



ANÁLISE DOS IMPACTOS DE ELEVADOS ÍNDICES DE PENETRAÇÃO DA GERAÇÃO FOTOVOLTAICA ON-GRID EM ALIMENTADORES

Michele Araújo Pereira¹; Antonio Manoel Batista da Silva²

¹Universidade de Uberaba - UNIUBE, Uberaba - Minas Gerais

*²Universidade de Uberaba - UNIUBE, Uberaba - Minas Gerais e Centro Universitário da Fundação Educacional de Barretos, Barretos - São Paulo
michele-a-p@hotmail.com; antonio.manoel@uniube.br*

Resumo

Tradicionalmente, os sistemas de energia elétrica foram projetados para gerações centralizadas. Contudo, este método vem sendo modificado devido às questões ambientais e a liberdade de mercado. Assim, neste novo contexto, o sistema elétrico tem sido reestruturado, contribuindo para que a geração distribuída ocupe uma parcela significativa no mercado de geração de energia. Um dos métodos de geração distribuída que não causa impacto significativo ao meio ambiente e que possui grande potencial energético no território brasileiro é a geração de energia elétrica por meio da radiação solar. Assim, a geração de energia fotovoltaica está em ascensão no mercado brasileiro e com grande aceitação da população. Destaca-se que o aumento de instalações se deve principalmente às elevadas tarifas cobradas pelas concessionárias de energia. E mesmo com a desvalorização cambial da moeda no país este mercado continua em ascensão. Mas, o crescimento de residências com instalações fotovoltaicas, utilizando o sistema denominado microgeração, pode no futuro, ocasionar distúrbios na rede de distribuição da concessionária local. Estes possíveis distúrbios afetariam diretamente o alimentador, no qual os sistemas fotovoltaicos estão inseridos. Neste contexto, este trabalho tem como objetivo, a análise da influência que um elevado índice de inserção de sistemas fotovoltaicos distribuídos pode provocar à rede de distribuição. Além disso, propõe

soluções para mitigar os impactos que a inserção massiva da geração fotovoltaica pode provocar ao sistema de distribuição.

Palavras-chave: Sistema de energia. Microgeração. Instalações fotovoltaicas.

1 Introdução

Atualmente, com o aumento na demanda de energia elétrica e o esgotamento dos recursos naturais, as entidades responsáveis por esta produção de energia estão sendo questionadas quanto às questões ambientais, elevações de suas taxas de juros e às conservações de energia. E uma das soluções encontradas por elas, é a implantação de geração distribuída em seus sistemas de distribuição.

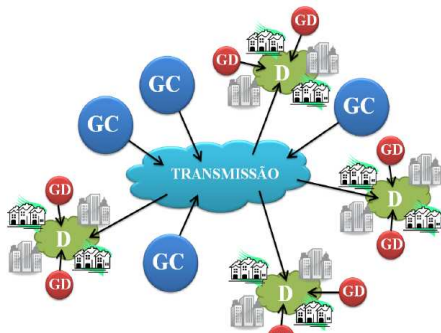
“A geração distribuída se diverge da geração centralizada por estar localizada junto ao consumidor final, entregando a energia diretamente à rede de distribuição, minimizando assim, os investimentos das linhas de transmissão” Braun-Grabolle (2010). Esse tipo de geração pode ter em sua estrutura gerações com potências distintas, justamente pela não delimitação de seus valores máximos e mínimos.

O sistema elétrico brasileiro é caracterizado por distribuição radial, em qual, o fluxo de potência tem sua origem nas subestações em direção ao consumidor final por meio das redes de transmissão. Contudo, com a elevação nos níveis de geração distribuída, o sistema de distribuição se aproxima a um

9º ENTEC – Encontro de Tecnologia: 23 a 28 de novembro de 2015

sistema de transmissão, tipicamente constituído em uma estrutura de malha, injetando a energia produzida (Figura 1).

