

Avaliação de técnicas de controle primário aplicadas em microrredes

K. D. R. Felisberto * A. B. Almeida * P. T. Godoy *

* Centro de Engenharias e Ciências Exatas, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, PR, (e-mail: kim.felisberto, adriano.almeida, paulo.godoy@unioeste.br).

Abstract: For the appropriate operation of an electrical microgrid (MG) in islanded mode, the primary control is required, which is responsible for voltage and frequency stability of the microgrid and for the power sharing between the power sources. The primary control is based on the droop control applied in the transmission systems. In these systems, the reactance of transmission lines (TLs) is significantly greater than the resistance. However, for many MGs the resistance of TLs can be the same order or greater than the reactance. Therefore, the purpose of this paper is to evaluate the application of four droop techniques proposed by the literature, in a test system implemented in *Matlab/Simulink* with distribution system characteristics and generation based on inverters. The results have shown that the main disadvantage of the conventional droop is the reactive power sharing, and the virtual impedance being the only technique able to correct this issue. However, the virtual impedance adjustment can be complex and it is dependent on the system operation point.

Resumo: Para a operação adequada de uma microrrede (MR) de energia elétrica no modo ilhado é necessário o uso do controle primário, o qual é responsável pela estabilidade de tensão e frequência da MR e pelo compartilhamento de carga entre as fontes despacháveis. O controle primário é muitas vezes baseado no controle droop utilizado nos sistemas de transmissão. Para esses sistemas, a reatância das linhas de transmissão (LTs) é significativamente maior que a resistência. Entretanto, para muitas MRs a resistência das LTs pode ser da mesma ordem ou maior que a reatância. Assim, o objetivo deste trabalho é avaliar a aplicação de quatro técnicas de droop propostas pela literatura, em um sistema teste implementado em *Matlab/Simulink* com características de distribuição de energia elétrica e geração baseada em inversores. Os resultados mostraram que a principal desvantagem da utilização do droop convencional é o compartilhamento de potência reativa, sendo que a impedância virtual foi a única técnica capaz de corrigir esse problema. Entretanto, o ajuste da impedância virtual pode ser complexo e é dependente do ponto de operação do sistema.

Keywords: Microgrids, Primary Control, Droop, Virtual Impedance, Power Sharing.

Palavras-chaves: Microrredes, Controle Primário, Droop, Impedância Virtual, Compartilhamento de Potência.

1. INTRODUÇÃO

O setor elétrico tem passado por grandes mudanças nos últimos anos com a tendência da utilização de energias renováveis e descentralização na geração de energia. Neste contexto, as MRs surgem como uma alternativa para simplificar a integração de geradores distribuídos (GD) aos sistemas convencionais, visto que são sistemas elétricos de potência em menor escala que podem operar de maneira autônoma, controlável e descentralizada (Lasseter et al., 2002; Leão et al., 2009).

Uma MR pode ser compreendida como um conjunto de GD, cargas, e sistemas de armazenamento, que opera como se fosse um único sistema provedor de eletricidade e calor. Dentre as vantagens da utilização das MRs estão o aumento da confiabilidade e da qualidade do fornecimento de energia, a redução de perdas de transmissão e distribuição,

facilidade de inserção de GD e aproveitamento do calor por cogeração (Lasseter & Piagi, 2004; Montoya et al., 2013).

As MRs devem ter capacidade de operar tanto conectadas ou ilhadas da rede principal. A capacidade das MRs de operarem de forma ilhada é uma de suas principais vantagens, possibilitando a continuidade. Entretanto, o modo ilhado é o que apresenta maior desafio de operação, pois as MRs devem ter capacidade para atenderem toda a demanda, além de realizarem o correto compartilhamento de carga entre as fontes despacháveis e garantirem que a frequência e a tensão estejam dentro dos limites operativos pré-definidos (Lasseter et al., 2002; Olivares et al., 2014).

Para uma MR com múltiplas fontes, é geralmente utilizado o controle baseado em droop, inspirado na regulação primária de frequência utilizada no sistema de potência convencional, no qual a frequência do sistema é estabilizada em um valor diferente da nominal em resposta a um

aumento de carga, além de permitir o compartilhamento da potência entre os inversores eletrônicos de potência. Devido à proximidade entre os inversores nas MRs, as impedâncias entre os conversores são geralmente pequenas, e faz-se necessário o uso de um droop de tensão, de modo a impedir a circulação de altas correntes reativas entre os conversores (Guerrero et al., 2007; Bidram & Davoudi, 2012; Olivares et al., 2014; Han et al., 2016).

