

Sistema de gerenciamento de energia elétrica residencial aplicado à recarga do veículo elétrico e transação de energia

Aérton MEDEIROS* Luciane CANHA* Vinícius GARCIA* Juliano MOREIRA*
Rodrigo MOTTA ** Rodrigo DOS SANTOS***

*Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Brasil, (Tel: (53)991223-7344; medeiros.aerton@gmail.com; lucianecanha@ufsm.br; viniciusjg@gmail.com; julianomoreira@ifsul.edu.br).

**Instituto Federal Sul-rio-grandense (IFSUL), Brasil, (e-mail: rodrigoazevedo@ifsul.edu.br)

*** Companhia Paranaense de Energia (COPEL), Brasil, (e-mail: rodrigo.braun@copel.com)

Abstract: Electric vehicles (EV), renewable generation sources and battery storage systems are important energy resources with great potential to impact the demand profile of electrical distribution networks. In this work, a new concept of residential electrical energy management system is presented, which in addition to managing the distributed energy resources present in the residence, also manages the EV charging, integrating three important concepts: mobile storage, V2G and energy transaction. For this, a management algorithm based on mixed integer linear program for real-time operation is developed. From the analyses carried out, the important contribution that the presented management concept can offer to the EV owner in relation to the profitability of its assets is observed. In addition, the presented approach has great potential to contribute to mitigating the negative impacts caused by the uncontrolled operation of intermittent renewable energy generation and uncontrolled charging of the electric vehicle over the electrical distribution network.

Resumo: Os veículos elétricos (VE), as fontes de geração renováveis e os sistemas de armazenamento por baterias são importantes recursos energéticos com grande potencial de impactar o perfil de demanda das redes elétricas de distribuição. Neste trabalho é apresentado um novo conceito de sistema de gerenciamento de energia elétrica residencial, que além de realizar o gerenciamento dos recursos energéticos distribuídos presentes na residência, realiza também o gerenciamento da recarga do veículo elétrico integrando três importantes conceitos: armazenamento móvel, operação V2G e transação de energia. Para isto é desenvolvido algoritmo de gerenciamento baseado em programa linear inteira mista para operação em tempo real. A partir das análises realizadas é observada a importante contribuição que o conceito de gerenciamento apresentado pode oferecer ao proprietário do VE em relação à rentabilidade dos seus ativos, além da abordagem apresentada ter grande potencial de contribuir para mitigar os impactos negativos causados pela operação descontrolada da geração renovável intermitente e do carregamento descontrolado do veículo elétrico sobre a rede elétrica de distribuição.

Keywords: Charging station, distributed resources, energy management, energy transaction, electric vehicle, smart home energy management.

Palavras-chaves: Estação de recarga, geração distribuída, gerenciamento de energia, transação de energia, veículo elétrico.

1. INTRODUÇÃO

A utilização dos recursos energéticos distribuídos, como fontes de geração de energia renováveis, sistemas de armazenamento por baterias e veículos elétricos, oferecem oportunidades para o gerenciamento de energia elétrica em ambientes residenciais a partir da exploração de modelos de transação de energia (De Azevedo et al., 2022; Yang e Wang, 2021).

As técnicas de gerenciamento de energia elétrica residencial (*smart home energy management* - SHEM) desempenham um papel importante em ambientes de redes elétricas inteligentes (*smart grid*) por fornecer uma plataforma de integração das redes elétricas de distribuição, pequena geração distribuída, armazenamento, veículo elétrico e o consumo de energia, em uma rede com informações e comunicação de avançada tecnologia (De Azevedo et al., 2022).

O crescimento projetado dos veículos elétricos pode apresentar importantes impactos para operação das redes elétricas e para o consumo de energia residencial, pois há considerável aumento de carga. Porém, os veículos elétricos podem fornecer flexibilidade para promover a adequada integração das fontes de energia renováveis, contribuindo para descarbonização tanto do transporte quanto da matriz de geração elétrica e ainda assim, promover através de suas tecnologias o conceito de armazenamento móvel (Gaete-Morales et al., 2021).

