



V Encontro de Iniciação Científica e Tecnológica
V EnICT
ISSN: 2526-6772
IFSP – Câmpus Araraquara
22 e 23 de outubro de 2020



ANÁLISE TRANSITÓRIA DE PARÂMETROS ELÉTRICOS EM MICRORREDES DURANTE ILHAMENTOS INTENCIONAIS

ARTHUR HIDEO LOURENÇO MATSUO¹, PEDRO HENRIQUE AQUINO BARRA²

¹ Graduando em Engenharia Elétrica, Universidade de Araraquara – UNIARA, arthur.matsuo@hotmail.com

² Orientador/Docente do curso de Engenharia Elétrica, Universidade de Araraquara – UNIARA, Doutorando em Engenharia Elétrica, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo – EESC/USP, phabarra@uniara.edu.br

Área de conhecimento (Tabela CNPq): Engenharia Elétrica – 3.04.00.00-7

RESUMO: A crescente demanda por eletricidade, bem como a necessidade de reduzir a emissão de CO₂, em consonância com o acordo de Paris, têm sido fortes fatores que incentivam o aumento do emprego das fontes renováveis de energia, como a geração eólica e a fotovoltaica. Diante desse novo contexto para os sistemas elétricos, as microrredes têm emergido como um promissor ambiente para integrar e controlar geradores distribuídos, sistemas de armazenamento de energia, linhas e cargas. Todavia, a existência de múltiplos geradores, a intermitência de algumas fontes e a capacidade da microrrede de operar de maneira ilhada, vem requerendo esforços por parte dos pesquisadores para aspectos relacionados com a qualidade da energia, a proteção, entre outros assuntos. Diante do exposto, o presente trabalho tem por objetivo analisar as variações transitórias dos parâmetros elétricos em microrredes durante ilhamentos intencionais. Para tanto, este trabalho faz o uso do PSCAD/EMTDC para a realização de simulações que subsidiarão as análises. No PSCAD/EMTDC, uma microrrede específica com base no sistema do CIGRÉ é adotada e alguns estudos de casos são apresentados. Os resultados mostram que as variações nos parâmetros elétricos frente aos ilhamentos possibilitam a transição da microrrede para o modo ilhado.

PALAVRAS-CHAVE: ilhamentos; microrredes; recursos distribuídos de energia; transitórios.

INTRODUÇÃO

As microrredes têm emergido de forma promissora como uma possível solução para integrar geradores distribuídos, sistemas de armazenamentos de energia, linhas e cargas (BARRA et al., 2020). Quando algum tipo de distúrbio ocorre na rede de distribuição de energia elétrica, as microrredes podem operar de forma independente (modo de operação conhecido como modo ilhado), aumentando-se, portanto, a confiabilidade e a resiliência do fornecimento de energia elétrica (CHOWDHURY et al., 2009). Os geradores distribuídos que integram a microrrede, na maioria dos casos são fontes de energias renováveis, contribuindo-se, portanto, para a redução da emissão de CO₂, mitigação das mudanças climáticas, bem como para a diversificação da matriz elétrica (HIRSCH et al., 2018).

Uma microrrede pode ser definida como uma pequena porção do sistema elétrico com atendimento de energia local para os consumidores. As microrredes geralmente são compostas por um conjunto de equipamentos, tais como geradores distribuídos (como geradores fotovoltaicos, geradores eólicos, entre outros), sistemas de armazenamento de energia (supercapacitores, baterias, entre outras tecnologias), uma infraestrutura de comunicação, cargas e um sistema central de controle (HADDADIAN; NOROOZIAN, 2017). As microrredes podem ser monofásicas ou trifásicas, conectadas em média ou baixa tensão e podem operar conectadas à rede principal ou de maneira ilhada (USTUN et al., 2011). Dessa forma, as microrredes proporcionam uma solução para gerenciar gerações locais e cargas. Na literatura técnica, vários trabalhos enfatizam o potencial das microrredes em melhorar de modo geral a qualidade da energia, a confiabilidade e a eficiência, bem como o atendimento para cargas críticas (HATZIARGYRIOUN, 2020).

