

Estratégias de gerenciamento da operação de microrredes residenciais sobre condições críticas

Hellen Dianne P. de Souza* Anna D. Espindola*
Shigeaki L. de Lima* Silvangela L. Barcelos*
Rafael Gomes Bento**

* *Instituto de Energia Elétrica, Universidade Federal do Maranhão, MA, (hellen.souza, anna.dulce)@discente.ufma.br, (shigeaki.lima, silvangela.barcelos)@ufma.br*

** *Diretoria de Estratégia e Inovação, CPFL Energia, SP, rafaelbento@cpfl.com.br*

Abstract: Microgrids are typically composed of distributed renewable sources, fossil fuel powered generators and energy storage systems. There are several topologies aimed at military, university, business and residential applications. Regardless of the topology, the microgrids must be able to manage and operate in a permanent state, as well as in transition from *on-grid* to *off-grid* and vice versa in scheduled and non-scheduled situations. In this work, a record of critical loads operation in residential microgrids is presented, as well as functions and actions that must be implemented via EMS.

Resumo: As microrredes são normalmente compostas por fontes renováveis distribuídas, geradores movidos a combustíveis fósseis e sistemas de armazenamento de energia. Há varias topologias voltadas para aplicações militares, universitárias, empresarias e residenciais. Independente da topologia, as microrredes devem possuir capacidade de gerenciamento e operação em regime permanente, bem como em transição de *on-grid* para *off-grid* e vice-versa em situações programadas e não-programadas. Neste trabalho e apresentado um recorde de operação de cargas críticas em microrredes residenciais, bem como funções e ações que devem ser implementadas via EMS.

Keywords: Microgrids; operating strategies; renewable sources; critical loads.

Palavras-chaves: Microrredes; estratégias de operação; fontes renováveis; cargas críticas.

1. INTRODUÇÃO

As microrredes são normalmente compostas por fontes renováveis distribuídas, geradores movidos a combustíveis fósseis e sistemas de armazenamento de energia (Hadjide-metriou et al., 2018)(Cheng et al., 2018).

Os recursos energéticos de uma microrrede são compatíveis com o atendimento a cargas prioritárias ou não, em uma região física delimitada, podendo ser, por exemplo, um campus universitário, uma comunidade isolada, infraestruturas críticas ou instalações militares. As microrredes podem assumir diferentes instâncias ou formas, podendo ser:

- a) Um campus universitário;
- b) Uma comunidade isolada;
- c) Infraestruturas críticas (centros de alta segurança e instalações militares, uso e aplicações que demandem de alta resiliência energética);
- d) Um condomínio de empresas (um parque tecnológico, uma planta industrial, condomínio de galpões e outros.);
- e) Um condomínio de residências (conjunto formado por um ou vários prédios residenciais; condomínio de casas; condomínios híbridos).

Para uma análise sistêmica, uma microrrede pode apresentar dois modos de operação, o modo normal de conexão e o modo de emergência (Wang et al., 2019). O modo normal envolve as ações de funcionamento de uma microrrede em estado normal de operação, ou seja, sem transitórios e o modo de emergência que envolve uma operação autônoma, sendo subdividido em modo de ilhamento intencional e modo de ilhamento forçado.

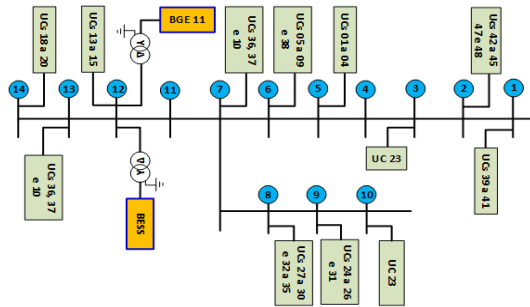
As discussões em torno dos modos de operação que levam a situações críticas no gerenciamento das cargas e os cuidados necessários para atuar em condições adversas, durante e após o transitório, ocorrem uma vez que as microrredes são redes compostas por inversores baseados em eletrônica de potência e em geral, há sistemas de geração (por exemplo fotovoltaicos).

