

## **Grupo de Estudo de Sistemas de Distribuição-GDI**

### **Relé Inteligente baseado na Lógica Paraconsistente Anotada de 4 Valores Multifuncional - RI LPA4v**

**VIVIANE BARROZO DA SILVA(1); ANTONIO CARLOS DUARTE RICCIOTTI(2); JULIO SANCHO LINHARES TEIXEIRA MILITÃO(3); GHENDY CARDOSO JÚNIOR(4); PIERRE TEIXEIRA RODRIGUES(5); MARCELO LUIZ DE CARVALHO RIBEIRO(6); PEDRO JOSÉ DOS SANTOS JÚNIOR(6); UNIR(1); UNIR(2); UNIR(3); UFSM(4); JORDÃO ENG.(5); GERA MARANHÃO(6);**

## **RESUMO**

Este informe técnico (IT) apresenta o relé inteligente (RI) de proteção com múltiplas funções para sistemas baseados em inversores que utiliza uma rede neural paraconsistente. Essa rede trabalha com graus de evidência favorável, desfavorável, sensibilidade e tempo. O RI Inclui as funções de detecção de ilhamento, detecção de falha, reconhecimento do tipo de falha e bloqueio seletivo de falha. O RI LPA4v multifunção proposto foi testado em ambiente hardware-in-the-loop (HIL). Os resultados mostram que o RI proposto é superior aos métodos tradicionais de reconhecimento de ilhamento em relação à confiabilidade, segurança e tempo de detecção.

## **PALAVRAS-CHAVE**

Relé inteligente, Geração distribuída, Ilhamento, Rede neural paraconsistente, Proteção.

## **1.0 - INTRODUÇÃO**

O Setor Energético Brasileiro está sob intensa transformação, a oferta descentralizada e ambientalmente sustentável tem impulsionado a utilização de gerações de pequeno e médio porte (microgeração e minigeração) conectadas aos sistemas de distribuição chamadas de Gerações Distribuídas baseados em inversores (GDs). O uso das GDs é benéfico para as concessionárias de energia, proprietários de GDs e consumidores finais, pois melhora a confiabilidade, a qualidade da energia e é economicamente vantajoso. Entretanto, várias condições técnicas precisam ser analisadas em relação à inserção de GDs, de forma a identificar os impactos causados na rede elétrica. Uma dessas condições é o ilhamento que pode ser classificado em ilhamento intencional, quando a fonte de geração é desconectada da rede e o ilhamento não intencional, quando problemas de curto-circuito e falhas nos dispositivos são detectados na rede de distribuição.

O ilhamento não intencional deve ser detectado pelo sistema de proteção da GD, pois pode causar a deterioração da qualidade de energia, risco de vida para as equipes de manutenção, bem como problemas na proteção do sistema de distribuição ilhado. Por outro lado, a detecção indevida pode ter como consequência a instabilidade do sistema interligado em casos de forte dependência de GDs, diminuição da qualidade da energia, atenuação da qualidade do fornecimento, bem como a redução da confiabilidade do sistema de distribuição, além do incremento dos custos operacionais.

Para identificar o evento de ilhamento várias técnicas foram propostas na literatura para garantir que os sistemas operem sob os requisitos de segurança e qualidade.

(\*) Rua Glauber Rocha, nº4640 – CEP 76.821-484 - Porto Velho, RO – Brasil  
Tel: (+55 69) 4141-0016 – Email: Viviane-barrozo@unir.br

As técnicas de proteção anti-ilhamento podem ser classificadas em função das suas características operativas, e podem ser classificadas em técnicas remotas e locais.

As técnicas remotas são mais confiáveis e eficientes na detecção de ilhamento do que as técnicas locais. Porém, as técnicas remotas são pouco utilizadas devido ao alto custo operacional e a necessidade de uma rede de comunicação sem falhas, e tem por princípio funcional a comunicação entre a concessionária, os dispositivos de proteção, os dispositivos de manobra da rede de distribuição e a GD [5].

As técnicas locais são divididas em três classes: passivas, ativas e híbridas [1],[2]. Dentre as técnicas ativas típicas, as que mais se destacam são: Active Frequency Drift (AFD), Sandia Frequency Shift (SFS), Slip Mode Frequency Shift (SMS) e método de medição de impedância. Essas técnicas introduzem no sistema de distribuição uma instabilidade que é normalizada pela conexão com o sistema principal, ou provocam uma perturbação que é absorvida pelo sistema interligado. A ocorrência do ilhamento, surge a partir da perda de conexão com o sistema interligado e os parâmetros das gerações distribuídas como tensão, frequência, impedância sofrem uma variação que é utilizada para a detecção do ilhamento. Essas técnicas apresentam deterioração da qualidade da energia elétrica e estão associadas aos geradores que utilizam inversores para a conexão com a rede elétrica, levando à falha de detecção de ilhamento [6].