Em fato, quando operada em modo ilhado (isto é, desconectada da rede principal), a microrrede deve manter os padrões de qualidade e segurança estabelecidos pelas normas. Dessa forma, os parâmetros de tensão e frequência não devem apresentar variações abruptas e demasiadas em regime permanente, bem como no momento de transição do modo conectado para o modo ilhado (KATIRAEI, 2008). Projetos pilotos bem sucedidos foram apontados em países como USA, Japão, Espanha, Finlândia e Alemanha (BREARLEY; PRABU, 2017). Todavia, apesar desses projetos e das vantagens apresentadas pelas microrredes para os sistemas elétricos modernos, a sua vasta utilização ainda depende da superação de alguns desafios técnicos, associados com a proteção, segurança, qualidade da energia, operação em modo conectado e ilhado, controle de tensão e frequência, operação *plug-and-play*, gerenciamento da energia, e estabilidade do sistema.

Neste contexto, diversos pesquisadores têm empenhado esforços para apresentar estratégias e soluções para os desafios existentes relacionados às microrredes. Diante disso, este trabalho tem por objetivo apresentar uma análise investigativa das variações transitórias dos parâmetros elétricos de microrredes em momentos de transição do modo conectado para o modo ilhado. Vale destacar que este trabalho traz contribuições importantes para as áreas de controle e proteção de microrredes, onde se deve observar a variação destes parâmetros elétricos para propor novas estratégias e soluções associadas com a implementação de microrredes.

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste estudo, as simulações são realizadas visando analisar a mudança de operação da microrrede do modo conectado para o modo ilhado. Os ilhamentos intencionais ocorrem, por exemplo, quando se deseja, de forma programada, desconectar a microrrede da rede elétrica principal. A operação ilhada pode ser vantajosa quando a rede elétrica principal passar por algum tipo de manutenção que culmine na interrupção do fornecimento, por exemplo. Quando a microrrede é operada de maneira ilhada, os recursos distribuídos ao longo da microrrede são responsáveis pela alimentação das cargas, mantendo os níveis de tensão e frequência em valores aceitáveis em regime permanente. Em regime transitório, isto é, no momento em que o ilhamento ocorre, desvios são observados nos parâmetros elétricos medidos na microrrede, foco deste estudo.

Para as análises deste artigo, o PSCAD/EMTDC é utilizado. Este é um *software* altamente difundido na área de sistemas de potência, sendo possível construir, modelar e simular diversas situações transitórias. Ressalta-se que este *software* tem um foco em análises transitórias, possibilitando simulações no domínio do tempo. Em sua biblioteca, uma infinidade de elementos, medidores, operações e outras ferramentas podem ser utilizadas para a construção dos modelos.

METODOLOGIA

A microrrede utilizada para as simulações no PSCAD/EMTP é apresentada na Figura 1. Esta microrrede é inspirada no *benchmark* do CIGRÉ, que é baseado em uma rede em média tensão real no sul da Alemanha. A tensão nominal do sistema é de 20 kV e a frequência é 60 Hz. Verifica-se que a operação ilhada da microrrede acontece quando a chave à montante da barra 3 é aberta. Vale ainda destacar a possibilidade da operação desta microrrede na topologia radial e malhada, por meio da abertura/fechamento da chave CH. Na barra 5, tem-se um gerador síncrono cuja potência é 5 MVA. Na barra 8, tem-se a conexão de um gerador eólico, cuja potência nominal é 2 MVA. Quando a microrrede está conectada à rede principal, o gerador síncrono funciona no modo PQ. No entanto, quando a microrrede opera de forma ilhada, este gerador é responsável por controlar a tensão e a frequência da microrrede, suprimindo a diferença de potência entre a carga da microrrede e a potência fornecida pelo gerador eólico. Em ambas as possibilidades de operação, o controle do gerador eólico busca injetar uma potência ativa constante, regulando a tensão da barra 8 por meio da injeção/absorção de reativo.