O droop, aplicado nos sistemas de potência convencionais, é projetado para atuar em sistemas de transmissão, os quais apresentam LTs com reatância expressivamente maior que a resistência, ou seja, apresentam uma relação X/R alta. Entretanto, no caso de um pequeno sistema de potência e de baixa tensão, como o de uma MR, a resistência pode ser igual ou maior que a reatância, de modo que o efeito da resistência pode levar à perda de eficiência da resposta dinâmica esperada.

Diante disso, este trabalho visa avaliar algumas técnicas apresentadas na literatura que são comumente aplicadas em MRs. As técnicas avaliadas foram o droop convencional, droop resistivo, matriz de transformação rotacional e impedância virtual.

2. MODELOS DAS TÉCNICAS DE DROOP

Nessa seção é apresentada a modelagem matemática das técnicas de droop implementadas.

2.1 Droop convencional

O controle droop é inspirado no princípio do balaço de potência dos geradores síncronos do sistema tradicional de potência. Um desequilíbrio entre a potência mecânica de entrada e potência elétrica de saída provoca uma mudança na velocidade do rotor que resulta em um desvio na frequência. De maneira similar, um desvio da potência reativa de saída causa um desvio na amplitude da tensão terminal. Para o uso em MRs, o droop pode ser reproduzido artificialmente em um inversor, tanto para frequência como tensão (Olivares et al., 2014).

Na Figura 1 é ilustrado um sistema reduzido de um inversor conectado à uma MR através de uma impedância. A partir dessa simplificação é possível estudar o comportamento das técnicas de droop.

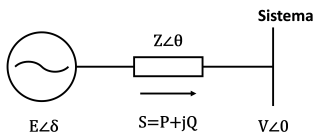


Figura 1. Sistema reduzido.

Em que $E\angle\delta$ é a tensão na saída do inversor, V é a tensão da MR e $Z\angle\theta$ a impedância da LT. Assim, a potência ativa e reativa podem ser calculadas como:

$$P = \frac{VE}{Z} \cos(\theta - \delta) - \frac{V^2}{Z} \cos(\theta) \quad (1)$$

$$Q = \frac{VE}{Z} \sin(\theta - \delta) - \frac{V^2}{Z} \sin(\theta) \quad (2)$$

Partindo do princípio que os sistemas de potência de média e alta tensão tem uma característica predominantemente indutiva (Guerrero et al., 2007), ou seja, $X \gg R$ e assumindo que o ângulo δ apresenta valor reduzido, tem-se que $\sin(\delta) \simeq \delta$ e $\cos(\delta) \simeq 1$, o que faz com que (1) e (2) possam ser reescritas como

$$P \simeq \frac{VE}{X} \delta \quad (3)$$

$$Q \simeq \frac{V(E - V)}{X} \quad (4)$$

Esse princípio é utilizado para formar o controle droop, em que é utilizada a potência ativa para controlar a frequência e a potência reativa para controlar a amplitude da tensão terminal, expresso nas equações seguintes:

$$\omega = \omega^* - mP \quad (5)$$

$$E = E^* - nQ \quad (6)$$

Em que ω^* é a frequência da rede quando a potência ativa nos terminais do inversor for nula, E^* é o valor da tensão nos terminais do inversor quando o mesmo opera com fator de potência unitário, P e Q são os valores médios da potência ativa e reativa lidos em um ciclo, m e n são os coeficientes dos droops $\omega - P$ e $V - Q$, e ω e E serão os valores de referência fornecidos para o inversor.

2.2 Droop resistivo

Considerando linhas puramente resistivas, em que $\theta = 0^\circ$, e que o ângulo de carga é pequeno, as equações de potência (1) e (2) se tornam

$$P = \frac{V(E - V)}{R} \quad (7)$$

$$Q = -\frac{VE}{R} \delta \quad (8)$$

Logo, essas características são consideradas para formar o droop resistivo (Sao & Lehn, 2008), também conhecido por *voltage active power droop and frequency reactive power boost* ou VPD/FQB, assim, as equações (5) e (6) são reescritas como

$$w = w^* + mQ \quad (9)$$

$$E = E^* - nP \quad (10)$$

De acordo com Guerrero et al. (2007) essa técnica de droop proporciona excelente desempenho no controle de MRs de baixa tensão com LTs altamente resistivas. Entretanto, o controle pelo droop resistivo depende fortemente dos parâmetros do sistema, o que restringe sua aplicação severamente.