As técnicas passivas têm como princípio a detecção de uma anomalia na amplitude, frequência e fase da tensão no ponto de acoplamento comum (PCC) entre o inversor e a rede de distribuição. Sendo assim, essas cessam a conversão de energia da GD quando ocorrem mudanças a partir das condições normais especificadas. As técnicas passivas têm um desempenho notável quando existe uma perceptível incompatibilidade entre a carga e a geração do sistema ilhado. No entanto, se essa incompatibilidade for pequena, a superioridade das técnicas passivas é reduzida [5].

As técnicas híbridas reúnem baixas zonas de não detecção (ZND) dos métodos ativos e a não interferência na qualidade da energia elétrica dos métodos passivos. Geralmente, os métodos híbridos utilizam uma técnica passiva para realizar uma primeira avaliação do estado do sistema de distribuição. Quando uma anormalidade é detectada, um método ativo é empregado para forçar o sistema a uma condição que caracterize o ilhamento.

Como anteriormente mencionado, a detecção de faltas é outra parte importante da detecção de interconexão da DG. As normas operativas das DGs requerem a desconexão imediata no início de qualquer falta. Dentre os tipos faltas, as que envolvem curto-circuito são as mais notáveis, tendo como destaque a falta de curto-circuito monofásico linha-terra que corresponde a 70 % desse fato.

Portanto, este informe técnico (IT) propõe um relé inteligente (RI) com múltiplas funções para sistemas baseados em inversores, utilizando a Lógica Paraconsistente Anotada de 4 Valores, que permite efetuar tratamentos de sinais inconsistentes, indeterminado ou indefinidos. A análise de sinais utilizando a LPA4v permite que vários problemas ocasionados por situações contraditórias, imprecisas ou indefinidas possam ser tratados de maneira a detectar a falta ou a falha mais próxima de sua realidade, além de analisar o comportamento dos especialistas no decorrer do tempo. Este método deu origem ao algoritmo denominado “Para- Especialista” implementado no RI.

Esse IT está dividido nas seguintes seções: A seção 2 apresenta o desenvolvimento e a implementação do relé inteligente multifunção; A seção 3 mostra a simulação em tempo real e análise dos resultados; A seção 4 apresenta as conclusões obtidas do RI.

## 2.0 - METODOLOGIA PARA O DESENVOLVIMENTO E A IMPLEMENTAÇÃO DO RELÉ INTELIGENTE MULTIFUNÇÃO

### 2.1 A Lógica Paraconsistente Anotada (LPA)

O RI – LPA4v tem como princípio de funcionamento uma lógica não clássica chamada de Lógica Paraconsistente Anotada (LPA). Que trata contradições, indefinições e imprecisões de dados ou sinais, oriundos de uma mesma fonte ou de fontes diferentes, solucionando essas inconsistências. Pois, para cada proposição, que são as sentenças simbólicas que definem algo como verdadeiro ou falso, são associados dois graus, o grau de

evidência favorável ( $\mu$ ) e o grau de evidência desfavorável ( $\lambda$ ). A análise dos graus produz uma saída denominada estado lógico resultante.

### 2.1.1 Algoritmos da LPA4v lógica

Os algoritmos da Lógica Paraconsistente de 4 Valores estão fundamentados nos Nós de Análise Paraconsistente (NAP). Esses quando interligados compõem a rede neural paraconsistente de análise de tomada de decisão.

Os NAP's são algoritmos extraídos da Lógica Paraconsistente e formam as redes de análise paraconsistente, constituindo o tratamento do evento de ilhamento. Com as suas entradas sendo alimentadas pelos Graus de Evidências retirados de base de dados de conhecimento incerto, os NAP utilizam as equações obtidas da metodologia da LPA e obtêm os resultados finais na forma de Graus de Certeza Real ( $G_{CR}$ ). Esses valores de  $G_{CR}$  podem ser normalizados transformando-se em Grau de Evidência resultante.

A normalização de valores de graus de evidência favorável e desfavorável nos algoritmos da LPA produz na saída do NAP um grau de evidência resultante  $\mu_{ER}$  e um valor de Intervalo de Evidência  $\phi_E$ , ambos pertencentes ao conjunto dos números reais  $[0,1]$ . A representação simbólica de um NAP é exibida na Figura 1.

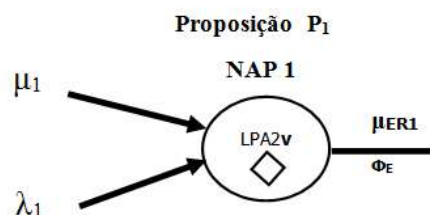


FIGURA 1 - Representação de um NAP – Nó de Análises Paraconsistente.

No NAP o valor do Grau de Evidência de Saída  $\mu_{ER}$  representa o valor da evidência resultante a respeito da Proposição Analisada, e o Intervalo de Evidência  $\phi_E$  informa o quanto o valor do sinal de evidência obtido pode variar, com o mesmo Grau de contradição apresentado pelas informações de evidência aplicadas nas entradas [10][11].

A finalidade do algoritmo do NAP é analisar os valores dos graus de *evidência favorável* e de *evidência desfavorável* conforme a Lógica Paraconsistente Anotada de anotação com dois valores (LPA2v).