Para a *International Renewable Energy Agency* (Irena) deve acelerar a eletrificação das frotas de veículos nas próximas décadas, passando de atuais 1% para 49% em 2050. Desta forma, os veículos elétricos podem ser responsáveis por mais de 80% de todas as atividades de transporte em 2050 (IEA, 2021).

A combinação da utilização dos recursos energéticos distribuídos (*distributed energy resources* - DER) aliados as estações de recarga de veículos elétricos (*electric vehicle charging stations* - EVCS) fornecem uma promissora solução para aliviar a demanda de energia e propiciar novos modelos de negócios através da transação de energia (Wu et al., 2020).

O veículo elétrico tem o potencial para fornecer contribuições na mobilidade elétrica que vai além do aspecto ambiental. O gerenciamento coordenado da operação V1G (considerando *smart charging*) e V2G podem permitir transferência de energia entre veículo e rede elétrica, redução de picos de demanda, *load leveling* e reserva girante (Kwon et al., 2020).

A potencial flexibilidade na carga e descarga do veículo elétrico (*Plug-in electric vehicle* - PEV) pode ser utilizada para compensar a volatilidade e intermitência das fontes de geração renováveis, principalmente no contexto de uma grande participação destas (Daryabari, Keypour e Golmohamadi, 2020).

Desta forma, a exploração das baterias dos veículos elétricos deve ser analisada como um dispositivo de armazenamento móvel que possui a capacidade de expandir a flexibilidade existente na operação deste ativo. Conforme descrito por Daryabari, Keypour e Golmohamadi (2020), a integração das baterias dos veículos elétricos junto à rede elétrica tem duas grandes vantagens: (i) cargas altamente controláveis (*schedule*) e (ii) demanda elétrica altamente móvel.

Este trabalho tem por objetivo apresentar um conceito de sistema de gerenciamento de energia elétrica residencial na presença de recursos energéticos distribuídos (Geração solar fotovoltaica e sistema de armazenamento por baterias) e do veículo elétrico, onde além da integração destes elementos para operação otimizada da residência é também explorado os conceitos de armazenamento móvel de energia, operação V2G e de transação de energia integrados por um único sistema de gerenciamento. Assim, é esperada uma operação otimizada onde todos os elementos do ambiente residencial são observados em conjunto a fim de que o usuário do sistema de gerenciamento consiga potencializar a utilização do seu conjunto de ativos, proporcionando maior rentabilidade e

consequentemente um retorno mais rápido de seu investimento.

2. REVISÃO LITERATURA

Com o objetivo em gerenciar os recursos energéticos distribuídos de geração e armazenamento, em ur Rehman, Yaqoob e Adil Khan (2022) é apresentado um modelo de gestão de energia que realiza o agendamento do uso de cargas domésticas com a capacidade de gerenciar o processo de carga e descarga do sistema de armazenamento e do veículo elétrico com o objetivo de minimizar a aquisição de energia da rede.

Em Yang e Wang (2021) a estratégia proposta utiliza a capacidade de backup de energia dos veículos elétricos híbridos *plug-in* (PHEV) para complementar a fonte solar fotovoltaica (PV) residencial e alimentar a casa na presença de um evento de interrupção da rede. A proposta busca realizar a gestão de energia considerando o veículo elétrico com um sistema móvel de armazenamento de energia em seu processo de carga e descarga.

Já no estudo apresentado por Sattarpour, Nazarpour e Golshannavaz (2018) o sistema de gerenciamento SHEM multi-objetivo busca realizar a redução do custo diário com energia. Para isto, o gerenciamento é realizado considerando cargas controláveis e cargas não controláveis, armazenamento de energia, GD fotovoltaica e veículo elétrico PHEV. O Processo de otimização é realizado considerando passos de discretização de 10 minutos, sendo apenas realizado o planejamento da operação de maneira que são assumidos que os dados de previsão para carga e geração são confiáveis.

