

DETECÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DE FALTA EM REDE DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA CONECTADA EM GERADOR PV USANDO LÓGICA FUZZY COM IDENTIFICAÇÃO PARAMÉTRICA ONLINE

Marcus Ciro Martins Gomes – marcus.ciro@ifpa.edu.br

Instituto Federal do Pará, Câmpus Belém

Carlos Tavares da Costa Jr – cartav@ufpa.br

Universidade Federal do Pará, Departamento de Engenharia Elétrica

Florindo Antonio de Carvalho Ayres Jr – florindoayres@ufam.edu.br

Universidade Federal do Amazonas, Departamento de Engenharia Elétrica

Cleonor Crescêncio das Neves - cleonor.neves@ifam.edu.br

Instituto Federal do Amazonas, Câmpus Manaus-Distrito Industrial

Resumo. Atualmente, a energia é vista como um produto essencial, o qual é quantificada através de suas características, tais como, qualidade, preço e acessibilidade. Para tal, as pesquisas envolvendo a qualidade de energia e em particular a detecção de faltas na rede elétrica, e principalmente na presença de geração distribuída, se tornaram mais intensivas para um mapeamento e correta de sua operação. Em vista disso, este trabalho apresenta o estudo de um método de detecção de faltas do tipo curto-circuito em redes de distribuição de energia elétrica com a presença de fontes de geração distribuída renováveis do tipo solar fotovoltaica. A metodologia para detecção e classificação de faltas proposta neste trabalho é baseada em análise de modelos paramétricos do tipo ARX (auto-regressivo com entradas externas) obtidos através de estimação de parâmetros via mínimos quadrados recursivo. Adicionalmente um sistema baseado em lógica fuzzy em vista da mudança online destes parâmetros classifica as faltas de curto-circuito com relação a sua gravidade entre monofásica, bifásica, trifásica e bifásica à terra. De modo a verificar a efetividade desta metodologia proposta procedeu-se à realização de exaustivos testes em simulação computacional aplicados a uma típica rede de distribuição elétrica de 3 barras, dois alimentadores e um gerador fotovoltaico (PV) de 250 kW. Por fim, os resultados obtidos comprovaram a efetividade do método proposto, sendo sistema de classificação fuzzy que foi projetado capaz de determinar o percentual adequado para classificação da falta detectada quanto a severidade da mesma.

Palavras-chave: Detecção de faltas, Geração fotovoltaica, Classificador fuzzy.

1. INTRODUÇÃO

Este artigo apresenta a proposição de uma metodologia de detecção e classificação de faltas do tipo curto-circuito em redes de distribuição de energia elétrica com a presença de fontes de geração distribuída renováveis do tipo solar fotovoltaica (PV). A metodologia para detecção e classificação de faltas proposta neste trabalho é baseada em análise de modelos paramétricos do tipo auto-regressivo com entradas externas (ARX) obtidos através de técnica de identificação estocástica online com estimação de parâmetros via mínimos quadrados recursivo. Para tal a corrente rms da rede elétrica é medida no saída do inversor e também do sinal de índice de modulação do inversor. Verifica-se que a rede de distribuição apresenta diferentes comportamentos para faltas do tipo curto-circuito com diferentes severidades, e o que pode ser refletido nos parâmetros dos modelos paramétricos com estimação em tempo real.

A motivação para estudo do tema se dá devido ao fato de que uma falta na rede elétrica pode ser detectada e ter seus efeitos isolados desde que os dispositivos de proteção operem com confiabilidade e rapidez. Assim, é necessária uma percepção eficaz para detectar a ocorrência de uma falta e classificá-la corretamente através de um cálculo baseado em lógica fuzzy, auxiliando na correção e restabelecimento do sistema e garantindo a qualidade da energia.

Adicionalmente, fontes de energia renovável, com crescente utilização nas redes de distribuição nas últimas décadas como a geração PV, além de fornecerem potência ativa para consumidores locais e exportar para a rede, podem ser adicionalmente um ponto interessante para detecção de variações na rede elétrica, por meio dos conversores estáticos utilizados em tais aplicações. A metodologia pretende apresentar um percentual de qual tipo de falta está presente uma rede e qual instante de sua ocorrência. Nas seções a seguir apresentar-se-á esta metodologia e a base teórica e aplicação da mesma. Por fim uma rede de distribuição de teste será usada para verificação dos resultados.

2. METODOLOGIA BASEADA EM IDENTIFICAÇÃO PARAMÉTRICA ONLINE E LÓGICA FUZZY

A metodologia proposta tem a pretensão de detectar quando ocorrer uma falta do tipo curto-circuito em uma rede elétrica e adicionalmente determinar um percentual de classificação com relação a severidade desta falta, podendo ser entre 4 tipos testados curto-circuito monofásico para terra (LG - line to ground), bifásico fase para fase (LL - line to line), bifásico fase para fase para terra (LLG - line to line to ground) e trifásico (LLL - line to line to line) [Stevenson 1974]. Para tal, se utiliza do conceito de detecção de falta baseada em modelo do processo [Isermann 2010], esta metodologia consiste medições não invasivas de 2 sinais da rede elétrica e a partir de uma estimação paramétrica "online", ou seja, em tempo real de operação, utilizando mínimos quadrados recursivo para determinação de um modelo do tipo ARX (auto regressivo com entradas externas). Em seguida, a partir da mudança contínua dos parâmetros estimados durante a operação do sistema com falta ou sem, um sistema fuzzy projetado é alimentado com esses valores para determinar um valor percentual da falta em ocorrência. Na Fig. 1 pode ser visto o fluxograma referente à metodologia proposta.

A seguir é apresentada a teoria de estimação paramétrica online, com suas equações e considerações; em seguida a teoria de lógica fuzzy Mandani usada neste trabalho as considerações adotadas.