O Algoritmo básico de um NAP descrito a seguir:

#### 1. Entre com os valores de Entrada

$\mu$  Grau de evidência favorável  $[0,1]$

$\lambda$  Grau de evidência desfavorável  $[0,1]$

#### 2. Calcule o Grau de Contradição normalizado

$$\mu_{ctr} = \frac{\mu + \lambda}{2}$$

#### 3. Calcule o Intervalo de Evidência resultante

$$\phi_E = 1 - |2\mu_{ctr} - 1|$$

#### 4. Determine o sinal da Saída

Se  $\phi_E \leq 0,25$  então faça:  $S1=0,5$  e  $S2=\phi_E(\pm)$  e vá para o item 12

Senão vá para o próximo item

#### 5. Calcule o Grau de Certeza

$$G_c = \mu - \lambda$$

**6. Calcule o Grau de Contradição**

$$G_{ct} = (\mu + \lambda) - 1$$

**7. Calcule a distância D**

$$D = \sqrt{(1 - |G_c|)^2 + G_{ct}^2}$$

**8. Determine o Grau de Certeza real**

$$\text{Se } G_c > 0 \text{ então faça: } G_{CR} = (1 - D)$$

$$\text{Se } G_c < 0 \text{ então faça: } G_{CR} = (D - 1)$$

**9. Calcule o Grau de Evidência resultante real**

$$\mu_{ER} = \frac{G_{CR} + 1}{2}$$

**10. Determine a sinalização do Intervalo de Evidência resultante**

$$\text{Se } \mu_{cr} < 0,5 \text{ então faça: } \varphi = \varphi_{E_{\text{li}}} \quad \# \text{ Sinalize negativo}$$

$$\text{Se } \mu_{cr} > 0,5 \text{ então faça: } \varphi = \varphi_{E_{\text{li}}} \quad \# \text{ Sinalize positivo}$$

$$\text{Se } \mu_{cr} = 0,5 \text{ então faça: } \varphi = \varphi_{E(0)} \quad \# \text{ Sinalize zero}$$

**11. Apresente os resultados na saída**

$$\text{Faça: } S1 = \mu_{ER} \text{ e } S2 = \varphi_{E(\pm)}$$

**12. Fim**

Se o sistema perceber um alto grau de informações contraditórias ou inconsistentes poderá solicitar mais informações através de seus especialistas que vão analisar as evidências através dos graus de especialidades (e), o grau de especialidade máximo ( $e_{\text{máx}} = 1$ ) e o grau de especialidade mínimo ( $e_{\text{mín}} = 0$ ) conhecido como neófito. Os especialistas tem o papel de tomada de decisão de forma coerente com o mínimo de indecisão ou desconhecimento de causa.

O grau de especialidade mínimo ( $e_{\text{mín}}$ ) neófito devido sua inexperiência, adquiri a experiência à medida que a variável tempo (t) transcorre. Desta forma, sua especialidade aumenta para assim, definir dois estados lógicos Verdadeiro ou Falso. Essa análise pode ser feita para qualquer nível de especialidade. A quarta dimensão “tempo” permiti visualizar o comportamento dos especialistas nas tomadas de decisão do sistema tornando o extremamente sensível. Portanto, a Lógica Paraconsistente Anotada de 4 Valores é representada pela quádrupla ( $\mu, \lambda, e, t$ ).

Através do processo de treinamento, conforme a configuração do alimentador de distribuição, os eventos de ilhamento e de falha são simulados em tempo real. Durante as simulações, as medições de tensão e corrente no ponto de acoplamento comum (PCC) da DG são capturados e armazenados para serem analisados pelo sistema chamado de Nó de Análise Paraconsistente (NAP). Com base nos dados obtidos, os recursos possuem padrões ou características de variação que durante as condições de ilhamento e falha são calculadas, como por exemplo a frequência, taxa de mudança de frequência, potências ativa e reativa. Após os dados serem processados a lógica proposta é utilizada para encontrar as melhores características com altos índices de confiança e segurança que serão incorporadas no relé inteligente (RI).

## 2.2 A Extração das Características

As principais características selecionadas no PCC da DG são utilizadas para formar os modelos de tomada de decisão conforme a Tabela 1, onde pode-se notar vinte e sete parâmetros associados a grandezas medidas e/ou calculadas, as quais são utilizadas pelo algoritmo extrator a fim de serem utilizadas pela rede de neural paraconsistente.

TABELA 1 – Parâmetros de entrada do extrator de características.

Parâmetro	Variável	Descrição	Dimensão
-----------	----------	-----------	----------

