

ANÁLISE DO COMPORTAMENTO DE UMA MICROGRID COMPOSTA POR FONTES RENOVÁVEIS OPERANDO EM MODO ILHADO

Joyce Fernanda dos Santos (UNIARA) jfernanda.contato@gmail.com
Anderson Duarte Betiol (UNIARA) adbetiol@yahoo.com

Resumo:

Adequadas para locais remotos onde a interconexão com a rede elétrica fica restrita devido as limitações geográficas, questões técnicas ou econômicas, incluindo circunstâncias de casos de operação crítica e ambientais, as microgrids possuem capacidade para suprir as cargas de alta prioridade, agindo como um pequeno sistema de potência que consegue balancear sua geração e demanda para estabilizar o suprimento de energia. Resumidas a sistemas de distribuição em menor escala, as microgrids são definidas como um agrupamento localizado de diversas fontes geradoras de energia elétrica que podem operar no funcionamento normal, conectada a um sistema elétrico tradicional, ou não. Operando de forma conectada à rede principal, qualquer instabilidade relacionada à potência pode ser suprida pela rede elétrica da concessionária. Diante de perturbações constatadas na rede, a microgrid reage de forma a isolar a carga da perturbação passando a conectar-se apenas às fontes geradoras, evitando que a integridade da transmissão seja prejudicada e que os usuários da microgrids sejam afetados por interrupções, tornando o fornecimento de energia altamente confiável. Entretanto, operando apenas em modo isolado (ilhado), as potências ativas e reativas devem ser balanceadas com a demanda das cargas locais, ficando sujeitas a incertezas podendo ocorrer desvios de frequência e tensão significativos. Neste trabalho foram integradas metodologias de ferramentas de simulação (MATLAB) que permitiram realizar uma análise do comportamento de uma microgrid composta por fontes renováveis operando no modo ilhado, e concluiu-se que o modo ilhado é satisfatório e usual para regiões remotas de baixo poder industrial e desenvolvimento tecnológico.

Palavras chave: Microgrid, Modo ilhado, Fontes geradoras.

BEHAVIOR ANALYSIS OF A MICROGRID COMPOSED OF RENEWABLE SOURCES OPERATING IN ISLAND MODE

Abstract:

Suitable for remote locations where the interconnection with the electric network is restricted due to geographic, technical or economic constraints; including critical and environmental cases, microgrids have the capacity to supply the high priority loads, acting as a small power system that can balance their generation and demand to stabilize the supply of energy. Microgrids, as small-scale distribution systems, are localized clustering of several sources of electrical energy that can operate in normal situations which can be connected to a traditional electrical system. Operating in a way connected to the main network, any instability related to the power can be supplied by the electrical network of utilities. In the case of disturbances detected in the network, the microgrid reacts in a way to isolate the load of the disturbance which are connected to the generating sources. This avoids impairing the integrity of the transmission and the users would not be affected by disruptions, making the power supply highly reliable. However, when the system is just operating in isolated (islanded) mode only, active and reactive power must be balanced with the demand of the local loads which can result in uncertainties and significant deviations of frequency and voltage. In this work, in order to analyze the

behavior of a microgrid operating in renewable sources which work in the island mode and to simulate remote areas, methodologies will be investigated.

Key-words: Microgrid, Islanded mode, Generating sources.

1. Introdução

Microgrid é uma microrrede elétrica e funciona como um sistema elétrico independente devido a sua capacidade de agrupamento localizado de fontes geradoras de energia elétrica, de sistema de armazenamento e de distribuição de energia, e de cargas controláveis por sistemas de gestão que, contendo uma entidade central de controle e coordenação, consegue despachar as unidades de geração sob incerteza de demanda, além de controlar balanço de potência ativa e fluxo de carga (NETTO, 2018).