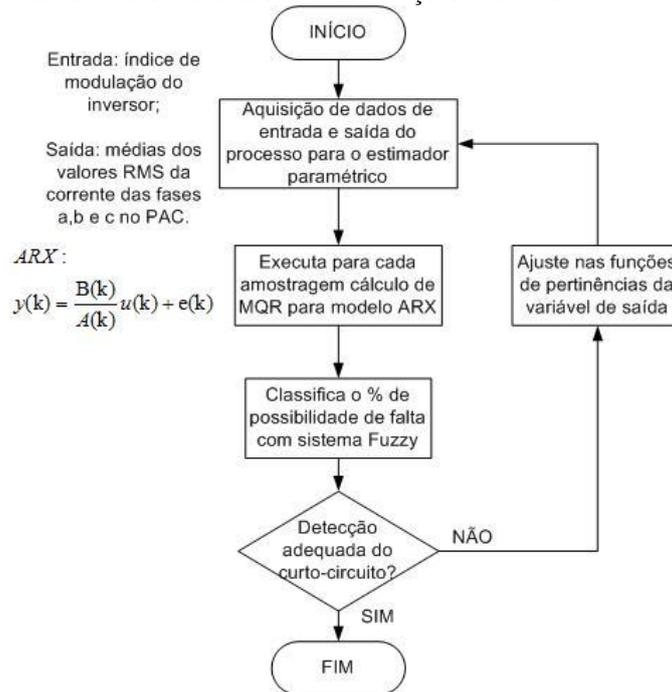


Figura 1 - Fluxograma da metodologia fuzzy de detecção e classificação de faltas.

3. IDENTIFICAÇÃO PARAMÉTRICA ONLINE COM MÍNIMOS QUADRADOS RECURSIVO DE PARÂMETROS DA REDE ELÉTRICA COM GERAÇÃO PV

Neste trabalho como pretende-se apresentar o gerador PV não somente como um fornecedor de potência ativa para a carga e rede, é mostrado que o mesmo também pode ser um elemento de análise da qualidade de energia e da sanidade da rede elétrica. A partir de estudos de modelagem e controle de conversores ligados a fontes de geração distribuída [Yazdanie Iravani, 2010] percebe-se que em tais sistemas o índice de modulação do inversor é considerado como uma variável de controle nos sistemas PV, os quais se comportam como fonte de corrente, cujo valor de tensão de trabalho é determinada pela tensão da rede no ponto de acoplamento comum (PAC).

Diante disso, neste trabalho foi considerado como variáveis de entrada e saída do estimador paramétrico afim de se obter um modelo ARX variante no tempo, respectivamente os sinais de índice de modulação "m" do inversor e a média aritmética dos valores da corrente elétrica injetada na rede "I_{RMS}(méd)" no ponto de acoplamento comum. Na Fig. 2 pode ser visualizado o diagrama da conexão do gerador PV com a rede elétrica com destaque em vermelho aos sinais usados na metodologia para fins de identificação paramétrica.

Em um processo cuja entrada pode ser representada por $u(k)$ e a saída por $y(k)$ pode-se representar um função de transferência discreta linear como o modelo ARX da Eq. (1).

$$A(z^{-1})y(k) = z^{-d}B(z^{-1})u(k) + e(k) \quad (1)$$

onde os polinômios $A(z^{-1})=1+a_1z^{-1}+a_2z^{-2}+\dots+a_mz^{-m}$ e $B(z^{-1})=b_0+b_1z^{-1}+b_2z^{-2}+\dots+b_nz^{-n}$ representam o denominador e numerador, respectivamente desta função de transferência discreta, $e(k)$ representa um erro de modelagem/medição e d é o atraso de transporte discreto [Coelho, 2016].

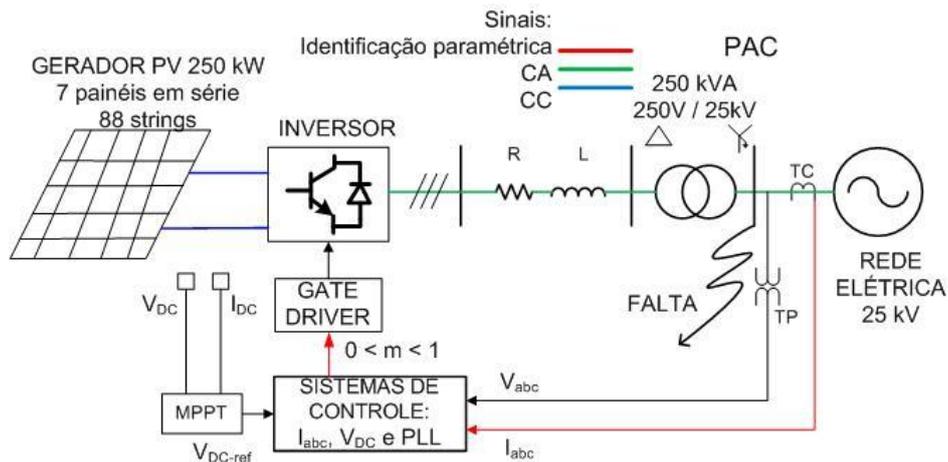


Figura 2 - Diagrama unifilar/blocos de um gerador PV conectado a rede.