2.3 Matriz de transformação rotacional

Conforme pode ser verificado nas equações (1) e (2), se a reatância da LT for da mesma ordem da resistência, ambas precisam ser consideradas no cálculo das potências. Neste caso, há acoplamento entre as potências, ou seja, uma mudança no ângulo δ ou na tensão terminal E provoca

mudança tanto na potência ativa quanto na potência reativa.

Uma estratégia para realizar o desacoplamento das potências é o uso de uma estrutura virtual, que transforme as potências P e Q em potências virtuais P' e Q' . Isso é realizado através de uma matriz de transformação rotacional ortogonal T_{PQ} , que leva em consideração a relação X/R das LTs. Logo, as potências virtuais podem ser calculadas através das seguintes equações:

$$\begin{bmatrix} P' \\ Q' \end{bmatrix} = \mathbf{T}_{PQ} \begin{bmatrix} P \\ Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sin(\theta) & -\cos(\theta) \\ \cos(\theta) & \sin(\theta) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P \\ Q \end{bmatrix} \quad (11)$$

Observa-se que se o ângulo θ for igual à 90° , ocorre o perfeito desacoplamento entre as potências, em que $P' = P$ e $Q' = Q$, e a matriz de transformação se torna o droop convencional. Analogamente, se θ igual à zero, $P' = -Q$ e $Q' = P$, e obtêm-se o droop resistivo.

Para o uso dessa técnica é necessário conhecimento dos parâmetros da MR, embora não seja necessário o valor exato da relação X/R, mas apenas uma estimativa. Se essa relação não é conhecida, a relação X/R pode ser considerada igual a um. As vantagens trazidas por essa estratégia comparada ao droop convencional, são a melhora da estabilidade transitória, melhor dinâmica em ocorrência de curto-circuito, mitigação do efeito de harmônicas, e no caso de LTs resistivas, controle mais eficiente de frequência e tensão (Brabandere et al., 2004).

2.4 Impedância virtual

Uma alternativa proposta na literatura para igualar as impedâncias equivalentes de cada inversor é a inserção de uma impedância física entre o inversor e a MR. Essa impedância, geralmente introduzida na forma de um indutor é pesada e volumosa, o que aumenta o tamanho e custos do equipamento (Guerrero et al., 2007). Com o objetivo de evitar a impedância física, tem sido proposto emular o efeito da impedância em série com o inversor através de uma impedância virtual, introduzida no controle primário, modificando a referência de tensão do inversor.

Com a inserção da impedância virtual, a tensão de referência para o inversor é obtida através da equação (12), em que Z_V é a impedância virtual de saída colocada em série com o inversor, i_o é a corrente de saída do inversor, v_o^* é a tensão obtida pelo droop convencional e v_{ref} é a nova tensão de referência para o inversor.

$$v_{ref} = v_o^* - Z_V(s)i_o \quad (12)$$

Em geral, a impedância virtual de saída é indutiva de modo a aumentar a relação X/R das LTs e permitir o desacoplamento de potência. Mais recentemente, tem sido utilizado o droop resistivo com o uso de resistência virtual para diminuir a relação X/R, tornando a impedância equivalente dos inversores mais resistiva, com a vantagem de introduzir um amortecimento maior no sistema (Guerrero et al., 2007).

Apesar da abundância de trabalhos utilizando a impedância virtual, pouco tem sido falado sobre o dimensionamento correto da impedância a ser inserida. Em Guerrero et al.

(2007) foi proposto fazer a impedância virtual tão grande quanto possível, de modo que a impedância equivalente do sistema seja desprezível comparada a impedância do inversor. No entanto, a inserção da impedância virtual provoca quedas maiores da tensão terminal dos inversores, podendo levar à instabilidade.

3. MICRORREDE TESTE

Para mostrar a aplicação das técnicas de droop, foi utilizada a MR proposta por Bidram et al. (2013). Essa MR apresenta LTs com relações X/R entre 0,5 e 4, potências e coeficientes de droop diferentes e cargas em posições assimétricas na MR. O diagrama unifilar e os dados da MR são ilustrados na Figura 2 e Tabela 1, respectivamente.