Estes sistemas de geração demandam inversores de corrente e há inversores formadores de rede em sistemas de armazenamento (bancos de baterias, células a combustível, etc.), logo, novas questões são introduzidas em termos de operação e controle em comparação com sistemas de potência convencionais compostos essencialmente por geradores convencionais.

Independente da topologia da microrrede, há um conjunto de cenários de operação que deve ser minimamente atendidos. No caso em particular das microrredes residenciais estes cenários devem ser estudados, analisados e proposto estratégias de gerenciamento da geração e das cargas.

Neste trabalho são propostas ações de gerenciamento que devem ser tomadas pelo EMS de uma microrrede do tipo residencial diante de diferentes condições operacionais. Para a proposição de tais ações, considera-se uma microrrede sistemas fotovoltaicos (FVs) e um sistema de armazenamento (BESS - *Battery Energy Storage System*) associados ao mix de geração. A conexão dessa microrrede com a rede da concessionária é feita através de uma chave (religador) no ponto de conexão comum (PCC), conforme ilustrado na Fig. 1.

Figura 1. Microrrede residencial



Fonte: Elaborada pelos autores.

2. CARACTERIZAÇÃO DAS ATIVIDADES

Os consumidores e as demais cargas de uma microrrede residencial podem ser caracterizados geralmente dentro da relação de unidades consumidoras não críticas categorizando as unidades consumidoras e espaços de uso comum como consumidores dos Grupos B, exigindo assim um sistema de alimentação de energia com índices medianos de confiabilidade e qualidade de energia (ANEEL, 2021).

Entende-se neste caso, que não existem exigências operacionais que justifiquem uma operação altamente resiliente para esse tipo de microrrede. Em caso de faltas externas, uma microrrede residencial deve assumir uma operação ilhada, sendo desconectada da rede da concessionária e em caso de faltas internas deve haver uma reconfiguração com o intuito de isolar a falta.

Logo, mesmo diante de um nível moderado de criticidade de uma microrrede residencial, as cargas devem ser atendidas da melhor forma possível diante da transição entre os modos de operação.

Conforme ilustrado na Fig. 1, a microrrede considerada para o desenvolvimento deste estudo tem topologia radial, em baixa tensão, com o PCC com a rede da concessionária no alimentador (BGE11), formado por um único transformador. A microrrede atende 47 unidades consumidoras (UCs), constituindo-se também como microrrede residencial em condomínio.

Tratando-se especificamente do caso de uma microrrede residencial em estudo, ao longo de um ano de operação, podem ser caracterizados basicamente dois cenários típicos:

- Operação em dias úteis;
- Operação em fins de semana e feriados.

No caso de uma microrrede residencial em que apenas uma parcela das Unidades Consumidoras é do tipo prossumidor, o atendimento dessas UCs nos dois cenários deve ocorrer com o fornecimento compartilhado entre sistemas FVs e a concessionária de energia. As demais UCs são atendidas exclusivamente pela concessionária.

Quando a microrrede encontra-se no modo de operação conectada (*On-grid*), o BESS pode operar como seguidor de rede armazenando energia, para que em condições de ilhamento (*Off-grid*), possa atender às cargas dos condomínios pelo máximo tempo possível como formador de rede (Rocha et al., 2022).

Uma microrrede residencial, assim como os demais tipos de microrredes, deve operar ainda em dois modos de regime permanente para os dois cenários de operação citados, no modo conectado e no modo ilhado. O regime permanente é diferente para cada modo de operação, por duas razões:

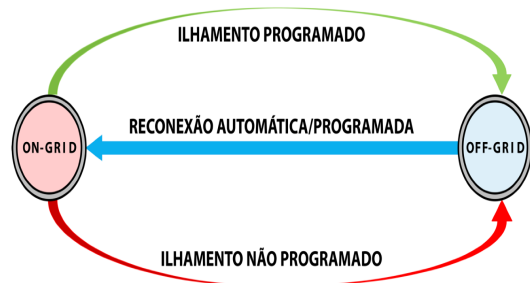
- As fontes energéticas podem não ser as mesmas e a disponibilidade de cada fonte em termos de potência é diferente;
- A motivação para a ativação programada do modo ilhado.