Nos estudos apresentados por Zupančič, Filipič e Gams (2020) e Farias et al. (2021) a operação integrada do VE entre residência e a rede elétrica pode trazer benefícios para a operação do sistema de distribuição uma vez que ajuda a preencher o vale criado durante o dia, quando a geração renovável é grande e ao final do dia em que a geração diminui, ao contribuir para a redução da demanda de pico nas residências com o conceito de armazenamento móvel.

O conceito de V2G foi inicialmente apresentado por Amory Lovins e Willian Kempton, conforme Solanke et al. (2020), e considera que a energia armazenada nas baterias do veículo elétrico pode ser injetada na rede elétrica durante horários de pico de demanda, podendo assim ser utilizada para mitigar flutuações de demanda na rede e prover serviços ancilares: estabilização de tensão e frequência. É destacado, também, no estudo apresentado por Solanke et al. (2020) que a energia fornecida pelo V2G tem baixo impacto nos sistemas de geração e transmissão, porém se gerenciado de forma eficiente pode ser importantemente vantajoso para o sistema de distribuição.

Já em Nadeem et al. (2019) é comprovado que os veículos elétricos complementam a capacidade de armazenamento e ainda podem atuar como sistemas de armazenamento móvel e ser utilizado em processos de transação energética. Por fim, IRENA (2019) cita que os veículos utilizados individualmente permanecem estacionados por cerca de 90% do tempo em casa ou no local de trabalho. Cita também que a recarga dos VE

deve ser realizada nos horários de maior geração renovável, que no caso da geração solar é no horário entre manhã e tarde, assim os carregadores para os VE deveriam ser alocados próximos aos locais onde os VE permanecem estacionados durante o dia. Também, sinaliza que esta energia deve ser utilizada à noite nos modos V2H e também V2G, utilizados na transação energética.

Neste estudo é adotada como referência a proposta estabelecida por Farias et al. (2021) que aborda o gerenciamento de EVCS, onde o sistema de gerenciamento do EVCS é criado para receber o agendamento de recargas na etapa *day-ahead*. Para isto, neste trabalho o sistema de gerenciamento dos recursos energéticos residenciais de um proprietário de VE pode, segundo as definições do proprietário, avaliar a partir das informações passadas pelos EVCS (disponibilidade e tarifas para recarga) oportunidades de recargas agendadas no EVCS durante o dia. Assim, o SHEMA pode integrar à sua otimização diária a capacidade de melhor gerir o armazenamento do VE, mesmo ele estando fora da residência. O conceito de gerenciamento proposto neste trabalho é inovador por buscar otimizar a capacidade de armazenamento do VE no período que ele tradicionalmente se encontra fora da residência (considerando que o VE é utilizado para atender o proprietário que trabalha fora de casa no horário comercial) e por isso não armazena a energia gerada pelos sistemas fotovoltaicos disponíveis.

3. METODOLOGIA DESENVOLVIDA

A metodologia apresentada busca avaliar um novo conceito de sistema de gerenciamento inteligente de recursos energéticos residenciais (SHEMA), capaz de integrar o ambiente residencial, e seus DER, ao ambiente externo a residência (EVCS), a partir do gerenciamento da carga e descarga das baterias do VE, conforme representado na Figura 1. Para isto, a contribuição apresentada é centrada em três conceitos amplamente discutidos no âmbito do veículo elétrico: armazenamento móvel, operação V2G e transação de energia.

Na Figura 1 pode-se observar que a residência possui além dos DER (geração FV e BESS) o veículo elétrico, que neste caso pode operar no ambiente residencial em modo V2G transacionando energia com a rede elétrica. Contudo, no conceito de SHEMA proposto o sistema de gerenciamento além de estar comunicando e gerenciando os elementos do ambiente residencial, está também trocando informações com estações de recargas de VE públicas, que apresentam a capacidade de informar os custos da recarga e são capazes de receber agendamentos para realização da recarga do VE.