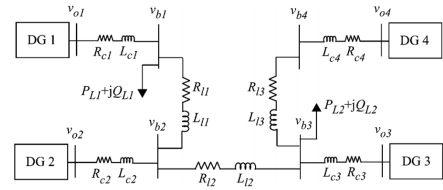


Figura 2. Diagrama da MR de Bidram et al. (2013).

Tabela 1. Dados da MR.

Dado	Valor	Dado	Valor	Dado	Valor
$R_{L,1,3}$	0,23 Ω	$S_{1,2}$	45 kVA	f	60 Hz
$L_{L,1,3}$	318uH	$S_{3,4}$	34 kVA	V	380 V
$R_{L,2}$	0,35 Ω	$m_{1,2}$	0,01122	$P_{L,1}$	36 kW
$L_{L,2}$	1847uH	$m_{3,4}$	0,01127	$Q_{L,1}$	36 kvar
R_C	0,03 Ω	$n_{1,2}$	0,1539	$P_{L,2}$	45,9 kW
L_C	0,35mH	$n_{3,4}$	0,1342	$Q_{L,2}$	22,8 kvar

Devido a diferença dos coeficientes de droop e potência entre os inversores, a geração de potência ativa e reativa não deve se distribuir igualmente entre os inversores, e sim proporcionalmente aos seus coeficientes de droop e potência nominal, conforme mostrado na Tabela 2.

Tabela 2. Proporção das potências esperadas dos inversores.

Inversor	P	Q
1	28,5%	26,8%
2	28,5%	26,8%
3	21,5%	23,2%
4	21,5%	23,2%

4. SIMULAÇÕES E ANÁLISES

A seguir são mostrados os resultados da aplicação das quatro técnicas de droop. A MR opera ilhada em regime permanente com 20% dos valores das cargas ativas e reativas expostas na Tabela 1, e em 0,1s ocorre a entrada do restante da carga. Nos gráficos de potência ativa e reativa também são apresentados os valores mínimos de tensão e frequência dos inversores observados durante o transitório da simulação.

4.1 Droop convencional

Nas Figuras 3 e 4 são ilustradas as potências ativa e reativa, respectivamente, dos quatro inversores com o uso do droop convencional.

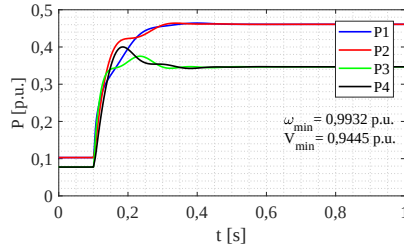


Figura 3. Potência ativa dos 4 inversores com droop convencional.

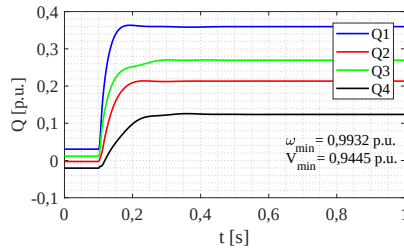


Figura 4. Potência reativa dos 4 inversores com droop convencional.

Pode ser observado que os inversores de mesma potência e coeficientes de droop, apresentaram um correto compartilhamento de potência ativa. Entretanto, na potência reativa ocorreu diferença de potência entre todos os conversores, sendo os inversores 1 e 3 responsáveis por fornecerem a maior parte da potência.

A Tabela 3 apresenta os dados de regime permanente para o droop convencional, na qual são apresentados os valores por unidade da frequência e tensão dos quatro inversores. Também são apresentados os valores em percentual que cada inversor assumiu de potência ativa e reativa em relação ao total de potência fornecida.

Pode ser verificado na Tabela 3 que os inversores 2 e 4, sendo os mais distantes eletricamente das cargas, obtiveram tensões terminais acima do valor esperado. Isso ocorre devido à localização das cargas, que se encontram mais próximas dos inversores 1 e 3, promovendo um maior afundamento das tensões terminais destes, levando ao maior fornecimento de potência reativa. Como a frequência é uma variável global do sistema, em regime permanente, a frequência dos inversores sempre convergirá para o mesmo valor, de modo que não ocorre problemas de regulação.

Tabela 3. Dados de regime permanente com droop convencional.

