



Evento: XXXIV Seminário de Iniciação Científica

DESENVOLVIMENTO E AVALIAÇÃO DE MODELOS COMPUTACIONAIS PARA O GERENCIAMENTO DE ENERGIA DE UMA BATERIA EM NANOGRIDS¹

Jonathan Bellé², Airam Teresa Zago Romcy Sausen³, Paulo Sérgio Sausen⁴

¹ Projeto de pesquisa desenvolvido na Unijuí; com financiamento da agência CNPq.

² Estudante do curso Engenharia Elétrica, bolsista do Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - PIBIC/CNPq.

³ Professor orientador do projeto Modelagem Matemática e Computacional Aplicada às Smart Grids.

⁴ Professor coordenador do projeto Modelagem Matemática e Computacional Aplicada às Smart Grids.

INTRODUÇÃO

A crescente inserção de sistemas fotovoltaicos distribuídos tem impulsionado o desenvolvimento de arquiteturas de geração descentralizada, como as nanogrids, que integram fontes renováveis, sistemas de armazenamento de energia e cargas locais, proporcionando maior eficiência energética, flexibilidade operacional e confiabilidade no fornecimento de energia elétrica. Nesse contexto, as baterias de íons de lítio desempenham um papel fundamental ao compensarem a intermitência da geração solar e permitirem um gerenciamento mais eficiente do fluxo de energia entre geração, armazenamento e consumo.

Com isso, a compreensão do comportamento dinâmico das baterias torna-se essencial para o desenvolvimento de estratégias de gerenciamento de energia mais seguras e eficientes. Assim, este trabalho tem como objetivo desenvolver, no ambiente MATLAB/Simulink, um modelo elétrico capaz de representar o comportamento da bateria em diferentes condições de carga e descarga, servindo como ferramenta para análise de estratégias de gerenciamento de energia em nanogrids. O projeto está alinhado ao Objetivo de Desenvolvimento Sustentável (ODS) 7 – Energia Acessível e Limpa, por contribuir para o desenvolvimento de soluções voltadas à geração renovável, e ao ODS 9 – Indústria, Inovação e Infraestrutura, por empregar técnicas de modelagem aplicadas a sistemas energéticos inteligentes.

METODOLOGIA

O desenvolvimento deste trabalho foi realizado utilizando a infraestrutura de nanogrid dos laboratórios do Grupo de Automação Industrial e Controle (GAIC), composta por dois



arranjos fotovoltaicos, um inversor e um sistema de armazenamento com bateria. Inicialmente, foi realizado um levantamento bibliográfico sobre sistemas fotovoltaicos, baterias de íons de lítio, conversores eletrônicos de potência e estratégias de gerenciamento de energia, complementado pela análise dos catálogos técnicos dos equipamentos para obtenção dos parâmetros utilizados na modelagem computacional.

Com base nessas informações, foi desenvolvido um modelo da nanogrid no ambiente MATLAB/Simulink, utilizando os blocos Battery e PV Array para representar, respectivamente, a bateria e os módulos fotovoltaicos. O sistema de conversão foi modelado por meio de um conversor CC-CC buck controlado por um algoritmo Maximum Power Point Tracking (MPPT), responsável por operar os painéis próximos ao ponto de máxima potência.

O controle de carga foi implementado através de um conversor CC-CC bidirecional controlado por uma estrutura em cascata de controladores PI, responsável por limitar as correntes de carga e descarga aos valores recomendados pelo fabricante. O modelo foi avaliado por meio de simulações utilizando dados reais de irradiância, temperatura e geração fotovoltaica da nanogrid, permitindo comparar as estratégias com e sem controle de potência.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os primeiros testes foram realizados utilizando um modelo da nanogrid sem controle de potência, com o objetivo de avaliar o comportamento da bateria durante os processos de carga e descarga em função da geração fotovoltaica e da potência da carga. Os resultados demonstraram que o modelo representou adequadamente a dinâmica da bateria, reproduzindo o aumento da tensão terminal durante os períodos de maior geração fotovoltaica em decorrência do aumento da corrente de carga, bem como a evolução do estado de carga (SoC) ao longo do processo de carregamento. Durante a descarga, observou-se a curva característica de baterias de íons de lítio, na qual a tensão, a corrente e a potência da bateria permanecem praticamente constantes durante a maior parte da operação e sofre variações mais acentuadas quando o SoC se encontra próximo a 90% ou 10%.