Analogamente é uma versão em pequena escala da rede elétrica, porém, é capacitada para operar estando ou não em interface à rede principal de baixa ou média tensão (LASSETER 2004). O constante avanço tecnológico proporcionou ao sistema uma estrutura com recursos próprios de armazenamento, softwares e soluções digitais com capacidade para gerir toda a produção de eletricidade, permitindo que, atuando como um sistema de distribuição de energia tenha uma ou mais fontes de geração (PORTELINHA JUNIOR, 2018).

Possibilitando o uso de fontes alternativas, a microrrede tende a facilitar a integração de fontes renováveis como a eólica e a solar à rede, contribuindo diretamente com a redução de emissões de gases do efeito estufa e a descentralização da geração de eletricidade, o que aumenta a confiabilidade do fornecimento de energia (CHOWDHURY, CHOWDHURY E CROSSLEY, 2009). Este desempenho tem a tornado popular entre as cargas críticas que dependam de um sistema sem grandes variações na tensão.

O mesmo acontece entre os usuários finais que têm procurado o sistema para usos residenciais devido ao interesse na sua independência energética que possui potencial para operar de forma ilhada, através de um ponto de acoplamento comum que possibilita que a microrrede seja vista pelo resto do sistema como uma unidade controlada.

No Brasil, o maior número populacional sem acesso a eletricidade é encontrado nas regiões Norte e Nordeste, e de acordo com um levantamento divulgado pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), as residências sem luz no país ultrapassava a faixa de 1 milhão. Proveniente da inviabilidade econômica, linhas de transmissão em regiões de baixa densidade demográfica não são construídas, e, sucessivamente, a energia produzida nas principais termelétricas e hidrelétricas do país não têm alcance a todos os brasileiros (EXAME, 2017).

Diante deste contexto, estabelecer uma produção de energia, em grande ou pequena escala, próxima ao centro de consumo soa como uma excelente alternativa, e fontes renováveis como a solar ou a eólica têm recebido grande influência no mercado. No entanto, sendo estas diretamente dependentes das condições climáticas, a confiabilidade da distribuição de energia estável por estes meios fica inteiramente restrita. Considerando ainda uma eventual falha ou desastre natural impossibilitando a constante distribuição nas regiões remotas onde a energia elétrica provém somente das respectivas fontes renováveis, ou até mesmo a falta de energia em um cenário onde a região dependa somente da rede principal, surge o aumento da necessidade de qualidade e confiabilidade no fornecimento de energia elétrica de forma que não haja a interrupção das atividades de abastecimento.

Operando no modo ilhado, a Microgrid deve manter os requisitos de segurança e qualidade dentro dos limites nominais estabelecidos para que a desconexão de cargas, provenientes de desvios de tensão e frequência, seja nula, quando não; mínima.

O objetivo deste estudo é analisar o comportamento de uma microgrid composta por fontes renováveis operando no modo ilhado. No entanto, primeiramente, será efetuada a transição para o modo desconectado da rede principal, que simulará, com auxílios da ferramenta MATLAB, o funcionamento da microrrede em áreas remotas.

Através dos resultados obtidos nas simulações, e tendo como referência valores dentro dos limites determinados pelas normas da Institute of Electrical and Electronic Engineers (IEEE) e ANEEL, será realizada uma análise comportamental que possa avaliar o desempenho da Microgrid ao operar no modo ilhado, como também diante de uma falha.

2. Revisão bibliográfica

Estudos que englobam o tema Microgrid têm gerado um crescente interesse nos últimos anos em virtude da alternativa ambientalmente sustentável e socialmente responsável em relação ao incremento da oferta de energia elétrica no sistema, e independência energética. Para a elaboração deste artigo, foram consultadas literaturas especializadas que abordam o assunto desde dados estatísticos da falta de acesso a eletricidade, definições de Microgrid, até tópicos avançados como infraestruturas de comunicação para controle do sistema.