Inversor	ω [p.u.]	V [p.u.]	P [%]	Q [%]
1	0,9948	0,9445	28,5	37,2
2	0,9948	0,9670	28,5	22,1
3	0,9948	0,9519	21,5	27,9
4	0,9948	0,9778	21,5	12,8

4.2 Droop resistivo

Nas Figuras 5 e 6 são ilustradas as dinâmicas da potência ativa e reativa dos quatro inversores com a utilização do droop resistivo. Observa-se que a potência reativa agora se divide igualmente entre os inversores iguais, devido à utilização desta para regular a frequência. Contudo, para este caso, a potência ativa não é compartilhada corretamente entre os inversores, sendo que os inversores 1 e 3 assumiram a maior parte da potência.

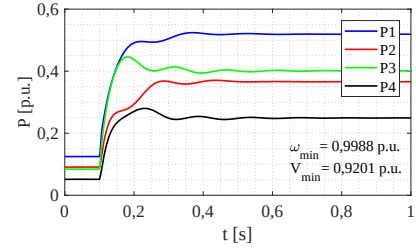


Figura 5. Potência ativa dos 4 inversores com droop resistivo.

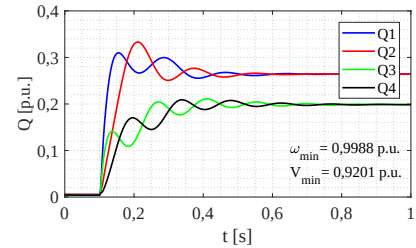


Figura 6. Potência reativa dos 4 inversores com droop resistivo.

Também é notável o comportamento mais oscilatório com o uso do droop resistivo, comparado ao droop convencional. Testes realizados com mudanças na resistência das linhas mostraram que essas oscilações se devem à baixa resistividade das impedâncias das linhas da MR, ou seja, a MR não apresenta resistência o suficiente para a utilização do droop resistivo.

A Tabela 4 apresenta os dados de regime permanente para o droop resistivo. Observa-se que a regulação de frequência apresenta desempenho semelhante ao droop convencional, enquanto os desvios de tensão entre os inversores foram maiores que no caso com o droop convencional.

Tabela 4. Dados de regime permanente com droop resistivo.

Inversor	ω [p.u.]	V [p.u.]	P [%]	Q [%]
1	1,0030	0,9200	33,8	28,5
2	1,0030	0,9436	23,8	28,5
3	1,0030	0,9286	26,2	21,5
4	1,0030	0,9557	16,2	21,5

4.3 Matriz de transformação rotacional

Enquanto as técnicas do droop convencional e droop resistivo em sua forma clássica permitem o controle da MR apenas pelos coeficientes m e n , a matriz de transformação

rotacional acrescenta o ângulo θ como variável de controle para cada inversor. Há poucas informações na literatura a respeito da escolha deste ângulo, sendo que em Brabandere et al. (2004) é sugerido a utilização de $\theta = 45^\circ$ em caso de desconhecimento do ângulo das impedâncias das linhas. Nas Figuras 7 e 8 são mostradas as dinâmicas de potência ativa e reativa com a utilização de $\theta = 45^\circ$ e os coeficientes m e n da Tabela 1.

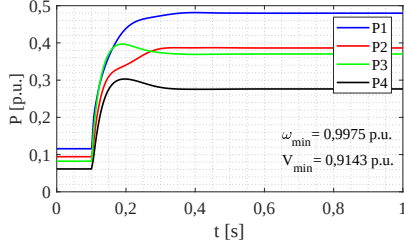


Figura 7. Potência ativa dos 4 inversores com matriz de transformação rotacional.

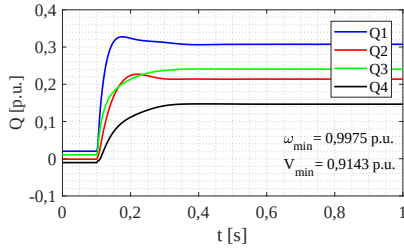


Figura 8. Potência reativa dos 4 inversores com matriz de transformação rotacional.

Observa-se que as diferenças de potências entre os inversores iguais ocorreu tanto na potência ativa quanto reativa, tornando a matriz de transformação rotacional mais desvantajosa comparada ao droop convencional e droop resistivo. Na Tabela 5 pode ser verificado ainda que o desvio de frequência é menor que nas técnicas anteriores, no entanto, os desvios de tensões são significativamente maiores, de modo que essa técnica não apresentou grandes vantagens quando utilizado $\theta = 45^\circ$.

Tabela 5. Dados de regime permanente com matriz de transformação rotacional.