A partir da integração das estações de recargas ao SHEMA, junto a entrada de preferência do usuário do EV: horário de partida do EV da residência e locais e horários que ele poderá deixar o VE em um EVCS, o sistema de gerenciamento insere em sua rotina de otimização as possibilidades de recargas em EVCS com objetivo de determinar o melhor regime de operação para o VE, observando ainda os recursos DER da residência.

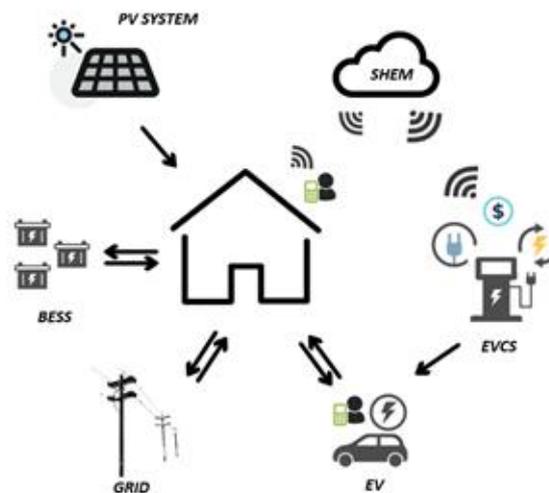


Fig. 1: Sistema SHEMA proposto

Na abordagem inicial do conceito desenvolvido, apresentado neste trabalho, o foco será voltado em evidenciar as vantagens que tal modo de operação pode beneficiar o proprietário do VE, através da obtenção de um melhor retorno financeiro do seu ativo. No entanto, deve-se observar, que o conceito abordado neste trabalho quando expandido e integrado ao conceito de veículo conectado poderá permitir que o SHEMA auxilie o proprietário do VE a utilizar o seu ativo para transacionar energia a qualquer momento do dia, em todos os locais em que o VE estiver estacionado e um ponto de recarga público disponível.

Para implementar o conceito proposto é desenvolvido o algoritmo de gerenciamento do SHEMA utilizando programação linear inteira mista (PLIM), similar a abordagem matemática apresentada em De Azevedo et al. (2022). Contudo, neste estudo é considerado o VE fazendo parte dos elementos gerenciados pelo SHEMA, assim como os DER presentes no ambiente residencial.

Outro aspecto a ser ressaltado no algoritmo desenvolvido é a solução dinâmica multi-período para operação em tempo real, de maneira que a cada passo de operação do algoritmo é obtido o sinal de referência para operação em tempo real dos DER e do controle da bateria do VE enquanto são observadas todas as variáveis de operação previstas para o horizonte de operação considerado, sendo nesta abordagem considerado o horizonte de um dia de operação. Também, a solução dinâmica do algoritmo permite a atualização dos estados de operação já realizados, como os estados de carga (*state of charge* - SoC) do BESS e VE, e das variáveis dependentes de dados de previsão, como as tarifas de compra e venda de energia, a geração FV e do consumo residencial, sendo neste caso aplicada uma estratégia de operação realizada on-line, conforme Farias et al. (2021).

Para avaliar o conceito de SHEMA proposto é utilizada a função objetivo apresentada nas equações 1-2, onde o objetivo é minimizar o custo total da energia.

$$\text{minimiza } Z = \sum_{i=0}^N C_{Total(i)} \quad (1)$$

$$C_{Total(i)} = e_{Rede(i)} \times T_{compra(i)} - e_{Inj(i)} \times T_{venda(i)} + e_{Curt(i)} \times T_{venda(i)} + e_{EVCS,carga(i)} \times T_{EVCS(i)} \quad (2)$$

O modelo completo do SHEM é construído por um conjunto de restrições bastante extenso, similar ao apresentado em De Azevedo et al. (2022). Assim, neste espaço são apresentadas apenas as restrições mais importantes relacionadas o processo de gerenciamento da recarga do VE. Na equação 3 é apresentado o fluxo de energia na bateria do VE, representado pelas parcelas de carga e descarga da bateria do VE na residência, assim como o processo de carga do VE no EVCS e da energia gasta na utilização do VE.

