



METODOLOGIAS DE PROTEÇÃO CONTRA ILHAMENTO DE GERADORES DISTRIBUÍDOS

Leonardo Audalio Ferreira do Nascimento*¹, Viviane Barrozo da Silva Duarte Ricciotti¹, Antônio Carlos Duarte Ricciotti¹ e Júlio César Ribeiro¹

¹Fundação Universidade Federal de Rondônia - UNIR

Resumo - A demanda por energia elétrica em conjunto com necessidades técnicas, ambientais e econômicas levou a uma reformulação do sistema elétrico nos últimos anos. Sobretudo nas últimas décadas destaca-se o crescimento do número de geradores distribuídos conectados ao sistema elétrico de potência (SEP). Um ilhamento é a condição em que parte do sistema elétrico permanece energizada por uma geração distribuída (GD), embora a mesma esteja seccionada do sistema principal. Tal situação pode ser prejudicial ao sistema e potencialmente perigosa para as equipes de manutenção da rede. Neste trabalho é realizada uma revisão acerca de diferentes métodos de detecção de ilhamento levando em consideração aspectos técnicos e operacionais destes métodos.

Palavras-Chave - Gerador distribuído; ilhamento; proteção.

ISLAND DETECTION OF DITRIBUTED GENERATORS

Abstract - The demand for electricity in conjunction with technical, environmental and economic needs has led to a reformulation of the electrical system in recent years. One of the most relevant aspects of this reformulation was the increase in the number of distributed generators (DGs), connected to the system. A fault that can occur in DGs is called islanding, which is a condition in which part of the electrical system remains energized by a DG, without connection to the main system. In this work, a review about different island detection methods is carried out taking into account technical and operational aspects of these methods.

Keywords - Distributed generators; island; protection.

I. INTRODUÇÃO

A crescente demanda por energia elétrica levou a uma reformulação do sistema elétrico de potência, especialmente nas últimas duas décadas. Um dos aspectos mais importantes desta reformulação foi a incorporação dos geradores distribuídos ao sistema elétrico. De acordo com

o Instituto de Engenheiros Eletricistas e Eletrônicos (IEEE, do inglês, *Institute of Electrical and Electronics Engineers*) pode-se definir GD como uma central geradora de energia suficientemente pequena e conectada próxima ao consumidor final.

No Brasil, a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) publicou no ano de 2012 as resoluções normativas que estabelecem as regras para a conexão de GDs ao sistema elétrico. De acordo com o balanço de junho de 2020 da ANEEL, existem pelo menos 290.542 GDs conectadas ao sistema, as quais possuem uma potência ativa instalada de 3,6 MW. Dados do mesmo balanço indicam que a maior parte da potência instalada é proveniente de fontes fotovoltaicas (3,4 MW), hídricas (97 kW), térmicas (74 kW) e eólicas (14,9 kW).

Vários efeitos negativos podem ser sentidos pelo SEP devido à instalação de GDs, os principais efeitos são oscilações de tensão, correntes de falta elevadas, aumento de perdas, interferência nos processos de controle e aumento na complexidade de operação do sistema. Além disto, devem ser analisados aspectos como a localização das GDs, o impacto no gerenciamento da rede e o emprego de sistemas que não provoquem a degradação da qualidade de energia [1]. Embora exista a possibilidade da conexão de GDs surtir efeitos negativos ao SEP, o projeto adequado destes empreendimentos confere diversas vantagens ao sistema como melhor qualidade de energia, melhora nos níveis de tensão, alívio dos sistemas de transmissão e distribuição de energia, redução de perdas técnicas e aumento da confiabilidade do sistema [2].

Para que a conexão de GDs seja vantajosa ao sistema, os órgãos reguladores estabelecem diversos requisitos, os quais são relacionados a ajustes da proteção, ao modo de excitação dos geradores, controle e outros aspectos técnicos. Um dos principais requisitos dos sistemas de proteção determina que caso a GD seja desconectada do sistema de forma não intencional, a mesma deve ser desenergizada e assim permanecer até que seja novamente conectada ao sistema [3].

