

Método para alocação, dimensionamento e gerenciamento da operação de BESS visando redução de perdas elétricas em sistemas de distribuição

Marger W. Barbosa, Maria E. F. Octaviano, Amanda C. Tostes,
Leandro R. Araujo, Débora R. R. P. Araujo

Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, MG, Brasil

(e-mails: marger.barbosa@engenharia.ufjf.br; elisa.octaviano@engenharia.ufjf.br; amanda.tostes@engenharia.ufjf.br
leandro.araujo@ufjf.edu.br; debora.rosana@ufjf.edu.br)

Abstract: With the increasing demand for electricity and the interest in the integrating intermittent sources into distribution systems, new technologies are needed to improve their reliability and to maintain good power quality indicators. In this context, the use of batteries in distribution systems to assist in such issues is proving interesting. Thus, this work proposes an optimization method to allocate, dimension and manage the operation of energy storage systems by means of batteries in distribution systems aiming at reduce electrical losses without exceeding their operational limits.

Resumo: Com a elevação da demanda por energia elétrica e o interesse de integração de fontes intermitentes em sistemas de distribuição, novas tecnologias são necessárias para melhorar a confiabilidade dos mesmos e para manter bons indicadores de qualidade de energia. Neste contexto, o uso de baterias em sistemas de distribuição para auxiliar em tais questões vem se mostrando interessante. Deste modo, este trabalho propõe um método de otimização para alocar, dimensionar e gerenciar a operação de sistemas de armazenamento de energia por meio de baterias em sistemas de distribuição visando reduzir as perdas elétricas sem extrapolar seus limites operativos.

Keywords: BESS; Power Flow; Distribution Systems; Losses; Genetic Algorithm.

Palavras-chaves: BESS; Fluxo de Potência; Sistemas de Distribuição; Redução de Perdas; Algoritmo Genético.

1. INTRODUÇÃO

Com a elevação da demanda de energia elétrica e o contínuo desenvolvimento de novas tecnologias, os sistemas de distribuição (SD) de energia vêm sofrendo diversas transformações. Investimentos em equipamentos e em infraestrutura são necessários para garantir maior confiabilidade e manter os bons indicadores dos SD frente aos desafios das novas tecnologias. Neste contexto o uso de sistemas de armazenamento de energia surge como uma opção para melhorar o desempenho dos SD.

Dentre os armazenadores de energia os BESS, do inglês *battery energy storage systems*, apresentam a vantagem de ocuparem um espaço físico menor e com isso podem ser alocados nos arredores dos grandes centros consumidores garantindo um suporte local ao SD (Hu *et al.*, 2017). Nos últimos anos os BESS vêm sendo objeto de estudo de diversas pesquisas que visam utilizá-los para solucionar diferentes problemas em SD como: regulação de frequência e tensão, atenuação do pico de carga, redução de perdas elétricas, redução de custos de operação dentre outros como é apontado por Wong *et al.* (2019).

Os BESS podem ser utilizados para auxiliar os SD que possuem fontes de energia intermitentes, como foi feito no trabalho de Raptis *et al.* (2018). Onde é investigado o impacto da variação da quantidade de BESS alocados em um

SD com alta penetração de fontes fotovoltaicas, sendo que, em todos os casos, a capacidade dos BESS foi mantida.

A correta alocação e o correto dimensionamento foi o objetivo do trabalho de Salee & Wirasanti (2018) no qual é proposta uma formulação que considera o suporte de tensão do BESS e as perdas totais da rede.

O trabalho de Zhang *et al.* (2019), visa estimar a degradação das baterias que compõem os BESS e, com isso, verificar seu impacto na redução da vida útil de tais baterias. O que possibilita uma estimativa mais precisa da viabilidade do investimento em BESS.