Segundo dados da International Energy Agency (IEA, 2018), a falta de acesso à eletricidade ainda é um problema que atinge grande parte da população Mundial. Em 2016 o total de pessoas sem acesso ultrapassava 1 bilhão, e em um sinal de grande progresso, no ano de 2017 mais de 120 milhões de pessoas em todo o mundo ganharam acesso à eletricidade e pela primeira vez o número total de pessoas sem acesso foi reduzido abaixo desta exorbitante quantia.

O interesse na independência energética também atinge os usuários finais, que têm procurado sistemas para instalar em suas residências com o propósito de obter maior confiabilidade em relação a estabilidade da energia recebida, bem como as indústrias por questões econômicas uma vez que não precisam estar conectadas à rede principal em horários de pico (EXAME, 2017).

Para que haja diligência neste processo, é preciso a implantação de um sistema de distribuição que possua interconexões com os sistemas elétricos, transpondo cada vez mais gerações distribuídas advindas de fontes de energia alternativas, e que tenha capacidade de operar de forma independente das concessionárias de distribuição. A tecnologia Microgrid é capaz de suprir as referidas características, e além de acesso, traz independência aos consumidores (CHAGAS, 2018).

DEL CARPIO HUAYLLAS (2015) ressalta com uma das características em destaque de uma Microgrid é a flexibilidade durante sua operação com a rede principal, que vai desde a integração de sistemas de energia distribuídos, sistemas de armazenamento, à operação desconectada, podendo operar nos seguintes modos:

- Normal: conectada à rede principal, oferecendo suporte de reativos à rede controlando a tensão local, podendo injetar potência reativa na mesma.

- Ilhamento: perante a presença de faltas no sistema, quedas de tensão severas, *blackouts* ou outras perturbações, este modo passa a ser operante. A microrrede se desconecta da rede principal e passa a ser suprida pela fonte geradora de tensão que obtiver maior estabilidade de fornecimento. Desta forma, os usuários da microrrede não serão afetados por interrupções.

NETTO (2018) destaca outra circunstância de operação em modo ilhado, considerado intencional, onde os usuários podem desconectar o único ponto comum de acoplamento com o Sistema Elétrico de Potência, tornando o funcionamento da Microgrid autônomo, e continuarão sendo alimentados pelos geradores distribuídos, porém não há energia do sistema elétrico ou de concessionária conectado a micro-rede.

Do ponto de vista econômico (tarifário), é um modo de operação atrativo para os consumidores, principalmente em horários de pico na demanda por energia elétrica onde, conforme dados da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL, 2019), há variação do valor em função da hora e dia da semana.

A operação em modo ilhado, durante algum evento de falha ou desastre natural, permite que o sistema opere em cenários adversos, tais como falta de energia na rede principal, fornecimento de energia independente do sistema principal nos horários de pico devido a preços elevados de energia e, principalmente, para o fornecimento de energia em áreas remotas (PORTELINHA JUNIOR, 2018).

O ideal é que a Microgrid, diante da transição para o modo ilhado, mantenha determinados valores de níveis de tensão e frequência, porém existe a possibilidade de ocorrer transitórios de grandes intensidades capazes de causar um desequilíbrio entre a carga e a geração, inclusive, a ocorrência de interrupções momentâneas durante o trajeto. A qualidade da tensão e frequência gerada, principalmente se a microrrede utilizar conversores para se conectar com a rede principal, pode ser comprometida devido aos harmônicos que podem ser gerados. Estas grandezas devem ser enquadradas nos padrões estabelecidos nas normas, evitando assim, o comprometimento da operação regular de determinadas cargas (DEL CARPIO HUAYLLAS, 2015).

Segundo o Institute of Electrical and Electronic Engineers (Norma IEEE-1547), os limites dos parâmetros entre a microrrede e o sistema, em relação a frequência, a tensão e ao ângulo, deverão estar dentro dos valores indicados na Tabela da Figura 1.