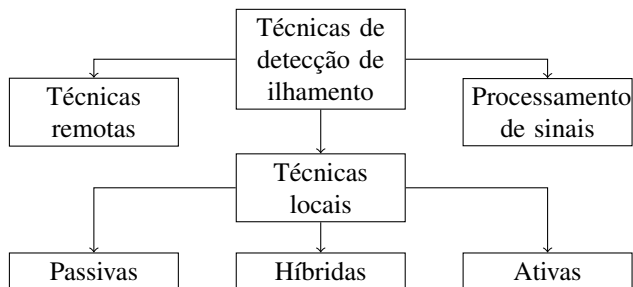
A situação em que uma porção das cargas do SEP permanece energizada por uma GD, embora esta esteja desconectada do restante do sistema é conhecida como ilhamento. Normalmente, uma situação de ilhamento ocorre em redes de baixa e média tensão, no entanto pode ocorrer em redes de alta tensão ou mesmo em linhas de transmissão

*leonardoaudalio@gmail.com

[3]. A GD deve ser equipada com sistemas de detecção de ilhamento para que a ilha elétrica criada seja desenergizada. A norma IEEE 1547 estabelece que o sistema de detecção de ilhamento deve atuar desconectando a GD em um tempo inferior a 2 segundos.

Na Figura 1 estão demonstradas as principais técnicas de detecção de ilhamento.

Figura 1: Técnicas de detecção de ilhamento.



As técnicas de detecção de ilhamento remotas possuem boa resposta frente a diferentes situações de operação da GD, no entanto possuem custo mais alto de implementação e operação, uma vez que são baseadas na medição de um número elevado de parâmetros simultaneamente. As técnicas locais são baseadas na medição de grandezas no ponto de conexão entre a GD e a rede elétrica e podem ser divididas em ativas e passivas. As técnicas passivas consistem em identificar uma situação de ilhamento por meio da medição de parâmetros no ponto de conexão comum (PCC) entre a rede e a GD, estas técnicas possuem a desvantagem de uma zona de não detecção (ZND), por sua vez, as técnicas ativas são baseadas na inserção de distúrbios que forçam desvios nos parâmetros da rede e possuem o inconveniente de causarem degradação da qualidade de energia. Técnicas híbridas procuram reunir as vantagens de técnicas passivas e ativas. Por fim, as técnicas baseadas em processamento de sinais consistem em realizar a medição de parâmetros no PCC e extrair características que caracterizem uma situação de ilhamento.

O objetivo deste trabalho é apresentar uma breve revisão acerca das técnicas de detecção de ilhamento. Na seção 2 são discutidos diferentes métodos de detecção de ilhamento, na seção 3 é demonstrada uma técnica de detecção de ilhamento baseada em redes neurais artificiais. Por fim, na seção 4, são feitas as considerações finais do trabalho.

II. METODOLOGIAS DE DETECÇÃO DE ILHAMENTO

A não detecção de ilhamento, falsa detecção ou detecção tardia implica em diversos problemas relacionados a segurança, contratos comerciais, e aspectos técnicos como a qualidade de energia e danos a estrutura do SEP. Alguns dos principais problemas que podem ocorrer são:

- **Perda da Coordenação da Proteção:** O sistema ilhado possui uma potência de curto-circuito muito inferior à potência de curto-circuito do sistema em operação

normal e a proteção pode não atuar, por exemplo, durante um curto-circuito de alta impedância;