A redução das perdas elétricas devido ao uso de BESS é estudada em diversos trabalhos como no de Farsadi *et al.* (2015) onde um algoritmo genético (AG) é utilizado para calcular redução das perdas elétricas em um SD após a inserção de um BESS. Com a redução das perdas é realizado um cálculo de viabilidade econômica através do método do valor presente líquido (VPL) para estimar o benefício da instalação de tal equipamento ao longo de um horizonte de planejamento de 5 anos.

O trabalho de Oliveira (2018) também tem como objetivo a redução das perdas elétricas de um SD com a inserção de BESS, isto é feito por meio da alocação de BESS, com suas capacidades de armazenamento pré-estabelecidas, e da definição de sua operação ao longo de intervalos de tempo

fixos. O trabalho utiliza a técnica QSTS, do inglês *quasi-static time series*, para a resolução de fluxos de potência sequenciais necessários para gerenciar a operação do(s) BESS em cada intervalo de tempo e obter o impacto de tal decisão nos índices do SD.

Neste trabalho propõe-se um método cuja principal contribuição é otimizar o dimensionamento da capacidade de armazenamento do(s) BESS em análise juntamente com a definição da alocação e do gerenciamento da operação do(s) mesmo(s) visando maximizar a redução das perdas, respeitando os limites operacionais de tensões nas barras do SD. Para obter a solução é utilizado o software MATLAB para processamento de dados e solução do AG em conjunto com o software OpenDSS onde são modelados o SD, o(s) BESS e os fluxos de potência são calculados.

2. CONCEITOS BÁSICOS

2.1 Baterias

As baterias são dispositivos eletroquímicos que conseguem converter energia elétrica em química e vice-versa (Eyer & Corey, 2010). Com isso são utilizados para armazenar energia elétrica e disponibilizá-la em momentos fortuitos.

A quantidade de energia que está armazenada em uma bateria em determinado instante de tempo é indicada pelo estado de carregamento da bateria, doravante SOC, que é uma variável que indica a porcentagem de energia armazenada no equipamento em relação à sua capacidade nominal.

O SOC pode ser utilizado para controlar o funcionamento da bateria, por meio da definição de seus momentos de carga e descarga. Isto pode ser feito levando-se em conta intervalos de tempo fixos onde o valor SOC, ao final de cada intervalo, é especificado. Com a definição dos valores deve-se observar dois intervalos de tempo consecutivos de cada vez (SOC_{t-1} e SOC_t), e de acordo com o SOC nestes intervalos três situações podem acontecer: (i) SOC_{t-1} e SOC_t serem iguais, neste caso nenhuma ação ocorre na bateria, ou seja, o patamar de energia armazenada é mantido; (ii) SOC_{t-1} é maior do que o SOC_t , o que indica que a energia armazenada foi reduzida durante o intervalo de tempo definido, com isso a bateria descarregou, ou seja forneceu energia ao sistema elétrico no qual está conectada; (iii) SOC_{t-1} é menor do que SOC_t , o que indica que a energia armazenada aumentou durante o intervalo de tempo, com isso a bateria carregou, ou seja, absorveu energia do sistema elétrico ao qual ela está conectada.

Quanto aos limites operacionais do SOC é interessante que ele seja restrito a valores inferiores a 90% e superiores a 15% pois nesta faixa de operação as baterias operam com boa eficiência sem causar sobreaquecimento interno. Nas faixas entre 0 e 15% e acima de 90% ocorrem um maior aquecimento interno na bateria, resultando em uma redução de sua vida útil, devido a elevadas taxas de variação de tensão ou de carregamento. Assim, a operação nestas faixas não é recomendada (Zhang *et al.*, 2017).

Com relação ao modelo de bateria utilizado neste trabalho, ele é o mesmo disponibilizado pelo OpenDSS que é apresentado na Fig. 1 Dugan, R. (2010).