$X_1$	$F$	Frequência	Hz
$X_2$	$\Delta F$	Desvio de frequência	Hz
$X_3$	$dF/dt$	ROCOF	Hz/s
$X_4$	$V$	Tensão	pu
$X_5$	$\Delta V$	Desvio de tensão	pu
$X_6$	$dV/dt$	ROCOV	pu/s
$X_7$	$I$	Corrente	pu
$X_8$	$\Delta I$	Desvio de corrente	pu
$X_9$	$dI/dt$	Taxa de mudança da corrente	pu/s
$X_{10}$	$P$	Potência ativa de saída	pu
$X_{11}$	$\Delta P$	Desvio da potência ativa de saída	pu
$X_{12}$	$dP/dt$	Taxa de mudança da potência ativa de saída	pu/s
$X_{13}$	$Q$	Potência reativa de saída	pu
$X_{14}$	$\Delta Q$	Desvio da potência reativa de saída	pu
$X_{15}$	$dQ/dt$	Taxa de mudança da potência reativa de saída	pu/s
$X_{16}$	$\cos \phi$	Fator de potência	
$X_{17}$	$\Delta \cos \phi$	Desvio do fator de potência	
$X_{18}$	$d \cos \phi / dt$	Taxa de mudança de fator de potência	
$X_{19}$	$\varphi$	Ângulo de fase	rad.
$X_{20}$	$\Delta \varphi$	Desvio do ângulo de fase	rad.
$X_{21}$	$d\varphi/dt$	Taxa de mudança do ângulo de fase	rad./s
$X_{22}$	$V_{THD}$	Distorção total harmônica da tensão	
$X_{23}$	$\Delta V_{THD}$	Desvio da distorção total harmônica da tensão	
$X_{24}$	$d V_{THD} / dt$	Taxa de mudança da distorção harmônica total da tensão	
$X_{25}$	$I_{THD}$	Distorção total harmônica da corrente	
$X_{26}$	$\Delta I_{THD}$	Desvio da distorção total harmônica da corrente	
$X_{27}$	$d I_{THD} / dt$	Taxa de mudança da distorção harmônica total da corrente	

### 2.3 A Função de Detecção de Ilhamento

Na função de detecção de ilhamento, a lógica do relé é treinada a partir de inúmeros cenários de carregamento do sistema, a fim de cobrir diferentes condições do sistema e minimizar sua zona de não detecção pela escolha das melhores características. Os eventos de abertura dos disjuntores e falhas também podem ser reconhecidos pela função de ilhamento. Além disso, a função de detecção de ilhamento também pode evitar o desarme indevido, já que todos os eventos possíveis que não sejam de ilhamento, como redução de carga, aumento de carga, o chaveamento de capacitores, fazem parte dos cenários de treinamento. Portanto, a lógica de detecção de ilhamento é construída com informações suficientes para distinguir as condições de ilhamento e não ilhamento.

### 2.4 A Função Detecção de Falta e Funções de Reconhecimento do Tipo de Falta

Esta função detecta todos os tipos de falhas simétricas e assimétricas dentro de suas zonas de proteção empregando diferentes combinações de recursos/parâmetros da DG. Através da Rede de Análise Paraconsistente (NAP) que fornece a informação segura sobre quais as proposições com maior ou menor grau de contradição. Com essas informações o sistema tem condições de tomar decisões mais confiáveis, além de ter os valores para atuar no controle dos sinais de entrada, enfraquecendo ou fortalecendo evidências para diminuir as contradições para produzir um sistema de decisão robusto e capaz de trazer resultado com alto grau de confiabilidade.

Essa função é capaz de identificar quatro tipos de falhas: falha linha-terra (LG), falha linha-linha (LL), falha trifásica de fase (LLL) e falha linha a terra linha a terra (LLG). Além disso, para faltas à terra, as faltas de impedâncias variáveis são consideradas no período de treinamento do relé proposto para melhorar a adaptabilidade da função de detecção de falhas.

## 2.5 A Função de bloqueio seletivo de FRT

A função de bloqueio seletivo de falha proposta é obtida por meio da análise da NAP, usando as informações obtidas pelas funções de detecção de ilhamento, falhas e reconhecimento do tipo de falha se dará o bloqueio.

A Figura 2 mostra o diagrama funcional do RI – LPA4v proposto. Indicando para eventos de ilhamento, faltas, bloqueio e identificador de faltas. A lógica de falha é supervisionada pela lógica de bloqueio seletivo através de uma lógica E.

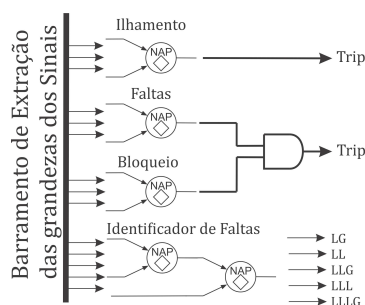


FIGURA 2 - Representação de um NAP – Nó de Análises Paraconsistente.

## 3.0 - SIMULAÇÃO EM TEMPO REAL E ANÁLISE DOS RESULTADOS

A fim de avaliar o desempenho RI-LPA4v foram simuladas em tempo real no equipamento Typhoon-HIL a rede de teste do IEEE 34 barras com duas situações de ilhamento, através da abertura da linha que interliga as barras 800 e 802 (Ilhamento 1) e a linha entre 830 e 854. (Ilhamento 2) conforme mostra a Figura 3, onde cada uma das GD's possuía um RI-LPA4v. Foram consideradas duas condições de carga, 100% e 50%. Na primeira a carga do sistema é igual à carga do sistema teste original IEEE 34 barras, na segunda a carga é reduzida em 50%. Os testes também compreenderam dois níveis de penetração da geração distribuída: 2,5 MW e 1,0 MW, resultando assim em oito situações diferentes. Dessas oito simulações foram incorporadas as faltas nas barras 802, 830, 852 e 842 e também foram consideradas duas impedâncias de falta, de 0  $\Omega$  e 60  $\Omega$ , duas condições de carga, 50% e 100% e no dois níveis de penetração da geração distribuída. Sendo um total de 2160 casos simulados dos quais 50 % foram utilizados para o treinamento da rede neural paraconsistente e os 50% restantes foram utilizados para o reconhecimento dos padrões de ilhamento, faltas, tipos de faltas e bloqueio seletivo.

