



**XXII SNPTTE  
SEMINÁRIO NACIONAL  
DE PRODUÇÃO E  
TRANSMISSÃO DE  
ENERGIA ELÉTRICA**

BR/GCR/23  
13 a 16 de Outubro de 2013  
Brasília - DF

**GRUPO - VI**

**GRUPO DE ESTUDO DE COMERCIALIZAÇÃO, ECONOMIA E REGULAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA - GCR**

**ANÁLISE DOS IMPACTOS DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS DISTRIBUÍDOS E CONECTADOS À REDE ELÉTRICA NA TENSÃO DE ATENDIMENTO E NO FATOR DE POTÊNCIA DA UNIDADE CONSUMIDORA**

**SCHWENCK, K.J. (\*)**  
Fundação Pe. Leonel Franca

**WATANABE, E.H.**  
COPPE/UFRJ

**RESUMO**

O Brasil, apesar de ainda ter uso incipiente, possui um cenário favorável para a aplicação de sistemas fotovoltaicos distribuídos e conectados à rede elétrica (SFCRs). Assim, esse trabalho pretende apresentar alguns impactos causados por SFCRs na rede de modo a embasar melhorias nas resoluções normativas e tecnologias empregadas. Para isso, o fluxo de carga foi calculado para um sistema de distribuição genérico e as condições de operação e características da rede e da carga críticas para a aplicação dos SFCRs foram definidas, bem como a influência desses sistemas no fator de potência da unidade consumidora.

**PALAVRAS-CHAVE**

SISTEMAS FOTOVOLTAICOS, GERAÇÃO DISTRIBUÍDA, QUALIDADE DE ENERGIA, RESOLUÇÃO NORMATIVA Nº482/2012.

**1.0 - INTRODUÇÃO**

Diversos fatores econômicos, tecnológicos e, principalmente, ambientais têm incentivado a pesquisa, desenvolvimento e emprego de unidades geradoras distribuídas localizadas próximas aos centros de cargas, conectadas ao sistema de distribuição e que utilizem geração proveniente de fontes renováveis. Dentre essas fontes renováveis, o uso de geração solar por painéis fotovoltaicos tem ganhado destaque nos sistemas elétricos ao redor do mundo, atingindo 70GW instalados em 2011 e uma taxa de crescimento anual de 74% (1). Apesar da indicação favorável, o Brasil ainda é incipiente no emprego dessa tecnologia, detendo a capacidade instalada outorgada pela ANEEL de apenas 11,5MW (2).

Mesmo tendo uso incipiente, o Brasil possui características propícias para a implantação de geração solar fotovoltaica, principalmente em sistemas distribuídos conectados à rede elétrica. Uma dessas características é a elevada média anual de radiação solar diária que varia entre 4,50 e 5,90 kWh/m<sup>2</sup>.dia dependendo da região do país (3), valor superior ao da Alemanha que fica entre 2,50 e 3,50 kWh/m<sup>2</sup>.dia (4). Outro fator conveniente é o custo nivelado dos sistemas fotovoltaicos distribuídos conectados à rede (SFCRs) em aplicações residenciais, comerciais e industriais que varia de 400 a 600 R\$/MWh e passa a ser competitivo se comparado às tarifas médias de energia dessas classes, entre 336 e 457 R\$/MWh (5).

Além da radiação solar relativamente elevada e do cenário economicamente favorável, outro fator que contribui para a tendência de aumento da aplicação de SFCRs é a publicação da Resolução Normativa Nº 482 (RN482/2012) de 17 de abril de 2012 (6) pela ANEEL. Resolução que estabelece as condições gerais para o

(\*) Av. Horácio Macedo, nº 354 – sala 134 - CEP 21941-911, Rio de Janeiro, RJ, – Brasil  
Tel: (+55 21) 2598-6322 – Fax: (+55 21) 2598-6330 – Email: karolina@cepel.br

acesso de micro e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica e cria o sistema de compensação de energia, no qual a energia ativa gerada por uma unidade consumidora com micro e minigeração distribuída compensa o consumo de energia elétrica ativa da mesma.

Diante desse cenário favorável para a implantação de SFCRs é possível prever, obviamente, o aumento significativo do emprego dessa solução nos próximos anos. Logo, estudar e analisar os impactos que essa tecnologia pode causar nos sistemas de distribuição é de extrema importância para aprimoramento da mesma e da regulamentação vigente. Dessa forma, o presente informe técnico apresenta e analisa os impactos dos SFCRs na tensão de atendimento e no fator de potência da unidade consumidora.

## 2.0 - IMPACTOS DOS SFCRS NA TENSÃO DE ATENDIMENTO E NO FATOR DE POTÊNCIA DA UNIDADE CONSUMIDORA

Sistemas fotovoltaicos são conjuntos de módulos fotovoltaicos e componentes associados projetados para converter energia solar em eletricidade (7). As aplicações desses sistemas podem ser classificadas em quatro subgrupos, entre eles: sistemas isolados domésticos, sistemas isolados não-domésticos, sistemas distribuídos conectados à rede elétrica e sistemas centralizados conectados à rede. Os SFCRs, abordados neste trabalho, são instalados para atender um determinado consumidor, este pode utilizar a geração solar para complementar o fornecimento da rede elétrica convencional ou exportar energia elétrica para o sistema de distribuição. Nesse caso, os sistemas fotovoltaicos não possuem mecanismos de armazenamento de energia, toda a energia gerada é entregue ao consumidor e/ou à rede elétrica.