Para tal procedimento define-se um vetor de medidas $\Phi(k)$ é o vetor de regressores, composto de medidas de entrada e saída do sistema e um vetor de parâmetros $\theta(k)$, que se relacionam através da Eq. (2).

$$\hat{y}(k) = \Phi^T(k)\hat{\theta}(k) + e(k) \quad (2)$$

sendo: $\Phi(k) = [y(k-1) \cdots y(k-m) \ u(k-d-1) \cdots u(k-d-n)]$

$$\hat{\theta}(k) = [a_1 \cdots a_m \ b_0 \cdots b_n]$$

Segundo [Ljung, 1999; Coelho, 2016] o cálculos de atualização à cada iteração pode ser realizado conforme a manipulação nas amostras de instantes atuais "k" e futuros "k+1" das matrizes de covariância $P(k+1)$, de ganho $K(k+1)$ e $\theta(k+1)$, como mostrado nas equações (3), (4) e (5).

$$K(k+1) = \frac{P(k)\phi(k+1)}{1 + \phi^T(k+1)P(k)\phi(k+1)} \quad (3)$$

$$\hat{\theta}(k+1) = \hat{\theta}(k) + K(k+1)[y(k+1) - \phi^T(k+1)\hat{\theta}(k)] \quad (4)$$

$$P(k+1) = P(k) - K(k+1)[\phi^T(k+1)P(k)] \quad (5)$$

Em particular neste trabalho um modelo um modelo ARX de 1ª ordem se mostrou satisfatório após vários testes realizados em um sistema de teste, afim de se verificar a variação paramétrica devido a ocorrência de contingências. Devido à rápida dinâmica do gerador PV conectado à rede, a função de transferência obtida é apresentada em Eq. (6).

$$y(k) = \frac{b_0 z^{-1}}{1 + a_1 z^{-1}} u(k) \quad (6)$$

Portanto ,para tal o vetor de parâmetros a ser estimado é $\theta(k) = [a_1 \ b_0]$, cujos valores variam de acordo com o tipo de falta curto-circuito em uma rede de distribuição com geração PV de teste e $\Phi(k) = [y(k-1) \ u(k-1)]$, sendo o atraso de transporte discreto usado $d = 1$.

4. SISTEMA FUZZY DE CLASSIFICAÇÃO DE CURTO-CIRCUITO

A estratégia de inteligência computacional capaz para lidar com informações imprecisas ou aproximadas, pode ser expressa em termos lingüísticos é lógica fuzzy usada neste trabalho. Dessa forma, a teoria de conjuntos e os fundamentos da Lógica Fuzzy, ou nebulosa como também é conhecida, podem ser mostrar adequadas para traduzir em termos matemáticos a informação imprecisa expressa por um conjunto de regras lingüísticas, e assim incorporar o conhecimento de um especialista em um sistema automático.

Essas informações lingüísticas são matematicamente traduzias por meio das chamadas "funções de pertinência", as quais podem ter diferentes formas, podendo ser triangulares, gaussianas, trapezoidais , dentre outras. A base de regras implementa a tomada de decisão definida pelo especialista através de declarações "SE <antecedente> ENTÃO <consequente>" e a defuzzificação recalcula um valor preciso (número real) dadas as condições de ativação de cada regra.

Um sistema fuzzy do tipo Mandani tem a seguinte característica apresentada na Fig. 3 e reproduzida neste trabalho [Simoes e Shaw,2007].

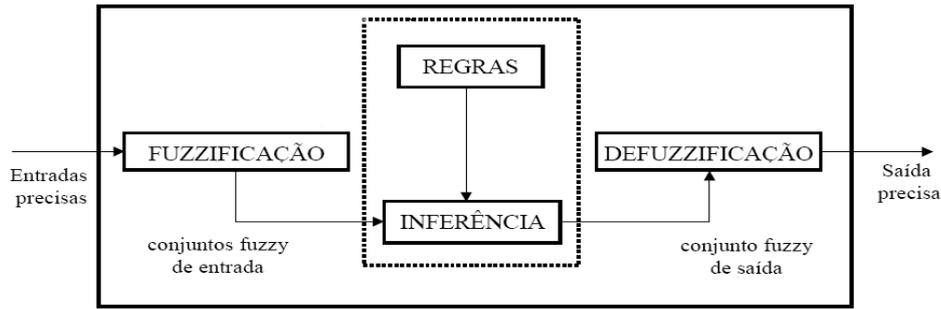
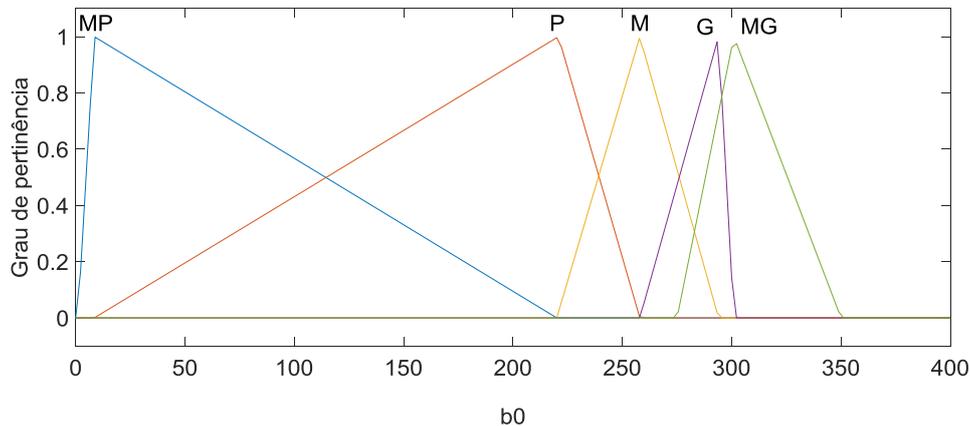


