

# Análise de Regime Permanente em Sistemas de Cogeração Fotovoltaica Interconectada com Rede Elétrica Monofásica

Marcos Cavalcante Meira  
Franklin Hebert Silva do Nascimento<sup>1</sup>  
Arthur Aprígio de Melo  
Rafael Carvalho Oliveira  
Tiago Barros Pinheiro Araújo  
Luiz Januário Torres da Silva Filho

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba – Campus João Pessoa  
mcmeira2006@gmail.com; arthurmelo92@gmail.com; rafarcpc@hotmail.com;  
tiagobparaujo@gmail.com; luizfillho@gmail.com

<sup>1</sup>CIMM Empreendimentos S.A.  
franklin\_hebert@hotmail.com

**RESUMO:** Este artigo apresenta a análise de regime permanente em sistemas de cogeração PV interconectada com uma rede elétrica monofásica, na qual são geradas equações matemáticas, que ao serem implementadas no software MatLab®, produzem curvas características que mostram os pontos críticos de operação e as faixas mais convenientes da corrente, tensão e potência elétrica, permitindo assim o dimensionamento do conversor CC/CA situado entre a cogeração e uma carga linear indutivo-resistiva.

**PALAVRAS CHAVE:** regime permanente, cogeração PV, conversores CC/CA, potência instantânea.

**ABSTRACT:** This paper presents the analysis of steady-state PV in cogeneration systems interconnected with a single-phase power grid, in which mathematical equations are generated, which when implemented in MatLab®, produce curves that show the critical points of operation and more tracks convenient current, voltage and electrical power, thus allowing scaling of the DC / AC situated between the cogeneration and an inductive-resistive linear load.

**KEY-WORDS:** steady, PV cogeneration, converter CC/CA, instantaneous power.

## 1. Introdução

O crescimento da demanda energética em virtude do acelerado aumento populacional e econômico, têm estimulado as pesquisas acerca das fontes de energias renováveis (KWANG; MASRI, 2010). Avanços tecnológicos em eletrônica de potência e controle digital estão oferecendo maior possibilidade e melhor flexibilidade no uso de novas fontes de energia elétrica nos sistemas elétricos convencionais de potência, não só para aumentar a produção de energia elétrica, mas também ajudar a melhorar a estabilidade do sistema de alimentação através do controle de fluxo de potência (XUE; DENG; MA, 2009).

Segundo Carrasco *et al* (2006), o recente desenvolvimento dos conversores de eletrônica de potência juntamente com os esquemas de controle de alto desempenho tem permitido a integração efetiva de diferentes tipos de fontes de energia em sistemas de cogeração.

A maioria das topologias de conversores e esquemas de controle proposto na literatura estão direcionados à integração de fontes de energias renováveis aos sistemas de potência trifásicos (VASQUEZ *et al.*, 2009; Guerrero *et al.*, 2011; Blaabjerg *et al.*, 2006).

Contudo, as recentes aplicações de cogerações baseadas em sistemas monofásicos têm se tornado mais atrativas. Segundo Valcan *et al* (2008), a utilização de inversores monofásicos apresenta como vantagem: preço baixo, boa eficiência e fácil implementação. Wei e Kao (2009) afirmam que os sistemas de cogeração monofásicos têm maior capacidade e flexibilidade de controle para estabilização do sistema, além de atender aos requisitos de qualidade de energia.

A literatura existente indica que os inversores são conectados através de um indutor ao ponto de acoplamento comum (PAC), que interconecta simultaneamente a cogeração e as cargas. Em aplicações residenciais esses sistemas conectados à rede são usados para a redução da potência elétrica demandada pela microrede (Dasgupta *et al.*, 2011).

Em geral, tais sistemas monofásicos são conectados ao Ponto de Acoplamento Comum (PAC) para reduzir custos e simplificar a compensação do fluxo de potência ativa e reativa. Referida compensação é normalmente obtida com a utilização de conversores chaveados conectados à

carga através de filtros ativos de potência (AZEVEDO, 2011).

Neste trabalho, utiliza-se a teoria das potências instantâneas para elaboração de equações que após serem plotadas viabilizam o dimensionamento do conversor CC/CA utilizado em sistemas de cogeração fotovoltaica (PV) interconectada com rede elétrica monofásica.

## 2. Metodologia

O passo inicial foi um levantamento bibliográfico realizando pesquisas e estudos nos autores que discorrem sobre o assunto. A partir daí foram adquiridos os conhecimentos necessários para o desenvolvimento da pesquisa.