A operação no modo ilhado está relacionada aos cenários de dias úteis ou fins de semana/feriados. Nos dois cenários é exigido que todas UCs sejam atendidas com a máxima autonomia possível, que é limitada à capacidade do BESS e aos perfis de carregamento da microrrede nos dois cenários de operação.

As transições entre modos de operação, também comum aos dois cenários de operação, são processos críticos que impõem uma série de requisitos (especificações, capacidades) para os componentes da microrrede, assim como para as proteções elétricas.

Adicionalmente, exige processos sequenciais, respostas dinâmicas compatíveis, que se traduz em ações de controle a serem embutidas no gerenciamento da operação da microrrede. Uma representação das possibilidades de transição entre os modos de operação ilhado e conectado para uma microrrede residencial é ilustrado na Fig. 2 .

Figura 2. Transição entre *on-grid* e *off-grid*.



Fonte: Elaborada pelos autores.

O modo de operação ilhada é o mais complexo, em decorrência dos requisitos exigidos. Neste modo de operação, o objetivo dominante é assegurar o fornecimento de energia

às cargas da microrrede com adequados níveis de qualidade de energia com a máxima autonomia possível.

Neste tipo de operação, o objetivo econômico não procede, sendo prioritária a operação segura e resiliente da microrrede, incluindo para casos extremos, o corte seletivo de carga em prol da segurança energética de cargas prioritárias da microrrede.

Já no contexto operacional, os cenários de contingências prováveis devem ser estudados para em seguida programar as ações de remanejamento de carga sem perda da qualidade de energia.

3. OPERAÇÃO TÍPICA/CRÍTICA

Por se tratar de uma infraestrutura elétrica residencial com múltiplos consumidores, os seguintes requisitos típicos para uma microrrede residencial são destacados:

- Atendimento das UCs e áreas de uso comum com padrões adequados de confiabilidade, continuidade e qualidade de energia;
- Gerenciamento da operação entre Sistemas FVs e BESS para atendimento das cargas da microrrede.

Apesar de uma microrrede residencial não ser caracterizada como infraestrutura crítica, ou seja, um ativo essencial para o funcionamento de uma sociedade e a economia. As necessidades energéticas críticas de uma microrrede deste tipo podem ser definidas com a finalidade de suprir as necessidades dos consumidores com condições adequadas de qualidade e segurança aos mesmos diante de situações limitantes.

Portanto, em condições críticas de operação, os seguintes requisitos críticos para uma microrrede residencial devem ser destacados:

- Fornecimento de energia para iluminação de áreas comuns do condomínio, tais como ruas, cercas elétricas, portão e guarita;
- Fornecimento de energia para sistemas de proteção das UCs;
- Fornecimento de energia para refrigeração de alimentos;
- Gerenciamento da operação entre Sistemas FVs e BESS para atendimento das cargas da microrrede.

Este tipo de microrrede pode possuir propriedades de resiliências perante a fenômenos naturais e acidentais no sentido de atender, por exemplo, a lista de condições críticas supracitadas.

4. CENÁRIOS DE OPERAÇÃO

Relembrando, ao longo de um ano de operação são assumidos por uma microrrede residencial dois cenários de operação: Operação em dias úteis e Operação em fins de semana/feriados. Neste contexto cabe salientar que o atendimento de requisitos críticos deve ocorrer nos dois cenários de operação (IEEE1547, 2020)(IEEE2030, 2011).