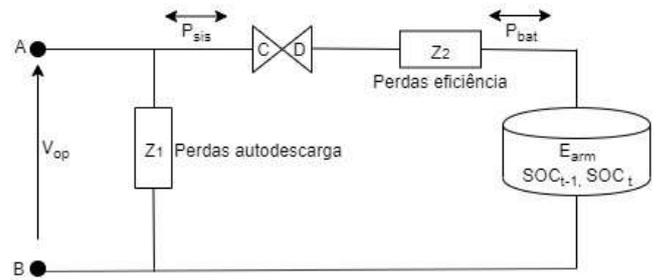


Fig. 1 Modelo de bateria disponibilizado pelo OpenDSS.

No circuito, C e D são apenas indicadores de sentido. Se o fluxo está indo no sentido apontado por C a bateria está carregando, já no sentido apontado por D ela está descarregando. Z_1 representa a parcela de perdas por autodescarga que ocorrem durante todo o tempo em que a bateria está inserida em um sistema elétrico. Enquanto Z_2 representa as perdas por eficiência da bateria que ocorrem durante os processos de carga e descarga da mesma. Quanto maior o rendimento da bateria, menor o valor de Z_2 .

Além do modelo da bateria, o OpenDSS disponibiliza diversos modos para configurar a operação da mesma. Neste trabalho, utiliza-se o modo *follow*, onde uma curva de carga é especificada e é responsável por definir o sistema de gerenciamento da bateria, ou seja, a bateria carrega e descarrega de acordo com a curva de carga disponibilizada. Maiores informações a respeito dos modos de configuração de operação do OpenDSS podem ser encontradas em Dugan (2010).

2.2 Intervalo de Demanda

O intervalo de tempo fixo considerado neste trabalho para definir o gerenciamento da operação do(s) BESS é chamado de intervalo de demanda (ID) e possui duração de uma hora. O somatório de todos os ID de demanda considerados equivale ao tempo total de simulação (t_{tot}) e o número de ID, definido como nID , é calculado conforme (1).

$$nID = \frac{t_{tot}}{ID} \quad (1)$$

Neste trabalho considera-se seis ID, logo, para cada BESS alocado neste trabalho tem-se seis variáveis referentes ao SOC ao final de cada ID, além de uma variável para a alocação e uma para o dimensionamento de cada um. Sendo que cada um dos 6 ID representam níveis de demanda correspondentes a um horizonte de planejamento.

3. FORMULAÇÃO MATEMÁTICA DO PROBLEMA

O problema de otimização proposto consiste na alocação, dimensionamento e definição da operação de um número definido de BESS ($nBat$) visando a máxima redução das

perdas elétricas totais de um sistema de distribuição considerando, por completo, seu intervalo de funcionamento.

A função objetivo deste problema é definida por (2) e as restrições são definidas por (3) a (7). A restrição (3) é uma restrição inerente aos fluxos de potência que são calculados ao longo da busca pela solução do problema. Ela indica que o somatório das potências ativas (P) e reativas (Q), que entram e saem da barra k durante o intervalo de tempo t, deve ser nulo.

As equações (4) a (7) definem restrições de canalização das variáveis do problema relacionada(s) ao(s) BESS (estado de carregamento ao final de cada ID, dimensionamento e local(is) de instalação) e de índices operativos do SD(tensão nos nós do SD).

$$\min FOB = \sum_{t=1}^{nID} P_{perdas,t}^{tot} \quad (2)$$

s.a.

$$P_{k,t} = 0 \quad (3)$$

$$Q_{k,t} = 0 \quad (3)$$

$$SOC_{\min} \leq SOC_{B,t} \leq SOC_{\max} \quad (4)$$

$$V_{\min} \leq V_{k,t} \leq V_{\max} \quad (5)$$

$$0 \leq E_{nom,B} \leq E_{nom,max} \quad (6)$$

$$1 \leq L_B \leq n_{local} \quad (7)$$

$$SOC_{B,t}, E_{nom,B} \in \mathbb{R}$$

$$L_B \in \mathbb{Z}$$

Nos quais: $P_{perdas,t}^{tot}$ equivale às perdas totais que ocorrem no conjunto BESS e SD durante o intervalo de tempo t, dadas em [kW] e calculadas conforme (8); $SOC_{B,t}$ é o estado de carregamento do BESS B no intervalo de demanda t, dado em [%]; $V_{k,t}$ é a tensão do nó k no intervalo de demanda t, dado em [p.u.]; $E_{nom,B}$ equivale ao dimensionamento do BESS B, dado em [kWh]; L_B é uma variável inteira que define o local determinando para alocação do BESS B; n_{local} define a quantidade de nós disponíveis para a alocação do(s) BESS; os índices *min* e *max* representam, respectivamente, os valores mínimos e máximos permitidos para cada variável.