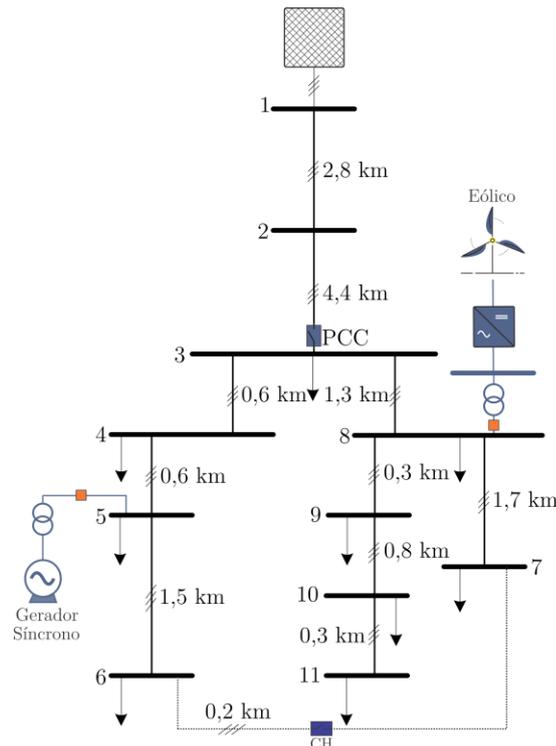
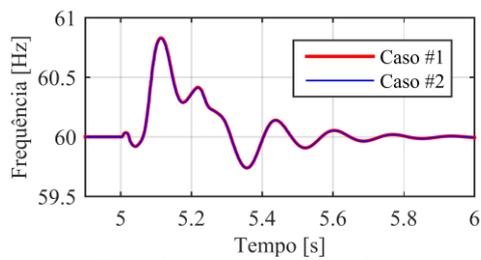


FIGURA 1. Microrrede utilizada para as simulações no PSCAD/EMTP.
Fonte: Elaborado pelo autor.

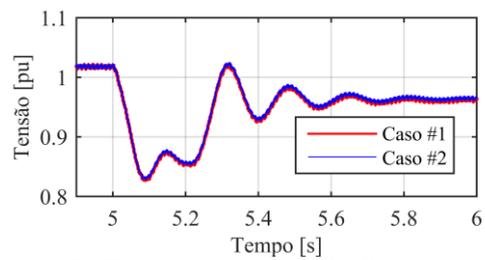
Para as análises aqui apresentadas, quatro diferentes casos são considerados: #1 – ilhamento intencional da microrrede aos 5,0 segundos de simulação, considerando apenas o gerador síncrono e a topologia radial (CH aberta) da microrrede; #2 – ilhamento intencional da microrrede aos 5,0 segundos de simulação, considerando apenas o gerador síncrono e a topologia malhada (CH fechada) da microrrede; #3 – ilhamento intencional da microrrede aos 5,0 segundos de simulação, considerando o gerador síncrono e o gerador eólico, com a topologia radial da microrrede; e #4 – ilhamento intencional da microrrede aos 5,0 segundos de simulação, considerando o gerador síncrono e o gerador eólico, com a topologia malhada da microrrede. Para estes cenários, os seguintes parâmetros elétricos são amostrados: frequência, tensão eficaz, potência ativa e potência reativa. Esses parâmetros são medidos na barra 3 (local onde a chave é aberta), e nos recursos distribuídos, quando aplicável.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