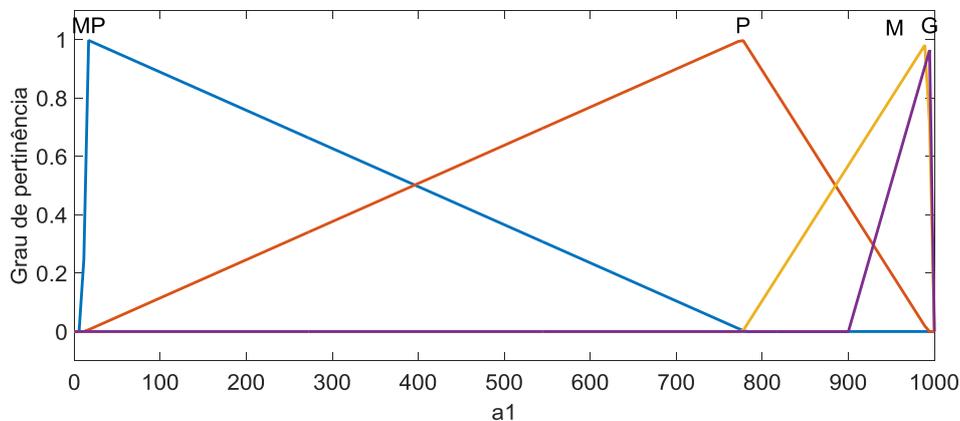
Figura 3 - Configuração do sistema fuzzy Mandani.

Neste trabalho utilizaram-se como variáveis entradas para a classificação das faltas com este tipo de inferência fuzzy os parâmetros a_1 e b_0 provenientes na estimação paramétrica online. E cujos valores foram previamente conhecidos através de exaustivos testes com quatro tipos de curto-circuito variando em termos de sua severidade a serem apresentados no capítulo III a seguir. Tais valores foram tomados como centro das funções de pertinência, para a qual se escolheu funções triangulares pela facilidade de implementação práticas.

As funções de pertinência realizadas para as duas variáveis de entrada e b_0 e a_1 , podem ser observadas na Fig. 4, para a qual se adotou 5 funções pertinência (muito pequeno - MP, pequeno - P, médio - M, grande - G e muito grande - MG) e 5, para a qual se adotou 4 funções pertinência respectivos aos valores observados (muito pequeno - MP, pequeno - P, médio - M e grande - G), respectivamente.

Figura 4 - Funções de pertinência para o parâmetro b_0

A base de regra adotada neste trabalho restringiu-se a 5 regras, relativas aos pares de valores paramétricos de b_0 e a_1 observados, como pode ser observado na Tab. 1. Dessa forma uma regra foi definida para cada uma das 4 faltas do tipo curto-circuito observadas (monofásica para terra, bifásica para terra, trifásica e bifásica) mais a condição normal sem falta.

Figura 5 - Funções de pertinência para o parâmetro a_1 .

As funções de pertinência realizadas para a variável de saída podem ser observadas na Fig. 6, para a qual se adotou 5 funções pertinência relativas à cada curto-circuito a ser detectado e classificado (Sem falta - SF, bifásico - LL, bifásico para terra - LLG, monofásico para terra - LG e trifásico - LLL).

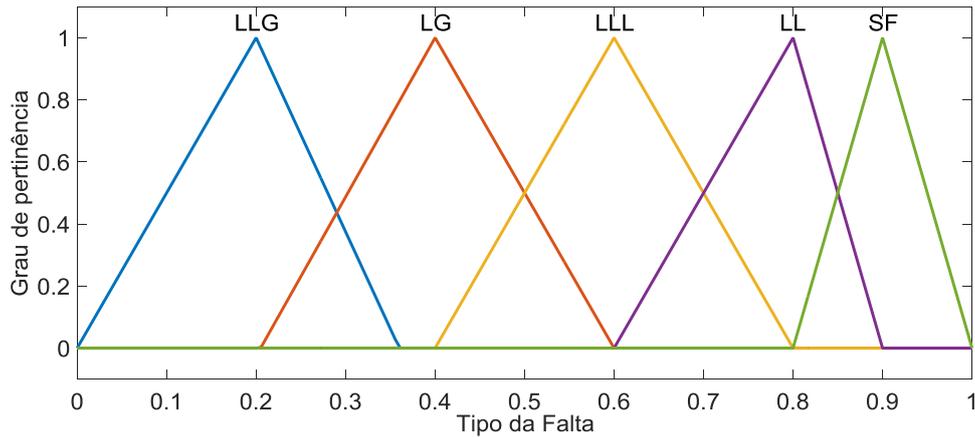


Figura 6 - Funções de pertinência para a saída do classificador fuzzy.

Tabela 1 - Base de regras adotadas para classificação.

REGRAS	DECLARAÇÕES
Regra 1	SE "b ₀ Muito Pequeno" & "a ₁ Muito Pequeno " ENTÃO "Sem Falta"
Regra 2	SE "b ₀ Pequeno & a ₁ Grande" ENTÃO " Falta Bifásica"
Regra 3	SE "b ₀ Médio & a ₁ Grande" ENTÃO "Falta Trifásica"
Regra 4	SE "b ₀ Grande & a ₁ Pequeno" ENTÃO "Falta Monofásica para Terra"
Regra 5	SE "b ₀ Muito Grande & a ₁ Médio" ENTÃO "Falta Bifásica para Terra"

Para defuzzificação e obtenção dos valores de pertinência que definem o percentual de cada tipo de curto-circuito realizando a classificação adequada à respectiva contingência foi o método centróide, cuja equação é mostrada na Eq. (7) [Wang, 1997].

$$\mu_{FALTA}(k) = \frac{\sum_i A_i \mu_i}{\sum_i A_i} \quad (7)$$

onde A_i são as áreas definidas pelas pertinências de saída e μ_i é o i -ésimo grau da função de pertinência de saída.

5. RESULTADOS

Neste capítulo, apresentam-se os principais componentes de uma rede elétrica de teste com a presença de uma conexão distribuída do tipo PV, bem com os resultados obtidos empregando o método proposto baseado em identificação estocástica e de classificação fuzzy Mandani. Primeiramente, foi definido um modelo da rede elétrica utilizada para testes. Trata-se da rede de distribuição padrão norte-americana de 25 kV com 3 barras, 2 alimentadores, cargas e um gerador PV de 250 kW, constituído de strings de 7 painéis em série e 88 strings, apresentada da Fig. 7.