Devido ao fato da energia gerada pelos painéis fotovoltaicos ser em corrente contínua, faz-se necessário o uso de inversores CC-CA para a aplicação em sistemas distribuídos conectados à rede elétrica. O controle do inversor de conexão à rede mais empregado é realizado de forma a controlar a corrente de saída deste para que a potência ativa gerada nos painéis seja entregue ao consumidor e, quando excedente, à rede elétrica. Isto é, os sistemas fotovoltaicos conectados à rede operam como fontes de corrente com fator de potência próximo ao unitário injetando potência ativa na rede, não estando habilitados, na maioria das aplicações, a regular a tensão nos seus terminais. O inversor utiliza o sinal de tensão no ponto de conexão como referência para o sincronismo e quando o valor RMS da tensão está fora da faixa de operação considerada normal o inversor deve cessar a energização da rede, ou seja, a faixa de tensão de operação do inversor para SFCRs tem função de proteção que atua como resposta às condições anormais de operação. Apesar de na grande maioria dos SFCRs o fator de potência no ponto de conexão ser próximo ao unitário, em alguns casos isso não ocorre devido à influência da distorção harmônica da corrente de saída dos inversores no valor do fator de potência (8). Além disso, quando a potência gerada pelo SFCR é baixa, menor do que 10% da sua capacidade nominal, os inversores podem não operar com fator de potência unitário, devido aos componentes inerentes aos mesmos, como, filtros de saída e transformadores.

Os SFCRs devem atender às normas de conexão à rede da concessionária de energia local, sendo que, de uma forma mais ampla, os inversores comerciais empregados em SFCRs atendem às normas internacionais sobre conexão de sistemas de geração dispersos (9, 10, 11, 12). No âmbito deste trabalho, destaca-se a norma IEEE 929/2000 (9) por abordar as práticas recomendadas a serem aplicadas especificamente a SFCRs operando em paralelo ao fornecimento da concessionária e utilizando inversores na conexão com a rede. A RN482/2012 (6) também ganha destaque visto que, até o presente momento, é a principal regulamentação de conexão de micro e minigeração distribuída à rede vigente no país. Em ambas são definidas restrições e exigências acerca da magnitude da tensão no ponto de conexão com a rede elétrica e do valor do fator de potência dos SFCRs e da unidade consumidora com esses sistemas instalados.

De acordo com a regulamentação IEEE 929/2000, o tempo de resposta máximo do inversor para a desenergização da rede para operação fora da faixa normal, tensão RMS no PCC entre 88 e 100% da tensão nominal do inversor, varia de acordo com o valor da tensão no ponto de conexão (PCC), entre 2 e 120 ciclos dependendo do desvio da condição normal. Ainda de acordo com a norma IEEE929/2000, o fator de potência dos sistemas fotovoltaicos deve ser superior a 0,85, indutivo ou capacitivo, quando a potência gerada é superior a 10% da capacidade nominal. Em casos especiais, nos quais o SFCR possui compensação de potência reativa, esse limite pode variar dependendo da aprovação da concessionária.

Já a RN482/2012 regulamenta que as unidades consumidoras com mini e microgeração distribuída conectadas à rede elétrica devem atender aos valores de referência adotados para os indicadores de qualidade; quais sejam, tensão em regime permanente, fator de potência, distorção harmônica, desequilíbrio de tensão, flutuação de tensão e variação de frequência, estabelecidos na seção 8.1 do módulo 8 do PRODIST.

### 2.1. Análise do Comportamento da Tensão de Atendimento ao Consumidor com SFCR

Para analisar o desempenho de redes elétricas com sistemas fotovoltaicos, o modelo simplificado do sistema de distribuição mostrado na Figura 1 foi abordado. Nele a rede elétrica foi representada pelo equivalente de Thévenin composto por fonte de tensão ( $V_s$ ) e impedância série da linha ( $Z_{linha}$ ).

Conforme mencionado, o controle dos disparos das chaves do inversor utilizado em SFCR é feito de modo a controlar a corrente no lado CA do inversor para que a potência ativa gerada no arranjo fotovoltaico seja entregue ao consumidor e/ou à rede elétrica. Dessa forma, os sistemas fotovoltaicos conectados à rede podem ser representados como unidades de geração injetando potência ativa na rede, conforme apresentado na Figura 1. Por fim, o consumidor foi representado como uma carga concentrada no final do alimentador.

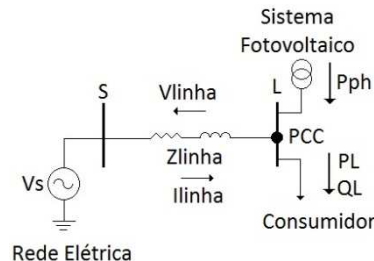


Figura 1 - Modelo simplificado da rede elétrica com SFCR.