$$SOC_{EV(i)} = SOC_{EV(i-1)} + (\eta_{carga} \times e_{EV,carga(i)}) - \left(\frac{e_{EV,descarga(i)}}{\eta_{descarga}} \right) + e_{EVCS,carga(i)} - e_{EV,utilizado(i)} \quad (3)$$

O controle da recarga do VE é o processo fundamental da abordagem proposta, e está relacionado aos períodos em que o VE está conectado ao sistema elétrico da residência ou disponível para ser conectado ao carregador de um EVCS. Quando o VE está na residência é possível transacionar a energia armazenada na bateria, enquanto no período que ele está fora da residência a recarga do VE poderá ser realizada caso o SHEM determine a viabilidade econômica. As restrições que orientam os processos de carga e descarga do VE são apresentadas nas equações 4-5.

$$e_{EV,carga(i)} \begin{cases} \geq 0, & 0 \geq i < t_{d,casa}, t_{a,casa} \geq i < N \\ = 0, & t_{d,casa} \geq i < t_{a,casa} \end{cases} \quad (4)$$

$$e_{EVCS,carga(i)} \begin{cases} = 0, & 0 \geq i < t_{a,EVCS}, t_{d,EVCS} \geq i < N \\ \geq 0, & t_{a,EVCS} \geq i < t_{d,EVCS} \end{cases} \quad (5)$$

Assim, a partir da determinação ou estimação dos períodos em que o VE está na residência ($t_{d,casa}$ e $t_{a,casa}$) e dos períodos em que o VE estará disponível para ser conectado ao EVCS ($t_{a,EVCS}$ e $t_{d,EVCS}$) o SHEM poderá realizar o gerenciamento da recarga do VE. É importante ressaltar que nos períodos em que o VE estiver na residência o SHEM atuará dinamicamente sobre os processos de carga e descarga do EV. No entanto, no período em que o VE estiver fora da residência, o SHEM apenas pode indicar o processo de recarga no EVCS que é mais vantajoso ao usuário, devendo neste caso o usuário procurar o EVCS ou caso disponível realizar o agendamento da recarga ou permitir que o SHEM realize o agendamento, caso esta função esteja disponível. Em uma abordagem mais avançada o próprio SHEM poderia realizar o agendamento junto ao EVCS a partir de uma sinalização dada pelo usuário do VE.

4. ESTUDO DE CASO

Para apresentar e avaliar o conceito de SHEM proposto é realizado estudo de caso considerando um ambiente residencial com presença de DER e um veículo elétrico que pode ser conectado à rede elétrica através de carregador de EV com a função V2G. Os resultados são apresentados com base na operação com discretização em passos de 5 minutos, sendo as 24h representadas por 288 períodos. Os dados básicos dos

elementos considerados neste estudo de caso são apresentados na Tabela 1.

A partir das considerações realizadas é apresentada na Figura 2 o perfil de operação do VE ao longo do dia, onde são mostradas o SoC do VE e o fluxo de potência na bateria do VE, compostos pelos valores de carga e descarga no ambiente residencial, carga no EVCS e descarga pela utilização do VE em deslocamento. É possível observar que na condição de operação simulada o SHEM realiza inicialmente a recarga do VE até o SoC de 45 kWh, após inicia processo de injeção de energia na residência através da operação V2G.

Tabela 1: Valores de referência para o estudo de caso.