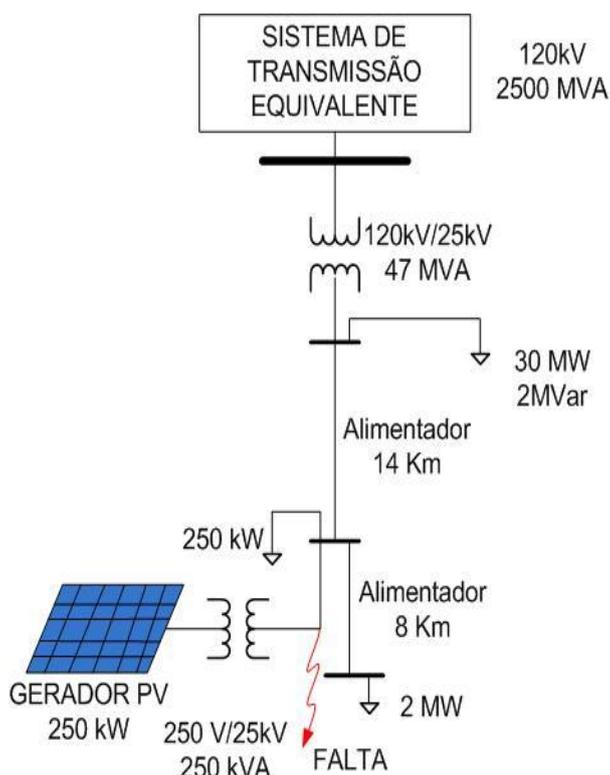


Figura 7 - Sistema Teste: Rede elétrica com gerador PV de 250 kW conectado.

Devido a não disponibilidade de conduzir testes aplicações propositalis de contingências em redes de distribuição reais, os testes de verificação da metodologia proposta foram realizadas em simulação computacional em ambiente *Matlab/Simulink*. Os diversos testes envolveram a aplicação de faltas do tipo curto circuito em um ponto da rede de distribuição localizado na conexão com o sistema fotovoltaico (PAC). Os diversos curtos-circuitos aplicados de forma individual em cada teste, variaram em termos de severidade e simetria, os quais são resumidos da Tab. 2 e representados na Fig. 8 [Kindermann 1997; Martinho, 2013].

TIPOS DE CURTO-CIRCUITO

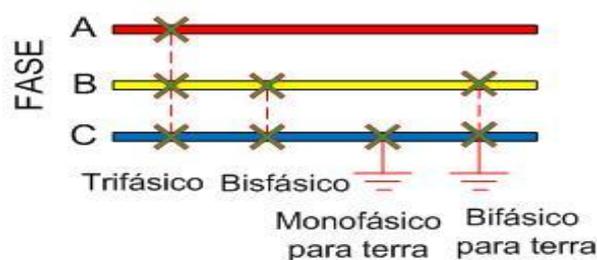


Figura 8 - Configuração dos tipos de faltas.

Em seguida será apresentado os resultados de estimação paramétrica online com mínimos quadrados recursivo (MQR) e a capacidade de detecção e classificação quanto a falta aplicada na rede elétrica.

Tabela 2 - Característica de severidade de Curto-circuito.

Tipo de Curto-Circuito	Simetria	Gravidade
Trifásico (L-L-L)	Falta simétrica	Mais perigosa
Monofásico para terra (L-G)	Falta assimétrica	Menos perigosa
Bifásico (L-L)	Falta assimétrica	Perigosa
Bifásico para terra (L-L-G) ¹	Falta assimétrica	Mais perigosa em relação a L-L e L-G.

5.1 - Estimação paramétrica online para a rede elétrica com gerador PV

Exaustivos testes de faltas foram conduzidas no sistema de teste de 25kV sendo o ponto de aplicação da falta, como se observa na Fig. 7, destacado no PAC no instante de $t = 0,5$ segundo. Como esperado as contingências causaram mudança nos valores dos parâmetro a_1 e b_0 do modelo ARX mostrado na equação (6), as quais podem ser observadas na Fig. 9 e 10. Sendo realizado o teste em 1,5 segundos se mostrado satisfatório para verificação da metodologia proposta, e também devido ao baixo passo de iteração de simulação selecionado em função dos baixos período de amostragem usadas na identificação e controle durante a simulação ($T_s = 5.10^{-5} s$).

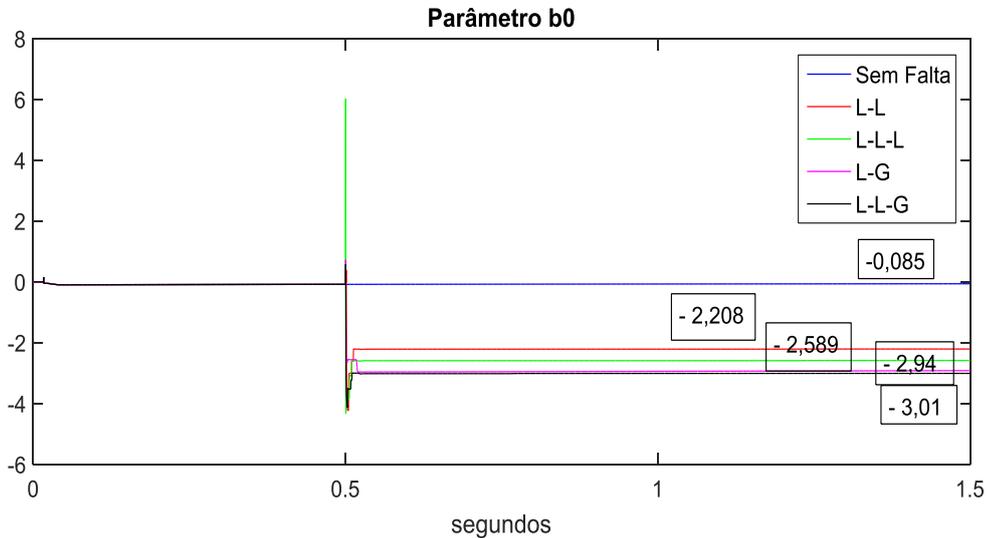


Figura 9 - Estimação paramétrica online de b_0 para cada falta.