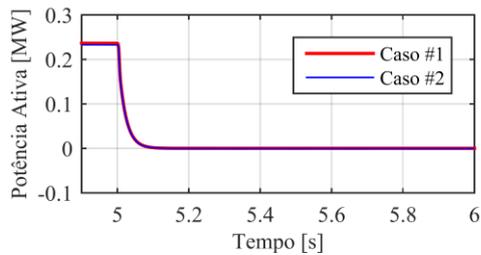
As Figuras 2 e 3 apresentam os resultados obtidos para os casos #1 (curvas em vermelho) e #2 (curvas em azul). Nas Figuras 2(a) e 2(b), é possível verificar as variações na frequência e na tensão no ponto em que o ilhamento ocorre. Verifica-se que durante um período curto de tempo a frequência se mostra instável, desviando-se dos 60 Hz e chegando a um valor máximo de 60,8 Hz. No entanto, com a alteração do controle do gerador síncrono do modo PQ para o modo fV, rapidamente se estabiliza. A variação de frequência medida no ponto do ilhamento (barra 3) é praticamente igual à variação vista no ponto de acoplamento do gerador síncrono (Figura 3(a)). Nas Figuras 2(b) e 3(b), é possível analisar a variação de tensão durante o ilhamento, que ocorre aos 5,0 s. Verifica-se que após um afundamento de tensão (pouco superior a 0,8 pu), a tensão se estabiliza em um valor um pouco menor do que o anteriormente visto no modo conectado da microrrede, mas que está próximo a 1,0 pu.



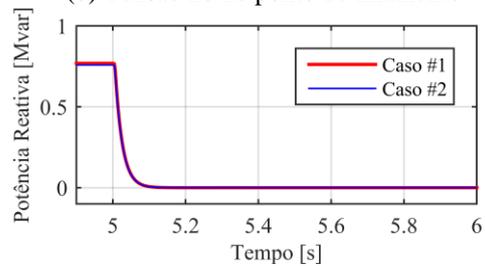
(a) Frequência no ponto de ilhamento.



(b) Tensão no no ponto de ilhamento.



(c) Potência ativa entregue pela rede.

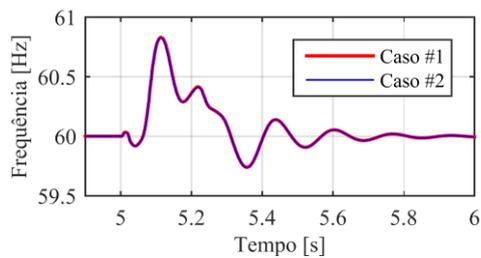


(d) Potência reativa entregue pela rede.

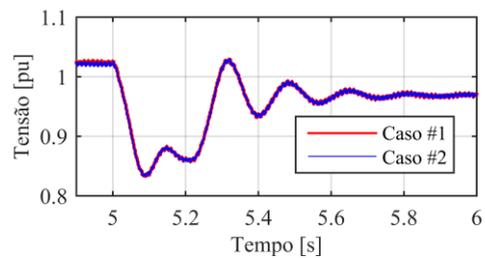
FIGURA 2. Parâmetros elétricos das microrredes durante e após o ilhamento para os Casos #1 e #2 medidos no ponto de ilhamento.

Fonte: Elaborado pelo autor.

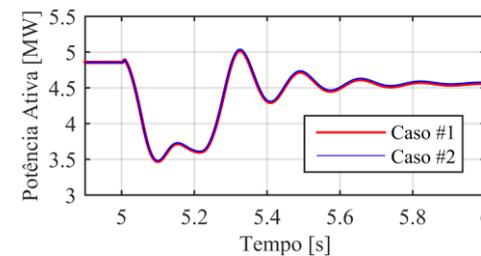
As Figuras 2(c) e 2(d), por sua vez, apresentam a potência ativa e reativa entregue pela rede principal à microrrede. Note que antes do ilhamento, que ocorre aos 5,0s, a rede injetava valores positivos de potência ativa e potência reativa, complementando as potências fornecidas pelo gerador síncrono (Figuras 3(c) e 3(d)). No entanto, quando o ilhamento ocorre, o gerador síncrono passa a ser o único responsável pelo fornecimento de potências ativa e reativa para as cargas da microrrede. Logo, as potências fornecidas pela rede passam a ser nulas, como ilustrado nas Figuras 2(c) e 2(d). Já as potências do gerador síncrono, apresentadas nas Figuras 3(c) e 3(d) sofrem algumas variações, mas logo ajustam-se às potências demandadas pelas cargas da microrrede (aproximadamente 4,57 kW e 1,37 kVAr).