Neste trabalho, o SOC do(s) BESS é limitado entre 15 e 90 % de sua capacidade total de armazenamento, pode variar entre 0, que indica que a alocação de BESS não é vantajosa, e o valor da demanda máxima do SD. Já as tensões dos nós do SD podem variar entre 0,9 e 1,1 pu. O número de locais candidatos a receberem a alocação de BESS é definido por meio de uma análise de sensibilidade realizada previamente no SD avaliado que visa buscar os locais mais aptos a receberem BESS.

$$P_{perdas,t}^{tot} = \sum_{L=1}^{nLin} P_{perdas,t}^{ALim,L} + \sum_{B=1}^{nBat} P_{perdas,t}^{Bat,B} \quad (8)$$

A primeira parcela em (8) representa o somatório das perdas em todos os alimentadores (nLin) do SD e a segunda parcela representa as perdas nos BESS, as perdas em ambas parcelas ocorrem durante o ID t. Todas as perdas são dadas em kW.

As perdas nos alimentadores é obtida por meio da equação de fluxo de carga, reproduzida em (9) onde V_k e V_m são as tensões da barra k e da barra m, respectivamente e g_{km} é a condutância série da linha que conecta as barras k e m (Monticelli, 1983).

$$P_{perdas,t}^{ALim,L} = g_{km} |V_{k,t} - V_{m,t}|^2 \quad (9)$$

Já as perdas nos BESS apresentam uma parcela referente as perdas por autodescarga e outra referente as perdas por eficiência durante seus processos de carga e descarga, conforme (10).

$$P_{perdas,t}^{Bat,B} = P_{perdas,t}^{Aut,B} + P_{perdas,t}^{Ef,B} \quad (10)$$

As perdas por autodescarga ocorrem durante todo o intervalo de funcionamento do BESS e são decorrentes de um fenômeno que ocorre internamente nas baterias usualmente relacionado à suas reações químicas (Eyer & Corey, 2010). Sendo diretamente proporcionais à potência nominal do BESS ($P_{nom,B}$) de acordo com o fator de perdas por autodescarga ($\eta_{int,B}$) disponibilizado pelo fabricante como mostra (11).

$$P_{perdas,t}^{Aut,B} = \frac{|V_{B,t}|}{|V_{nom,B}|^2} \cdot P_{nom,B} \cdot \eta_{int,B} \quad (11)$$

Sendo; $V_{B,t}$ a tensão de operação do BESS, valor equivalente à tensão do nó do SD no qual ele está alocado; $V_{nom,B}$ é a tensão nominal; $P_{nom,B}$ a potência nominal; $\eta_{int,B}$ o fator de perdas por autodescarga. Todas as variáveis são referentes ao BESS B.

Por outro lado, as perdas por eficiência das baterias ocorrem apenas durante seus processos de carga e descarga. O cálculo deste tipo de perda é dependente de seu modo de operação, durante a carga ele é realizado conforme (12) e durante a descarga conforme (13).

$$P_{perdas,t}^{Ef,B,C} = E_{nom,B} \cdot \left(\frac{SOC_{B,t} - SOC_{B,t-1}}{\Delta t} \right) \cdot \left(\frac{1}{\eta_{C,B}} - 1 \right) \quad (12)$$

$$P_{perdas,t}^{Ef,B,D} = E_{nom,B} \cdot \left(\frac{SOC_{B,t-1} - SOC_{B,t}}{\Delta t} \right) \cdot (1 - \eta_{D,B}) \quad (13)$$