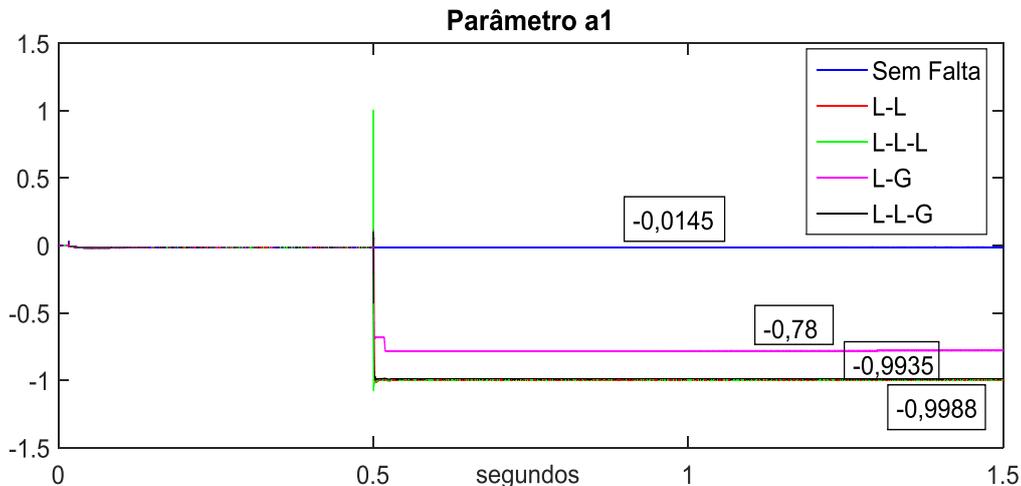


Figura 10 - Estimação paramétrica online de a_1 para cada falta.

Considerando os valores observados dos parâmetros a_1 e b_0 observados foi possível realizar a construção em cada teste das funções de pertinência triangulares do sistema fuzzy alimentado por essas duas entradas, contudo dada a pequena escala numérica dos valores, fez-se necessário utilizar o módulo desses valores e a multiplicação de 100 para b_0 e 1000 para a_1 , os valores dos pontos médios e de base das funções triangulares de entrada podem ser observados nas Fig. 5 e 6.

5.2 - Sistema fuzzy de classificação de faltas: curto-circuito

Conforme o sistema fuzzy projetado na seção IV, e da metodologia apresentada na seção II, entende-se que as estradas para o sistema fuzzy detectar e classificar o percentual relativo ao curto-circuito em andamento são os

parâmetros estimados em tempo real a_1 e b_0 , e cuja desse sistema é o percentual falta e quando ela ocorre. O diagrama de blocos deste esquema é apresentado na Fig. 11

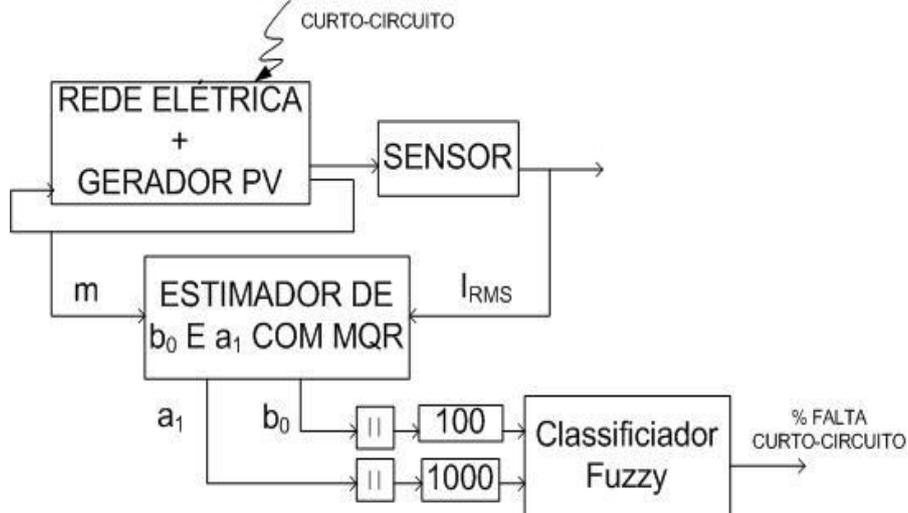


Figura 11 - Diagrama de Blocos do esquema de estimação online e fuzzy.

Como pode ser observado devido a etapa de estimação ser online, não demanda a necessidade de nenhum sinal de perturbação, Sequência Binária Pseudo Aleatória (SBPA) por exemplo, para excitar o sistema, e para tal toma do processo, sinais que podem ser medidos e aquisitados, tornando-se uma metodologia não invasiva e que não necessite de parada da operação da rede elétrica, nem da geração PV.

Diante a aplicação de curtos-circuitos, vistos na Fig. 8, de forma controlada nos instantes $t = 0.5$ s com duração de 1 ms, individualmente em cada teste, pôde ser verificado o resultado de percentual para os seguintes valores apresentados na Tab. 3, de saída do sistema fuzzy com as pertinências de entrada e saída e base de regras apresentadas na seção 4.