Analisando o diagrama da Figura 1 é possível prever o comportamento do sistema de distribuição com SFCR. Supondo, primeiramente, que a geração de potência pelo sistema fotovoltaico seja nula ( $P_{ph}=0$ ), neste caso a rede elétrica alimenta a carga sozinha, a corrente na linha ( $I_{linha}$ ) dependerá da potência ( $P_L$  e  $Q_L$ ) da carga. Isto é, quanto maior a potência exigida pela carga maior será a corrente na linha. Como a queda de tensão na linha ( $V_{linha}$ ) é proporcional à corrente ( $I_{linha}$ ), quanto maior a potência exigida pela carga, maior será a queda de tensão na linha e, conseqüentemente, menor será a tensão de atendimento do consumidor em relação à tensão da rede ( $V_s$ ).

Com o sistema fotovoltaico gerando potência, a corrente na linha dependerá da diferença entre a potência ativa gerada pelo SFCR ( $P_{ph}$ ) e a consumida pela carga ( $P_L$ ), além da potência reativa ( $Q_L$ ) desta. Quando a potência ativa gerada pelo SFCR é inferior à consumida pela carga ( $P_{ph} < P_L$ ), a corrente na linha possui o sentido indicado na Figura 1, entretanto, como o sistema fotovoltaico alimenta parte da carga requerida, a corrente na linha é inferior ao caso sem geração SFCR, resultando na tensão de atendimento do consumidor superior ao primeiro caso. Já no caso da potência ativa gerada pelo SFCR ser superior à consumida pela carga, a corrente na linha inverte o sentido indicado na Figura 1, e a tensão de atendimento do consumidor passa a ser superior à tensão da rede ( $V_s$ ).

Logo, é possível concluir que os sistemas fotovoltaicos conectados à rede aumentam a tensão de atendimento do ponto em que estão conectados, e o valor dessa tensão dependerá da tensão da rede ( $V_s$ ), da impedância da linha ( $Z_{linha}$ ), da potência gerada pelo sistema fotovoltaico ( $P_{ph}$ ) e consumida pela carga ( $P_L$ ,  $Q_L$ ).

Para analisar a influência da tensão da rede ( $V_s$ ), da impedância da linha ( $Z_{linha}$ ), da potência gerada pelo sistema fotovoltaico ( $P_{ph}$ ) e consumida pela carga ( $P_L$ ,  $Q_L$ ) na tensão de atendimento do consumidor, o fluxo de potência trifásico foi calculado pelo método de Newton, através de algoritmo próprio simulado em MATLAB, para o sistema apresentado na Figura 1 sob diversas condições de operação.

O cálculo do fluxo de potência tem por objetivo definir as principais características de uma rede elétrica, tensões nas barras em módulo e ângulo e fluxos de potência ativa e reativa nos elementos da rede, a partir de dados conhecidos (13). No caso abordado, mostrado na Figura 1, os dados conhecidos do sistema são o módulo e a fase da tensão da barra S (barra de referência), os dados da linha (no caso a impedância série da linha) e as potências geradas ( $P_{ph}$ ) e demandadas ( $P_L$  e  $Q_L$ ) na barra L (barra do tipo PQ). Logo, as incógnitas determinadas a partir do cálculo do fluxo de potência são o módulo e a fase da tensão na barra L e as potências ativa e reativa na barra S.

Supondo, inicialmente, que as condições de operação do sistema em estudo sejam:

- Carga nominal e fator de potência igual à 0,92 ( $P_L=0,92pu$  e  $Q_L=0,39pu$ ).
- Tensão da rede ( $V_s$ ) variando de 0,95 a 1,05pu.
- Impedância série da linha igual à 0,05 pu e relação  $r/x$  igual à 0,8152 ( $R_{linha}=0,0316pu$  e  $X_{linha}=0,0388pu$ ).

O fluxo de potência do sistema da Figura 1 foi calculado à medida que a potência gerada pelo sistema fotovoltaico foi incrementada, para diferentes valores do módulo da tensão da rede ( $V_s$ ). A Figura 2 mostra o comportamento da tensão na barra L, tensão de atendimento, em função da potência gerada pelo SFCR e da tensão da rede. Nota-se que quanto maior a tensão de referência da rede ( $V_s$ ), menores valores de potência gerada pelo sistema

fotovoltaico causaram o aumento da tensão de atendimento para 1.05pu. Isto é, quanto maior for a tensão da rede, maior será a influência dos sistemas fotovoltaicos na tensão de atendimento do consumidor.

Para analisar o comportamento da tensão de atendimento do consumidor com sistema fotovoltaico e variação da carga consumida, o cálculo do fluxo de potência do diagrama da Figura 1 foi feito para diferentes valores da potência aparente da carga, mantendo o fator de potência igual à 0.92, a tensão da rede igual à 1pu e a impedância série da linha igual ao caso anterior. A Figura 3 mostra o gráfico com os resultados alcançados, nela é possível concluir que quanto menor for a potência consumida pela carga, maior será a influência do sistema fotovoltaico na tensão de atendimento do consumidor. Logo, em períodos de carga leve a elevação na tensão de atendimento do consumidor é mais aguda do que em períodos de carga pesada, para um mesmo valor de potência gerada pelo sistema fotovoltaico.