Figura 1: Esquema simplificado de um sistema elétrico interligado com geração distribuída.



Fonte: Shayani (2010).

Com o aumento da penetração de geração distribuída no sistema elétrico interligado há a necessidade de um maior controle por parte dos operadores do sistema elétrico de distribuição. Portanto, devido a sua inserção, o sistema tende a alterar suas características passivas, provocando um impacto significativo na operação do sistema, tanto em sua qualidade, como em sua confiabilidade e segurança. E esse impacto pode se manifestar de forma positiva ou negativa, a depender da configuração do sistema ao qual a geração é implantada. Negativamente, a conexão pode causar distorções nas formas de onda, sobretensão e desequilíbrio no sistema. E positivamente, a geração distribuída pode contribuir para estabilizar o sistema, como também, dar suporte ao nível de tensão.

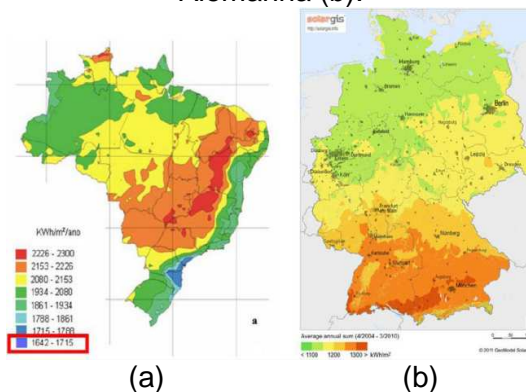
De acordo com Braun-Grabolle (2010), pesquisas estão sendo realizadas em todo o mundo, por meio de simulações, onde se projetam a integração da geração distribuída no sistema elétrico. Tais investigações tem a finalidade de se determinar qual a configuração da rede que suportaria a inserção da geração distribuída bem como as alterações na

operação dos equipamentos, nas proteções e nas tecnologias de comunicação e controle do sistema.

Na atualidade, o uso do sistema fotovoltaico interligado à rede é o método que apresenta o maior crescimento no setor. No passado, este era encontrado em instalações isoladas. Todavia, esse cenário se alterou e sistemas isolados estão sendo substituídos por sistemas interligados à rede elétrica. O custo da energia fotovoltaica ainda é um dos fatores que barram o amplo crescimento e o desenvolvimento dos sistemas desse tipo de geração. Porém, o crescimento do mercado vem reduzindo esses valores.

Segundo dados fornecidos pela Associação Europeia das Indústrias de Energia Fotovoltaica (EPIA), a capacidade mundial instalada de sistemas fotovoltaicos obteve um crescimento de 74,1% entre os anos de 2010 e 2011. Este dado indica que o mercado está em elevação. E entre às outras nações do planeta, a Alemanha é o país com a maior potência instalada. Mas, conforme evidenciam os mapas (Figura 2), “o Brasil apresenta índices solares superiores à Alemanha, sendo que o seu menor valor de radiação é aproximadamente 26% superior da maior radiação do território alemão” Cabral (2013).

Figura 2: Média anual da radiação incidente no plano horizontal no Brasil (a) e na Alemanha (b).



Fonte: Salamoni e Rütther (2007).

9º ENTEC – Encontro de Tecnologia: 23 a 28 de novembro de 2015

A integração dos sistemas fotovoltaicos em larga escala tende a alterar o comportamento do sistema elétrico. Neste contexto e baseado em dados e informações providos de evidências científicas, este trabalho visa expor os principais impactos que a geração distribuída pode provocar na rede de distribuição, bem como as soluções encontradas para aliviar os problemas detectados.