Capacidades dos DERs (kVA)	Diferença de Frequência (Δf , Hz)	Diferença de Tensão (ΔV , %)	Diferença do ângulo de fase ($\Delta \Phi$, graus)
0-500	0,3	10	20
>500-1500	0,2	5	15
>1500-10.000	0,1	3	10

Fonte: Del Carpio Huayllas (2015)

Tabela 1: Parâmetros

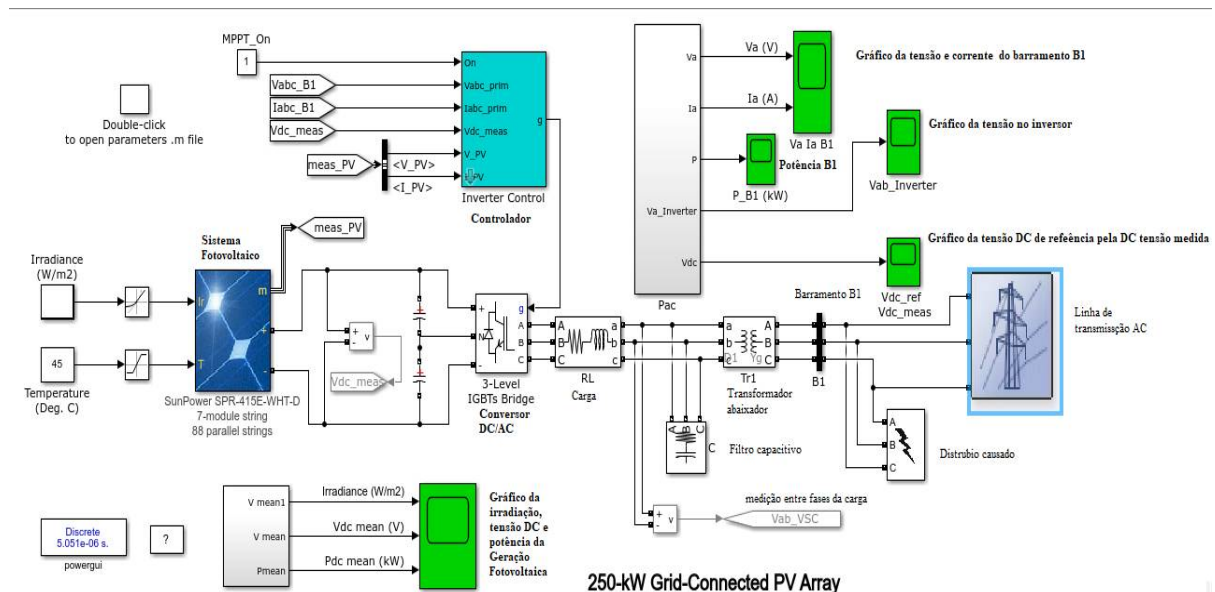
3. Metodologia

Foi realizada uma pesquisa bibliográfica que auxiliou na identificação do modelo que mais se adequaria à proposta deste trabalho. O modelo selecionado para a simulação, de acordo com os tipos de microrredes predefinidos pelo Institute of Electrical and Electronic Engineers (IEEE, 2011), está proximamente associado ao *Facility Island* (Ilha da Instalação), composto

por uma carga (ou um conjunto ligado ao mesmo barramento), um Ponto de Acoplamento Comum (PAC) e unidades de geração. Como rege a norma vigente, neste modelo fica proibido a desconexão da geração em caso de perda de referência.

O modelo computacional usado foi baseado em uma microgeração com capacidade de 250kVA de potência, sincronizada com a carga. Esta carga está também conectada a um transformador que por sua vez estão sincronizados a um barramento que recebe uma linha de transmissão AC. Juntamente com essa microgeração, em funcionamento normal, a carga permanece sendo alimentada tanto pela microgeração solar quanto pelo barramento. Ao sinal de uma perturbação na linha de Transmissão AC, a mesma será desconectada do barramento tornando a carga alimentada somente pela microgeração.

A implementação do modelo proposto, conforme Figura 1, foi realizada usando a linguagem de programação do MATLAB, elaborada para possibilitar a verificação e monitoramento de uma microrrede operando em modo ilhado. Os monitoramentos foram feitos pra a retirada de tensão e potência no barramento, na saída da microgeração e na carga a fim de analisar o comportamento da microgrid no momento em que assume a carga instalada.