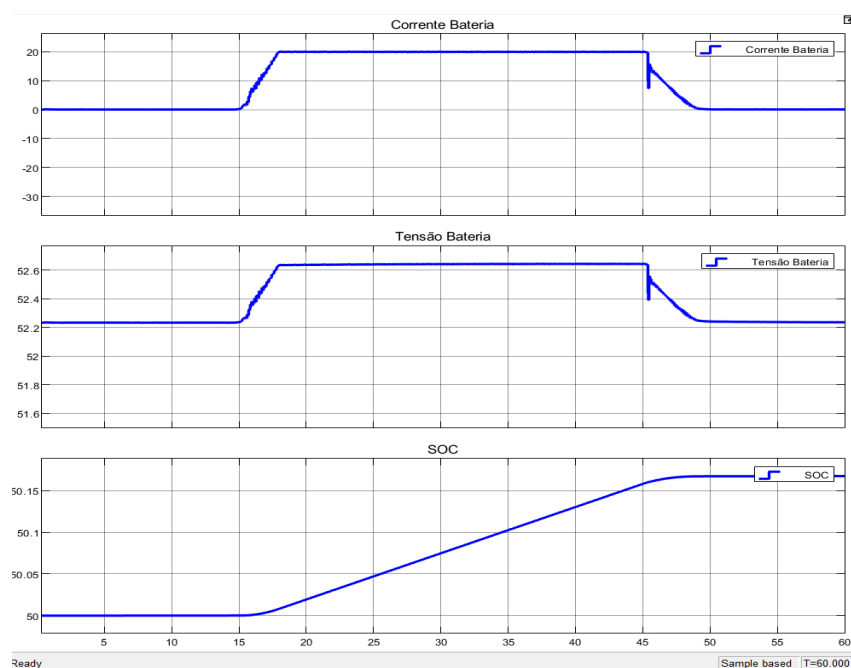
Entretanto, também foram identificadas limitações que inviabilizam sua aplicação em um sistema real. Durante o carregamento, toda a potência gerada pelos arranjos fotovoltaicos era transferida diretamente para a bateria, permitindo que a corrente ultrapassasse o limite



máximo de 100 A especificado pelo fabricante. Além disso, durante a descarga, a potência fornecida à carga variava conforme o SoC da bateria, não garantindo um fornecimento estável de energia. Isso mostra a necessidade de implementar uma estratégia de controle de potência capaz de limitar as correntes de operação e tornar o gerenciamento de energia mais compatível com as condições reais de funcionamento da nanogrid.

Para implementar o controle de potência no sistema, foi incorporado um conversor CC-CC bidirecional com controle PI entre os arranjos fotovoltaicos e a bateria. Assim, a corrente de carga e descarga é limitada ao valor recomendado de 20 A pelo fabricante, além de regular a tensão. A Figura 1 mostra os resultados obtidos para o carregamento da bateria.