É ilustrado por meio da Fig. 3 um fluxograma genérico de cenários de operação de uma microrrede e que de forma geral aborda as principais condições de operação para uma microrrede residencial.

4.1 Cenário C1

Neste modo de operação o BESS não cumpre tarefa de regular tensão e frequência da rede, sendo apenas usado em funções econômicas e operacionais. Neste caso, o *Energy Management Solution* (EMS) pode gerenciar pelo menos as seguintes funções:

- Injeção de potência na rede (*grid-feeding*):
 1. Amortecimento da flutuação de potência (*Renewable Smooth*): amortecimento das flutuações rápidas de geração da Usina FV e dos ciclos de operação de cargas dinâmicas;
 2. Gerenciamento de excesso de geração da Usina FV (*Renewable shifting*): prever estratégia de gerenciamento da potência excedente gerada pela fonte fotovoltaica para uso em horários de pico de demanda;
 3. *Peak Shaving*: redução de pico de demanda a partir do uso da energia armazenada no BESS;
 4. Suporte de tensão: mitigar flutuações de tensão.
- Arbitragem de energia;
- Operação do BESS/PCS: sincronização, carregamento, descarga/despacho;
- Monitoramento do BESS: SOC, SOH, SOP, temperatura, tensões, correntes, potência, diagnóstico e sinalização de falhas, *set points* de potência, status do conversor etc.;
- Monitoramento dos sistemas FVs e UCs;
- Prever a capacidade de comandar de forma programada a abertura da chave de conexão da microrrede com a rede da concessionária, possibilitando a transição intencional da microrrede para o modo *off-grid*;
- Monitorar a microrrede;
- Monitorar a rede da concessionária (detecção de problemas de qualidade de energia e/ou faltas);
- Estar preparado para fazer as transições para o modo *off-grid*.

Neste modo de operação, as UCs que são prossumidoras têm as demandas atendidas de forma compartilhada pelos respectivos sistemas FVs e Concessionária, as demais unidades são atendidas pela Concessionária.

Neste cenário operacional se configura como condição crítica, a ocorrência de falhas em unidades prossumidoras com reflexos para outras UCs. Em situações como essa, que podem ocorrer devido a falhas no sistema FV ou na rede elétrica da UC, O EMS pode gerenciar pelo menos as seguintes funções:

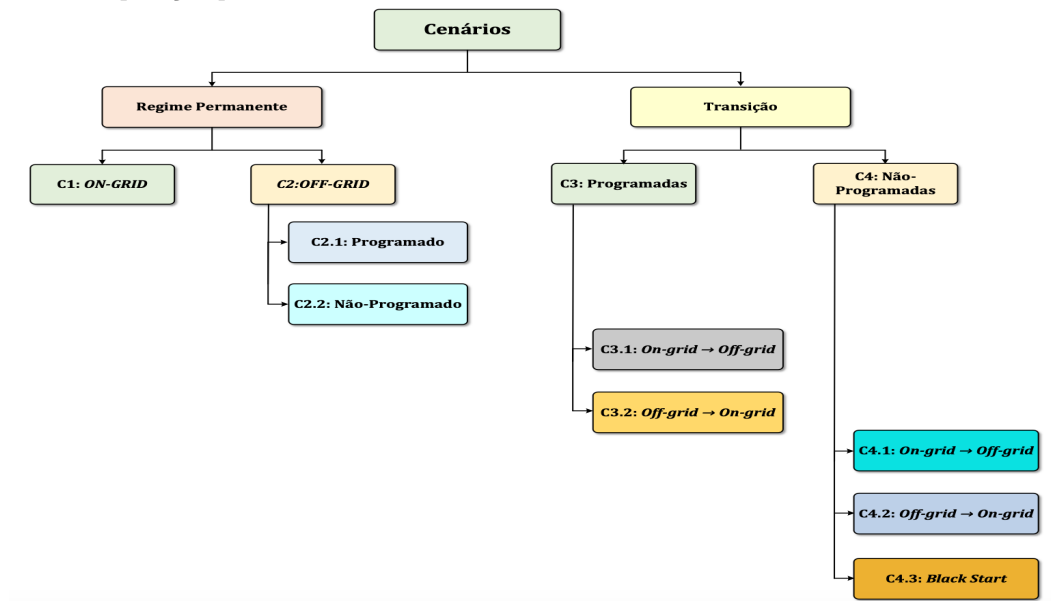
- Detectar um problema;
- Fazer a transferência de carga para ser atendida exclusivamente pela concessionária.

