%, mesmo o veículo com prioridade média. A recarga só não é completada até o SOC final de 100% porque o veículo é desconectado da rede. Caso o consumidor queira a bateria totalmente recarregada no intervalo de conexão, ele deve aumentar a prioridade no começo da recarga.

Como a prioridade do consumidor é a principal contribuição deste trabalho, uma outra simulação considerando a mesma frota de veículos foi realizada. Com ela, busca-se evidenciar a influência da prioridade inserida na recarga de um VEHP. Para isto, simularam-se diversas vezes, alterando apenas a prioridade de um único VEHP. A taxa de recarga e a porcentagem da bateria recarregada de acordo com a mudança da prioridade são verificadas nas Figs. 8 e 9.

Os dois gráficos expostos apresentam o mesmo comportamento de deslocamento no eixo y. Tanto a taxa de recarga como o subsequente estado de carga atualizado possuem valores maiores em cada horário conforme o crescimento da prioridade. Logo, com uma prioridade maior a taxa de recarga é maior e a bateria se recarrega mais rápido quando comparando com uma prioridade baixa.

Tem-se então que a prioridade está influenciando diretamente no cálculo da taxa de recarga, o que era esperado desde o início: uma prioridade maior indica uma garantia de ter a bateria totalmente recarregada dentro do período de conexão.

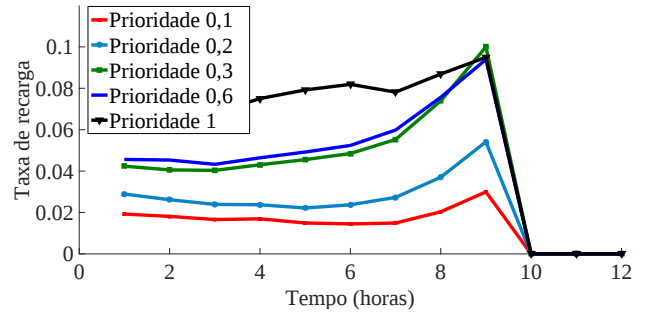


Figura 8. Estados de carga de um VEHP com sua prioridade alterada, mas demais parâmetros inalterados.

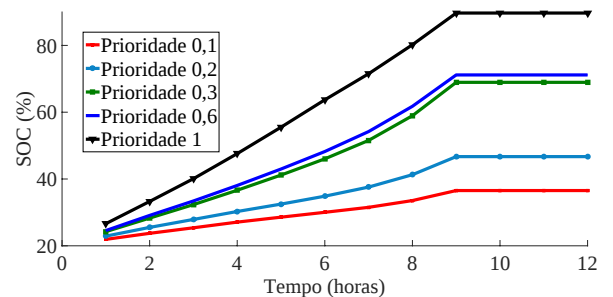


Figura 9. Estados de carga de um VEHP com sua prioridade alterada, mas demais parâmetros inalterados.

VI. CONCLUSÕES

Os resultados mostraram que a metodologia proposta auxilia os agregadores a reduzir o impacto da recarga na rede elétrica, dado que o processo é realizado de forma planejada e controlada. A aplicação desta metodologia também pode ajudar a avaliar como os veículos elétricos podem contribuir para serviços auxiliares e quais destes serviços seriam os mais adequados para a participação dos VEHPs.

Sabendo que a prioridade é a principal contribuição deste trabalho, visualizou-se a direta relação entre a taxa de recarga enviada para os veículos e a prioridade que o consumidor quer que isto aconteça. Isto foi observado com o deslocamento que as taxas de recarga foram sofrendo de acordo com o aumento da prioridade. Também, garantiu-se que a taxa de recarga responde propriamente na modificação da prioridade. Aqui, a prioridade de um único VEHP foi modificado dentro da frota, mantendo o resto dos dados intactos e verificando as curvas das taxas de carga e SOC.

Uma verificação foi observada das simulações, onde observou-se que o sistema de recarga não ajusta o carregamento para ser realizado antes do tempo de desconexão. Isto implica que, as atualizações em função do tempo de desconexão só consideram esta possibilidade, não executando nenhuma correção para recarregar o VEHP antes do tempo com prioridade alta.