- **Degradação da Qualidade de Energia:** Em operação ilhada a concessionária não pode atuar no controle da tensão e frequência que as GDs entregam a carga, sem a referência de tensão e frequência da concessionária, as GDs podem degradar a qualidade de energia;
- **Aterramento Inadequado:** Algumas GDs podem ser conectadas a rede através de transformadores cuja conexão não fornece um caminho para as componentes de sequência zero da corrente e, caso ocorra ilhamento, o sistema perde a referência para a terra e, graças a alta impedância de sequência zero, os relés de sobrecorrente de terra não são capazes de atuar caso ocorram circuitos monofásicos;
- **Religamento Automático Fora de Sincronismo:** É comum que os sistemas de subtransmissão e distribuição sejam reenergizados, após uma falta, por religadores automáticos. Caso um subsistema ilhado seja reconectado a rede fora de sincronismo podem ocorrer elevados valores de corrente e torque que danificam as GDs. Os transitórios eletromagnéticos poderão ainda causar danos a equipamentos da concessionária e dos clientes.
- **Risco às Equipes de Manutenção da Rede:** Como não há comunicação entre porção do sistema ilhado e a concessionária, pode ser que as equipes de manutenção desconheçam que o sistema permanece energizado. Logo, é essencial que os sistemas anti-ilhamento atuem para evitar situações de risco à vida.

A. Técnicas remotas de detecção de ilhamento

Algumas das principais técnicas de detecção de ilhamento remotas são as técnicas baseadas em sistemas SCADA (*supervisory control and data acquisition*), sistemas PLCC (*power line carrier communication*) e transferência direta de disparo (DTT, do inglês *direct transfer trip*).

Em técnicas de detecção de ilhamento baseadas em sistema SCADA (*Supervisory control and data acquisition*), todos os disjuntores da rede elétrica são monitorados simultaneamente, desde os disjuntores dos geradores distribuídos até a subestação da concessionária. Caso uma ocorrência de ilhamento seja identificada o sistema SCADA identifica o subsistema ilhado e algum esquema dedicado realiza o desligamento da GD [3]. Estes sistemas são geralmente compostos por uma estação mestre conectada a um número qualquer de RTUs (*remote terminal units*) que podem ser conectados à estação mestre através de vários tipos de canais de comunicação como rádio e fibra ótica, o tipo de conexão dos RTUs determina a velocidade do canal de comunicação.

A utilização de sistemas PLCC (*Power Line Carrier Communication*) para detecção de ilhamento tem origem em trabalhos dos anos 1990, embora a discussão a respeito da técnica tenha sido iniciada nos anos 1980. A razão para isso é o fato de ser uma técnica de detecção de ilhamento

relativamente simples e intuitiva, além de conferir diversas vantagens operacionais ao sistema elétrico [4]. Sistemas PLCC baseiam-se na utilização da própria estrutura da rede elétrica como canal de comunicação entre os dispositivos de proteção, a GD e a concessionária de energia elétrica. Os canais de comunicação servem para transmitir sinais que são provenientes de geradores instalados nos alimentadores de distribuição. As GDs são equipadas com receptores que captam os sinais transmitidos e, caso estes sinais sejam interrompidos em algum ponto do sistema, os sensores dos receptores não são sensibilizados, o que indica a ocorrência de ilhamento.

Sistemas anti-ilhamento baseados em PLCC não possuem uma zona de não detecção (ZND) além de causarem um baixo impacto na qualidade de energia da rede e podem ser aplicados em redes conectadas a múltiplas GDs [5]. No entanto, pode ser necessária a instalação de capacitores entre os lados de alta e baixa tensão dos transformadores para possibilitar a transmissão dos sinais, além de ser necessário instalar repetidores devido a atenuação destes sinais no sistema elétrico. Outro aspecto negativo é o custo elevado de instalação dos transmissores na média tensão além do aumento da complexidade de operação da rede.

B. Técnicas locais ativas

Sistemas de detecção de ilhamento locais ativos funcionam através da inserção de distúrbios controlados que tendem a provocar instabilidades na rede que indicam a ocorrência de ilhamento. Normalmente, são sistemas dependentes do tipo de geração, no caso de geradores síncronos, por exemplo, possuem operação complexa devido as altas tensões envolvidas e a complexidade do sistema de controle.