4.2 Cenário C2

No modo de operação *off-grid* programado (Cenário C2.1) é prioritária a operação segura e resiliente, incluindo, para casos extremos, o corte seletivo de carga em prol da segurança energética de cargas prioritárias da microrrede.

Os cenários de contingências prováveis devem ser estudados e então as ações de despacho de fontes e remanejamento de carga sem perda da qualidade de energia, devem ser programadas.

Figura 3. cenários de operação para uma microrrede residencial.



Fonte: Elaborada pelos autores.

Neste modo de operação, o EMS deve gerenciar pelo menos as seguintes funções:

- Controle de tensão e frequência (*grid-forming*);
- Gerenciamento da operação do BESS;
- Implementação de estratégias de despacho das fontes da microrrede para garantir a máxima resiliência possível;
- Implementação de estratégias de segregação de cargas, visando a maximização da autonomia de fornecimento de energia às cargas críticas da microrrede;
- Prever capacidade de comandar de forma programada o fechamento da chave de conexão da microrrede com a rede da concessionária, possibilitando o retorno à operação *on-grid*;
- Garantir o balanço de potência da microrrede;
- Este cenário pode ser implementado com restrições dos sistemas FVs e com segmentação de cargas que não sejam críticas.

O modo de operação *off-grid* não programado (Cenário C2.2) pode ocorrer quando houver falha na rede da concessionária. O BESS assume o papel de formador de rede, alimentando a carga com contribuição dos sistemas FVs.

- Caso o SOC atinja um valor mínimo pré-estabelecido, cargas não críticas serão desligadas, a depender do operador da microrrede;
- Caso o SOC atinja um valor máximo pré-estabelecido, o EMS deve monitorar e controlar a geração dos sistemas FVs para garantir o balanço de potência, caso seja possível este tipo de intervenção nas UCs - ação crítica do EMS;
- O EMS deve garantir o balanço de potência da microrrede;
- O EMS deve monitorar continuamente as condições da rede da concessionária para fazer a transição para o modo *on-grid*. Esta transição só deverá acontecer

quando a falha for resolvida e a rede da concessionária estiver estabilizada;

- O EMS deve garantir o balanço de potência da microrrede;
- O EMS deve monitorar continuamente as condições da rede da concessionária para fazer a transição para o modo *on-grid*. Esta transição só deverá acontecer quando a falha for resolvida e a rede estiver estabilizada.

É importante destacar que no caso de indisponibilidade do BESS, os sistemas FVs devem, prioritariamente, gerar compatível com a demanda das UCs prosumidoras e cargas prioritárias.

4.3 Cenário C3

Neste cenário de operação podem ser aplicadas restrições de geração dos sistemas FV, que depende do estado de carga do BESS e do balanço de potência da microrrede.

Nesta transição, a microrrede se desliga de forma programada da rede da concessionária, mantendo-se assim por certo período a depender da necessidade do condomínio. O EMS deve gerenciar pelo menos as seguintes funções:

- Monitorar e controlar todas as fontes disponíveis para que a abertura da chave do PCC seja implementada com “corrente nula” ou com fluxo de potência ativa e reativa nula na mesma;
- Mudar o modo de operação do PCS do BESS, se necessário, para formador de rede;
- Comandar a abertura da chave do PCC.