Em seguida foram desenvolvidas as equações de regime permanente do sistema de cogeração utilizando potências: ativa, reativa, aparente e o fator de potência.

A partir das equações, utilizando-se o software Matlab®, foram construídas curvas características, que permitem a identificação dos máximos valores de tensão, potência ativa, fator de potência e valor de potência reativa, na carga e na rede de energia elétrica (REE).

Por fim, com a análise dos gráficos de regime permanente é possível realizar o dimensionamento do conversor CC/CA identificando os limites de compensação de energia que o filtro consegue fornecer à carga sem extrapolar seus valores nominais de potência.

## 3. Potências instantâneas em sistemas senoidais monofásicos

Visando facilitar a compreensão no desenvolvimento do equacionamento de regime permanente, são apresentados a seguir os conceitos de potência ativa (P), reativa (Q), aparente (S) e fator de potência ( $\cos(\varphi)$ ) considerando-se tensões senoidais e cargas lineares resistivo-indutivas utilizadas em sistemas monofásicos.

A potência instantânea fornecida é definida pelo produto entre a tensão instantânea e a corrente elétrica instantânea, expressa por (DECKMANN; POMILIO, 2011):

$$p = v(t) \cdot i(t)$$

Considerando-se  $V$  e  $I$  como valores eficazes da tensão e da corrente elétrica e  $\omega$  como a frequência angular do sinal da rede de energia elétrica, respectivamente, pode-se estabelecer que:

$$\begin{aligned} v(t) &= \sqrt{2}V\text{sen}(\omega t) \\ i(t) &= \sqrt{2}I\text{sen}(\omega t - \varphi) \end{aligned}$$

Substituindo as Equações 2 e 3 em 1, tem-se que a potência instantânea é expressa por:

$$p(t) = 2VI\text{sen}(\omega t) \cdot \text{sen}(\omega t - \varphi)$$

Aplicando-se algumas identidades trigonométricas na Equação 4 tem-se que:

$$p(t) = VI\cos(\varphi) - VI\cos(\varphi) \cdot \cos(2\omega t) - VI\text{sen}(\varphi) \cdot \text{sen}(2\omega t)$$

Verifica-se na Equação 5 que há, respectivamente, uma parte constante e uma parte oscilatória. A parte constante é denominada potência ativa ( $P$ ) e representa o valor médio da potência entregue à carga. Conforme Deckmann e Pomilio (2001) sua expressão é:

$$P = VI\cos(\varphi)$$

A parte oscilatória é composta de duas parcelas que oscilam em quadratura com o dobro das frequências de tensão e corrente. Uma é  $P \cdot VI\cos(2\omega t)$  e a outra é  $VI\text{sen}(\varphi) \cdot \text{sen}(2\omega t)$ , esta última que está em quadratura é denominada Potência reativa ( $Q$ ), que representa o valor de pico da potência senoidal cuja média é nula. Segundo Deckmann e Pomilio (2001) esta potência é expressa por:

$$Q = VI\text{sen}(\varphi)$$

A potência aparente é independente do tipo da carga, depende apenas do valor eficaz da corrente e tensão sem considerar a defasagem entre estas grandezas elétricas e representa a máxima potência alcançável para um fator de potência unitário. Nos dizeres de Deckmann e Pomilio (2001) sua expressão é dada por:

$$S = V \cdot I$$

A relação entre a potência útil ( $P$ ), também denominada potência ativa, e a potência aparente ( $S$ ) é denominada de fator de potência e representa o quanto de potência entregue é convertido em trabalho útil, é adimensional e é expresso por:

$$FP = \frac{P}{S} = \frac{VI\cos(\varphi)}{VI} = \cos(\varphi)$$

As potências indicadas e o fator de potência citados anteriormente serão utilizados no desenvolvimento das equações e estudo da análise em regime permanente do sistema de cogeração.

#### 4. Funcionamento do Sistema em Regime Permanente

Em um sistema elétrico constituído por uma única fonte de alimentação e uma carga, a demanda de energia elétrica exigida pela carga é fornecida pela fonte geradora. Assim, o fator de potência, a energia ativa e reativa fornecidas pela rede elétrica terão seus valores alterados em função das características da carga. Portanto, depende-se que a qualidade de energia é imposta pela carga.

Num sistema de cogeração PV é possível utilizar a energia disponível para compensar o fator de potência e reativos além de reduzir o consumo de potência ativa na rede de energia elétrica, através de um sistema de controle constituído de um conversor CC/CA.