Um dos métodos ativos de detecção de ilhamento é o método de medição de impedância. O princípio deste método consiste em monitorar a impedância vista pela GD, visto que durante a ocorrência de um ilhamento, o valor da impedância equivalente medida a partir da GD se altera. A medição da impedância pode ser realizada por meio da inserção de correntes, ou outro tipo de perturbação, de baixas frequências. Algumas técnicas baseadas na medição de impedância inserem um indutor em paralelo com a GD e estimam o valor da impedância equivalente do sistema por meio da variação da tensão e da corrente no indutor. Uma das vantagens desse método é que os desbalanços de potência ativa e reativa não afetam a leitura do parâmetro no ponto de conexão entre a GD e a rede. Entretanto, não é viável a implementação de um sistema deste tipo em redes com múltiplas GDs.

Tedde e Smedley [6] demonstram um método de medição da impedância equivalente do sistema por meio da injeção de uma corrente subharmônica. Os autores destacam que a deterioração da qualidade de energia é menor neste método e que a distorção harmônica total da corrente tem um acréscimo de apenas 0,1% no sistema operando a plena carga. Além disso, os autores demonstram que o tempo de detecção utilizando este método varia de 320 ms a 480 ms, de acordo com as condições de carga.

Outro método ativo amplamente aplicado é o desvio de

frequência ativo (AFD, do inglês *active frequency drift*), o qual baseia-se em variar a corrente de saída do gerador distribuído, normalmente, através de uma realimentação positiva. A injeção de corrente no PCC causa uma pequena distorção da corrente de saída e, caso a rede seja desconectada do gerador, o deslocamento de fase entre a tensão e a corrente de saída do gerador precisa ser compensada pelo inversor. Para corrigir o deslocamento de fase, o inversor tende a aumentar a frequência da corrente de saída, o que faz com que o relé de sobre frequência atue desconectando a GD [7].

No método AFD, a razão entre o tempo morto T_z (intervalo em que a corrente de saída é zero) e o período de tensão da rede T_v é denominado fator de corte (c_f - *chopping factor*) e é dado pela equação 1.

$$c_f = \frac{2T_z}{T_v} \quad (1)$$

De maneira geral, o fator de corte determina o desvio da frequência causado na corrente de saída do inversor [8]. O valor do fator de corte deve ser constante enquanto o inversor fornece potência ao sistema, desta forma, a tendência é que ocorram variações da frequência da tensão no PCC. Caso o sistema esteja conectado ao SEP, o desvio da frequência não ocorre, no entanto, em operação ilhada, a frequência da tensão muda de acordo com a perturbação inserida no PCC [8]. Os valores do fator de corte podem ser ajustados de modo que os desvios de frequência ocorram para mais (c_f positivo) ou para menos (c_f negativo).

Em redes conectadas a mais de um gerador é necessário que todos tenham seus fatores de corte no mesmo sentido, para que a ação do AFD não seja anulada por geradores cujo AFD atua em direções diferentes.

Hong e Huang [9] demonstram que para operação com múltiplas GDs cuja proteção anti ilhamento baseia-se em métodos que forçam um desvio de frequência, a atuação dos sistemas de proteção pode se anular mutuamente impossibilitando a detecção do evento caso não sejam corretamente dimensionadas.

Alguns métodos semelhantes propõem uma alteração no fator de corte, de modo a diminuir a zona de não detecção como o método de desvio de frequência ativa com pulsação do fator de corte (AFDPCF, do inglês *active frequency drift with pulsation of chopping Fraction*) [10].

Outro método ativo que causa um desvio de frequência é o *Sandia Frequency Shift* (SFS), este método é baseado em uma realimentação positiva que usa desvios de frequência como sinal de *feedback* para influenciar a operação do inversor. A técnica foi desenvolvida na década de 1990 com o nome *frequency drift with positive feedback* e é uma das mais efetivas, entre os métodos ativos que provocam desvios de frequência. A realimentação positiva é utilizada para modificar o valor do fator de corte c_f em função da variação da frequência. O sinal de realimentação θ_f pode ser representado pela equação 2.

$$\theta_f = \frac{\pi}{2}(c_f \omega + K_{sfs}(\omega_0 - \omega_{pll})) \quad (2)$$

em que:

- w_{pll} - Frequência da tensão na saída da GD.
- ω_0 - Frequência da tensão no PCC.
- K_{sfs} - Ganho proporcional na realimentação.
- cf_o - Fator de corte inicial.