Contudo, quando ocorre a transição programada do modo *off-grid* para o modo *on-grid* (Cenário 3.2), esta transição deverá ser realizada após de alguma atividade que justifique ilhamento programado da microrrede e pode ocorrer em dias úteis ou fins de semana e feriados.

Neste caso, o EMS deve gerenciar pelo menos as seguintes funções:

- Monitorar as condições da rede da concessionária para fazer a transição para o modo *on-grid*. Esta transição só deverá acontecer se não houver falha na rede da concessionária e se a mesma estiver estabilizada;
- Se a rede estiver em condições normais, o EMS deve sincronizar as tensões da microrrede com as tensões da rede da concessionária e comandar o fechamento da chave do PCC;

4.4 Cenário C4

No caso da transição não-programada do modo *on-grid* para o modo *off-grid* (Cenário 4.1), esta transição ocorrerá nos casos de faltas na rede da concessionária ou na rede da microrrede ou ainda se a qualidade da energia da rede da concessionária estiver fora dos padrões normativos. Desta formam algumas condições operacionais de em ser planejadas e colocadas em operação:

i. Falta na rede da concessionária, o EMS deve gerenciar pelo menos as seguintes funções:

- Detectar a falta, através do monitoramento das informações da chave do PCC e dos relés de proteção;
- Caso a chave do PCC não tenha sido sensibilizada pela falta, comandar a abertura da mesma;
- Verificar a disponibilidade do BESS e, em caso afirmativo, mudar o modo de operação do *power conversion system* (PCS)/BESS para formador de rede, se necessário;
- Caso o BESS não esteja disponível, poderá ser necessário implementar ações para o *Black Start*.

ii. Falta na rede interna da microrrede residencial. O EMS deve gerenciar as seguintes funções:

- Caso a chave do PCC não tenha sido sensibilizada pela falta, comandar a abertura da mesma;
- Aguardar eliminação de falta e estabilização da rede elétrica;
- Garantir o atendimento das cargas críticas da microrrede.

iii. Problema de qualidade de energia na rede da concessionária. O EMS deve gerenciar pelo menos as seguintes funções:

- Detectar um problema de qualidade de energia na rede da concessionária fora dos padrões pré-estabelecidos por norma;
- Fazer a transferência de carga para o BESS, de modo a zerar o fluxo de potência na chave do PCC;
- Comandar a abertura da chave do PCC.

Para a modo de operação de transição não-programada (automática) do modo *off-grid* para o modo *on-grid* - (Cenário C4.2), a transição deverá ser realizada caso a operação *off-grid* tenha sido motivada pelos eventos descritos no Cenário C4.1.

Neste cenário o EMS deve gerenciar pelo menos as seguintes funções:

- Monitorar as condições da rede da concessionária;

- Se a rede estiver em condições normais (falta eliminada e rede estabilizada), o EMS deve sincronizar as tensões da microrrede com as tensões da rede da concessionária e comandar o fechamento da chave do PCC.

Por fim, o modo de operação que envolve o gerenciamento de cargas da microrrede diante de um *black start* (Cenário 4.3)(Armstorfer et al., 2019). O *black start* diz respeito a capacidade dos *Distributed Energy Resources* (DERs) de reiniciar a geração da microrrede sem a presença da rede da concessionária.

Isso pode ocorrer, por exemplo, após uma falta em que por alguma razão todas as fontes são desligadas. Logo, as funcionalidades do EMS neste modo de operação devem incluir pelo menos:

- Verificação prévia das condições operativas dos DERs (BESS e Sistemas FV);
- Forma a rede com a fonte despachável disponível (BESS é prioritário no caso da microrrede);
- Implementação de estratégias de recomposição:
 1. resincronização de cargas prioritárias que estavam desligadas ou foram perdidas temporariamente;
 2. resincronização de UCs prossumidoras que estavam desligadas ou foram perdidas temporariamente;
 3. resincronização de UCs não prossumidoras que estavam desligadas ou foram perdidas temporariamente;
- Energizar transformador para limitar a corrente de *inrush*;
- Gerenciamento e sequenciamento dos demais DERs a serem reconectados;
- Gerenciamento e sequenciamento das cargas prioritárias a serem religadas;
- Monitoramento e regulação de tensão e frequência.