Descrição	Valor
Geração PV	3,3 kWp
BESS	10 kWh
Capacidade EV	50 kWh
$t_{d,Home}, t_{a,Home}, t_{a,EVCS}, t_{d,EVCS}$	96, 207, 104, 215

O VE parte da residência com menos de 30 kWh de energia armazenada nas baterias e realiza deslocamento até ficar com SoC de 25 kWh. Na rotina simulada o SHEM observa a possibilidade de realização de recarga em EVCS com o potencial de elevar o SoC do EV de 25kWh para o SoC completo de 50 kWh, nesta condição deve-se observar que o SHEM não controla o processo de recarga externo a residência, ele apenas identifica a oportunidade de recarga e sinaliza esta opção ao usuário do sistema. A sequência da operação do VE pressupõe a realização da recarga do VE no EVCS, sendo então iniciado o processo de retorno do VE até a residência. Quando o VE é conectado ao carregador V2G da residência o SHEM atualiza o SoC do VE e dá sequência na operação através da otimização dinâmica dos recursos energéticos da residência, o que conduz a transação da energia armazenada no VE a partir da injeção desta energia na rede elétrica da residência. Assim, tanto a residência quanto a rede elétrica local recebem a energia armazenada no VE e se beneficiam com o conceito de armazenamento móvel gerenciado pelo SHEM.

Na abordagem simulada, considerando como caso base a operação V2G do VE na residência sem a recarga no EVCS, o fluxo inicial de energia transacionada pelo VE foi de 16,25 kWh, com um custo total da operação diária do sistema de R\$-21,34. Considerando os mesmos ajustes de operação do caso inicial, mas realizando o processo de recarga no EVCS, o fluxo de energia transacionada pelo VE foi de 29,67 kWh com um custo de operação diária total da residência de R\$-26,27. Assim, é observado que no cenário simulado a realização da recarga do VE no EVCS integrada ao SHEM trouxe um retorno financeiro de aproximadamente 23% maior ao usuário, se comparado ao caso base. Deve-se observar que na análise de custos apresentada foram consideradas eficiências de 90% nos processos de carga e descarga da bateria do VE, outrossim foi desconsiderado na análise o custo da degradação da bateria do VE.

Além da inserção do conceito de transação de energia e armazenamento móvel inserido no SHEM proposto outro