Tabela 3 - Resultados percentuais de saída do classificador fuzzy.

CLASSIFICADOR FUZZY					
Falta aplicada na rede	Falta Trifásica (%)	Falta bifásica (%)	Falta monofásica (%)	Falta Bifásica para terra (%)	Sem falta (%)
Monofásica	0	0	99,3	0	0
Bifásica	20,94	79,06	0	0	0
Trifásica	100	0	0	0	0
Bifásica-terra	0	0	0	93,2	0
Sem Falta	0	0	0	0	100

Pode ser verificado que o método baseado em estimação online e cálculo fuzzy, apresentou um resultado coerente com o esperado dentro de cada falta aplicada. Para o teste de falta bifásica foi verificado um percentual abaixo de 80% para a respectiva falta e pouco acima de 20% para a uma falta trifásica, contudo o baixo valor ainda permite afirmar de forma satisfatória o acerto da falta ocorrida. Na Fig. 12 pode ser observada a superfície de saída do sistema fuzzy relacionado a saída defuzzificada com os valores de entrada.

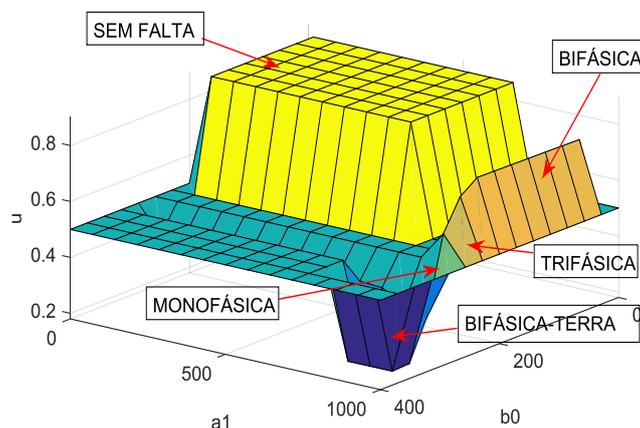


Figura 12 - Superfície de decisão do classificador fuzzy.

Evidentemente, em uma rede elétrica em operação não se tem conhecimento de quando ou qual falta vai ocorrer em determinado ponto, contudo com uma medição não invasiva pode-se monitorar as variações paramétricas e utilizar o algoritmo de inteligência artificial para incorporar o conhecimento de um especialista. Neste trabalho o sistema baseado em lógica se mostrou competente na tarefa.

Adicionalmente, se sabe que é de imprescindível necessidade e detectar e conhecer quais faltas intercorrem das redes de distribuição de maneira que se opera e tome decisões com relação de maneira que garanta a qualidade da energia e minimize os efeitos adversos provocados pelas contingências. Na Fig. 12, pode-se visualizar o efeito adverso na corrente e tensão no PAC para a fase A, por exemplo para o curto-circuito bifásico para terra, onde se observa um afundamento de tensão (a) e efeito de transitório na corrente (b) indesejáveis para a qualidade da energia.

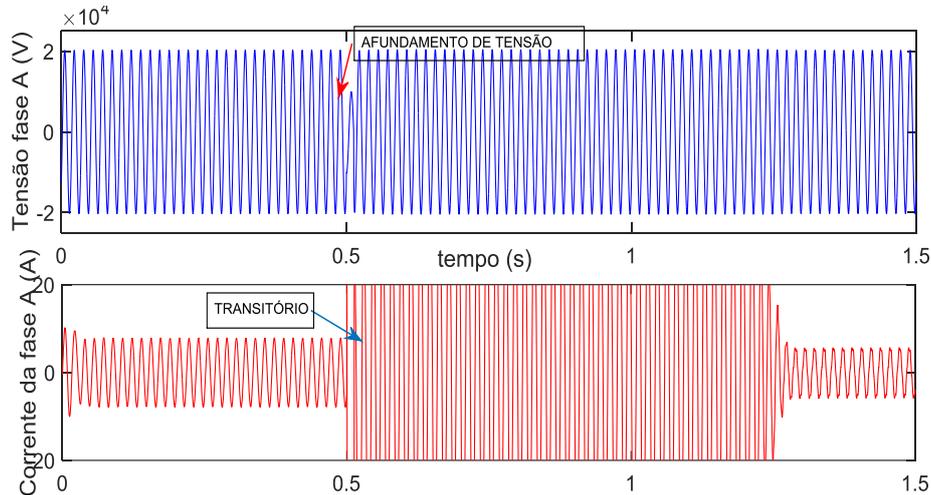


Figura 13 - Tensão e corrente eficazes da fase A para curto-circuito Fase-Fase-Terra de Blocos do esquema de estimação online e fuzzy.

6. CONCLUSÃO

Este trabalho apresentou uma metodologia capaz de detectar faltas do tipo curto-circuito em uma rede de distribuição com gerador PV conectado e classificá-las por meio de um sistema baseado em lógica fuzzy. Para o estudo de caso do trabalho e verificação da metodologia proposta foi aplicada uma rede de distribuição típica norte americana de 25 kV, dois alimentadores e um gerador PV de 250 kW.

As faltas aplicadas nesta rede foram do tipo curto-circuito monofásico, bifásico, trifásicas e bifásico ao terra em um ponto de acoplamento comum. Na metodologia de detecção da falta foi utilizado um método baseado em estimação paramétrica online, com os parâmetros obtidos correspondendo aos parâmetros de um modelo do tipo ARX de 1ª ordem com dois parâmetros a_1 e b_0 a estimar se mostrou satisfatório para fins deste trabalho. Devido a medição de sinais disponíveis na rede, aqui usadas o índice de modulação do inversor e corrente rms no PAC, entrada e saída respectivamente, sem necessitar desligá-lo para o teste, se verifica um método não invasivo de detecção de faltas.