2 Materiais e Métodos

Os possíveis impactos oriundos da conexão de geradores fotovoltaicos à rede de distribuição são expostos nessa seção. A abordagem dos impactos foi fundamentada em trabalhos presentes na literatura técnica e encontra-se dividida entre as seguintes afirmações:

A variação dos níveis de tensão, provocados pela geração distribuída fotovoltaica se deve principalmente ao excesso de geração injetada na rede e também a sua desconexão súbita. Geralmente, o excesso de geração é despachado à rede em momentos que o consumo se encontra reduzido. Desta forma, a tensão tende a se elevar próximo à conexão com a geração. Por outro lado, a desconexão súbita provoca o aumento da corrente requisitada da geração centralizada. Logo, a queda de tensão no ramal de ligação tem seu valor elevado. Além disso, a desconexão pode ser provocada pelo afundamento da tensão fornecida pela concessionária, o qual pode se propagar a toda geração distribuída conectada na rede de distribuição. Algumas soluções propostas por Shayani (2010) são: ajustar de forma rápida a relação de transformação do controlador de tensão, ou uma rápida reconexão da geração distribuída, ou ainda, utilizar uma lógica de controle para limitar a injeção de potência do sistema fotovoltaico, bem como, limitar a quantidade de geração permitida por

consumidor e adequar os ajustes de desligamento da geração distribuída de forma a igualar aos da geração centralizada.

Geralmente, a eletricidade fornecida pelo sistema elétrico brasileiro é de corrente alternada, com frequência fundamental de 60 Hz e apresentando forma de onda senoidal. Os chamados harmônicos são as distorções nas formas de onda, geralmente provocados por cargas não lineares. Eles são múltiplos inteiros da frequência fundamental e podem ser observados tanto na forma de onda da tensão, quanto na forma de onda da corrente.

Os inversores utilizados em instalações de pequeno porte, de até 10kW, normalmente não causariam problemas para o sistema elétrico. Porém, grande inserção da geração distribuída em um único alimentador pode provocar danos à rede caso os harmônicos produzidos forem excessivos. Para minimizar a injeção de harmônicos por meio dos inversores fotovoltaicos são propostos níveis aceitáveis de THD (Distorção Harmônica Total de Corrente).

O sistema de distribuição é caracterizado pela capacidade de curto-circuito, pois seus equipamentos foram projetados de forma a suportar um determinado valor pré-definido. E este é um dos requisitos operacionais para a conexão da geração distribuída, posto que, combinada com a da rede, sua contribuição de curto-circuito deve permanecer abaixo do limite especificado pelos operadores do sistema. Entretanto, pesquisas realizadas concluíram que os sistemas de geração distribuída não contribuem para a capacidade de curto-circuito do sistema em que está inserido. Isto, devido seu valor ser superior à corrente nominal entre 10% e 20%, e por estarem equipados com dispositivos capazes de interromper a conexão no caso de perturbações na rede.

9º ENTEC – Encontro de Tecnologia: 23 a 28 de novembro de 2015

Outro aspecto desfavorável são os afundamentos e interrupções momentâneos de tensão. Estes são considerados como sérios distúrbios para a qualidade da energia elétrica pelo fato de poder causar grandes danos aos equipamentos quando sua curva de suportabilidade de tensão é ultrapassada. Um afundamento na rede de transmissão pode causar o desligamento em inversores, que por sua vez, retiram uma grande quantidade de geração distribuída. E isto pode prejudicar a estabilidade do sistema elétrico. Como resposta aos afundamentos, os inversores com esquemas de controle de corrente podem manter a operação estável, sem gerar sobrecorrentes. Porém, quando a lógica de controle de tensão é utilizada, sobrecorrentes podem ser detectadas e a operação da geração distribuída ser interrompida por relés de sobrecorrente. Com a capacidade de se manter operante durante variações instantâneas de tensão, a geração distribuída deixa de prejudicar a estabilidade da rede, e uma vez finalizada a elevação ou afundamento de tensão, pode contribuir para a sua rápida restauração.