Vahedi e Karrari [11] utilizam uma estimativa dos parâmetros da carga baseada em lógica *fuzzy* para determinar o ganho K_{sfs} na equação 2. O método proposto diminui consideravelmente a ZND da técnica SFS através da estimativa do fator de qualidade da carga, os experimentos realizados mostram que para uma carga com fator de qualidade $Q_f = 4,2$ e frequência de ressonância $f_{res} = 60$ Hz, o ilhamento não é detectado caso o ganho seja $K_{sfs} = 0,05$, mas pode ser detectado com a adaptação automática do ganho para $K_{sfs} = 0,1$.

C. Técnicas locais passivas

As técnicas locais passivas baseiam-se no monitoramento de parâmetros, normalmente tensão e frequência, no PCC. Caso estes parâmetros estejam fora de limites pré determinados, o sistema de proteção identifica o ilhamento e a GD é seccionada do sistema. Normalmente são observadas características como afundamento de tensão, sobretensão, subtensão, impedância, salto de fase entre outras ocorrências atípicas nessas grandezas

A função de proteção contra sub/sobrefrequência (ANSI 81) é um dos métodos anti-ilhamento mais utilizados. Em operação normal, a frequência de operação da GD é determinada pelo SEP principal e variações de carga e/ou gerações locais não são capazes de alterar significativamente o valor da frequência devido ao alto momento de inércia do sistema elétrico. Caso ocorra um ilhamento, no entanto, a variação de potência no sistema causa uma variação significativa da frequência que é detectada pelo relé ANSI 81. Apesar de ser um método amplamente utilizado, caso o fluxo de potência seja baixo no ponto do ilhamento, a variação da frequência pode não ser suficiente para sensibilizar o relé de sub/sobrefrequência, surgindo assim uma ZND. O ajuste do relé ANSI 81 com limites próximos da frequência nominal pode ser suficiente para diminuir a ZND, no entanto podem ocorrer desligamentos indevidos em casos de curto-circuitos e chaveamento de grandes blocos de carga [12].

Outro método passivo amplamente utilizado é a detecção de ilhamento por sub/sobretensão. As variações nos níveis de tensão do sistema, normalmente, estão associadas a variações consideráveis de potência ativa. Desta forma a proteção contra sub/sobretensão (ANSI 27/59) é sensibilizada durante ilhamentos que causem interrupções no fluxo de potência reativa e, conseqüentemente, variações nos níveis de tensão do sistema. As funções de proteção ANSI 81 e ANSI 27/59 podem ser combinadas de modo a diminuir a ZND do sistema anti-ilhamento, no entanto os níveis de tensão podem variar significativamente devido a ocorrência de curto-circuitos no sistema elétrico causando disparos indevidos do relé de sub/sobretensão.

D. Técnicas locais híbridas

As técnicas locais híbridas procuram reunir características positivas das técnicas locais passivas e ativas. Um dos objetivos é reduzir a ZND presente em técnicas locais passivas e a degradação da qualidade de energia presente em técnicas locais ativas [12, 13].

De maneira geral, o funcionamento da maioria dos sistemas híbridos pode ser dividido em dois estágios: No primeiro estágio um sistema passivo monitora o sistema e, em caso de transitórios, um estágio ativo insere um distúrbio no PCC que força o sistema a uma condição que caracteriza ilhamento.

E. Técnicas baseadas em inteligência computacional

Técnicas baseadas em modelos de inteligência computacional possuem um bom desempenho frente a diferentes condições de operação do sistema. Um modelo computacional amplamente empregado em detecção de ilhamento é a rede neural artificial (RNA).

Uma RNA é um modelo computacional baseado no sistema neural humano. Aplicações utilizando RNAs para a classificação de padrões vem sendo desenvolvidas em diferentes contextos, dentre outros fatores, estes modelos são extensamente utilizados graças à sua capacidade de auto-organização e a sua capacidade de aprender e generalizar a informação aprendida.