Fonte: O autor - adaptado do MATLAB (2019)

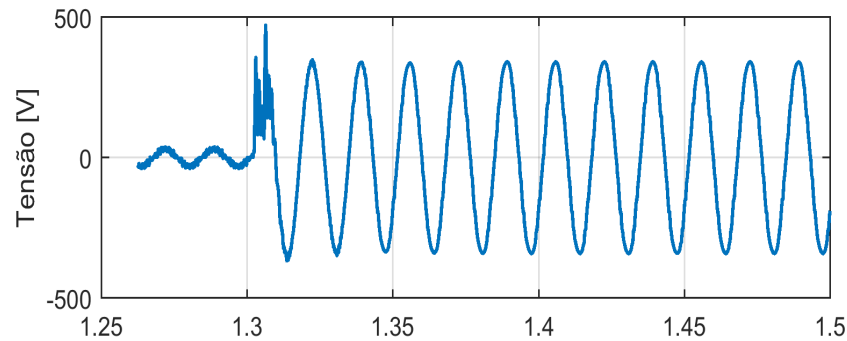
Figura 1: Modelo computacional representando uma Microgrid

4. Resultados e Discussões

Nesta seção serão apresentados, através dos gráficos, os principais resultados de operação (simulados no Matlab/ Simulink) da microrrede em estudo obtidos durante o monitoramento.

O gráfico da Figura 2 representa a tensão na saída do inversor do sistema de geração fotovoltaica mostrando que o inversor gera uma onda do tipo cossenoide para alimentar a carga. Nota-se que a onda sofre várias deformações devido a conversão CC/CA(Corrente

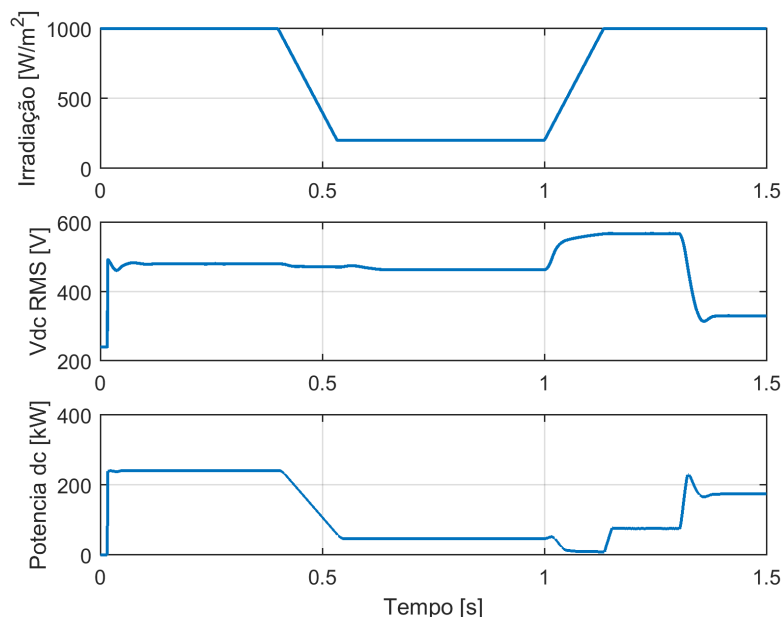
continua/Corrente alternada). Esta deformação é minimizada devido a aplicação de um Filtro RLC para amenizar harmônicas e fator de potência em paralelo com a carga.