Este trabalho pode ser expandido, entre diversas alternativas, para: incluir critérios de otimização, como maximizar o lucro do veículo recarregando-o em períodos de baixo custo; considerar o fluxo de energia bidirecional entre o VEHP e a rede elétrica, permitindo que o veículo forneça compensação reativa, resposta à frequência, minimização de perdas elétricas, entre outros.

REFERÊNCIAS

- [1] Kempton, W. and Tomić, J. (2005) "Vehicle-to-grid power implementation: From stabilizing the grid to supporting large-scale renewable energy", *Journal of Power Sources*, 144(1), pp. 280-294.
- [2] Wang, R., Li, Y., Wang, P. and Niyato, D. (2013) "Design of a V2G aggregator to optimize PHEV charging and frequency regulation control", in *Proc. of the IEEE International Conference on Smart Grid Communications*, pp. 127-132.
- [3] Han, S., S. H. Han, and K. Sezaki, "Design of an optimal aggregator for vehicle-to-grid regulation service," in *Proc. of the Innovative Smart Grid Technologies 2010*, pp. 1 - 8, Gaithersburg, MD, USA, , Jan 19-21, 2010.
- [4] Kelly, L., Rowe, A. and Wild, P. (2009) "Analyzing the Impacts of Plug-in Electric Vehicles on Distribution Networks in British Columbia", *IEEE Electrical Power & Energy Conference*, pp.1-6.
- [5] Taylor, J., Maitra, A., Alexander, M., Brooks, D. and Duvall, M. (2010) "Evaluations of plug-in electric vehicle distribution system impacts", *IEEE Power and Energy Society General Meeting*, pp.1- 6.
- [6] Odun-Ayo, T. and Crow, M. (2009) "An Analysis of the Impact of Plug-In Hybrid Electric Vehicles on Power System Stability", *North American Power Symposium*, pp. 1-5.
- [7] Yilmaz, M. and Krein, P.T. (2013) "Review of the impact of vehicle-to-grid technologies on distributions systems and utility interfaces", *IEEE Trans. on Power Electronics*, 28(12), pp. 5673-5689.
- [8] C. Guille, and G. Gross, "A conceptual framework for the vehicle-to-grid (V2G) implementation," *Energy Policy*, Elsevier, vol. 37, pp. 4379-4390, 2009.
- [9] Xu, J. and Wong, V. W. S. (2011) "An approximate dynamic programming approach for coordinated charging control at vehicle-to-grid aggregator", *Proc. IEEE Int. Conf. Smart Grid Commun.*, pp.279 - 284.
- [10] Clement-Nyns, K, Haesen, E. and Driesen, J. (2010) "The Impact of Charging Plug-In Hybrid Electric Vehicles on a Residential Distribution Grid", *IEEE Trans. on Power Systems*, 25(1), pp. 371-380.
- [11] Sortomme, E., Hindi, M.M., MacPherson, S.D.J. and Venkata, J.J. (2011) "Coordinated Charging of Plug-In Hybrid Electric Vehicles to Minimize Distribution System Losses", *IEEE Trans. on Smart Grid*, 2(1), pp. 198-205.
- [12] Li, S.G.; Sharkh, S.M.; Walsh, F.C.; Zhang, C.N., "Energy and Battery Management of a Plug-In Series Hybrid Electric Vehicle Using Fuzzy Logic," *IEEE Trans. on Vehicular Technology*, vol.60, no.8, pp.3571,3585, Oct. 2011
- [13] Pusca, R.; Ait-Amirat, Y.; Berthon, A.; Kauffmann, J.-M., "Fuzzy-logic-based control applied to a hybrid electric vehicle with four separate wheel drives," in *Proc. of the IEEE Control Theory and Applications*, vol.151, no.1, pp.73,81, 17 Jan. 2004.
- [14] Landi, M.; Gross, G., "Measurement Techniques for Online Battery State of Health Estimation in Vehicle-to-Grid Applications," *IEEE Trans. on Instrumentation and Measurement*, vol.63, no.5, pp.1224,1234, May 2014.
- [15] Denis, N.; Dubois, M.R.; Desrochers, A., "Fuzzy-based blended control for the energy management of a parallel plug-in hybrid electric vehicle," *IET Intelligent Transport Systems*, vol.9, no.1, pp.30,37, 2 2015.
- [16] Mathworks®, "Fuzzy Inference Process," 2015. [online] Available at: <<http://www.mathworks.com/help/fuzzy/fuzzy-inference-process.html>>.