Inversor	ω [p.u.]	V [p.u.]	P [%]	Q [%]
1	0,9987	0,9140	31,7	34,0
2	0,9987	0,9345	25,5	23,2
3	0,9987	0,9232	24,5	26,6
4	0,9987	0,9468	18,3	16,2

4.4 Impedância virtual

A principal desvantagem do droop convencional apresentado anteriormente foi a diferença de potência reativa entre inversores de mesma potência e mesmo coeficiente droop, que ocorreu por causa da posição assimétrica das cargas.

A técnica da impedância virtual permite corrigir essa assimetria inserindo virtualmente a impedância da LT entre o inversor e o sistema, de modo que as impedâncias equivalentes vistas pelos inversores sejam aproximadamente

iguais. Neste trabalho foi optado pela utilização do droop resistivo com a inserção de resistência virtual, para obter dinâmicas mais amortecidas.

Para essa MR é possível obter uma estimativa da impedância virtual a ser inserida e realizar o perfeito compartilhamento da potência. Uma análise da Figura 2 mostra que uma boa estimativa inicial é a inserção de uma impedância virtual nos inversores 1 e 3 com módulo igual das LT 1 e 3. Realizando os ajustes apropriados, os dados finais das impedâncias virtuais inseridas foram:

- $R_{V,1} = 0,1919 \Omega$;
- $R_{V,3} = 0,3112 \Omega$.

As Figuras 9 e 10 mostram as dinâmicas da potência ativa e reativa para o ajuste realizado.

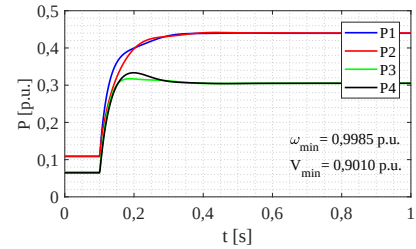


Figura 9. Potência ativa dos 4 inversores com impedância virtual.

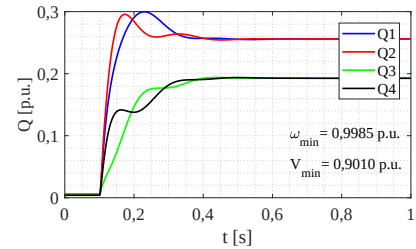


Figura 10. Potência reativa dos 4 inversores com impedância virtual.

Observa-se que a técnica da impedância virtual foi a única técnica capaz de corrigir a diferença de potência entre os inversores iguais, principal desvantagem da utilização do droop convencional. Na Tabela 6 pode ser verificado que em contrapartida, a inserção de impedância virtual nos inversores 1 e 3 leva à uma tensão terminal menor do que no caso com o droop convencional

Tabela 6. Dados de regime permanente com droop resistivo e impedância virtual.

Inversor	ω [p.u.]	V [p.u.]	P [%]	Q [%]
1	1,0030	0,9030	29,5	28,5
2	1,0030	0,9322	29,5	28,5
3	1,0030	0,9131	20,5	21,5
4	1,0030	0,9458	20,5	21,5

De forma a avaliar se o ajuste proposto é capaz de manter o equilíbrio das potências para mudanças do ponto de operação na MR, dois novos cenários de cargas foram simulados. Na Tabela 7 são mostrados os dados para três cenários de carga, sendo o cenário A com os valores

utilizados até então, o cenário B com 150% da carga 1 e 50% da carga 2 e o cenário C com 50% da carga 1 e 150% da carga 2.

Tabela 7. Dados dos cenários de carga.

	Cenário A	Cenário B	Cenário C
$P_{L,1}$	36 kW	54 kW	18 kW
$Q_{L,1}$	36 kvar	54 kvar	18 kvar
$P_{L,2}$	45,9 kW	22,95 kW	68,85 kW
$Q_{L,2}$	22,8 kvar	11,4 kvar	34,2 kvar

As Figuras 11 e 12 mostram as potências ativas dos quatro inversores para os cenários B e C, respectivamente. Para o cenário B, os inversores mais próximos da carga 1 assumem a maior parte da potência ativa, mesmo com a aplicação da impedância virtual, a qual diminui a diferença do compartilhamento de potência entre os conversores. Já para o cenário C, o aumento da carga 2 fez com que os inversores 3 e 4 assumissem a maior parte da potência ativa. Este é um cenário não desejável, pois a potência nominal dos inversores 3 e 4 é menor que os demais, o que pode causar saturação da corrente.