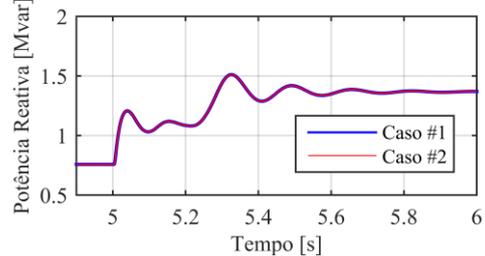
(a) Frequência no PAC do gerador síncrono.



(b) Tensão no PAC do gerador síncrono.



(c) Potência ativa entregue pelo gerador síncrono.



(d) Potência reativa entregue pelo gerador síncrono.

FIGURA 3. Parâmetros elétricos das microrredes durante e após o ilhamento para os Casos #1 e #2 medidos no ponto de acoplamento comum do gerador síncrono.

Digno de nota é que as mesmas variações vistas para a microrrede radial (curvas em vermelho) foram observadas para a microrrede malhada (curvas em azul). Como as curvas estão praticamente

sobrepostas, pode-se dizer que a variação topológica, no caso aqui estudado, não influenciou nas variações dos parâmetros elétricos analisados.

A mesma análise realizada acima foi feita para os casos #3 e #4, que consideram a presença de um gerador eólico localizado na barra 8 da microrrede. A Figura 4 apresenta os parâmetros elétricos relacionados ao ponto de ilhamento, enquanto que a Figura 5 apresenta os parâmetros elétricos associados ao ponto de acoplamento comum do gerador síncrono. Por fim, a Figura 6 mostra os parâmetros elétricos no ponto de acoplamento comum do gerador eólico. Novamente, verifica-se que as mesmas variações encontradas com a microrrede radial são observadas para a microrrede malhada. Nestas novas condições, verificam-se comportamentos levemente diferentes aos apresentados anteriormente, mas com valores de variações máximas bem semelhantes. A maior diferença observada está relacionada com as potências ativa e reativa dos recursos distribuídos após o ilhamento. Como o gerador eólico possui um ajuste de potência ativa fixa, o gerador síncrono se adequa para complementar a demanda por potência ativa da carga. Alternativamente, a potência reativa é ajustada pelos dois elementos, buscando regular a tensão nas barras da microrrede. Nota-se, que para este parâmetro, um tempo maior de acomodação foi necessário.