Fonte: O autor-simulação MATLAB (2019)

Figura 2: Gráfico da tensão na saída do inversor CC/CA

No gráfico da Figura 3 apresenta-se o comportamento da tensão contínua e a potência contínua devido a irradiação gerada pelas placas fotovoltaicas. Há uma redução da potência produzida devido ao sistema prever estar assumindo parte da carga, podendo então estar preparado para uma elevação de potência e produção energia elétrica. Neste momento inicia no sistema de controle da microgrid uma verificação da conversão CC/CA e o mesmo volta a aumentar a sua produção de energia. No instante 1,03 segundos há uma sensibilização do sistema devido ao início de uma perturbação advinda do sistema interligado CA. Ocorrendo esta perturbação na linha de transmissão CA, adimita-se que a microgrid assuma a carga em modo ilhado. No instante 1,3 segundos a microgrid aumenta produção e assume o modo ilhado.

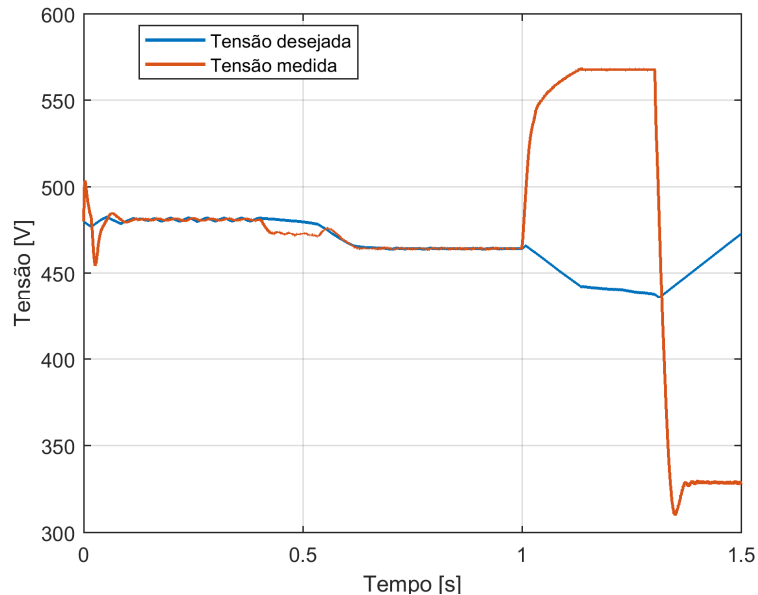


Fonte: O autor - simulação MATLAB (2019)

Figura 3: Gráfico do comportamento do sistema fotovoltaico

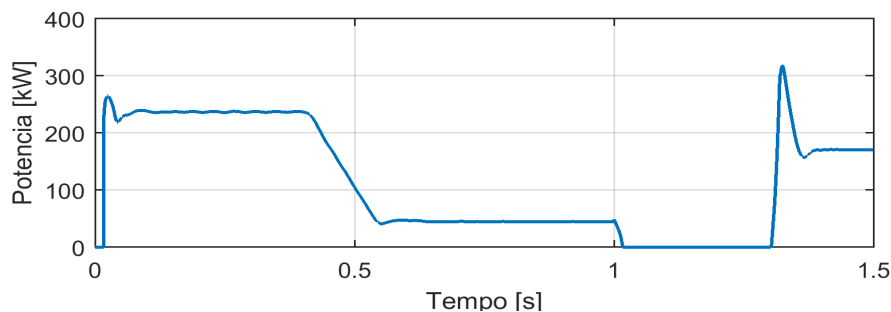
O gráfico da Figura 4 mostra a tensão de referência fornecida pelo controlador para manter a tensão medida dentro dos parâmetros de flutuação ou variação de carga do sistema da

microgrid. Nota-se que no instante aproximado a 0,5 segundos, a microgrid recebe uma variação na carga e inicia uma regulagem no seu sistema prevendo assumir uma carga posteriormente. No instante 1,0 segundos há um aumento na tensão, pois neste momento a carga está sendo alimentada parcialmente pela geração fotovoltaica. No instante 1,30 segundos há uma perturbação na rede onde resulta uma perda de tensão. Verifica-se que neste dado momento há uma desconexão da linha de transmissão AC e uma redução de carga no sistema e, passado este instante, a microgrid passa a operar em modo ilhado. No instante 1,38 segundos, nota-se uma retomada de tensão e posteriormente estabilização do sistema interligado após sincronização com a microgrid.