Esse conversor injeta uma corrente de saída, de modo que a corrente na carga subtraída pela corrente na rede resulte numa corrente sincronizada com a tensão da rede de energia elétrica, compensando a potência reativa na rede de energia elétrica.

Consequentemente, o fator de potência na rede adquire valor igual ou próximo da unidade melhorando o desempenho do sistema ao reduzir as perdas e fazer com que a rede enxergue a carga como sendo um resistor.

#### 5. Desenvolvimento das Equações de Regime Permanente

As equações de regime permanente são obtidas a partir do modelo do circuito monofásico apresentado na Figura 1, onde a fonte de tensão  $V_f$  representa a saída do inversor como uma fonte de

tensão de pulsos quadrados. A indutância  $l_f$  associada em série com o resistor  $r_f$  forma a impedância de interconexão entre a cogeração e o PAC,  $Z_f$ . A carga, utilizada neste trabalho, é constituída de um resistor  $r_o$  e de um indutor  $l_o$  associados em série. A alimentação da concessionária está representada pela fonte de tensão  $e_s$  juntamente com sua impedância interna constituída por uma  $r_s$  resistência e de um indutor  $l_s$  associados em série.

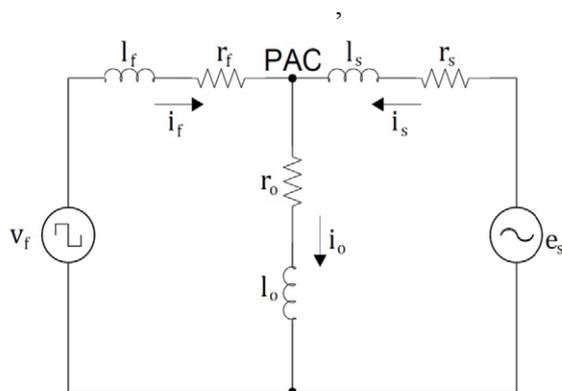


Figura 1. Modelo elétrico da estrutura monofásica.

Serão obtidas três equações que indicam a quantidade de potência ativa na carga, na impedância de interconexão entre a cogeração e o PAC e na rede de energia elétrica. A partir dessas equações são elaboradas, em pu (por unidade), diversas curvas características que mostram os pontos convenientes de operações para o adequado dimensionamento do conversor CC/CA situado entre a cogeração PV e uma carga linear instalada no PAC. .

As curvas características são plotadas, em pu, considerando-se a faixa de tensão adequada no PAC (equivalente à tensão de leitura TL ou valor de tensão na carga  $V_o$ ) conforme dados fornecidos pela Tabela 1 (ANEEL, 2010).

Tabela 1 - Pontos de conexão em Tensão Nominal igual ou inferior a 1 kV (220/127).

Tensão de Atendimento (TA)	Faixa de Variação da Tensão de Leitura (Volts)
Adequada	$(201 \leq TL \leq 231) / (116 \leq TL \leq 133)$
Precária	$(189 \leq TL < 201 \text{ ou } 231 < TL \leq 233) / (109 \leq TL < 116 \text{ ou } 133 < TL \leq 140)$
Crítica	$(TL < 189 \text{ ou } TL > 233) / (TL < 109 \text{ ou } TL > 140)$

Para a construção das curvas características é conveniente definir as grandezas tomadas como base para então definir seus valores em pu. Neste trabalho a tensão base é 220 Volts e a potência base é 6 kW.

O valor da tensão na carga  $v_o$  em pu, a corrente  $I_f$  em pu segue o mesmo procedimento, é determinado da seguinte forma (COTRIN, 2008):

$$V_{o\ pu} = \frac{V_{o\ nominal}}{V_{o\ base}}$$

Aplicando-se os valores nominais adequados da Tabela 1 na Equação 10, tem-se que a faixa da tensão na carga em pu é:

$$0,91\ pu \leq v_{o\ pu} \leq 1,05\ pu$$

Em termos gerais o valor de determinada potência P, em pu, é expresso por (COTRIN, 2008):

$$P_{pu} = \frac{P_{nominal}}{P_{base}}$$

Considerando que a tensão do barramento CC está controlada e admitindo-se uma potência constante de 2KW no conversor CC/CA, determina-se  $P_{o\ pu} = 1\ pu$  para potência na carga e  $P_{f\ pu} = 0.333\ pu$  para potência na saída do conversor.