Uma RNA aprende através de um processo denominado treinamento. Modelos que utilizam aprendizagem supervisionada e algoritmos como o de retropropagação do erro são baseados na realimentação da saída para causar modificações nos pesos sinápticos que minimizam o erro [14].

Fayyad e Osman[15] propõem um método para detecção de ilhamento baseado na utilização de transformada *wavelet* e RNA. O método proposto consiste em extrair características dos sinais de tensão e fase e utilizar estas características para treinar uma RNA que classifica os eventos em ilhamento ou não ilhamento. Os resultados obtidos indicam um alto grau de acurácia para detecção de ilhamento mesmo para cargas com alto fator de qualidade. Além disso o método se mostrou superior a outros métodos passivos como os métodos de sobre e sub tensão e sobre e sub frequência. Elnozahy [16] demonstra um método análogo ao de Fayyad e Osman [15], porém uma transformada *wavelet* db4 com 6 níveis de detalhes é utilizada para extrair características de um sinal que consiste na combinação das correntes trifásicas no PAC, a acurácia do método desenvolvido foi de 99,1% e o autor demonstra que o sistema possui boa resposta mesmo diante do chaveamento de um banco de capacitores.

Merlin *et. al.* [18] desenvolvem um método anti-ilhamento baseado em uma RNA do tipo *multilayer perceptron* aplicável a geradores síncronos. Os autores realizam 2000 testes entre ilhamento e não ilhamento sob diferentes condições, as quais são: (i) baixo fluxo de potência ativa e reativa; (ii) fluxo elevado de potência ativa e reativa; (iii) alto fluxo de potência ativa e baixo fluxo de potência reativa; (iv) alto fluxo de potência reativa e baixo fluxo de potência ativa. O método proposto possui bons resultados para diferentes taxas de amostragem da tensão no PAC, a acurácia da RNA treinada

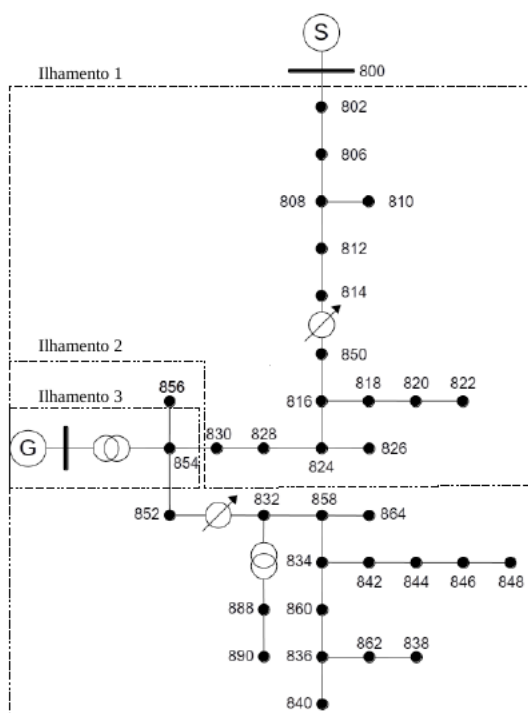
com os ciclos de tensão amostrados a uma taxa de 128 Hz foi de 99,88% com um tempo de detecção de 2 segundos, 94,71% com um tempo de detecção de 1 segundo e 92,91% com um tempo de detecção de 0,5 segundos. Os autores demonstram ainda a obtenção de bons resultados utilizando uma taxa de amostragem de 64 Hz, o que pode ser vantajoso devido ao custo computacional mais baixo.

Abd-Elkader *et. al.* [17] propõem um método baseado em RNA e transformada de Fourier para detecção de ilhamento em geradores eólicos. O método baseia-se na extração, por meio da DFT, da componente de segundo harmônico dos sinais de tensão e corrente no PAC. O sistema é testado para diferentes cenários para verificar a precisão da RNA, os quais são: (i) Operação normal da rede, (ii) ilhamento, (iii) chaveamento de cargas (iv) afundamento de tensão e (v) elevação de tensão. O sistema apresenta acurácia satisfatória caso a carga alimentada pela GD esteja dentro de determinados limites de potência ativa e reativa, sendo estes limites (5, ..., 10 MW) para potência ativa e (2, ..., 6 Mvar) para a potência reativa da carga, para cargas fora destes intervalos o sistema apresenta uma ZND que compromete a eficiência do método.