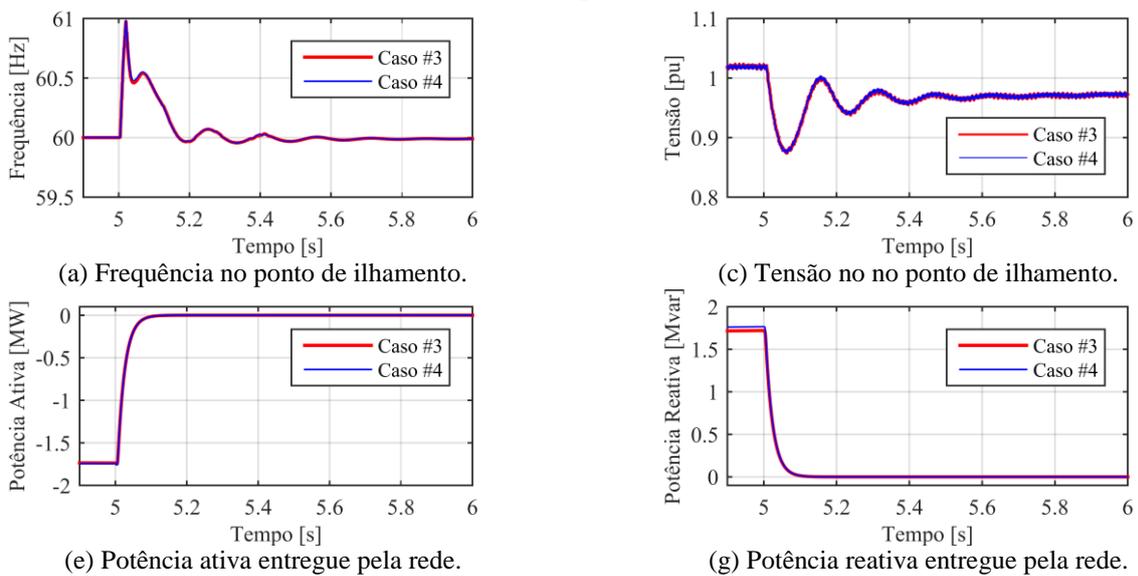


FIGURA 4. Parâmetros elétricos das microrredes durante e após o ilhamento para os Casos #3 e #4 medidos no ponto de ilhamento. Fonte: Elaborado pelo autor.

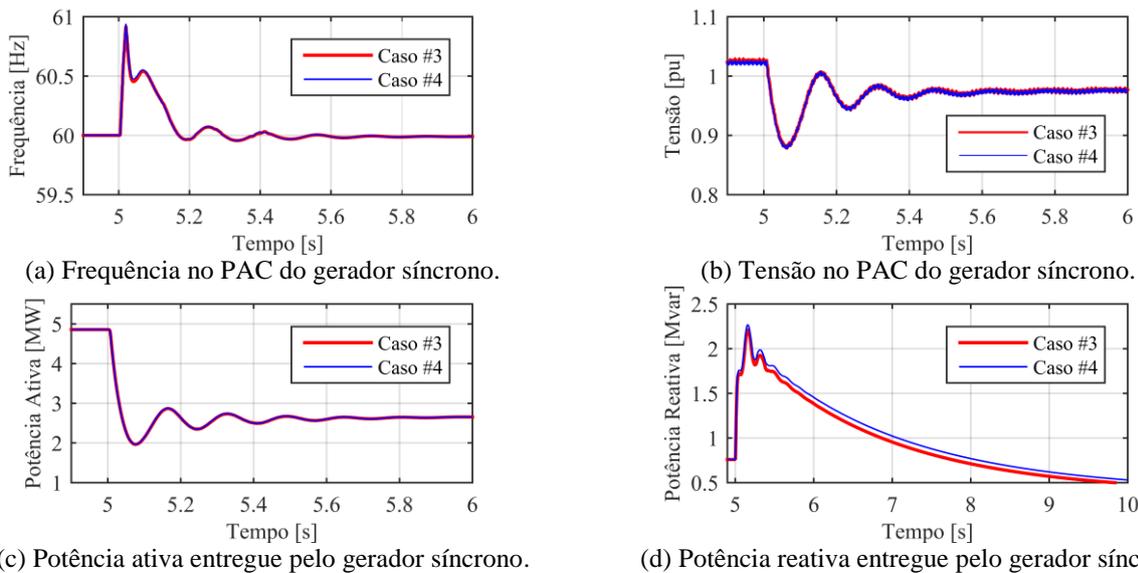
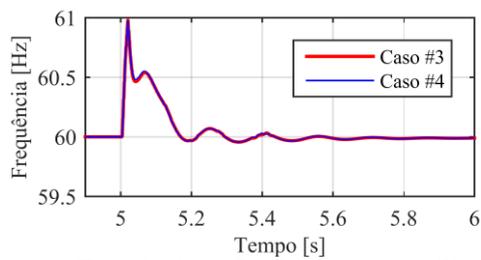
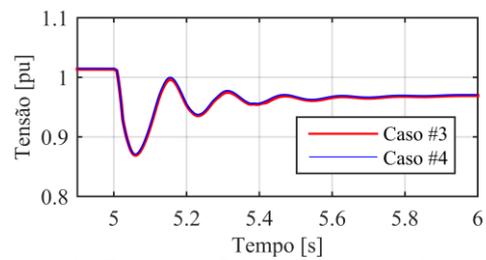