Como os valores de tensões e de potências já estão em pu pode-se esboçar os gráficos que mostram o comportamento da corrente  $I_f$ , da ten-

são  $V_f$  e do fator de potência  $\cos(\varphi_f)$  que indicam os melhores e piores pontos de operações visando o controle de potência reativa nos níveis desejados através do melhor dimensionamento dos componentes envolvidos no sistema de cogeração PV.

## 6. Resultados e Discussão

### 6.1. Gráficos da corrente $I_f$ em função da tensão, da potência, do fator de potência na carga e do fator de potência na REE

Através da modelagem matemática do circuito elétrico apresentado na Figura 1, é possível expressar a corrente na impedância de interconexão por:

$$I_f = \frac{P_0}{V_0 \cos(\varphi_0)} - \frac{P_0 - P_f}{V_s \cos(\varphi_s)}$$

Na construção das curvas características adotou-se a faixa  $0,92 \leq \cos(\varphi_s) \leq 1$  referente ao fator de potência na REE. Aplicando-se o valor mínimo de 0,92 evita-se que um determinado consumidor de energia elétrica seja penalizado com o pagamento de multa por baixo fator de potência (ANEEL, 2010), (COTRIN, 2008), (MAMEDE, 2007), (POMILIO, 2007).

Aplicando-se os valores de  $P_{0pu}$  e  $P_{fpu}$  obtidos anteriormente e admitindo  $\cos(\varphi_s) = 0,92$  na Equação 13 plotam-se os gráficos, via MatLab®, cujos resultados são apresentados nas Figuras 2, 3, 4 e 5. O objetivo desta análise é determinar sob quais condições a impedância interconectada entre a cogeração e o PAC opera de modo a manter o princípio da conservação da potência tanto do lado CC como do lado AC. Todos os gráficos estão em pu, isto possibilita a generalização para qualquer ponto fixo de operação.

As curvas de interesse são aquelas cujos fatores de potência ativa na carga  $\cos(\varphi_0)$  variam entre 0.6 e 1 pu. Neste intervalo a impedância de interconexão não exige potência além da que é fornecida pela cogeração. Os piores casos ocorrem na faixa em que  $\cos(\varphi_0) \leq 0.5$  em que o filtro exige potência acima da que lhe estaria disponível pela cogeração PV. Nota-se na Figura 2 que o filtro fornece apenas 70% da demanda para uma carga com fator de potência igual a 0,5.

Na Figura 3 é apresentado o comportamento da corrente  $I_f$  em função do fator de potência na carga,  $\cos(\varphi_0)$ .

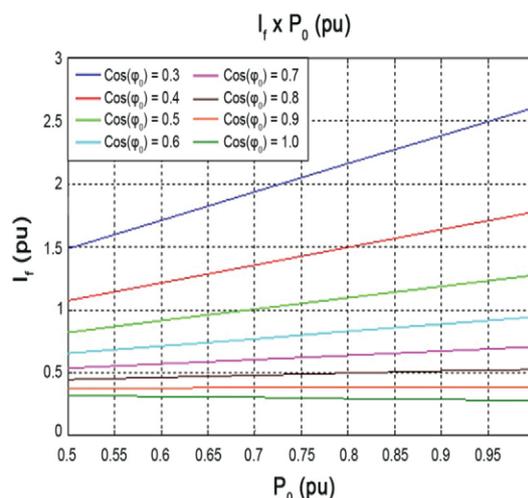


Figura 2. Corrente de saída do conversor CC/CA ( $I_f$ ) em função da potência na carga ( $P_0$ ).

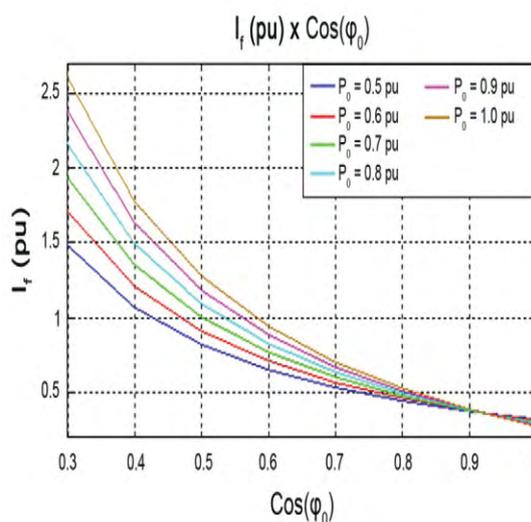


Figura 3. Corrente  $I_f$  em função do fator de potência na carga.

