

Método de Detecção de Ilhamento baseado em Filtro Notch e Morfologia Matemática

Ana Carolina de Azevedo Aragão Viana
Centro de Inovação em Inteligência Artificial e Automação
Universidade Federal de Lavras
Lavras, Brasil
ana.viana2@estudante.ufla.br

Augusto Santiago Cerqueira
Núcleo de Instrumentação e Processamento de Sinais
Universidade Federal de Juiz de Fora
Juiz de Fora, Brasil
augusto.santiago@ufjf.edu.br

Robson Rosserrani de Lima
Núcleo de Instrumentação e Processamento de Sinais
Universidade Federal de Juiz de Fora
Juiz de Fora, Brasil
robson.lima@engenharia.ufjf.br

Danton Diego Ferreira
Centro de Inovação em Inteligência Artificial e Automação
Universidade Federal de Lavras
Lavras, Brasil
danton@ufla.br

Resumo—Este artigo propõe um método eficiente para a detecção de ilhamento em sistemas de geração distribuída, com foco em sinais trifásicos provenientes do ponto comum de acoplamento (PCC). A metodologia desenvolvida combina a aplicação de um filtro notch, utilizado para suprimir a componente fundamental da rede elétrica (60 Hz), com técnicas de morfologia matemática, visando evidenciar transientes característicos do ilhamento. Após a filtragem, operações morfológicas de abertura e fechamento são empregadas para realçar as deformações no sinal, que servem como indicadores da ocorrência do fenômeno. O valor máximo dos sinais resultantes da morfologia matemática é utilizado como métrica discriminante entre as condições de operação normal e de ilhamento. Resultados obtidos por meio de simulações demonstraram 100% de acurácia na identificação de ilhamento em todas as condições testadas, mesmo sob ruído de até 50 dB, evidenciando a robustez e a eficiência da abordagem proposta, evidenciando sua capacidade de diferenciar de forma clara os estados analisados, mesmo na presença de ruído. O método apresentado se destaca por sua simplicidade computacional, robustez frente a distúrbios e potencial de implementação embarcada em dispositivos de monitoramento em tempo real.

Palavras-chave: detecção de ilhamento, filtro notch, morfologia matemática, geração distribuída, processamento de sinais.

I. INTRODUÇÃO

A crescente inserção de sistemas de geração distribuída (GD) nas redes elétricas, especialmente a partir de fontes renováveis como a solar e a eólica, tem proporcionado diversos benefícios, tais como a diversificação da matriz energética, a redução de perdas na transmissão e o aumento da sustentabilidade. No entanto, conforme apontado por Sarhan (2023) em [1] e Reddy e Choi (2024) em [2], essa nova configuração também impõe desafios técnicos relevantes, sendo o ilhamento não intencional um dos mais críticos. Esse fenômeno ocorre quando uma porção da rede elétrica permanece em operação isolada, sustentada por unidades de GD, mesmo após a desconexão do sistema principal. Segundo Jalil et al. (2023) em [3] e Bharti et al. (2024) em [4], tal condição representa um risco

à segurança de equipamentos, à integridade dos operadores e à estabilidade geral do sistema elétrico, exigindo métodos de detecção eficazes e confiáveis.

Detectar de forma rápida e precisa o ilhamento é, portanto, uma exigência crítica para a operação segura de sistemas com geração distribuída. Diversos métodos, como os abordados em [5], [6] e [7], têm sido propostos na literatura, classificados geralmente como passivos, ativos ou híbridos. Os métodos passivos, por exemplo, baseiam-se na análise de grandezas elétricas medidas no ponto comum de acoplamento (PCC), sendo atraentes por sua simplicidade e baixo custo de implementação. No entanto, sua eficácia pode ser limitada em regiões de não detecção (NDZ – Non-Detection Zones), nas quais o ilhamento apresenta características similares às condições normais de operação.

Neste contexto, este trabalho propõe um método passivo de detecção de ilhamento baseado na aplicação combinada de filtro notch e morfologia matemática, com o objetivo de superar limitações observadas em abordagens convencionais. O filtro notch é empregado para eliminar a componente fundamental de 60 Hz do sinal de tensão no PCC, permitindo que componentes transitórias e harmônicas de interesse sejam realçadas. Em seguida, técnicas de morfologia matemática — particularmente as operações de abertura e fechamento — são aplicadas aos sinais filtrados, com o intuito de destacar padrões característicos associados ao ilhamento. A métrica final utilizada para tomada de decisão é o valor máximo dos sinais resultantes da morfologia matemática, permitindo uma distinção clara entre as condições de operação nominal do sistema e de ilhamento.

O artigo contribui com a proposição de um método computacionalmente simples que alcançou 100% de acerto na detecção de ilhamento e demais distúrbios simulados, mesmo em cenários com ruído significativo e variações de carga. Esses resultados destacam o potencial da abordagem para

aplicação embarcada em tempo real. A inovação está no uso combinado de um filtro notch de segunda ordem e operações de morfologia matemática.

O restante deste artigo está organizado da seguinte forma: a Seção 2 apresenta os fundamentos teóricos do método proposto; a Seção 3 descreve o procedimento de pré-processamento dos sinais e as técnicas aplicadas; a Seção 4 discute os resultados obtidos; e a Seção 5 apresenta as conclusões e perspectivas para trabalhos futuros.