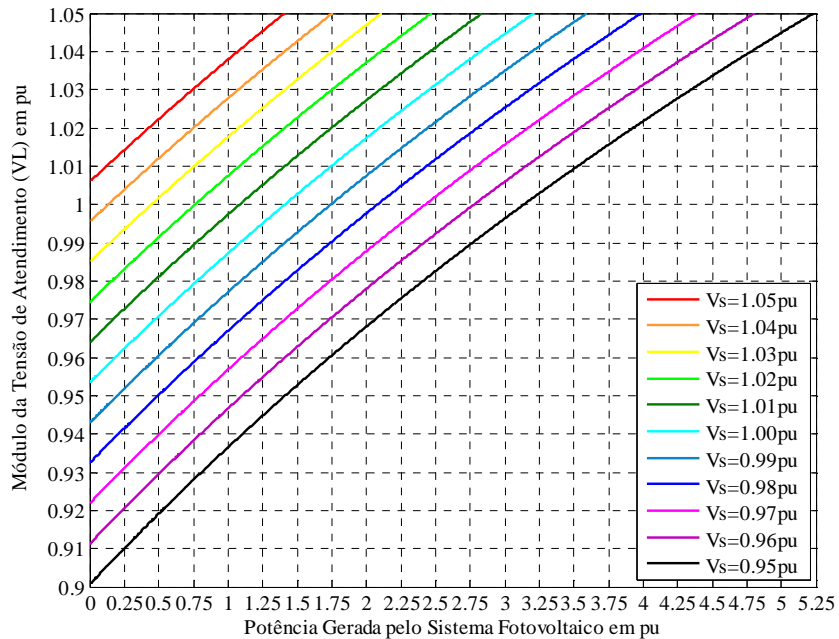


Figura 2 - Variação da magnitude da tensão de atendimento ao consumidor em relação à tensão da rede e potência gerada pelo SFCR.

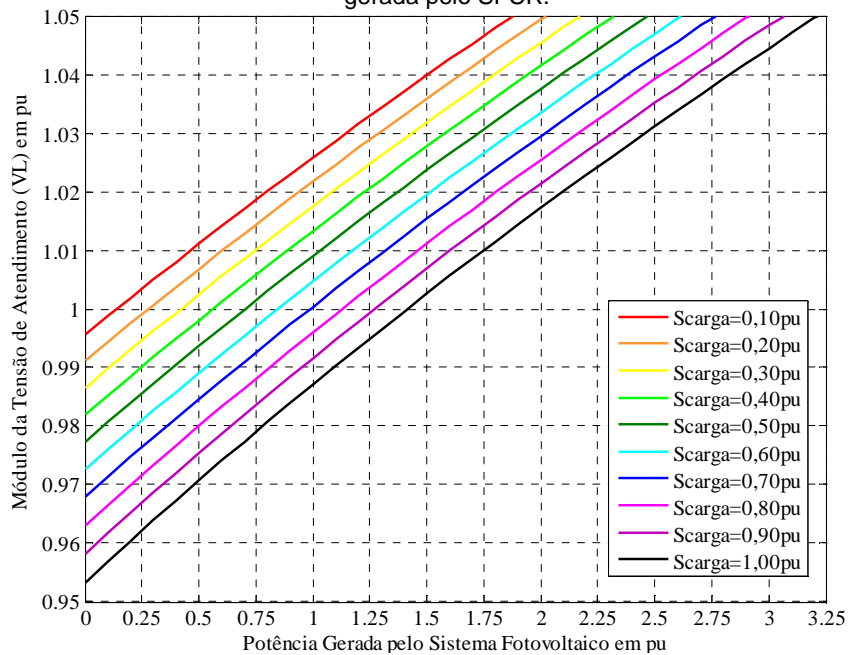


Figura 3 - Variação da magnitude da tensão de atendimento do consumidor em relação à potência consumida e da gerada pelo SFCR.

Dois casos foram estudados na análise da variação do módulo da tensão de atendimento do consumidor com sistema fotovoltaico conectado à rede em função da potência gerada pelo SFCR e da impedância série da linha. No primeiro, o módulo da impedância foi mantido constante e foram adotados diferentes valores para a relação  $r/x$  da linha, no segundo o fluxo de potência foi calculado para a relação  $r/x$  constante e distintos valores do módulo da impedância de linha.

A Figura 4 apresenta o comportamento da tensão de atendimento para o sistema em estudo operando a plena carga, com fator de potência igual à 0,92, tensão da rede igual à 1,00pu, módulo da impedância de linha de 0,05pu e diferentes valores da relação  $r/x$  da linha e da potência gerada pelo sistema fotovoltaico. Pelo resultado é possível notar que quanto maior a relação  $r/x$  da linha, ou seja, quanto mais resistiva for a impedância da linha, maior será a influência do sistema fotovoltaico na tensão de atendimento do consumidor. Nota-se que para a potência gerada pelo sistema fotovoltaico igual à 2,25pu, a tensão de atendimento atinge 1,05pu para  $r/x$  igual à 6, e 1,02pu para  $r/x$  igual à 0,8.