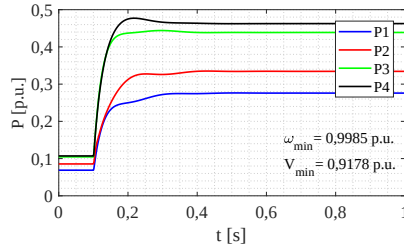


Figura 11. Potência ativa dos 4 inversores com impedância virtual para o cenário B.

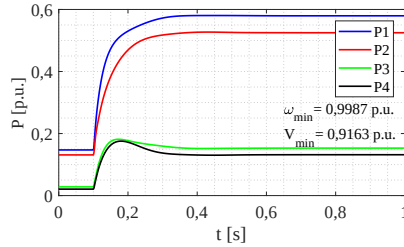


Figura 12. Potência ativa dos 4 inversores com impedância virtual para o cenário C.

Constata-se então, que embora seja possível utilizar a resistência virtual para realizar o ajuste perfeito do compartilhamento de potência, esse ajuste é ainda dependente da potência e localização das cargas, assim como demais mudanças operativas da MR. Ainda, a MR utilizada é pequena, de modo que permitiu uma boa estimativa inicial de quais inversores inserir a impedância virtual e seu valor. Para MRs maiores pode ser difícil fazer uma boa estimativa inicial, sendo necessária a utilização de métodos heurísticos para determinar o valor da impedância virtual para cada possível configuração da MR.

5. CONCLUSÃO

Para a MR utilizada como sistema teste, verificou-se que o droop convencional apresenta excelente desempenho

na regulação de tensão e frequência para essa MR, no entanto apresentou diferença de potência reativa entre os inversores, podendo levar a superutilização de um inversor em detrimento dos demais. Esse problema se repetiu nas técnicas do droop resistivo e da matriz de transformação rotacional.

A impedância virtual foi a única técnica, dentre as apresentadas, capaz de corrigir a diferença de potência entre os inversores, contudo, seu dimensionamento pode ser complexo conforme o tamanho da MR, além de depender de cenários de carga ou de parâmetros operativos da MR, de modo que seria necessário obter um ajuste para cada possível configuração da MR. Entretanto, apesar da dificuldade de dimensionar a impedância virtual corretamente, a capacidade desta de corrigir as diferenças de potências entre inversores torna-a bastante vantajosa, justificando seu uso.

REFERÊNCIAS

- Bidram, A.; Davoudi, A. (2012). Hierarchical structure of microgrids control system. *IEEE Transactions on Smart Grid*, 1963-1976.
- Bidram, A.; Davoudi, A.; Lewis, F. et al (2013). Distributed cooperative secondary control of microgrids using feedback linearization. *IEEE Transactions on Power Systems*, 3462-3470.
- Brabandere, K.; Bolsens, B.; Van Den Keybus, J.; et al (2004). A voltage and frequency droop control method for parallel inverters. *PESC Record - IEEE*, 2501-2507.
- Guerrero, J. M.; Berbel, N.; Matas, J. et al (2007). Decentralized control for parallel operation of distributed generation inverters in microgrids using resistive output impedance. *IECON Proceedings*, 5149-5154.
- Han, H.; Hou, X.; Yang, J. et al (2016). Review of power sharing control strategies for islanding operation of AC microgrids. *IEEE Transactions on Smart Grid*, 200-215.
- Lasseter, R. H.; Akhil, A.; Marnay, C. et al (2002). The CERTS microgrid concept, white paper on integration of distributed energy resources. *California Energy Commission, Office of Power Technologies-US Department of Energy*, 29.
- Lasseter, R. H.; Piagi, P. (2004). Microgrid: A conceptual solution. *PESC Record - IEEE*, 4285-4290.
- Leão, R. P. S.; Antunes, F. L. M.; Lourenço, T. G. M. et al (2009). A comprehensive overview on wind power integration to the power grid. *IEEE Latin America Transactions*, 620-629.
- Montoya, M.; Sherick, R.; Haralson, P. et al (2013). Islands in the Storm: Integrating microgrids into the larger grid. *IEEE Power and Energy Magazine*, 33-39.
- Olivares, D. E.; Mehrizi-Sani, A.; Etemadi, A. H. et al (2014). Trends in microgrid control. *IEEE Transactions on Smart Grid*, 1905-1919.
- Sao, C. K.; Lehn, P. W. (2008). Control and power management of converter fed microgrids. *IEEE Transactions on Power Systems*, 1088-1098.