III. DETECÇÃO DE ILHAMENTO UTILIZANDO RNA

Para demonstrar um sistema de proteção contra ilhamento foram simulados sinais que representam diferentes condições de operação em uma rede elétrica com um gerador eólico. O sistema de testes é uma rede de distribuição radial com cargas desequilibradas cujos dados são disponíveis para testar a exatidão de aplicações desenvolvidas (Figura 2).

Figura 2: Rede de testes IEEE 34 barras utilizada para modelar os casos de ilhamento, curto-circuito e operação normal da rede.



O gerador utilizado é uma planta eólica conectada à barra

854 por meio de um transformador trifásico de 1,6 MVA e relação de transformação 24,90/0,48 kV. Além dos ilhamentos foram obtidos sinais referentes a curto-circuitos temporários, com duração de 350 ms, nas barras 802, 830, 842 e 852. Todos os curto-circuitos são medidos na barra 854.

Os ilhamentos simulados são demonstrados na Figura 2. Quando ocorre o ilhamento 1, a GD assume toda a carga da rede, no ilhamento 2, a GD assume as cargas conectadas à barra 854 e no ilhamento 3 a GD alimenta uma carga de 200 kVA com fator de potência 0,92 indutivo.

Para o treinamento da RNA são extraídos os valores do desvio padrão e da variância dos sinais de tensão e corrente na barra 804.

Ao total, foram utilizadas 60 amostras que representam operação normal da rede, 60 amostras para ilhamento e 60 amostras de curto circuito trifásico.

A RNA foi treinada por meio do método *Adam* e a função de ativação empregada foi a *ReLU*. Os vetores de entrada correspondem a cinco ciclos dos parâmetros no PCC.

Utilizando uma RNA *multilayer perceptron* com 3 camadas ocultas, as quais possuem 14, 8 e 4 neurônios nas camadas ocultas foi possível obter uma taxa de acurácia para classificação de ilhamento de 98,9%, além de uma para classificação de curto-circuito de 97,4%.

IV. CONCLUSÃO

A demanda por energia elétrica levou a uma reformulação do sistema elétrico nos últimos anos. Necessidades técnicas, ambientais e econômicas figuram como um fator decisivo para o aumento da incorporação de GDs ao sistema elétrico.

Embora sejam obtidas diversas vantagens com o emprego de GDs, devem ser observados os impactos causados pelos mesmos na operação e na segurança da rede. Um problema que pode ocorrer com estes geradores é o ilhamento, condição em que uma parte do sistema elétrico permanece energizada por uma GD, embora esta GD esteja desconectada do sistema principal.

Neste artigo foram discutidas diferentes técnicas de proteção contra ilhamento. Técnicas remotas possuem boa resposta frente a diferentes cenários de operação do sistema, no entanto possuem custo elevado. Métodos locais ativos são baseados na inserção de distúrbios que forçam desvios de parâmetros que são significantes para sensibilizar a proteção do sistema. Estes métodos causam impacto negativo na qualidade de energia, o que leva a adoção de sistemas locais passivos, os quais são baseados em realizar medições dos parâmetros no PCC. Métodos passivos, no entanto, podem possuir uma zona de não detecção frente a alguns cenários de operação do sistema.

Também foi brevemente discutido um sistema passivo baseado em RNA. O resultado obtido demonstra que a utilização de modelos computacionais inteligentes pode ser uma alternativa em cenários cujos sistemas convencionais não forneçam boa resposta.

AGRADECIMENTOS

A Associação de Pesquisadores da Região Norte (APRENO), pelo apoio para a realização deste trabalho.