A partir da Figura 3 verifica-se que a faixa de valores críticos está, aproximadamente, entre 0,42 e 0,58 considerando-se os fatores de potências nas cargas. Abaixo desses valores há exigência de potência além da que é possível ser fornecida pela cogeração PV.

Na Figura 4 é apresentado o comportamento da corrente  $I_f$  em função do fator de potência na REE variando de 0,92 a 1 pu.

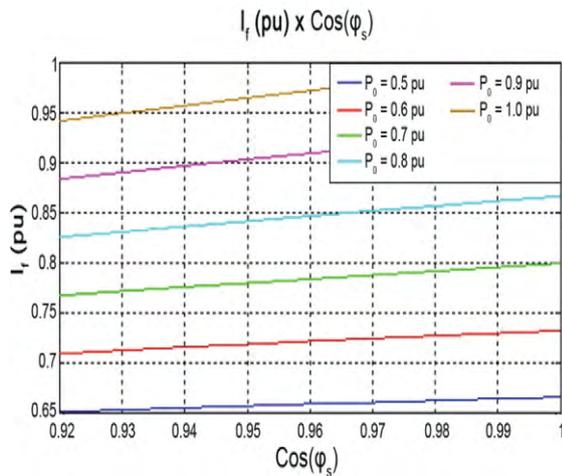


Figura 4. Corrente  $I_f$  em função do fator de potência da REE.

Com o aumento da potência ativa na carga há aumento no valor da corrente  $I_f$  e, consequentemente, da potência fornecida pelo filtro a fim de se obter melhores valores para os fatores de potência na REE.

Na Figura 5 é apresentado o comportamento da corrente  $I_f$  em função do fator de potência na carga, considerando fator de potência na carga igual a 0,6.

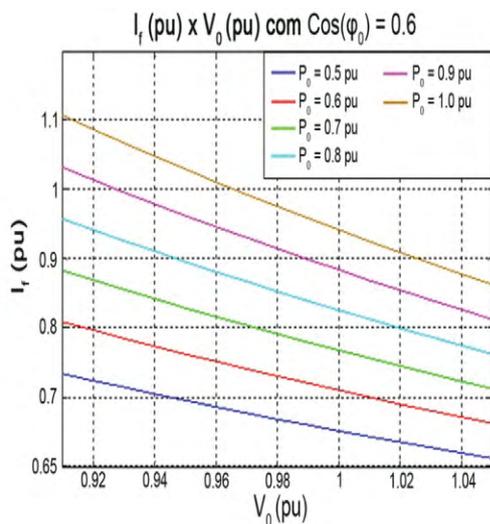


Figura 5. Corrente  $I_f$  em função do fator de potência na carga = 0,6.

Da Figura 5 verifica-se que cargas com potência ativa igual ou menor que 0,8 pu não demandam de potência além daquela que o filtro pode fornecer. Para valores de potências ativas na

carga igual a 0,9 podem ser utilizadas apenas para tensão na carga em torno de 0,93. Cargas atuando em plena potência ativa, igual a 1pu, podem ser utilizadas apenas com valor de tensão na carga igual a 0,94, isto é, 90% da tensão nominal da carga.

## 6.2. Gráficos da tensão $V_f$ em função da potência, do fator de potência e tensão na carga e do fator de potência na REE

A tensão  $V_f$  em função da potência  $P_0$ , do fator de potência,  $\cos(\varphi_0)$ , da tensão na carga  $V_0 = V_{PAC}$  e do fator de potência  $\cos(\varphi_s)$  na REE, será determinada considerando a situação em que  $\varphi_f = 0^\circ$ , ou seja,  $\cos(\varphi_f) = 1$ . Nesta condição a quantidade de energia reativa “injetada” na carga pelo filtro é nula. Diante deste fato, indesejado, não há eliminação dos reativos da REE. De lembrar que a estratégia proposta é fazer com que sejam fornecidos reativos para a carga a fim de reduzir os da REE, isto é, produzir  $Q_s = 0$ .

Vale ressaltar que o caso ideal para que sejam injetados só reativos à carga ocorre quando  $\varphi_f = 90^\circ$ , isto é,  $\cos\varphi_f = 0$ . É ideal porque reduz os reativos na rede, ou seja,  $Q_f = Q_0$  de modo que os reativos na REE sejam nulos,  $Q_s = 0$ . Nesta situação a REE enxerga a carga como um resistor e a carga enxerga a REE como um barramento infinito.