O ilhamento é uma condição de operação em que a central geradora preenche uma quantidade eletricamente isolada do sistema de distribuição, e quando não intencional, pode apresentar os seguintes riscos: acidentes aos funcionários da concessionária de distribuição, que são os responsáveis pela manutenção dos alimentadores, onde ao executá-la, a linha pode permanecer energizada ao invés de desconectada; possíveis danos físicos às máquinas e aos equipamentos do consumidor, quando os parâmetros de tensão e frequência se encontrarem fora das faixas aceitáveis; e interferências no religamento da energia pela concessionária, caso ocorram fora de fase, gerando desarme ou problemas aos equipamentos. Para

prevenir o ilhamento não intencional, os inversores são equipados de um sistema de monitoramento que deve ser instalado entre a geração distribuída fotovoltaica e a rede de distribuição de baixa tensão.

3 Resultados

Com a ampliação do sistema de geração de energia, a partir da interconexão da geração distribuída com a rede elétrica faz-se indispensável o estabelecimento de um conjunto de padrões e normas técnicas. Estes que beneficiem a manutenção da qualidade de energia e da confiabilidade da rede de distribuição.

Essas normas trazem benefícios tanto para as concessionárias de energia elétrica quanto para os autoprodutores de pequeno e médio porte. Seus documentos abordam os requisitos mínimos que a micro e minigeração, e seus componentes, devem adotar visando segurança e confiabilidade da geração.

As principais normas adotadas no sistema fotovoltaico são: Módulo 8 do PRODIST (Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional) que objetiva definir os métodos referentes à qualidade da energia elétrica e do serviço prestado; as normas vigentes da ABNT, segundo Soares (2014), conforme apresentadas na tabela 1; e a regulamentação própria da concessionária em qual o sistema é interligado, que no caso da CEMIG, é a ND-5.30.

Tabela 1: Normas da ABNT em vigor, referente aos sistemas fotovoltaicos.

Normas ABNT	Descrição
NBR 16274:2014	Sistemas fotovoltaicos conectados à rede - Requisitos mínimos para documentação, ensaios, inspeção e avaliação de desempenho.



9º ENTEC – Encontro de Tecnologia: 23 a 28 de novembro de 2015

NBR 16150:2013 Sistemas fotovoltaicos (FV) - Características da interface de conexão com a rede elétrica de distribuição - Conformidade.

NBR 16149:2013 Sistemas fotovoltaicos (FV) - Características da interface de conexão com a rede elétrica de distribuição.

NBR IEC 62116:2012 Procedimento de ensaio anti ilhamento para inversores de sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica.

NBR 11876:2010 Módulos fotovoltaicos - Especificação.

NBR 11704:2008 Sistemas fotovoltaicos - Classificação.

NBR 14200:1998 Acumulador chumbo-ácido estacionário ventilado para sistemas fotovoltaicos.

NBR 14199:1998 Acumulador chumbo-ácido estacionário ventilado - Ensaio.

NBR 14202:1998 Acumulador alcalino de níquel-cádmio estacionário - Ensaio.

NBR 14201:1998 Acumulador alcalino de níquel-cádmio estacionário - Especificação.

NBR 10899:2013 Energia solar fotovoltaica - Terminologia.

Devido ao grande prejuízo que a conexão do sistema fotovoltaico à rede pode ocasionar, os componentes principais da instalação devem possuir certificação compulsória que é realizada pelo Inmetro em observância às diretrizes da ABNT.

O principal equipamento a ser analisado, do ponto de vista da qualidade do fornecimento da energia elétrica é o inversor. Atualmente ele é provido de tecnologia capaz de inibir os danos apresentados no passado.

Os ensaios realizados no inversor CC/CA para sistemas conectados à rede elétrica são expostos na tabela 2. Estes foram obtidos por meio do documento utilizado no Seminário Micro e Minigeração Distribuída de 2014 e se encontra disponível no endereço www.Aneel.gov.br.

Tabela 2: Ensaios do inversor CC/CA fotovoltaico.