Nos quais: $E_{nom,B}$ é a capacidade nominal do BESS B, dado em [kWh]; Δt é a duração do intervalo de tempo, em horas; $SOC_{B,t}$ e $SOC_{B,t-1}$ representam o estado de carregamento do BESS no intervalo de demanda t (atual) e t-1 (anterior), respectivamente, dado em porcentagem; $\eta_{C,B}$ e $\eta_{D,B}$ são os

rendimentos de carga e de descarga do BESS B, dados em porcentagem.

4. MÉTODO PROPOSTO

O problema a ser solucionado é uma programação dinâmica não-linear, com variáveis contínuas que possuem dependência temporal entre elas, além de também possuir variáveis inteiras, sendo um problema de difícil modelagem e solução com o uso dos métodos clássicos de otimização. Assim, optou-se por utilizar o AG como ferramenta de otimização.

O problema pode ser solucionado por um AG que recebe todos os dados do problema e os processa buscando as melhores soluções, deste modo, obtendo todas as variáveis do problema simultaneamente. As etapas do método de solução proposto são descritas pelo fluxograma da Fig. 2.

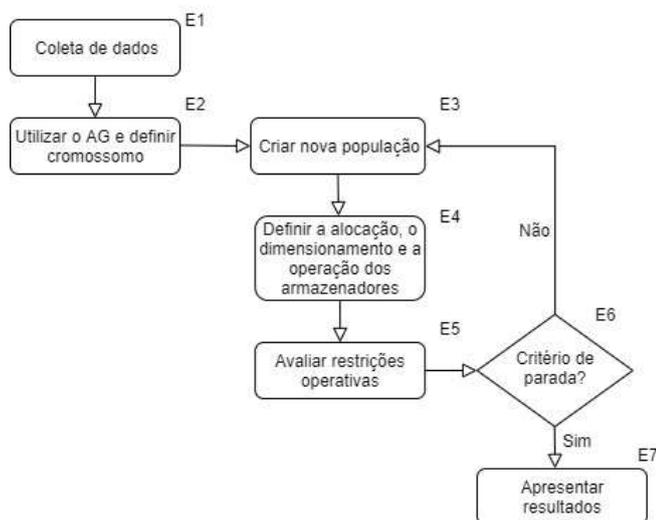


Fig. 2. Fluxograma do método

Na etapa *E1* é realizada a coleta de dados do SD e das baterias que compõem o(s) BESS. Nesta etapa são definidas os ID, a quantidade de BESS a serem alocados (nBESS) e seus parâmetros de entrada, os limites operativos de tensão, os nós candidatos a receberem a alocação do(s) BESS e a curva de demanda que orienta a variação da carga.

Em *E2* as restrições de canalização são passadas para o AG e as variáveis do problema são definidas. A partir deste passo o problema é resolvido inteiramente pelo AG.

Em *E3* são criadas as populações que o AG utiliza para avaliar a aptidão de cada indivíduo na resolução do problema proposto. Neste trabalho cada população é composta por 100 indivíduos, cada indivíduo é um cromossomo que possui dimensão igual a duas vezes nBESS (uma posição para o local de instalação e outra para o dimensionamento de cada BESS) somadas à quantidade de ID avaliados vezes nBESS (uma posição de SOC ao final de cada ID para cada BESS), como mostrado na Fig. 3.