Figura 1 - Comportamento da bateria durante simulação de carregamento controlado



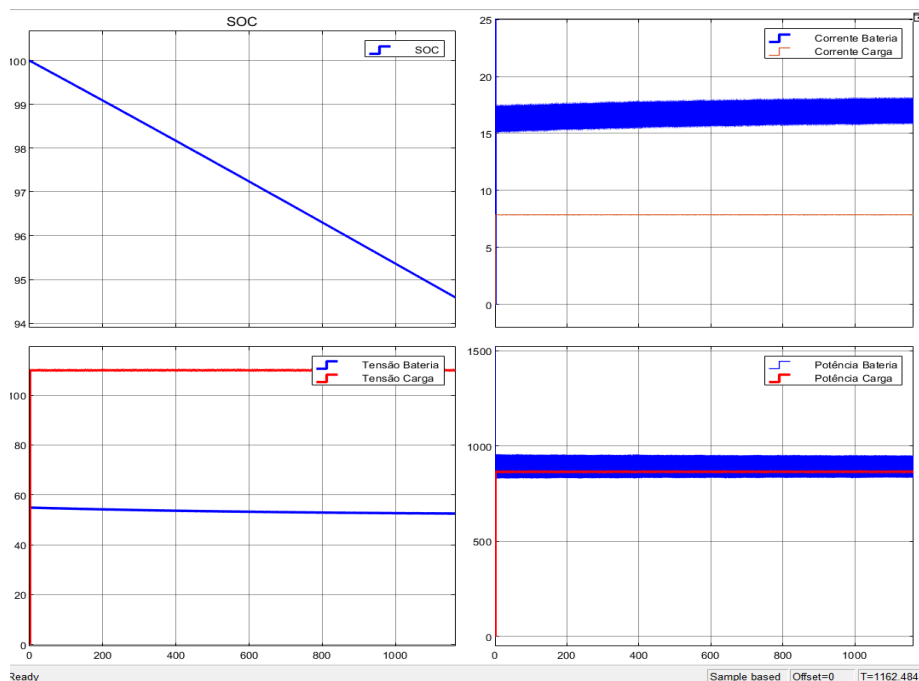
Fonte: Autoria própria

Podemos observar que a partir do momento em que a corrente de carga ultrapassa 20A, o conversor bidirecional começa a atuar sobre o sistema, impondo um limite no carregamento, evitando que correntes elevadas reduzissem sua vida útil. Desta forma, o status de carga da bateria apresenta um aumento linear durante grande parte do tempo.

Para o descarregamento, será imposto como condições da simulação que o conversor bidirecional eleve a tensão da bateria de 54,8V para abastecer uma carga de 14Ω com 110V, ou seja, entregar 864W de potência estáveis. A Figura 2 mostra os resultados obtidos.



Figura 2 - Descarregamento da bateria com controle para uma carga de 864W



Fonte: Autoria própria

Observa-se que a potência fornecida pela bateria e entregue a carga permaneceram praticamente constantes ao longo de todo o ensaio, ambas com um valor muito próximo a 864W, evidenciando a atuação do controlador PI em conjunto com o conversor bidirecional na regulação do fluxo de energia. Como consequência, enquanto a tensão da bateria apresentou um decréscimo gradual, a corrente de descarga possui um aumento proporcional à tensão. Os valores medidos na carga também estão de acordo com a teoria, dado que a elevação da tensão na carga é compensada pela diminuição da corrente, mantendo o princípio de que a potência que entra no conversor deve ser igual à que sai. Com isso, o SoC decresceu continuamente e de forma aproximadamente linear durante o intervalo analisado, indicando uma descarga estável e sem oscilações significativas.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O desenvolvimento dos modelos computacionais permitiu compreender o comportamento da bateria em diferentes condições de carga e descarga, demonstrando a importância da modelagem para a análise de sistemas de armazenamento aplicados a



nanogrids. O modelo sem controle de potência apresentou boa representação da dinâmica da bateria, porém evidenciou limitações relacionadas ao fornecimento direto de potência e à ausência de restrições de corrente, tornando sua aplicação pouco adequada em condições reais de operação.

Em contrapartida, o modelo com controle de potência mostrou-se mais compatível com um sistema físico, ao limitar a corrente de carga e descarga e promover um gerenciamento de energia mais seguro e eficiente. Apesar dos resultados satisfatórios, a estratégia de controle ainda demanda aperfeiçoamentos para aumentar sua robustez e estabilidade em diferentes condições de operação. Assim, o trabalho atingiu os objetivos propostos e estabeleceu uma base consistente para o desenvolvimento de futuras pesquisas relacionadas ao gerenciamento de energia em nanogrids com armazenamento em baterias.

Palavras-chave: Nanogrid. Bateria de íons de lítio. Controle de potência.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio financeiro concedido por meio do Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica (PIBIC), bem como à Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul (UNIJUÍ) e ao Grupo de Automação Industrial e Controle (GAIC) pela infraestrutura e pelo suporte disponibilizados para o desenvolvimento desta pesquisa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

TAN, Rodney H. G.; ER, Chee Kang; SOLANKI, Sunil G. *Modeling of Photovoltaic MPPT Lead Acid Battery Charge Controller for Standalone System Applications*. E3S Web of Conferences, v. 182, art. 03005, 2020. Disponível em: https://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/pdf/2020/42/e3sconf_cpeee2020_03005.pdf. Acesso em: 29 jun. 2026.

M. Brondani. *Modelagem matemática do tempo de vida de baterias de lítio íon polímero utilizando algoritmos genéticos*. Mestrado, UNIJUÍ, Ijuí-RS, Fevereiro de 2015.