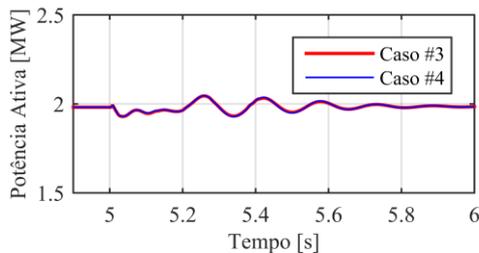
FIGURA 5. Parâmetros elétricos das microrredes durante e após o ilhamento para os Casos #3 e #4 medidos no ponto de acoplamento comum do gerador síncrono. Fonte: Elaborado pelo autor.



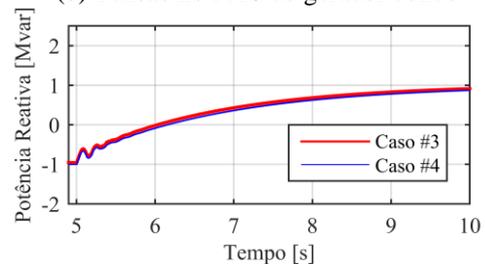
(a) Frequência no PAC do gerador eólico.



(b) Tensão no PAC do gerador eólico.



(c) Potência ativa entregue pelo gerador eólico.



(d) Potência reativa entregue pelo gerador eólico.

FIGURA 6. Parâmetros elétricos das microrredes durante e após o ilhamento para os Casos #3 e #4 medidos no ponto de acoplamento comum do gerador eólico. Fonte: Elaborado pelo autor.

CONCLUSÕES

Este trabalho apresentou análises transitórias utilizando o PSCAD/EMTDC considerando o ilhamento intencional de microrredes. Foram considerados cenários com a presença apenas do gerador síncrono e do gerador síncrono operando com o gerador eólico. As análises também levaram em conta a possibilidade de operação com topologia malhada da microrrede. Os resultados obtidos por meio das simulações mostram que, apesar de variações nos parâmetros elétricos da microrrede, o controle dos elementos distribuídos foi capaz de conduzir à microrrede à estabilidade. O equilíbrio entre as potências geradas pelos recursos distribuídos e a demanda das cargas das microrredes foi atingido em todos os cenários investigados.

REFERÊNCIAS

- BARRA, P.H.A. et al. A survey on adaptive protection of microgrids and distribution systems with distributed generators. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 118, 2020.
- BREARLEY, B.J.; PRABU, R.R. A review on issues and approaches for microgrid protection. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 67, 2017.
- CHOWDHURY, S. et al. **Microgrids and active distribution networks**, The Engineering and Technology, 2009.
- HADDADIAN, H.; NOROOZIAN, R. Optimal operation of active distribution systems based on microgrid structure. **Renewable Energy**, v. 104, 2017.
- HATZIARGYRIOUN, N. et al. Microgrids: An Overview of Ongoing Research, Development, and Demonstration Projects. **IEEE Power and Energy Magazine**, v. 5, 2007.
- HIRSCH, A.; et al. Microgrids: a review of Technologies, and outstanding issues. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 90, 2018.
- KATIRAEI, F. et al. Microgrids management: Controls and operation aspects of microgrids **IEEE Power and Energy Magazine**, v. 6, 2008.
- USTUN, T.S. et al. Recent developments in microgrids and example cases around the world – a review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 15, 2011.