10 a 13 de novembro de 2019  
Belo Horizonte - MG

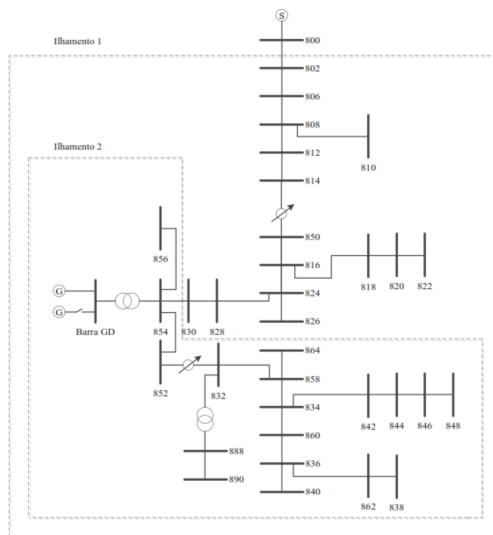


FIGURA 3 - Ilhamentos testados no sistema teste IEEE 34 barras [6].

Na Figura 4 pode-se notar que o ambiente de simulação em tempo real é realizado no equipamento Typhoon-HIL, o qual serve de acoplamento para o controle real do Relé Inteligente utilizado no sistema teste IEEE 34 barras.

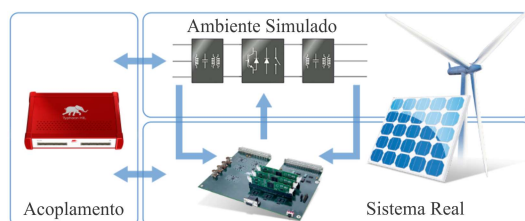
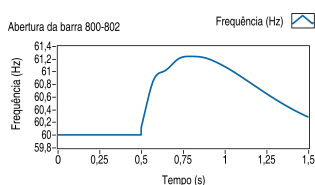
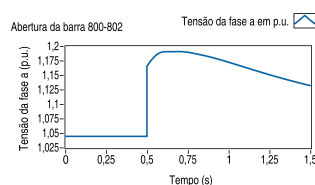


FIGURA 4 - Diagrama de funcionamento do sistema em tempo real.

As formas de onda apresentadas na Figura 5 caracterizam duas situações. A primeira situação, representada pelas Figuras 5a e 5b, demonstram a frequência e a tensão de linha da fase "a" quando a barra 802 é aberta, respectivamente. Esses sinais foram extraídos da barra DG, que por sua vez, demonstra a capacidade de penetração do RI-LPA4v. A segunda situação, exibida pelas Figuras 5c e 5d, demonstram a frequência e a tensão de linha da fase "a" Quando ocorre um curto-circuito monofásico LG na barra 802, onde é possível ver a capacidade de penetração do RI.



(a)



(b)





FIGURA 5 - Características dos Sinais Extraídos na Barra GD. (a) Característica da frequência durante a abertura da barra 802; (b) Característica da tensão de linha da fase “a” durante a abertura da barra 802; (c) Característica da frequência durante a curto-circuito monofásico LG na barra 802; (d) Característica da tensão de linha da fase “a” durante a curto-circuito monofásico LG na barra 802;

Uma Rede Neural Paraconsistente (RNP) foi desenvolvida com base no algoritmo Para-especialista NAP. O algoritmo formado por 52 NAP's é capaz de analisar a condição de ilhamento baseada na classificação dos desvio e o grau de pertinência de cada um dos desvios. Esses graus de pertinência foram divididos em 3 grandes grupos, o que relaciona tensão, corrente e frequência, o que relaciona as potências com o  $\cos(\varphi)$  e o que relaciona o ângulo com as THD's (tensão e corrente). A Figura 6 apresenta a rede neural paraconsistente. Cabe ressaltar, que mais 3 algoritmos foram construídos a fim de completar as funções do RI. Nesse trabalho apenas é demonstrado o algoritmo principal. Portanto, os eventos de faltas, bloqueio e identificador de faltas não são exibidos, mas para o funcionamento foram incorporados do controlador.