Considerando-se que  $\varphi_f = 0^\circ$  então  $\cos(\varphi_f) = 1$ . Logo é possível expressar a tensão  $V_f$  por:

$$V_f = \frac{P_f}{\left[ \frac{P_0}{V_0 \cos(\varphi_0)} - \frac{(P_0 - P_f)}{V_s \cos(\varphi_s)} \right]}$$

A partir da Equação 14 são esboçadas as curvas características que mostram o comportamento da tensão  $V_f$ , em função da potência na carga  $P_0$ , da tensão na carga do fator de potência  $\cos(\varphi_0)$ , tensão na carga  $V_0$  e do fator de potência  $\cos(\varphi_f)$  que indicam os melhores e piores pontos de operações visando o controle de potência reativa e o aumento do valor do fator de

potência da REE colocando-o nos níveis exigidos pela legislação e evitando-se na prática custos indevidos em face de um sobre dimensionamento dos componentes envolvidos no sistema de cogeração proposto. As curvas foram construídas mediante a aplicação do MatLab®.

Na Figura 6 é apresentada a variação da tensão  $V_f$  em função da potência na carga  $P_0$  para variados valores do fator de potência de carga.

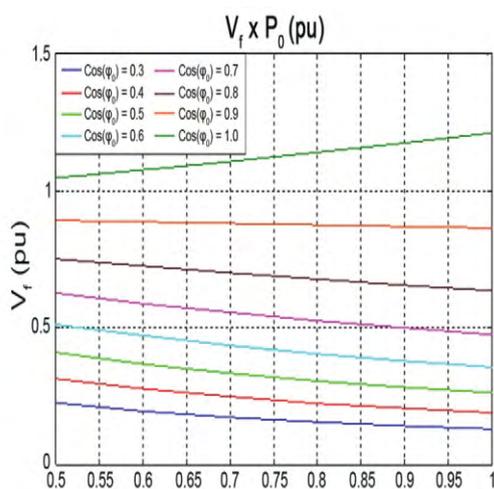


Figura 6. Tensão de saída do conversor  $V_f$  em função da potência na carga.

Verifica-se a partir da Figura 6 que cargas com valores de fatores de potência abaixo de 0,9 podem ser utilizadas vez que não exigem níveis de potências acima do que é possível fornecer pela da cogeração PV. Porém, cargas com valor unitário de fator de potência não devem ser utilizadas porque a potência do filtro ultrapassa o valor de potência na saída do conversor CC/CA, mencionado no parágrafo que sucede a Equação 12.

Na Figura 7 é apresentada a variação da tensão na saída do conversor  $V_f$  em função do fator de potência na carga.

Para um valor específico da potência na carga a tensão  $V_f$  aumenta à proporção que os valores do fator  $\cos(\phi_c)$  variam de 0,3 a 1 pu. Os pontos de operações críticos estão no intervalo de  $0,94 \cong \cos(\phi_c) \cong 0,97$  para os valores de potência  $P_0$  variando de 1 a 0,5 pu. Acima destes valores a tensão  $V_f$  ultrapassa o valor limite de 1pu solicitando níveis de potência acima se do que a cogeração PV pode fornecer.

Na Figura 8 é indicada a variação da tensão na saída do conversor  $V_f$  em função da tensão na carga  $V_0$ , também denominada tensão de ponto de acoplamento,  $V_{PAC}$ .

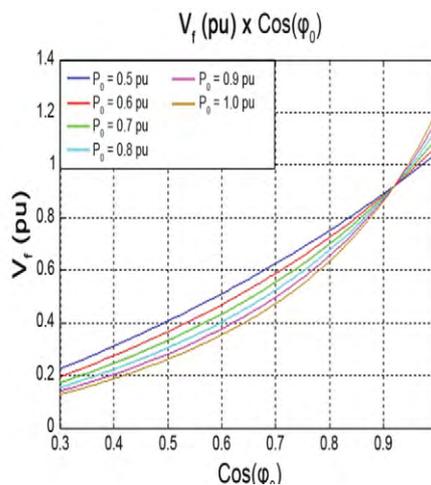


Figura 7. Tensão do filtro em função do fator de potência na carga.