5. DISCUSSÕES SOBRE OS CENÁRIOS

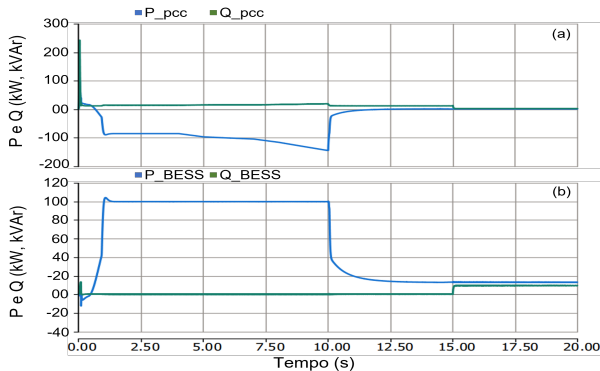
Tomando como referência para análise o balanço energético e considerando a criticidade das cargas, que deve ocorrer durante um processo de ilhamento, transição para *off-grid* e a própria recomposição via *black start*, algumas consequências técnicas devem ser analisadas, bem como os desafios e as soluções para manter a microrrede operativa.

Por fim, os cenários apresentados que envolvem o gerenciamento das cargas da microrrede em estudo no modo *on-grid*, *off-grid* e nas transições programadas e não programadas *on-grid* para *off-grid* e vice versa, reforçam a necessidade de ações bem planejadas de gerenciamento, uma vez que nestes casos devem ser monitoradas a injeção de potência na rede e a operação do BESS, o qual implicam em situação segura na abertura ou fechamento da chave de conexão da microrrede com a concessionária.

Na Fig. 4 é ilustrado um cenário de ilhamento programado da microrrede residencial que é objeto deste estudo (Cenário C3.1). Neste caso, para haver a transição é necessário zerar os fluxos de potência do lado da chave (PCC). Este processo é iniciado em $t = 10$ s, durante o intervalo em que fluxo de potência é zerado no PCC e o BESS passa atender as cargas da microrrede, as gerações FVs são desconectadas para que o balanço de potência seja garantido. Em $t=15$ s, o BESS assume toda a carga da microrrede (muda de seguidor para formador de rede) e após aproximadamente

100 ms, a chave do PCC é aberta. Uma ação para aumentar a autonomia do BESS poderia ser a segmentação de cargas, para atendimentos daquelas que sejam críticas.

Figura 4. Transição entre *on-grid* e *off-grid*.



Fonte: Elaborada pelos autores.

No cenário C1, as UCs que são prossumidoras têm as demandas atendidas de forma compartilhada pelos respectivos sistemas FVs e Concessionária, as demais unidades são atendidas pela Concessionária, o cenário operacional se configura como condição crítica, a ocorrência de falhas em unidades prossumidoras com reflexos para outras UCs.

Já no modo de operação *off-grid* programado (C2.1), é prioritária a operação segura e resiliente, incluindo, para casos extremos, o corte seletivo de carga em prol da segurança energética de cargas prioritárias da microrrede. Todavia, se o modo de operação for do tipo *off-grid* não programado (C2.2), ou seja, quando houver falha na rede da concessionária, o BESS assumirá o papel de formador de rede, alimentando a carga com contribuição dos sistemas FVs.

As peculiaridades que envolvem a criticidade da microrrede e a resiliência também são tratados nos demais modos de transição como do *on-grid* para o modo *off-grid* (C3.1), e vice-versa (C3.2) programados e nos demais C4.1 e C4.2 não programados.