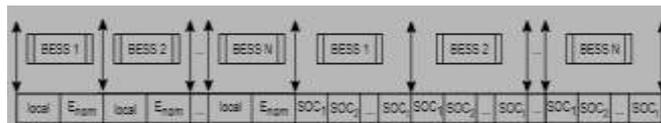


Fig. 3. Cromossomo utilizado no método proposto

Em *E4* são executados os fluxos de potência sequenciais. De acordo com a informação de cada indivíduo o OpenDSS calcula os fluxos de potência, onde o resultado obtido no primeiro fluxo de potência é utilizado como parâmetro operativo inicial para o segundo fluxo e assim sucessivamente até o último fluxo de potência calculado para cada indivíduo. Isto gera um acoplamento temporal entre os fluxos que é importante na definição da operação dos BESS. Os resultados do OpenDSS são enviados para o MATLAB aonde são processados dentro do AG e com isso as perdas são calculadas. Durante o processamento dos resultados são avaliadas as restrições operativas como violações dos limites de tensão estabelecidos, isto ocorre na etapa *E5*.

No passo *E6* é verificada a convergência do método dentro do AG. A convergência pode ser obtida pela ocorrência de uma estagnação da melhor solução em um valor mínimo da função objetivo com o passar das gerações ou pelo alcance do limite máximo de gerações definido. No caso de convergência, o método avança para a etapa *E7* que finaliza o procedimento e apresenta os resultados. Mas no caso da convergência não ter sido obtida o algoritmo retorna para a etapa *E3* onde uma nova geração é criada, levando-se em conta operações genéticas como elitismo e recombinação, assim, o ciclo se reinicia até que ocorra a convergência do problema.

5. SIMULAÇÕES E RESULTADOS

5.1 Simulações

O método proposto foi aplicado para a alocação de três BESS, sendo necessariamente um por fase, no sistema IEEE 34 barras, apresentado na Fig. 4.

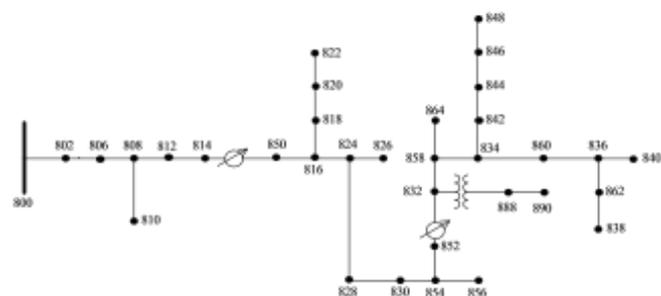


Fig. 4. Sistema IEEE 34 barras (IEEE DSASC).

O sistema foi submetido à curva de demanda com 6 ID apresentada na Fig. 5, que totaliza um funcionamento de 6 horas do SD. Tal curva faz definir, a cada ID, a quantidade de carga demandada pelo SD sendo esta carga equivalente a uma porcentagem da potência máxima do sistema. Sem nenhum

BESS alocado as perdas elétricas obtidas neste sistema são equivalentes a 720,92 kW.

Os BESS alocados neste trabalho são compostos por baterias de íons de lítio com as seguintes características: $h_{C,B}$ igual ao $h_{D,B}$ no valor de 95%; $h_{int,B}$ igual a 0,1%; SOC inicial igual a 20%; SOC_{min} de 20% e SOC_{max} de 90%.

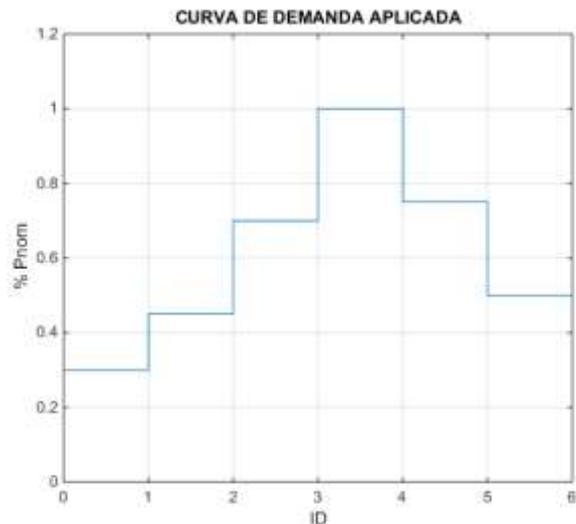


Fig. 5. Curva de demanda aplicada ao sistema

5.2 Resultados

As simulações foram realizadas e os resultados obtidos para a alocação e o dimensionamento são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Resultados de alocação e dimensionamento

Alocação	834 A	848 B	846 C
Enom [kWh]	137	111	96

Já na Tabela 2 são apresentados os resultados das perdas no SD, no BESS, as totais (conjunto SD e BESS), a redução das perdas frente ao caso base e o tempo total de simulação.