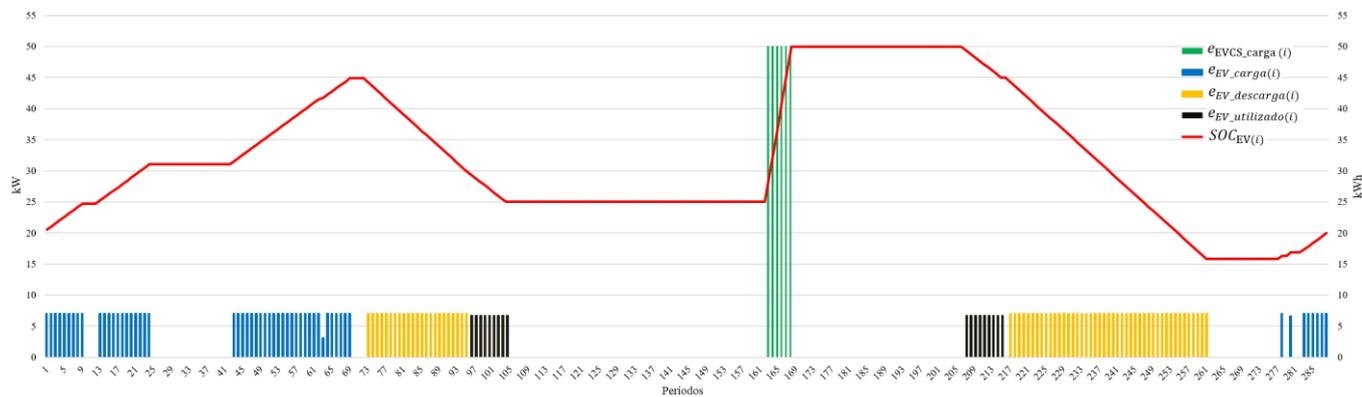


Fig. 2: Perfil de recarga do VE

aspecto buscado na abordagem desenvolvida é a operação em tempo real dos recursos gerenciados. Neste aspecto a abordagem apresentada busca através da otimização dinâmica multi-período garantir uma operação otimizada que se diferencia de outras técnicas que realizam a operação em tempo real, por determinar o próximo passo de operação em tempo real não apenas olhando as condições passadas e presentes da operação, mas também observando as referências que se tem para a operação futura do sistema. Contudo, é um desafio este tipo de abordagem pelo trade-off existente entre o tempo de discretização do modelo e o tempo necessário para execução de cada passo de otimização do algoritmo. Para apresentar esse trade-off é mostrado na Tabela II o tempo médio de execução do algoritmo para diferentes tempos de discretização simulados no modelo desenvolvido. O tempo apresentado na Tabela 2 é o tempo necessário para escrever o modelo PLIM, que é realizado a cada novo passo de execução para permitir a atualização de todas as variáveis do modelo, junto a execução do processo de otimização solucionado no solver CPLEX® em notebook com processador Intel® core I7 16GB de memória.

Tabela 2: Tempo de discretização vs tempo médio de execução

Tempo de discretização	Tempo de execução médio
15 minutos	0,5 segundos
5 minutos	1 segundo
3 minutos	1,8 segundos
1 minutos	5,4 segundos
30 segundos	9,5 segundos
15 segundos	19,2 segundos

A partir dos dados apresentados na Tabela 2 é possível observar que nas condições simuladas o algoritmo desenvolvido apresenta a capacidade de execução em tempo real viável para períodos de discretização de até 30 segundos, com uma margem de segurança média de aproximadamente 68% do período, ou seja, para execução do passo de otimização com discretização de 30 segundos são necessários apenas 32% do período para obter a solução da rotina de otimização. No entanto, é necessário ressaltar que nenhuma medida especial foi realizada com intuito de aprimorar a velocidade de execução do algoritmo, tais como o refinamento do modelo implementado ou ajustes no solver para entregar uma resposta mais rápida. Neste sentido novos ajustes devem ser buscados para redução do passo de discretização para

provimento de operação em tempo real com menor atraso possível.

5. CONCLUSÕES

A proposta abordada neste trabalho apresenta conceito inovador para os sistemas de gerenciamento residencial de energia elétrica, onde além de realizar gerenciamento dos DER presentes na residência, traz ao SHEM a capacidade de integrar o VE de forma ampla ao sistema elétrico, tanto no ambiente residencial quanto fora dele.

Na estratégia apresentada o SHEM é capaz de observar no processo de gerenciamento as oportunidades de recarga fora do ambiente residencial e apontar ao usuário do VE as possibilidades disponíveis de recarga. Uma vez que o usuário aceita a sugestão do SHEM o sistema de gerenciamento agrega aquele comportamento projetado a rotina de operação do sistema de maneira que a transação de energia e conceito de bateria móvel são utilizados para em primeira instância produzirem valor ao proprietário do VE, rentabilizando ainda mais o seu ativo.

Contudo, chama-se a atenção para o impacto positivo que a operação proposta pode criar na operação das redes de distribuição, pois ao mesmo tempo que o VE pode ser recarregado fora da residência com o excesso de geração renovável disponível há um custo menor, contribuindo para a redução do impacto desta geração intermitente na rede elétrica ou pelo corte de geração. O VE também contribui com a operação da rede elétrica local ao injetar a energia armazenada em horário de sobrecarga da rede elétrica, orientado pelo maior valor de energia elétrica o SHEM gerencia o processo de descarga da bateria do VE fornecendo o sinal de referência para a operação do carregador V2G.