Após o treinamento da rede neural paraconsistente, com base na lógica proposta, são apresentados os seguintes resultados na Figura 7, onde pode-se notar as comparações de desempenho entre o relé inteligente proposto e a atuação dos relés ROCOF e ROCOV. Na Figura 7a compara o RI-LPA4v com o relé ROCOF na DG1 com os ajustes de 0,1 Hz/s e 0,25 Hz/s mediante a variação da potência ativa dada em p.u., nota-se que o resultado do RI em qualquer variação da potência ativa corresponde a 100 % dos acertos. Na Figura 7b a comparação o RI-LPA4v com o relé ROCOV na DG1 com os ajustes de 0,07 V/s e 0,1 V/s mediante a variação da potência reativa dada em p.u., nota-se que o resultado do RI em qualquer variação da potência reativa corresponde a 100 % dos acertos. Na Figura 7c compara o RI-LPA4v com o relé ROCOF na DG2 com os ajustes de 0,1 Hz/s e 0,25 Hz/s mediante a variação da potência ativa dada em p.u., nota-se que o resultado do RI em qualquer variação da potência ativa corresponde a 100 % dos acertos. Na Figura 7d a comparação o RI-LPA4v com o relé ROCOV na DG2 com os ajustes de 0,07 V/s e 0,1 V/s mediante a variação da potência reativa dada em p.u., nota-se que o resultado do RI em qualquer variação da potência reativa corresponde a 100 % dos acertos. A consolidação da comparação do Relé Inteligente Multifuncional com o relé ROCOF é exibida na Figura 7e e finalizando, a Figura 7f revela a comparação consolidada entre o RI-LPA4v com o relé ROCOF onde a taxa de confiabilidade foi de 100 %.



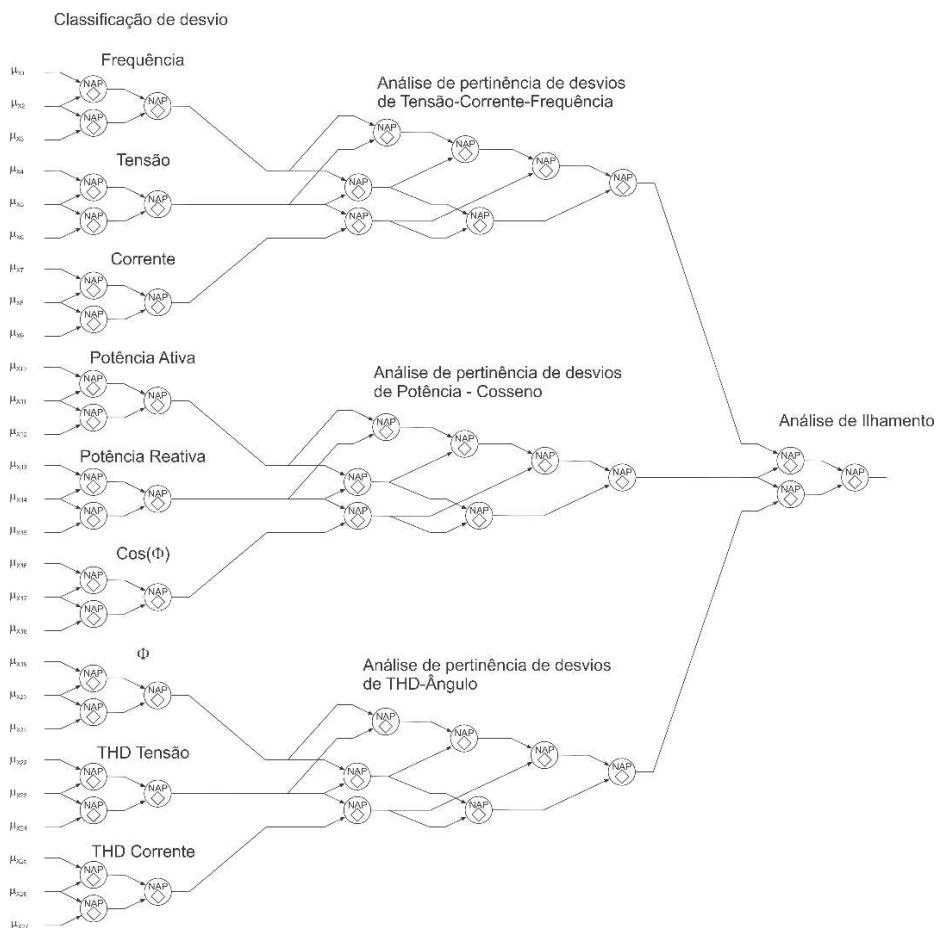
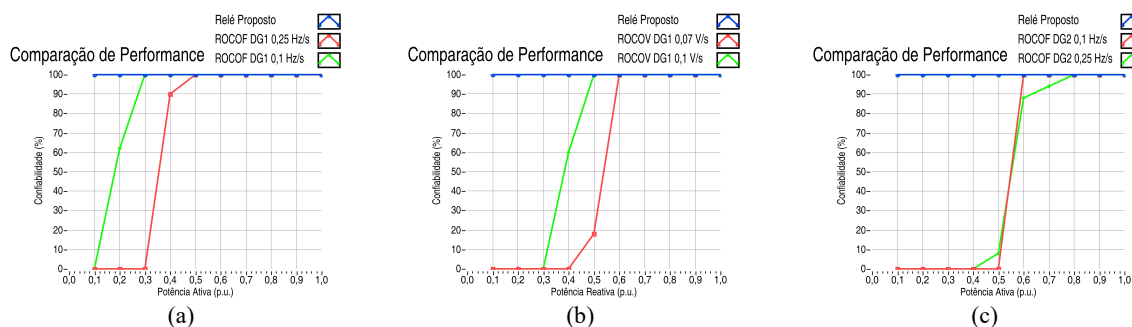


FIGURA 6 - Diagrama da Rede Neural Paraconsistente aplicada no reconhecimento de ilhamento.