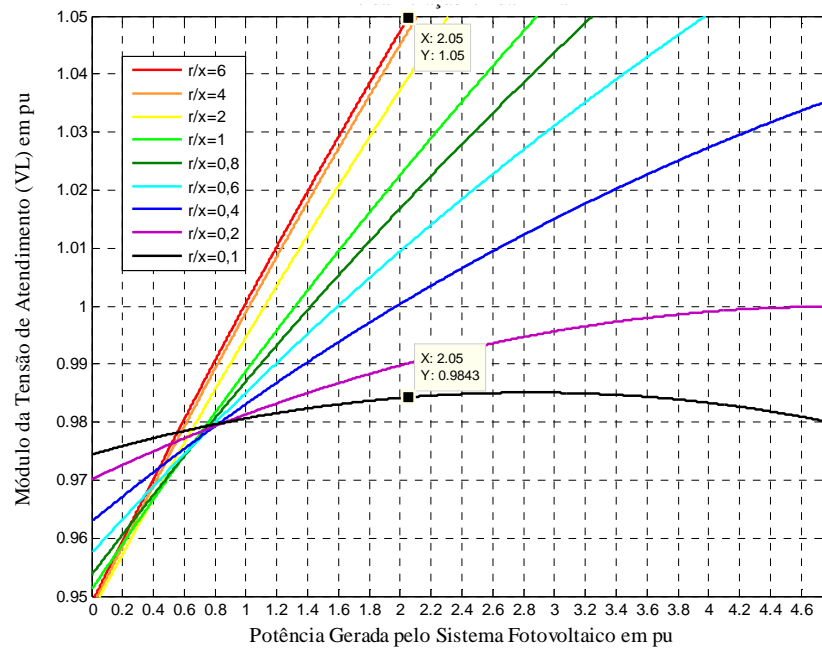


Figura 4 - Variação da magnitude da tensão de atendimento em função da relação  $r/x$  da linha e da potência gerada pelo SFCR.

No segundo caso, o fluxo de potência foi calculado para diferentes valores do módulo da impedância série da linha e da potência gerada pelo SFCR, para o sistema operando a plena carga, com fator de potência de 0,92, tensão da rede igual à 1,00pu e relação  $r/x$  da linha igual à 6. A Figura 5 mostra a variação da tensão de atendimento para esse caso, nela percebe-se dois comportamentos distintos, um quando a potência gerada pelo sistema fotovoltaico é inferior à consumida pela carga e outro quando é superior.

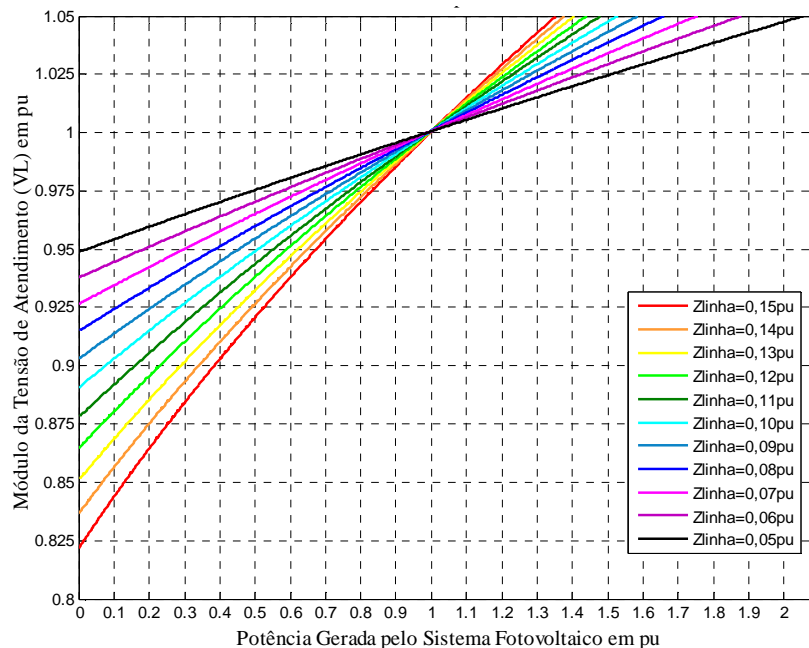


Figura 5 - Variação da magnitude da tensão de atendimento em relação ao módulo da impedância série da linha e da potência gerada pelo SFCR.

Quando a potência gerada pelo SFCR é inferior à consumida pela carga ( $P_{ph} < P_L = 0,92pu$ ), o sentido da corrente na linha ( $I_{linha}$ ) é da barra S para a barra L, conforme ilustrado na Figura 1. Logo, ocorre queda de tensão na barra L, tensão de atendimento, em relação a barra S devido à impedância da linha. Entretanto, essa queda de tensão diminui à medida que a potência gerada pelo sistema fotovoltaico aumenta, visto que a potência fornecida pela rede para atender o consumidor diminui. Nessa situação, pelo gráfico da Figura 5, é possível concluir que quanto menor a impedância da linha, maior será a tensão de atendimento do consumidor com sistema fotovoltaico conectado à rede, entretanto, quanto maior o módulo da impedância mais sensível ao efeito do SFCR será a tensão de atendimento, nota-se pela inclinação das curvas ser maior para maiores módulos.

No caso da potência consumida pela carga ser inferior à gerada pelo sistema fotovoltaico ( $P_{ph} > P_L = 0,92pu$ ), ocorre a inversão do sentido da corrente na linha, passando a ser da barra L para a barra S. Isso faz com que haja a elevação da tensão de atendimento, conforme já mencionado anteriormente. É importante destacar o ponto de operação em que a potência gerada pelo sistema fotovoltaico é igual a 1,00pu, nesse momento não ocorre queda e nem elevação da tensão independente da impedância da linha, visto que o fluxo de potência entre o consumidor e a rede elétrica é mínimo. Diferentemente da situação anterior, nesse caso a tensão de atendimento atinge valores maiores à medida que o módulo da impedância da linha aumenta. Apesar disso, assim como na primeira condição, a influência do sistema fotovoltaico é maior para valores do módulo da impedância de linha maiores.