No presente trabalho é apresentado o impacto positivo do conceito implementado no SHEM. Porém, entende-se como trabalhos futuros a necessidade de avanços no conceito para integrar ao processo do SHEM o conceito de carro conectado. Neste caso a partir da conexão on-line do SHEM com o VE o gerenciamento da transação de energia utilizando as baterias do VE pode ser realizado ao longo de todo o dia, dando ainda mais dinamismo a utilização do VE como ativo capaz de gerar valor para o seu proprietário. Também, como um avanço futuro da abordagem, é esperado o aprimoramento do algoritmo para redução do tempo de execução e integração de incertezas no processo de planejamento da operação, realizada

dinamicamente ao assumir grandezas de previsão ao longo da operação diária.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Programa de P&D ANEEL Chamada P022, à Copel-Dis pelo suporte financeiro através do projeto PD 2866-0519/2019, Interface de Inovação Multi Agente Envolvendo a Indústria Automobilística, os Sistemas de Energia e Infraestruturas de Mobilidade Elétrica para Eletroviás Inteligentes, à Universidade Federal de Santa Maria, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES/PROEX) - Código de Financiamento 001. Também são gratos pelo apoio financeiro do CNPq 465640/2014-1, processo CAPES no. 23038.000776/2017-54 e FAPERGS 17/2551-0000517-1.

REFERÊNCIAS

- Daryabari, M.K., Keypour, R., Golmohamadi, H. (2020). Stochastic energy management of responsive plug-in electric vehicles characterizing parking lot aggregators. *Applied Energy* 279.
- De Azevedo, R. M., Canha, L. N., Garcia, V. J., Sepúlveda Rangel, C. A., Santana, T. A. S., and Nadal, Z. I. (2022). Dynamic and proactive matheuristic for AC/DC hybrid smart home energy operation considering load, energy resources and price uncertainties. *Int. J. Electr. Power Energy Syst.*, vol. 137, no. July 2021, 107463.
- Farias, H.E.O. (2021). Combined framework with heuristic programming and rule-based strategies for scheduling and real time operation in electric vehicle charging stations. *Energies* 14, 1370.
- Gaete-Morales, C., Kramer, H., Schill, W. P., Zerrahn, A. (2021). An open tool for creating battery-electric vehicle time series from empirical data, emobpy. *Scientific Data*, volume 8.
- I. E. A. IEA, (2021). Global EV Outlook 2021. Tech. Rep., International Energy Agency, Paris. Available: <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2021>.
- IRENA (2019). Utility-Scale Batteries Innovation Landscape Brief. *International Renewable Energy Agency*.
- Kwon, Y., Kim, T., Baek, K., Kim, J. (2020). Multi-objective optimization of home appliances and electric vehicle considering customer's benefits and offsite shared photovoltaic curtailment. *Energies*, volume 13.
- Nadeem, F., Hussain, S. M. S., Tiwari, P. K., Goswami, A. K. and Ustun, T. S. (2019). Comparative review of energy storage systems, their roles, and impacts on future power systems. *IEEE Access*, volume 7, 4555–4585.
- Sattarpour, T., Nazarpour, D., Golshannavaz, S. (2018) A multi-objective HEM strategy for smart home energy scheduling: A collaborative approach to support microgrid operation. *Sustain. Cities Soc.*, vol. 37, 26–33.
- Solanke, T.U., Ramachandaramurthy, V.K., Rajagopalan, A. (2020). A review of strategic charging–discharging control of grid-connected electric vehicles. *Journal of Energy Storage*, 101193.
- ur Rehman, U., Yaqoob, K., Adil Khan, M. (2022). Optimal power management framework for smart homes using electric vehicles and energy storage. *International Journal of Electrical Power and Energy Systems*, volume 134.
- Wu, Y., Zhang, J., Ravey, A., Chrenko, D., and Miraoui, A. (2020). Real-time energy management of photovoltaic-assisted electric vehicle charging station by markov decision process. *Journal of Power Sources*, volume 476.
- Yang, Y., Wang, S. (2021). Resilient residential energy management with vehicle-to-home and photovoltaic uncertainty. *International Journal of Electrical Power and Energy Systems*, volume 132.
- Zupančič, J., Filipič, B., Gams, M. (2020). Genetic-programming-based multi-objective optimization of strategies for home energy-management systems. *Energy*, volume 203.