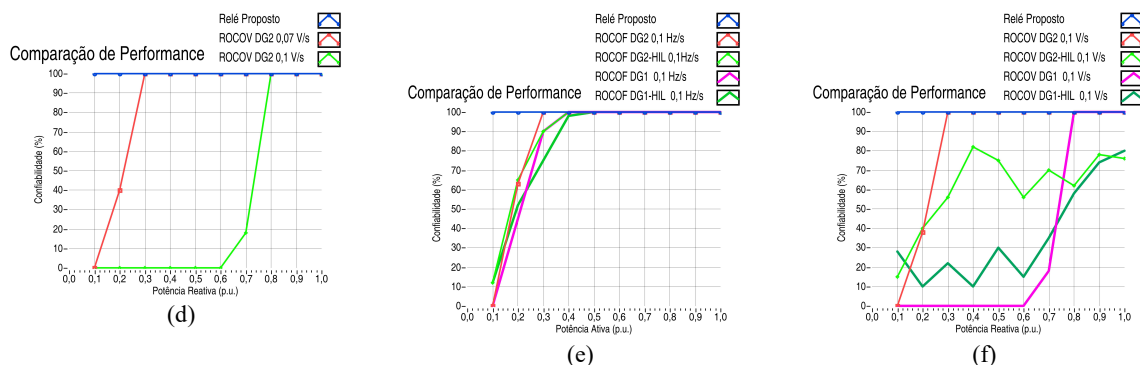


FIGURA 7 - Comparação de desempenho do relé proposto. (a) Comparação do RI-LPA4v com o relé ROCOF na DG1; (b) Comparação do RI-LPA4v com o relé ROCOV na DG1; (c) Comparação do RI-LPA4v com o relé ROCOF na DG2; (b) Comparação do RI-LPA4v com o relé ROCOV na DG2; (e) Comparação do RI-LPA4v com o relé ROCOF na DG1 e DG2; (f) Comparação do RI-LPA4v com o relé ROCOV na DG1 e DG2.

#### 4.0 – CONCLUSÃO

O relé RI-LPA4v se mostrou eficiente quando comparado a métodos de reconhecimento de ilhamento tradicional ROCOF e ROCOV. É observado que os relé ROCOF e ROCOV falharam no reconhecimento de ilhamento sempre que a potência ativa ou reativa eram baixas, na ordem de 0,1 a 0,5 p.u.. O relé RI-LPA4v em qualquer operação de potência respondeu de forma bastante relevante, pois obteve 100% dos acertos. Devido a natureza do NAP a velocidade de processamento de reconhecimento de ilhamento e faltas é rápida, da ordem de 10,3 a 45,8 %. Outra é que o custo computacional do algoritmo é muito baixo, pois envolvem operações matemáticas simples podendo ser aplicados em processadores digitais de sinal.

#### 5.0 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) KHAMIS, A.; SHAREEF, H.; BIZKEVELCI, E. and KHATIB, T. "A Review of islanding Detection Techniques for Renewable Distributed Generation Systems", *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 28, pp. 483–493, 2013
- (2) REIGOSA, D. et al. "Active Islanding Detection Using High-Frequency Signal Injection", *IEEE Trans. Ind. Appl.*, vol. 48, no. 5, pp. 1588–1597, 2012.
- (3) LAGHARI, J. et al. "Computational Intelligence based techniques for islanding detection of distributed network: A review", *Energy conversion and Management*, Elsevier, v. 88. P. 139 – 152, 2014.
- (4) de CARVALHO, M. S. C., "A Análise de Técnicas de Detecção de Ilhamento Ativas em Sistemas de Geração Distribuída Baseados em Inversores Fonte de Tensão", Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica e Área de Concentração em Sistemas Dinâmicos – Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2017.
- (5) BITTENCOURT, A. A. "Proteção adaptativa de alimentadores de distribuição de energia elétrica considerando a geração distribuída". Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2011.
- (6) MARCHESAN, G. "Detecção de ilhamento em sistemas de distribuição com geração síncrona distribuída". 2016. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, 2016.

(7) MENON, V.; NEHRIR, M. H. "A hybrid islanding detection technique using voltage unbalance and frequency set point". *IEEE Transactions on Power Systems*, [S.l.], v.22, n.1, p.442–448, 2007.67.

(8) LAGHARI, J.; MOKHLIS, H.; KARIMI, M.; BAKAR, A.; MOHAMAD, H. "An islanding detection strategy for distribution network connected with hybrid DG resources". *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, [S.l.], v.45, p.662–676, 2015.

(9) da SILVA FILHO, J. I. "Algorithms based on paraconsistent annotated logic for applications in expert systems". In: Segura JM, Reiter AC (eds) *Expert system software: engineering, advantages and applications*. Nova Science Publishers, Hauppauge. ISBN 978-1-61209-114-3. 2011.