Tabela 2. Resultados de perdas e tempo de simulação

Perdas SD[kW]	677,87
Perdas BESS[kW]	26,31
Perdas totais[kW]	704,18
Redução perdas[%]	2,32
Tempo simulação [min]	340,55

Os gerenciamentos da operação dos três BESS alocados foram obtidos em todos os ID. Os cronogramas de operação são apresentados na Fig.6 em sobreposição à curva de carga aplicada ao SD, para que seja feita uma comparação entre os

momentos de carga e descarga dos BESS com a variação da demanda do SD ao longo dos ID. As rampas indicam a variação do SOC dos BESS enquanto os degraus referem-se aos patamares de carga ao longo dos ID.

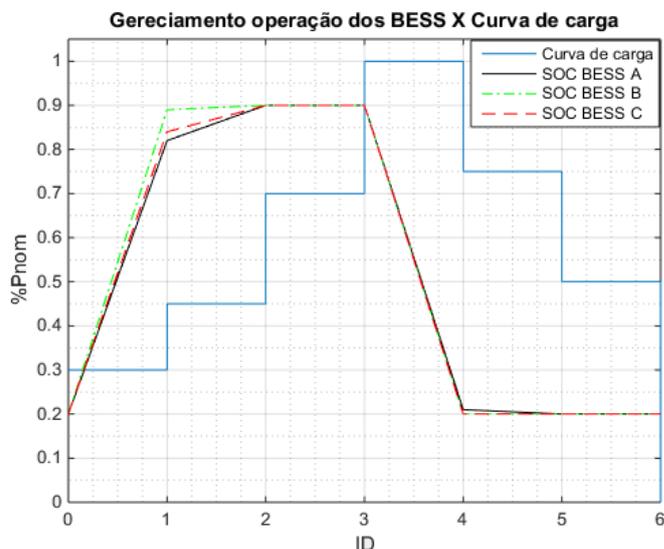


Fig. 6. Gerenciamento da operação dos BESS versus curva de demanda

5.3 Discussão

A posição das barras definidas para alocação dos BESS na topologia do SD é factível, uma vez que todas as barras estão localizadas ao final do sistema que é radial. Assim, em momentos de alta demanda de energia, as baterias fornecem um suporte de energia local aliviando o carregamento nos ramos do SD, que trazem a energia desde a subestação até as barras terminais do sistema. Deste modo, as perdas por efeito Joule ao longo de todo trecho percorrido pela corrente elétrica até as cargas terminais do SD são reduzidas.

O cronograma de operação encontrado, indica que os BESS carreguem durante os ID com menor demanda de energia, deste modo, reduzindo o impacto de perdas nos alimentadores do SD devido ao seu carregamento. E descarreguem a energia armazenada no ID com maior demanda, a fim de maximizando o benefício de sua operação no SD.

A redução das perdas elétricas nos ramos do SD foi de 43,05 kW. porém a inserção dos BESS no SD gera uma perda adicional inerente à operação dos mesmos no valor de 26,31 kW. Desta forma, com a inserção dos BESS ocorre uma redução das perdas totais do SD, frente ao caso sem nenhum BESS alocado, no valor de 16,75 kW ou 2,32%.

Apesar da inserção dos BESS ter proporcionado uma redução das perdas elétricas no SD é necessária uma análise econômica para verificar a viabilidade da aplicação dos BESS com esta finalidade, uma vez trata-se de equipamentos de alto custo.