Nº	Descrição
01	Cintilação.
02	Injeção de componente contínua.
03	Harmônicos e distorção de forma de onda.
04	Fator de potência.
05	Injeção/demanda de potência reativa.
06	Sobre/subtensão.
07	Sobre/subfrequência.
08	Controle da potência ativa em sobrefrequência.
09	Reconexão.
10	Religamento automático fora de fase.
11	Modulação de potência ativa.
12	Modulação de potência reativa.
13	Desconexão do sistema fotovoltaico da rede.
14	Requisitos de suportabilidade a subtensões decorrentes de faltas na rede.
15	Eficiência.
16	Proteção contra inversão de polaridade.
17	Sobrecarga.
18	Anti ilhamento.

Com a satisfatória regulação do inversor, os prejuízos podem ser minimizados ou até mesmo extinguidos. Contudo, faz-se importante analisar o valor máximo de penetração da geração distribuída que o alimentador suportaria visando preservar a rede de distribuição e seus equipamentos de proteção.

9º ENTEC – Encontro de Tecnologia: 23 a 28 de novembro de 2015**4 Discussão**

Embora a geração fotovoltaica possua grandes malefícios relacionados com a qualidade da energia, sua interligação à rede de distribuição da concessionária se faz de forma confiável devido às normas e regulamentações impostas ao sistema.

O alto nível de penetração da geração distribuída pode influenciar negativamente na qualidade da energia. Entretanto, os equipamentos utilizados em sua contribuição para a satisfeita ligação devem estar certificados. Os operadores do sistema também devem analisar e inspecionar as gerações distribuídas interligadas ao alimentador, de maneira a prever possíveis inconformidades ao sistema.

5 Conclusão

A partir das informações obtidas neste trabalho, conclui-se que a geração distribuída influencia na qualidade da energia da rede tanto positivamente, quanto negativamente. Isto é devido ao fato dos consumidores gerarem energia e fornecem o excedente às outras instalações mais próximas, aliviando a transmissão de energia pela concessionária. Porém, sua inserção deve ser controlada, para que as proteções da rede não sejam prejudicadas. Sua conexão é satisfatória pela aplicação das normas e regulamentações impostas pelos órgãos competentes, dado que o inversor certificado garante a qualidade da energia injetada na rede. Diante disso, a interligação do sistema fotovoltaico é benéfica para o sistema, uma vez que acrescenta potência à rede da concessionária local.

Referências

BRAUN-GRABOLLE, P. **A integração de sistemas solares fotovoltaicos em larga escala no sistema elétrico de distribuição urbana.** Florianópolis: UFSC, 2010. 260 f. Tese (Doutorado em

Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2010.

CABRAL, I. S. **Energia solar - Análise comparativa entre Brasil e Alemanha.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO AMBIENTAL, 4., 2013, Salvador. *Anais eletrônicos...* Salvador, 2013. Disponível em: <<http://www.ibeas.org.br>>. Acesso em: 01 out. 2015.

SALAMONI, I.; RÜTHER, R. **Potencial Brasileiro da Geração Solar Fotovoltaica conectada à Rede Elétrica: Análise de Paridade de Rede.** IX Encontro Nacional e V Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído. Ouro Preto, 2007.

SHAYANI, R. A. **Método para determinação do limite de penetração da geração distribuída fotovoltaica em redes radiais de distribuição.** Brasília: UNB, 2010. 186 f. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) - Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, 2010.

SOARES, M. R. **Geração de energia fotovoltaica.** Portal Revista O Setor Elétrico. São Paulo, ed. 98, mar. 2014. Disponível em: <<http://www.osetoelettrico.com.br>>. Acesso em: 01 out. 2015.

SOUZA, M. E. M. **Micro e Minigeração Distribuídas - Aneel.** In: SEMINÁRIO - IMPACTOS DA RESOLUÇÃO NORMATIVA N. 482/2012, Brasília, abr. 2014. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br>>. Acesso em: 01 out. 2015.