(10) da SILVA FILHO, J. I.; ABE J. M.; TORRES, G. L. "Inteligência Artificial com Redes de Análise Paraconsistentes" editora LTC, Rio de Janeiro, 2008.

(11) MARTINS, H. G.; TORRES, G. L.; POTIN, L. F. "A Lógica Paraconsistente Anotada". Editora Comunicar, Santos, 2007.

(12) KAR, S. and SAMANTARAY, S. R. "Data-mining-based intelligent anti-islanding protection relay for distributed generations," in *IET Generation, Transmission & Distribution*, vol. 8, no. 4, pp. 629-639, April 2014. doi: 10.1049/iet-gtd.2013.0494

## 6.0 - DADOS BIOGRÁFICOS



M.Sc. Viviane Barrozo S. D. Ricciotti, possui graduação em Licenciatura Plena Em Física pela Universidade Federal do Paraná (1997), graduação em Engenharia Elétrica pela Fundação Empresa Escola de Engenharia da UFRGS (2008), graduação em Licenciatura Plena Em Matemática pela Universidade Paranaense (1995) e mestrado em Física pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (2001). Doutoranda pela UFSM. Atualmente é professor da Universidade Federal de Rondônia. Tem experiência na área de Engenharia Elétrica, com ênfase em Máquinas Elétricas e Dispositivos de Potência, atuando principalmente nos seguintes temas: eletromagnetismo, energias renováveis e linhas de transmissão.

Dr. Antonio Carlos Duarte Ricciotti Engenheiro eletricista (1988 -FEI), M.Sc. em (2006-UFU ) em Engenharia automática e biomédica. Dr. (2017) em Eletrônica de Potência

10 a 13 de novembro de 2019  
Belo Horizonte - MG



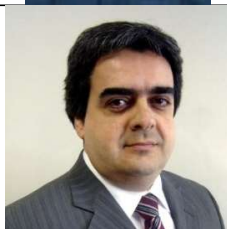
pela Universidade Federal de Santa Maria (UFSM). Atualmente é professor da Universidade Federal de Rondônia. Tem experiência na área de Engenharia Elétrica, com ênfase em eletrônica de potência, energia renovável. Controle e automação



Dr. Júlio Sancho Linhares Teixeira Militão possui graduação em Bacharelado Em Química pela Universidade de Fortaleza (1981), mestrado em Química pela Universidade Federal do Ceará (1988) e doutorado em Química pela Universidade Federal do Ceará (1995), com pós-doutoramento na Université de Nice - França. Coordenador do Grupo de Pesquisa em Tecnologia e Inovação, que atua no desenvolvimento de projetos de P&D em parceria com concessionárias de energia elétrica, como a Termonorte, Eletronorte, Ceron, Grupo Gera, BrookField e EDF-NF, nas áreas de biocombustíveis, inversores e turbinas hidráulicas, além da síntese de materiais com propriedades magnéticas.



Dr. Ghendy Cardoso Júnior, possui graduação em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Santa Maria (1995), mestrado em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal do Pará (1997) e doutorado em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Santa Catarina (2003). Atualmente é professor Associado IV da Universidade Federal de Santa Maria. Tem experiência na área de Engenharia Elétrica, com ênfase em Diagnóstico de Falhas, atuando principalmente nos seguintes temas: fluxo de carga, curto-circuito, proteção de sistemas elétricos, estabilidade, inteligência artificial aplicada em sistemas de potência.



Eng. Pierre Teixeira Rodrigues Possui graduação em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal Fluminense (1994). Dezesesseis anos de experiência no setor elétrico desenvolvendo projetos nas áreas de eficiência energética, atuação como instrutor em cursos de especialização no tema eficiência energética, gerenciamento e desenvolvimento de projetos de pesquisa e desenvolvimento em empresas de geração, transmissão e distribuição de energia, gerenciamento de projetos sobre fontes renováveis de energia elétrica e coordenação da execução de instalações elétricas comerciais e industriais. Espírito empreendedor, dinamismo e histórico de sucesso no desenvolvimento e gestão de projetos ligados ao setor elétrico. É sócio Gerente da empresa Jordão Engenharia.



Eng. Pedro José Dos Santos Júnior Engenheiro Mecânico com 30 anos de experiência em indústria petroquímica, bebidas e geração de energia elétrica de grande porte, como NEOENERGIA, ENEL, PETROBRAS, GERAMARANHÃO e AMBEV. Carreira desenvolvida em Manutenção & Operação, na área de Engenharia, com foco na redução de custos e otimização dos processos. Experiência em start ups da área de Engenharia e Manutenção. Competência no mapeamento de processos, pessoas e recursos das áreas de segurança, meio ambiente, manutenção e operação de hidrelétricas, PCHs e termelétricas ciclo combinado a gás e motores HFO/Diesel. Concepção e implementação do Planejamento Estratégico para padronização das áreas de Engenharia e Manutenção de mais de 30 usinas geradoras de energia elétrica.



Eng. Marcelo Luiz De Carvalho Ribeiro Diretor Técnico da empresa Gera Maranhão - Geradora de Energia do Maranhão S/A.