Uma vez analisado o desempenho da rede elétrica com sistemas fotovoltaicos distribuídos, especificamente o impacto na tensão de atendimento ao consumidor com essa tecnologia empregada, é possível traçar um perfil do caso crítico. Conforme os resultados obtidos, as condições críticas de operação, isto é, as condições em que a elevação da tensão de atendimento é mais sensível à potência gerada pelo SFCR são: tensão de referência da rede, módulo da impedância da linha e relação  $r/x$  da linha elevados e operação com carga leve. Sendo que, o módulo da tensão de referência elevado ocorre em pontos da rede próximos a reguladores de tensão. Já módulo da impedância da linha elevado é equivalente a instalação dos sistemas ao final de linhas longas. Elevada relação  $r/x$ , ou seja, mais resistiva do que indutiva, é característica típica de redes de distribuição. Por fim, operação em carga leve ocorre quando o período de menor consumo da unidade é concomitante com o de maior geração pelo SFCR, característica comum em consumidores residenciais.

A Figura 6 mostra a variação da tensão de atendimento em função da potência gerada pelo sistema fotovoltaico para as seguintes condições:

- Carga igual a 0,10pu e fator de potência igual a 0,92 ( $P_L = 0,092pu$  e  $Q_L = 0,039pu$ ).
- Tensão da rede igual à 1,05pu ( $V_s = 1,05pu$ ).

- Impedância série da linha igual à 0,15pu e relação r/x igual à 6 (Rlinha=0,1480pu e Xlinha=0,0247pu).

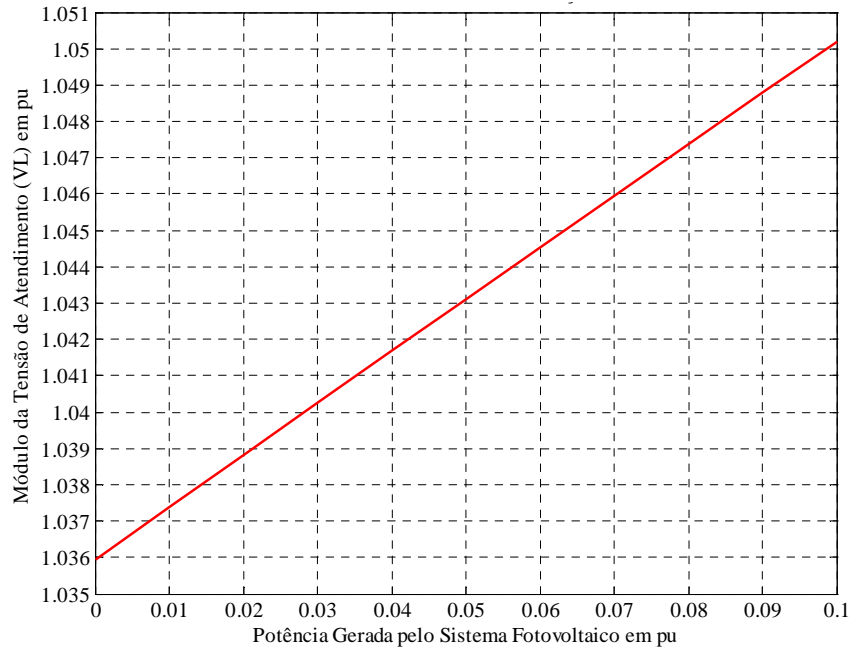


Figura 6 - Variação da magnitude da tensão de atendimento em relação à potência gerada pelo SFCR para a rede operando em condições desfavoráveis.

Pelo resultado apresentado no gráfico da Figura 6, nota-se que para o sistema fotovoltaico gerando aproximadamente 10% da potência nominal do sistema a tensão de atendimento atingiu 1,05pu, comprovando que as condições adotadas são consideradas críticas para a operação do sistema.

## 2.2. Análise do Comportamento do Fator de Potência do Consumidor com SFCR

De acordo com a Seção IV do Capítulo VIII da Resolução Normativa da ANEEL Nº414 (14), o fator de potência de referência (fr), indutivo ou capacitivo, tem como limite mínimo permitido, para as unidades consumidoras dos grupos A e B, o valor de 0,92. No período de seis horas consecutivas compreendido, a critério da distribuidora, entre 23h e 30min e 6h e 30min, valores de fator de potência (ft) inferiores a 0,92 capacitivo, verificados em intervalos de uma hora, resultam em cobranças devido aos montantes de energia elétrica e demanda de potência reativas excedentes. No período diário complementar, de 6h e 30min às 23h e 30min, apenas os fatores de potência (ft) inferiores a 0,92 indutivo, verificados em intervalos de uma hora, resultam em cobranças.