As variações observadas nos parâmetros a_1 e b_0 de acordo com diversos testes com faltas diferentes, demonstrou a variação paramétrica ocorrendo de forma contínua à operação da rede elétrica. Tal variação de mostrou adequada para a entrada do sistema fuzzy, o qual foi devidamente projetado com funções de pertinência de entrada e saída, além da base de regras de acordo com a decisão adequada a ser tomada quanto a classificação da falta em questão.

A metodologia proposta em lógica fuzzy se mostrou adequada quanto a classificação da falta aplicada a rede elétrica, uma vez que a indicou de percentual correto e verificou o instante desta mudança, detectando a mesma de forma rápida e automática à operação da rede. Tais métodos se mostram cada vez mais importante quanto a busca um operação mais correta da rede elétrica com cada vez mais penetração da geração fotovoltaica, minimizando efeitos adversos das contingências e melhorando a qualidade da energia entregue aos consumidores.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao suporte do Instituto Federal de Educação do Pará (IFPA) através de seu Departamento de Pesquisa e Inovação (DPI) pelo apoio financeiro e de infra-estrutura para realização desta pesquisa por meio de seu edital PIBICTI 01-2016-DPPI e atualizados de forma mais recente (EDITAL n° 03/2019-PIBICTI-Campus Belém-IFPA).

REFERÊNCIAS

Anzanello Junior, J. D. “Análise de microgeração fotovoltaica em um sistema de distribuição utilizando o opendss”. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2016

- Ferreira, A. C. Modelagem e Controle da Operação de Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede de Distribuição, Utilizando o Ambiente Matlab/Simulink. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará – IFPA. Trabalho de Conclusão de Curso. 2014
- Aguirre, L. A. Introdução à Identificação de Sistemas – Técnicas Lineares e Não Lineares Aplicadas a Sistemas Reais. Belo Horizonte Editora UFMG, 2007.
- Anderson, P. M. Analysis of faulted power systems. New York: University Press, 1973. 514 p. (IEEE Press power system engineering series).
- Soni, A. K., Yadav, A. Fault Detection and Classification of Grid Connected Wind Farm (DFIG) Using Fuzzy Logic Controller. 2021 IEEE International Power and Renewable Energy Conference (IPRECON). 24-26 Sept. 2021. 10.1109/IPRECON52453.2021.9640808
- Coelho, A. A. R.; Coelho, L. S. Identificação de Sistemas Dinâmicos Lineares. Florianópolis: UFSC, 2004.
- Dos Santos, V. M. Estudo de caso de curto-circuito em um Sistema elétrico industrial. Universidade de São Paulo, São Carlos. 2009.
- Ferreira, A. C. Modelagem e Controle da Operação de Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede de Distribuição, Utilizando o Ambiente Matlab/Simulink. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará – IFPA. Trabalho de Conclusão de Curso. 2014.
- Haber, R. Unbehauen, H. Structure identification of nonlinear dynamic systems - a survey on input/output approaches, Automatica 26: 651–677. 1990.
- Horan, D. M. Guinee, R. A. A Novel Pulse Echo Correlation Tool for Transmission Path Testing and Fault Diagnosis. Journal of Computers. Vol. 1. No. 1. 2006.
- Horowitz, P. HILL, W. The Art of Electronics. Cambridge University Press, New York, 2ª Edition. 1989.
- Isermann, R. Fault-Diagnosis Systems-An Introduction from Fault Detection to Fault Tolerance. New York, NY, USA: -Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2006. Págs. 147- 228. 66.
- Kindermann, G. Curto-Circuito. 2. ed. Porto Alegre: Sagra Luzzatto, 1997. 214 p.
- Ljung, L. System Identification: Theory for the User, Prentice-Hall, Upper Saddle River. NJ. 1999.
- Stevenson Jr. W.D.. Elementos de Análise de Sistemas de Potência. Mcgraw Hill. 1974.
- Simoes, M. G. ; SHAW, I.S. Controle e Modelagem Fuzzy. 2ª edição. Editora Blucher.2007.
- Martinho, E. Distúrbios da Energia elétrica. Ed. Erica. 3ª edição. 2013.
- Yazadani, a.; Iravani, r. . Voltage Sourced Converters in Power systems. Wiley. 2010.
- Wang, L. X.,. A Course in Fuzzy Systems and Control. Prentice Hall PTR, United States, 1997.

FAULT DETECTION AND CLASSIFICATION IN POWER DISTRIBUTION NETWORK CONNECTED IN PV GENERATOR USING FUZZY LOGIC WITH ONLINE PARAMETRIC IDENTIFICATION

Abstract: Currently, energy is seen as an essential product, which is quantified through its characteristics, such as quality, price and accessibility. To this end, research involving power quality and in particular the fault detection in the power grid and especially in the presence of distributed generation, has become more intensive for mapping and correcting its operation. In this view this work presents a novel study of a method for detecting short-circuit faults in electricity distribution networks with the presence of renewable distributed generation sources via converters such as solar photovoltaic. The methodology for fault detection and classification proposed in this work is based on the analysis of parametric ARX (autoregressive with external inputs) models obtained by online parametric estimation via recursive least squares. Additionally, a classification system based on fuzzy logic, in view of the continuous change of these parameters values, classifies short-circuit faults in terms of their severity between line to ground fault, line to line fault, three-phase fault and line to line to ground fault. In order to verify the effectiveness of this proposed methodology, exhaustive tests were carried out in computer simulation applied to a typical electrical distribution network of 3 buses, two feeders and a 250 kW photovoltaic (PV) generator. Finally, the results obtained proved the effectiveness of the proposed method, being a fuzzy classification system that was designed capable of properly determining percentage for classification of the detected fault in terms of its severity.

Keywords: Fault detection, Photovoltaic generation, Fuzzy classifier.