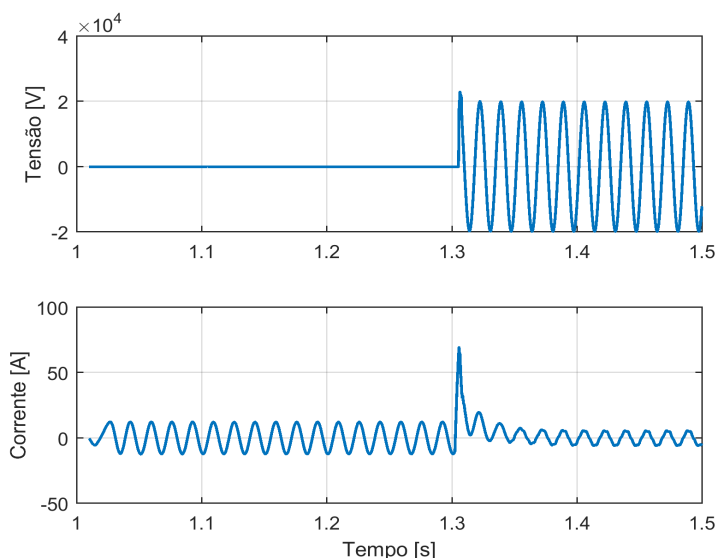
Fonte: O autor - simulação MATLAB (2019)
 Figura 4: Gráfico da Tensão de referência x Tensão de saída

O gráfico da Figura 5 permite a visualização do comportamento da potência no barramento B1, onde ocorre uma redução da potência oriunda da linha de transmissão AC após o instante 0,5 segundos devido a microgrid estar assumindo parte da carga. No instante 1,03 segundos observa-se uma redução instantânea da potência, admitindo-se que neste momento há uma perturbação na rede e desconexão da linha de transmissão AC, portanto sugere-se que a microgrid assuma a carga e entre em modo ilhado. No instante 1,30 segundos há um aumento e posteriormente estabilização da potência no barramento B1, e é a partir deste instante o modo ilhado está ativo.



Fonte: O autor - simulação MATLAB (2019)
 Figura 5: Gráfico da Potência no Barramento B1

No gráfico da Figura 6 verifica-se como a microgrid contribui para o sistema interligado quando sua produção é superior ao consumo demandado por seu sistema. Nota-se que após o instante 0,5 segundos ocorre uma redução na corrente do barramento sugerindo que a microgrid está assumindo parte substancial da carga, e está também contribuindo para o sistema interligado de forma a tornar a corrente no barramento mais baixa, controlando a carga na microgrid e melhorando o sistema interligado em termos de demanda.



Fonte: O autor - simulação MATLAB (2019)

Figura 6: Gráfico da tensão e corrente do barramento B1

No que refere-se à tensão neste mesmo instante, não é possível visualizar mudança devido ao fato do sistema estar sincronizado, por isso mantém as tensões em fases e em níveis igualitários. No instante 1,03 segundos, é possível observar um aumento da corrente onde a tensão tende a zero. Podemos dizer, então, que neste momento ocorre um distúrbio na rede interligada e perde-se a linha de transmissão AC ocasionando em perda de potencial da referida linha AC. Com tal percepção, admira-se que a microgrid está em modo ilhado alimentando a carga e, após os 1,38 segundos a linha AC é restabelecida e sincronizada novamente à microgrid.

5. Conclusão

Este trabalho apresentou uma metodologia para realizar uma análise comportamental do modo de operação ilhado de uma microgrid. Ao final da simulação, com base nos resultados apresentados, prevê-se que o modo ilhado é satisfatório e usual para regiões remotas de baixo poder industrial e desenvolvimento tecnológico, entretanto deve-se levar em consideração o dimensionamento correto das cargas a serem instaladas e sua demanda, sem menosprezar a necessidade de auto-suficiência da carga em relação ao que a microgrid comporta.