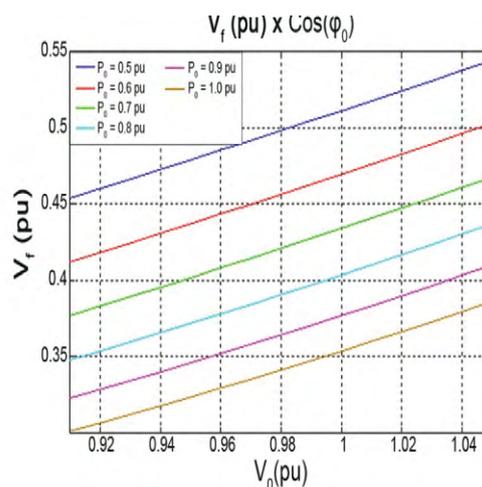


Figura 8. Tensão na saída do conversor em função da tensão na carga.

O aumento nos valores da potência na carga  $P_0$ , no intervalo de 0,5 a 1 pu, e da tensão na carga, no intervalo de 0,91 a 1,05 pu, a tensão na saída do conversor diminui. Porém, para um valor específico da potência  $P_0$  a tensão de saída do conversor  $V_f$  aumenta com o aumento da tensão na carga, variando de 0,91 a 1,05 pu. Nos intervalos,  $0,5 \text{ pu} \leq P_0 \leq 1 \text{ pu}$  e  $0,91 \leq V_0 \leq 1,05 \text{ pu}$ , dis-

poníveis no gráfico acima não há pontos críticos de operação, portanto, todos os valores de potência na carga podem ser utilizados considerando-se o fato de que a potência do filtro não ultrapasse o valor de potência na saída do conversor CC/CA, conforme mencionado no parágrafo que sucede a equação 12.

Na Figura 9 é indicada a variação da tensão de saída do conversor em função do fator de potência da REE,  $\cos(\varphi_s)$  com variação de valores dentro dos limites especificados pela Resolução 414 (ANEEL, 2010).

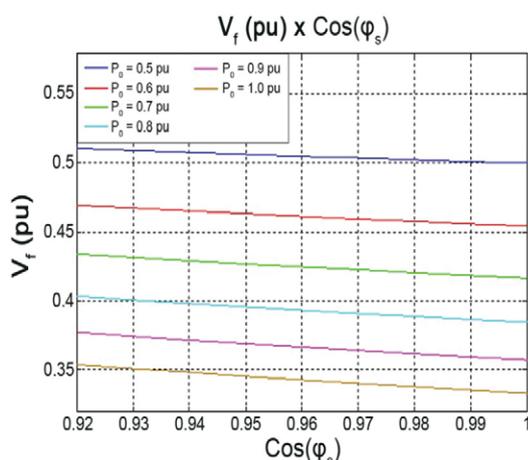


Figura 9. Tensão de saída do conversor em função do fator de potência na REE.

Não há pontos críticos na tensão  $V_f$  para valores do fator de potência da REE variando de 0,92 a 1, não há extrapolação do limite 1 pu para a tensão da saída do conversor. Diante dessa situação pode-se afirmar que todas condições de potência de carga podem ser utilizadas desde que a potência do filtro não ultrapasse o valor de potência na saída do conversor CC/CA.

Como exemplo aplicativo considere as Figuras 2 e 6 em que  $\cos(\varphi_0) = 0,5$  e  $P_0 = 0,7$  tem-se que  $i_f = 1$  pu e  $V_f = 0,33$  pu. Logo, a potência no filtro é dada por:  $P_f = V_f * I_f = 0,33 * 1 = 0,33$  pu. Considerando as mesmas figuras, para  $\cos(\varphi_0) = 0,7$  e  $P_0 = 0,55$ , tem-se que  $i_f = 0,55$  pu e  $V_f = 0,6$  pu, implicando que  $P_f = V_f * I_f = 0,55 * 0,6 = 0,33$  pu. Comparando os dois exemplos, verifica-se que a potência fornecida pelo filtro não se altera, mesmo que

ocorra variação do fator de potência e da demanda na carga.

## 7. Considerações finais

Neste trabalho apresentou-se a análise de regime permanente. Nesta análise foram obtidas equações que ao serem simuladas, pelo software MatLab®, geraram curvas características que mostraram os pontos de operações críticas e as faixas mais convenientes das grandezas elétricas, a exemplo da tensão e corrente no filtro, presentes no sistema visando obter os melhores valores de potência ativa, do fator de potência e consequente compensação dos reativos na rede de energia elétrica. Os valores das grandezas simuladas foram expressos em pu.