Segundo definido na seção 8.1 do módulo 8 do PRODIST (15), o valor do fator de potência (ft) deve ser calculado a partir dos valores registrados das potências ativa e reativa (P e Q) através da equação [1].

$$ft = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2}} \quad [1]$$

Essa definição do valor do fator de potência no ponto de conexão (ft) entre a rede elétrica e a unidade consumidora é baseada no fato do fator de potência (ft) ser igual ao fator de potência da carga da unidade consumidora (fp). Entretanto, com a instalação de um SFCR na unidade consumidora, o fator de potência no ponto de conexão (ft) passa a ser diferente do fator de potência da carga da unidade (fp).

Conforme visto nas seções anteriores, de acordo com a norma IEEE 929/2000, a grande maioria dos inversores para SFCR são projetados de modo que a corrente de saída CA nos seus terminais esteja em fase com a tensão CA. Ou seja, operam com fator de potência (fph) próximo do valor unitário, com exceção da influência da distorção harmônica total da corrente de saída. Essa característica de operação dos inversores resulta na injeção de apenas potência ativa no ponto de conexão. Logo, na maioria das unidades consumidoras com SFCR haverá a alteração



da potência ativa registrada, sem mudanças na potência reativa, acarretando variação no fator de potência no ponto de conexão (ft).

Na Figura 7 é possível ver a variação do fator de potência no ponto de conexão (ft), calculada a partir da equação [1], para diferentes valores de potência ativa gerada pelo SFCR de um consumidor cujo fator de potência da carga (fp) é igual a 0,92, isto é, potência ativa consumida igual a 0,92pu e reativa igual a 0,39pu. Pela curva em azul, nota-se que para a potência ativa gerada pelo SFCR inferior a 1,84pu ocorre a piora no valor do fator de potência no ponto de conexão (ft), ficando abaixo do valor de referência (fr) estabelecido pela Resolução Normativa N°414 destacado em vermelho. É possível perceber, também, que o pior valor de fator de potência no ponto de conexão (ft) ocorre quando a potência ativa gerada pelo SFCR se iguala a consumida pela carga.

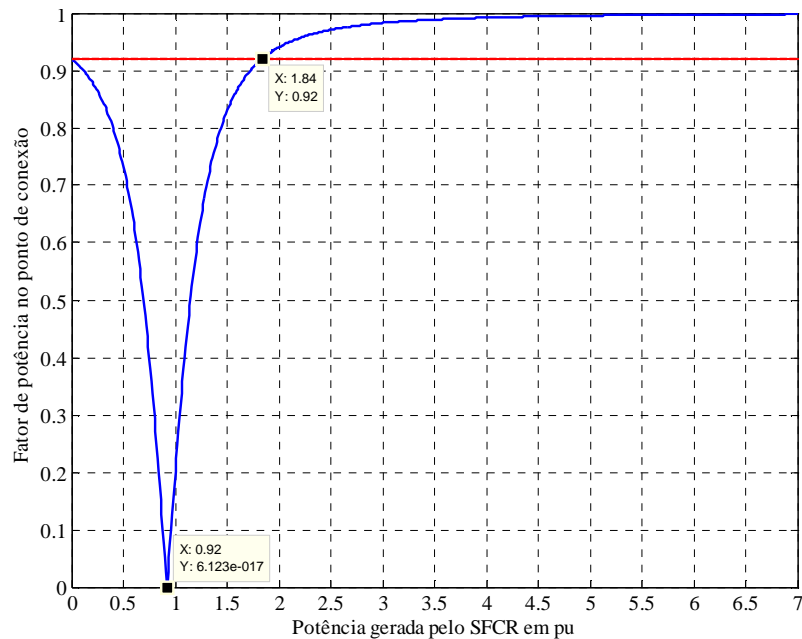


Figura 7 - Variação do fator de potência no ponto de conexão entre o consumidor com SFCR e a rede.

É importante ressaltar que os métodos de cálculo dos valores cobrados devido aos montantes de energia elétrica reativa e demanda de potência reativa excedentes, acusados a partir da detecção da violação do fator de potência de referência (fr), são definidos nos artigos 96 e 97 da Resolução Normativa N° 414 (14). Esses valores pagos são definidos a partir dos montantes de energia elétrica ativa e demanda de potência ativa, e não em função das grandezas reativas. Além disso, são inversamente proporcionais ao fator de potência (ft). Dessa forma, mesmo que o fator de potência no ponto de conexão (ft) seja muito baixo, se a energia elétrica ativa e demanda de potência ativa medidas no ponto de conexão forem baixas também, os montantes pagos não serão elevados.

### 3.0 - CONCLUSÃO

Pelos resultados apresentados, conclui-se que os SFCRs elevam a magnitude da tensão de atendimento ao consumidor, em alguns casos, resultando na infração dos limites de conformidade da tensão e inviabilizando a aplicação desses sistemas por desconexões recorrentes dos inversores. Foi possível levantar as características e condições de operação da rede e da carga que tornam essa elevação mais susceptível à potência gerada pelos SFCRs, sendo essas:

- Redes elétricas longas, isto é, módulo da impedância da linha elevado;
- Redes com característica mais resistiva do que indutiva, tipicamente encontrada em redes de distribuição;
- Pontos de conexão em que a tensão da rede é elevada, por exemplo, próximos a reguladores de tensão;
- Consumidores com períodos de carga leve concomitantes aos de maior geração pelos SFCRs, como consumidores residenciais.