O elevado tempo computacional demandado para a solução deste problema, cerca de 5 horas e 40 minutos, decorre da grande quantidade de variáveis que foram resolvidas simultaneamente, um total de 24, sendo 3 para alocação, 3

para dimensionamento e 18 para definição da operação dos BESS.

6. CONCLUSÃO

Os resultados atenderam ao objetivo proposto. Foram alcançadas reduções de perdas, por meio da otimização de parâmetros, considerando no método várias limitações reais dos BESS, seus limites de capacidade, de operação, as perdas internas, que em muitos trabalhos não são considerados. Estas considerações validam a aplicação do método proposto para a solução do problema analisado.

Ressalta-se que a utilização de ferramentas metaheurísticas, como é o caso do AG, não garante que a solução encontrada é a melhor possível. Ademais, o método proposto requer um elevado esforço computacional, devido à grande quantidade de possíveis soluções que podem ser avaliadas. O aumento das variáveis do problema gera um aumento na complexidade do problema dificultando sua resolução.

O método proposto pode ser refinado, de modo a reduzir seu esforço computacional. Outras técnicas de otimização podem ser aplicadas no lugar do AG para resolução do problema. Consideram-se os resultados já obtidos interessantes e o método se mostra de potencial aplicação.

AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer ao CNPq, à CAPES e ao INERGE.

REFERÊNCIAS

- Dugan, R. (2010). *OpenDSS Storage Element and Storage Controller Element*.
- Eyer, J. and COREY, G. (2010). *Energy storage for the electricity grid: Benefits and Market potential assessment guide*, Sandia National Laboratories, vol. 20, no. 10, p. 5.
- Farsadi, M., Sattarpour, T. and Nejadi, A. Y. (2015), Optimal placement and operation of BESS in a distribution network considering the net present value of energy losses cost, *9th International Conference on Electrical and Electronics Engineering (ELECO)*, p.434-439.
- Hu, X. et al. (2017). Technological Developments in Batteries: A Survey of Principal Roles, Types, and Management Needs. *IEEE Power and Energy Magazine*, v. 15, n. 5, p. 20–31.
- Monticelli, A. J. (1983). *Fluxo de Carga em Redes de Energia Elétrica*. Edgar Blucher Ltda, São Paulo.
- Oliveira, T. T., Araujo, D. R. R. P., Araujo, L. R., (2018), Optimal Allocation and Battery Operations for Voltage Constraint and Loss Reduction, *IEEE Latin America Transactions*, v.16, n. 7, p.1984-1991.
- Raptis, D. A., Periandros, P. S., Gkaidatzis, P. A., Bouhouras, A. S. and Labridis, D. P., (2018) Optimal Siting of BESS

in Distribution Networks under High PV Penetration, *53rd International Universities Power Engineering Conference (UPEC)*, p. 1-6.

- Salee, S. and Wirasanti, P. (2018). Optimal siting and sizing of battery energy storage systems for grid-supporting in electrical distribution network, *International ECTI Northern Section Conference on Electrical, Electronics, Computer and Telecommunications Engineering (ECTI-NCON)*, p 100-105.
- Wong, L. A., Ramachandaramurthy, V. K., Taylor, P., Ekanayake, J. B., Walker, S. L. and Padmanaban, S. (2019) Review on the Optimal Placement, Sizing and Control of an Energy Storage System in the Distribution Network *The Journal of Energy Storage*, v. 21, p. 489–504.
- Zhang, Y., Ren, S., Dong, Z. Y., Xu, Y., Meng, K., e Zheng, Y. (2017) Optimal placement of battery energy storage in distribution networks considering conservation voltage reduction and stochastic load composition, *Transm. Distrib. IET Gener.* vol. 11, no 15, p. 3862–3870.
- Zhang, Z., Shi, J., Gao, Y. and Yu, N. (2019), Degradation-aware Valuation and Sizing of Behind-the-Meter Battery Energy Storage Systems for Commercial Customers, *IEEE PES GTD Grand International Conference and Exposition Asia (GTD Asia)*, p. 895-900.