REFERÊNCIAS

- [1] L. F. Ochoa, A. Padilha-Feltrin, G. P. Harrison, "Evaluating distributed generation impacts with a multiobjective index", *IEEE Transactions on Power Delivery*, v. 21, n. 3, p. 1452-1458, 2006.
- [2] P. P. Barker, R. W. de Mello, "Determining the impact of distributed generation on power systems. I. Radial distribution systems", In: *2000 Power Engineering Society Summer Meeting* (Cat. No. 00CH37134). IEEE, 2000. p. 1645-1656.
- [3] J. C. R. Vieira Júnior, "Detecção de ilhamento de geradores distribuídos: uma revisão bibliográfica sobre o tema", *Revista Eletrônica de Energia*, v. 1, n. 1, 2011.
- [4] M. Ropp, *et al*, "New results for power line carrier-based islanding detection and an updated strengths and weaknesses discussion", In: *IEEE. 2011 37th IEEE Photovoltaic Specialists Conference*. [S.l.], 2011. p. 002584-002587.
- [5] J. YIN, L. Chang, C. Diduch, "Recent developments in islanding detection for distributed power generation", In: *IEEE. 2004 Large Engineering Systems Conference on Power Engineering* (IEEE Cat. No. 04EX819). [S.l.], 2004. p. 124-128.
- [6] M. Tedde, K. Smedley, "Anti-islanding for three-phase one-cycle control grid tied inverter", *IEEE transactions on power electronics*, IEEE, v. 29, n. 7, p. 3330-3345, 2013.
- [7] C. Trujillo, *et al*, "Local and remote techniques for islanding detection in distributed generators", *Distributed Generation, BoD-Books on Demand*, p. 119, 2010.
- [8] H. T. D. Silva, "Estudo sobre a interação de métodos anti-ilhamento para sistemas fotovoltaicos conectados à rede de distribuição de baixa tensão com múltiplos inversores", Tese (Doutorado) — Universidade de São Paulo, 2016.
- [9] Y. Hong, W. Huang, "Investigation of frequency drift methods of islanding detection with multiple pv inverters", In: *IEEE. 2014 International Power Electronics and Application Conference and Exposition*. [S.l.], 2014. p. 429-434.
- [10] F. Liu, Y. Kang, S. Duan, "Analysis and optimization of active frequency drift islanding detection method", In: *IEEE. APEC 07-Twenty-Second Annual IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition*. [S.l.], 2007. p. 1379-1384.
- [11] H. Vahedi, M. Karrari, "Adaptive fuzzy sandia frequency-shift method for islanding protection of inverter-based distributed generation", *IEEE Transactions on Power Delivery*, IEEE, v. 28, n. 1, p. 84-92, 2012.
- [12] G. Marchesan, "Detecção de ilhamento em sistemas de distribuição com geração síncrona distribuída", Tese (Doutorado) — Universidade Federal de Santa Maria, 2016.
- [13] M. Khodaparastan, *et al*, "A novel hybrid islanding detection method for inverterbased dgs using sfs and rocof", *IEEE Transactions on Power Delivery*, IEEE, v. 32, n. 5, p. 2162-2170, 2015.
- [14] S. Haykin, "Redes neurais: princípios e prática", [S.l.]: Bookman Editora, 2007.
- [15] Y. Fayyad, A. Osman, "Neuro-wavelet based islanding detection technique", In: *IEEE. 2010 IEEE Electrical Power & Energy Conference*. [S.l.], 2010. p. 1-6.
- [16] M. S. Elnozahy, E. F. EL-Saadany, M. M. Salama, "A robust wavelet-ann based technique for islanding detection", In: *IEEE. 2011 IEEE Power and Energy Society General Meeting*. [S.l.], 2011. p. 1-8.
- [17] A. G. ABD-ELKADER, D. F. Allam, E. Tageldin, "Islanding detection method for dfig wind turbines using artificial neural networks", *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, Elsevier, v. 62, p. 335-343, 2014.
- [18] V. L. Merlin, *et al*, "A new artificial neural network based method for islanding detection of distributed generators", *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, Elsevier, v. 75, p. 139-151, 2016.