Há um ponto de interseção da microrrede, no qual surge a necessidade dos gerenciamentos das cargas frente a uma condição de black start, cenário C4.3. Em uma condição de black start o EMS tem rotinas mínimas que devem ser atendidas, e isto se aplica a todas as microrredes e neste caso em particular a microrrede em estudo.

6. CONCLUSÕES

Este trabalho apresentou os resultados de uma análise qualitativa dos cenários de operação de um microrrede residencial e tendo proposto ações de gerenciamento que devem ser tomadas pelo EMS deste tipo de microrrede diante de diferentes condições operacionais.

Os cenários apresentados e as ações sugeridas para o gerenciamento convergem para o ponto de interseção da microrrede, no qual fica evidente a necessidade de atender as UCs de uma microrrede residencial com a máxima autonomia, priorizando o atendimento às cargas definidas como críticas.

Logo, identificar cargas prioritárias/críticas, fontes de geração e armazenamento, analisar e simular cada cenário é importante/essencial para uma ótima operação da microrrede, caso contrário a microrrede pode colapsar em qualquer um dos cenários e a ação de *black start* passa ser constante, demonstrando a instabilidade da rede frente a contingências.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio do CNPq, FAPEMA e do Programa Nacional de Pesquisa e Desenvolvimento do Setor Elétrico (ANEEL), por meio do projeto CPFL Merge: Desenvolvimento de Microrredes Eficientes, Confiáveis e Sustentáveis (Código ANEEL PD-00063-0058/2019).

REFERÊNCIAS

- ANEEL (2021). Resolução normativa aneel no 1.000. URL <https://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren20211000.pdf>. Acessado em 10 de março de 2023.
- Armstorfer, A., Biechl, H., and Rosin, A. (2019). Analysis of black start strategies for microgrids with renewable distributed generation. In *IECON 2019 - 45th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society*, volume 1, 2121–2125. doi:10.1109/IECON.2019.8926631.
- Cheng, Z., Duan, J., and Chow, M.Y. (2018). To centralize or to distribute: That is the question: A comparison of advanced microgrid management systems. *IEEE Industrial Electronics Magazine*, 12(1), 6–24. doi:10.1109/MIE.2018.2789926.
- Hadjidemetriou, L., Zacharia, L., Kyriakides, E., Azzopardi, B., Azzopardi, S., Mikalauskiene, R., Al-Agtash, S., Al-hashem, M., Tsolakis, A., Ioannidis, D., and Tzovaras, D. (2018). Design factors for developing a university campus microgrid. In *2018 IEEE International Energy Conference (ENERGYCON)*, 1–6. doi:10.1109/ENERGYCON.2018.8398791.
- IEEE1547 (2020). Ieee standard for interconnection and interoperability of distributed energy resources with associated electric power systems interfaces—amendment 1: To provide more flexibility for adoption of abnormal operating performance category iii. *IEEE Std 1547a-2020 (Amendment to IEEE Std 1547-2018)*, 1–16. doi:10.1109/IEEEESTD.2020.9069495.
- IEEE2030 (2011). Ieee guide for smart grid interoperability of energy technology and information technology operation with the electric power system (eps), end-use applications, and loads. *IEEE Std 2030-2011*, 1–126. doi:10.1109/IEEEESTD.2011.6018239.
- Rocha, G.S., dos Santos Serra, A.W., Branco, C.A.S.C., Oliveira, H.A., de Matos, J.G., and de Souza Ribeiro, L.A. (2022). A strategy for smooth microgrid transitions without phase misalignment and voltage mismatch. In *2022 24th European Conference on Power Electronics and Applications (EPE'22 ECCE Europe)*, 1–10.
- Wang, H., Gao, R., Yang, P., and Ren, Z. (2019). Integrated operation mode of grid-connected microgrid considering double-layer demand response. In *2019 IEEE Innovative Smart Grid Technologies - Asia (ISGT Asia)*, 1628–1632. doi:10.1109/ISGT-Asia.2019.8881357.