Quanto à microgrid instalada próximo a grandes centros e conectada à rede principal, pode-se dizer que ela assegura benefícios quanto à segurança operacional e qualidade energética não apenas por reduzir o carregamento dos condutores da rede de distribuição, ou por aliviar as demandas imediatas por aumento da geração, mas sim devido a sua capacidade de

isolar-se em casos de ocorrência de distúrbios presentes na rede da concessionária, mantendo a qualidade no fornecimento de energia aos consumidores.

Referências

ABRIL BRANDED CONTENT, **Conheça O Microgrid, A Solução Para Um Brasil Mais Iluminado**, Exame, 2017, Disponível em: <https://exame.abril.com.br/tecnologia/conheca-o-microgrid-a-solucao-para-um-brasil-mais-iluminado/>, Acesso em: 08 de março de 2019

ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica, **Bandeiras tarifárias**, 2019, Disponível em: <<https://www.aneel.gov.br/bandeiras-tarifarias>>, Acesso em: 05 de abril de 2019.

ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica, **Procedimentos de Distribuição de energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST Módulo 8 – Qualidade da Energia elétrica**, 2015.

Chagas, E. A., **Otimização robusta da confiabilidade de mocrorredes no modo de operação ilhado**. 2018. 110f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Eletricidade) - Universidade Federal do Maranhão, São Luís, 2018.

CHOWDHURY, S., CHOWDHURY, S.P., **Microgrids and Active istribution Networks**, 2009, IET, Institution of Engineering and Technoly, London, Disponível em: <https://www.worldcat.org/title/microgrids-and-active-distributionnetworks/> oclc/460736348 Acesso em: 06 de junho de 2019

DEL CARPIO HUAYLLAS, T. E., **Micro-redes Elétricas: Estado Da Arte E Contribuição Para O Dimensionamento, Aplicação e Comercialização Da Energia Produzida**, Tese Doutorado, 2016, Universidade de São Paulo – USP, São Carlos –SP.

IEA, International Energy Agency, **Population without access to electricity falls below 1 billion**, 2018, Disponível em: <<https://www.iea.org/newsroom/news/2018/october/populationwithout-access-to-electricity-falls-below-1-billion.html>>Acessoem: 11 de março de 2019

IEEE , Institute of Electrical and Electronic Engineers, **IEEE Ninith International Conference on Intelligent Sensors, Sensor Networks and Information Processing (ISSNIP)– 2014**,

IEEE, Institute of Electrical and Electronic Engineers 1547.4 - IEEE **Guide for Design, Operation, and Integration of Distributed Resource Island Systems with Electric Power Systems**. 2011. Disponível em: < <https://ieeexplore.ieee.org/document/5960751/>> Acesso em: 24 de setembro de 2019

IEEE, Institute of Electrical and Electronic Engineers, **IEEE Std 1547.2-2008**, IEEE Standard for Interconnecting Distributed Resources with Electric Power Systems, p. 1 – 207, 2009.

LASSETER, R. H., **Microgrid: A Conceptual Solution**, University of Wisconsin-Madison
Madison, , Aachen, Germany, 20-25 Jun. 2004. Disponível em: <
https://scholar.google.com.br/scholar?q=Microgrid:+A+Conceptual+Solution%20&hl=pt-%20BR&as_sdt=0&as_vis=1&oi=scholart > Acesso em: 20 de março de 2019.

NETTO, R. S., **Framework em Tempo Real para Sistema de Gerenciamento de Energia de uma Smart Microgrid Utilizando Sistema Multiagente**. 2018. 133 f. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal de Itajubá – UNIFEI, Itajubá.

PORTELINHA JÚNIOR, F. M., **Análise da Interoperabilidade de Sistemas de Comunicações Móveis na Operação e Controle Resiliente de Microrredes**. 2018. 129 f. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2018.