Conclui-se também que os SFCRs alteram o fator de potência no ponto de conexão, reduzindo o mesmo, podendo acarretar em cobranças significativas por excedentes de reativos mesmo sem ocorrer alteração na potência reativa da unidade consumidora.

#### 4.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) REN21. “Renewables 2012 – Global Status Report”. Disponível em: [http://www.ren21.net/Portals/0/documents/Resources/GSR2012\\_low%20res\\_FINAL.pdf](http://www.ren21.net/Portals/0/documents/Resources/GSR2012_low%20res_FINAL.pdf). Acesso em: 14 mar. 2013, 10:00.
- (2) ANEEL. “Banco de Informações da Geração Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil.cfm>. Acesso em: 02 abr. 2013, 15:00.
- (3) CRESESB. “Atlas Solarimétrico do Brasil”. Disponível em: [http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Atlas\\_Solarimetrico\\_do\\_Brasil\\_2000.pdf](http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Atlas_Solarimetrico_do_Brasil_2000.pdf). Acesso em: 04 ago. 2012, 10:10.
- (4) SÚRI M.; HULD T.A.; DUNLOP E.D.; OSSENBRINK H.A., “Potential of solar electricity generation in the European Union member states and candidate countries”, 2007. Disponível em: [http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/countries/europe/g13y\\_de.png](http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/countries/europe/g13y_de.png). Acesso em: 04 ago. 2012, 10:16.
- (5) EPE. “Análise da Inserção da Geração Solar na Matriz Energética Brasileira”, Maio, 2012. Disponível em: [http://www.epe.gov.br/geracao/Documents/Estudos\\_23/NT\\_EnergiaSolar\\_2012.pdf](http://www.epe.gov.br/geracao/Documents/Estudos_23/NT_EnergiaSolar_2012.pdf). Acesso em: 04 ago. 2012, 14:05.
- (6) ANEEL. “Resolução Normativa Nº 484 de 17 de abril de 2012”, Abril, 2012. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>. Acesso em: 04 ago. 2012, 14:32.
- (7) JANNUZZI, G. DE M.; VARELLA, F. K. DE O. M.; GOMES, R. D. M., “Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica no Brasil: Panorama da Atual Legislação”. Campinas, Outubro 2009.
- (8) MOHAN, N.; UNDELAND, T.; ROBBINS, W. P., Power Electronics: Converters, Applications and Design. 3 ed. John Wiley & Sons Inc., 2003.
- (9) IEEE-STD.929-2000. “Recommended Practice for Utility Interface of Photovoltaics Systems”. [S.l.], 2000.
- (10) IEEE-STD.1547-2003. “IEEE Standard for Interconnecting Distributed Resources With Electric Power Systems”. 2003.
- (11) IEC 61727. “Photovoltaic (PV) Systems - Characteristics of the Utility Interface”. 2004.
- (12) IEC 62116. “Test Procedure of Islanding Prevention Measures for Utility-Interconnected Photovoltaic Inverters”. 2012.
- (13) MONTICELLI, A. J., Fluxo de Carga em Redes de Energia Elétrica. 1 ed. São Paulo, Edgar Blücher, 1983.
- (14) ANEEL. “Resolução Normativa Nº 414, de 09 de Setembro de 2010”. 2010.
- (15) ANEEL. “Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional, Módulo 8 – Qualidade de Energia Elétrica”. 2011.

## 5.0 - DADOS BIOGRÁFICOS



**Karolina Jorge Schwenck de Carvalho** nasceu em Juiz de Fora, Brasil, em 5 de Junho de 1985. Graduiu-se em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Juiz de Fora em 2008. Recebeu o título de mestre em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal do Rio de Janeiro em 2012.

Atualmente trabalha como pesquisadora para a Fundação Pe. Leonel Franca, atuando em projetos na área de distribuição, com foco em medição de energia elétrica, microrredes, redes inteligentes e qualidade de energia.

Suas áreas de interesse são sistemas de distribuição, geração distribuída, sistemas de medição de energia elétrica, eletrônica de potência, qualidade de energia e redes inteligentes.



**Edson Hirokazu Watanabe** nasceu no Rio de Janeiro, Brasil, em 7 de Novembro de 1952. Graduiu-se em Engenharia Eletrônica e recebeu o título de mestre em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal do Rio de Janeiro em 1975 e 1976, respectivamente, e o título de Doutor em Engenharia Elétrica por Tokyo Institute of Technology em 1981.

Em 1981 se tornou Professor Associado do Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-graduação em Engenharia (COPPE), Universidade Federal do Rio de Janeiro, no qual se tornou Professor em 1993 e atualmente leciona na área de Eletrônica de Potência.

Suas áreas de interesse são análises de conversores, modelagem e dimensionamento de filtros ativos e tecnologias FACTS (Flexible AC Transmission Systems).

Dr. Watanabe é membro do Institute of Electrical Engineers, Japão, Sociedade Brasileira de Controle e Automação, Sociedade Brasileira de Eletrônica de Potência, International Council on Large Electric Systems (CIGRE), IEEE Power Engineering Society, IEEE Industry Applications Society e IEEE Power Electronics Society. Em 2005 foi admitido na Ordem Nacional do Mérito Científico, Brasil, e em 2013 está sendo agraciado com o IEEE PES Nari Hingorani FACTS Award.