Para verificar se os parâmetros da carga e da fonte da REE, a exemplo da potência e fator de potência, estão ou não produzindo sobrecarga no filtro é conveniente correlacionar os seguintes pares de curvas: a Figura 4 está relacionada com a Figura 6, no que se refere à grandeza potência e a Figura 7 está relacionada com a Figura 9 em termos do fator de potência na carga.

## 8. Referências

- ANEEL, **RESOLUÇÃO NORMATIVA Nº 414**, 2010. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/cedoc/ren2010414.pdf>> Acesso em: 20/11/2011.
- ANEEL. **Procedimento de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional- Prodist**. Módulo 8, 2010. Disponível em: <[http://www.aneel.gov.br/arquivos/PDF/Modulo8\\_Revisao\\_1\\_Retificacao\\_1.pdf](http://www.aneel.gov.br/arquivos/PDF/Modulo8_Revisao_1_Retificacao_1.pdf)>. Acesso em: 20/08/2011.
- AZEVEDO, C. C. **Controle Adaptativo Robusto para Filtros Ativos de Potência Paralelo**. Tese (Doutorado), Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), Natal, Rio Grande do Norte, Brasil 2011.
- BLAABJERG, F.; TEODORESCU, R.; LISERRE, M.; TIMBUS, A. V. **Overview of control and grid synchronization for distributed power generation systems**. *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 53, no. 5, pp. 1398–1409, 2006.

- CARRASCO, J.M.; FRANQUELO, L.G.; BIALASIEWICZ, J. T.; GALVAN, E. G.; GUISSADO, R. C. P.; PRATS, M. A. M.; LEON, J. I.; ALFONSO, N. M. **Power-electronic systems for the grid integration of renewable energy sources: A survey.** *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 33, no. 4, pp. 1002–1016, 2006.
- COTRIN, A.A.M.B. **Instalações Elétricas.** 5ªed. São Paulo. Pearson Prentice Hall, 2008.
- DASGUPTA, S.; SAHOO, S. K.; PANDA, S. K. **Single-Phase Inverter Control Techniques for Interfacing Renewable Energy Sources With Microgrid – Part I: Parallel-Connected Inverter Topology With Active and Reactive Power Flow Control Along With Grid Current Shaping.** *IEEE Transactions on power electronics*, vol 26, no 3, 2011.
- DECKMANN, S. M.; POMILIO, J. A. **Condicionamento de Energia Elétrica e Dispositivos FACTS.** Disponível em: <<http://www.dsce.fee.unicamp.br/~antenor/IT741.html>>. Acesso em: 15 Fevereiro 2012.
- GUERRERO, J. M. ; VASQUEZ, J. C.; MATAS, J.; DE VICUNA, L. G.; CASTILLA, M. **Hierarchical control of droop-controlled AC and DC microgrids—A general approach toward standardization,** *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 58, no. 1, pp. 158–172, 2011.
- KWANG, T. K.; MASRI, S. **Single Phase Grid Tie Inverter for Photovoltaic Application.** *In Proc. IEEE Conference on Sustainable Utilization and Development in Engineering and Technology University Tunku Abdul Rahman*, pp. 23-28, Malaysia, 2010.
- MAMEDE, J.F. **Instalações Elétricas Industriais.** 7ª edição. Rio de Janeiro: LTC, 2007.
- POMILIO, J. A. Pré-reguladores de Fator de Potência – PFP. Normas relativas à corrente de linha: harmônicas de baixa frequência e interferência eletromagnética conduzida. Disponível em: <<http://www.dsce.fee.unicamp.br/~antenor/pdffiles/pfp/Cap1.pdf>> Acesso em: 5 de março 2012.
- VALCAN, D. M; MARINESCU, C; KAPLANIS, S. **Connecting a PV supplied micro-grid to the public grid,** *in Conf. Rec. IEEE OPTIM*, pp. 369–374, 2008.
- VASQUEZ, J. C. ; GUERRERO, J. M.; LUNA, A.; RODRIQUEZ, P.; TEODORESCU, R. **Adaptive droop control applied to voltage-source inverters operating in grid-connected and islanded modes,** *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 56, no. 10, pp. 4088–4096, 2009.
- WEI, Y.; KAO, C. N. **An accurate power control strategy for power electronics-interfaced distributed generation units operating in a low voltage multibus microgrid,** *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 24, no. 12, pp. 2977–2988, 2009.
- XUE, Y.; DENG, J.; MA, S. **Power flow control of a distributed generation unit in micro-grid in** *Proc. IEEE Int. Power Electron. Motion Control Conf.*, pp. 2122–2125, 2009.