II. REFERENCIAL TEÓRICO

A. Ilhamento em Sistemas de Geração Distribuída

O ilhamento é uma condição anômala caracterizada pela continuidade do fornecimento de energia por uma unidade de geração distribuída (GD) a uma parte da rede elétrica, mesmo após a desconexão do sistema principal da concessionária. Essa condição pode ocorrer de forma intencional ou não intencional, sendo esta última especialmente preocupante sob a ótica da segurança operacional e da estabilidade do sistema. Durante o ilhamento não intencional, os inversores das fontes distribuídas podem manter os níveis de tensão e frequência dentro de limites aceitáveis por um curto intervalo de tempo, o que dificulta a atuação dos métodos convencionais de proteção. Essa situação implica riscos consideráveis, como danos a equipamentos, comprometimento da segurança dos operadores e descumprimento de normas técnicas vigentes, conforme discutido na literatura especializada [8].

Diversos métodos têm sido propostos para detectar a condição de ilhamento, os quais podem ser agrupados em três categorias principais:

- **Métodos passivos:** segundo Moradzadeh e Islam [5], esses métodos baseiam-se na medição de grandezas elétricas, como tensão, corrente e frequência, e na análise de desvios em relação a padrões normais. Apesar de sua simplicidade e fácil implementação, apresentam uma ampla zona de não detecção (NDZ), especialmente quando a geração e a carga estão balanceadas.
- **Métodos ativos:** conforme analisado por Karimi et al. [6], esses métodos introduzem deliberadamente perturbações no sistema — como desvio de frequência (Active Frequency Drift), variação de impedância ou injeção de corrente de sequência negativa — para provocar alterações observáveis no comportamento do sistema isolado. Tais estratégias são eficazes na redução da NDZ, embora possam comprometer a qualidade da energia fornecida.
- **Métodos híbridos:** de acordo com Gottapu et al. [7], os métodos híbridos combinam técnicas passivas e ativas, geralmente adotando uma fase de monitoramento contínuo seguida da aplicação de perturbações apenas quando uma condição suspeita é detectada. Essa abordagem visa equilibrar sensibilidade e confiabilidade, reduzindo a NDZ sem degradar a qualidade da energia.

Além dos métodos apresentados, outras abordagens têm sido exploradas, como o uso de técnicas baseadas em detecção por SMS e variação de fase [9], que visam reduzir a zona de

não detecção sem degradar a qualidade da energia. Estudo semelhante foi realizado por Lopes e Sun [10], os quais avaliaram a eficiência de técnicas de desvio ativo de frequência em sistemas conectados à rede.

Outros autores, como Finkel [11], discutem os impactos operacionais do ilhamento, destacando suas implicações na dinâmica da rede. Já Walling e Miller [12] abordam as consequências do ilhamento na performance de sistemas com GD distribuída.

Neste trabalho, adota-se uma abordagem passiva aprimorada, que busca aumentar a sensibilidade à ocorrência de ilhamento sem a introdução de perturbações.

B. Filtro Notch

O filtro notch (ou rejeitor de banda) é um tipo de filtro projetado para atenuar uma frequência específica, preservando as demais componentes do sinal. No contexto da detecção de ilhamento, a aplicação de um filtro notch com rejeição centrada em 60 Hz permite a remoção da componente fundamental da rede elétrica, evidenciando variações harmônicas e transitórias que podem indicar a ocorrência de ilhamento. A ausência da componente dominante facilita a identificação de mudanças sutis nos sinais elétricos, as quais, de outra forma, poderiam ser mascaradas. Além disso, do ponto de vista de reconhecimento de padrões, o componente de 60 Hz é uma informação redundante, pois está presente em todos os sinais, independente do fenômeno ocorrido.

De acordo com [13], a função de transferência de um filtro notch digital pode ser representada por:

$$H(z) = \frac{z^2 - 2\cos(\omega_0)z + 1}{z^2 - 2r\cos(\omega_0)z + r^2} \quad (1)$$

onde $z \in \mathbb{C}$ representa a variável complexa da transformada Z, utilizada para descrever o comportamento de sistemas no domínio da frequência discreta, ω_0 é a frequência angular a ser rejeitada e r é um parâmetro que controla a largura da banda de rejeição. A seleção adequada desses parâmetros permite uma rejeição seletiva da frequência desejada, minimizando distorções em outras regiões do espectro de frequência.

C. Morfologia Matemática

A morfologia matemática é uma técnica originada no processamento de imagens, como em [14], mas amplamente adaptada para o processamento de sinais unidimensionais. Seu princípio baseia-se na aplicação de operações com elementos estruturantes sobre os sinais, permitindo a extração de características morfológicas como picos, vales e transientes. As operações fundamentais são:

- **Erosão:** reduz os picos do sinal, sendo útil para eliminar pequenos ruídos.
- **Dilatação:** expande as regiões elevadas, realçando transientes.
- **Abertura:** consiste na erosão seguida de dilatação, útil para suavizar picos isolados.
- **Fechamento:** consiste na dilatação seguida de erosão, que preenche vales e suaviza depressões.

No presente trabalho, a morfologia matemática é aplicada aos sinais previamente filtrados pelo notch, com o objetivo de realçar transientes associados à transição entre o estado conectado à rede e o estado ilhado. A sequência de operações consiste na dilatação seguida de erosão (fechamento morfológico), aplicadas ao módulo da saída do filtro:

$$d_k = \text{imdilate}(|\Delta v_k|, s_k), \quad e_k = \text{imerode}(d_k, s_k) \quad (2)$$

onde:

- Δv_k : representa a variação de um sinal ou imagem na etapa k .
- $|\Delta v_k|$: é o módulo dessa variação, utilizado para destacar mudanças locais (como bordas ou movimento).
- s_k : é o **elemento estruturante**. Ele define a vizinhança usada nas operações.
- $\text{imdilate}(A, B)$: representa a operação de **dilatação morfológica** da imagem (ou matriz) A com o elemento estruturante B . Essa operação expande regiões com valores mais altos, conectando regiões próximas.
- $\text{imerode}(A, B)$: representa a operação de **erosão morfológica** da imagem A com o elemento estruturante B . Essa operação reduz ou contrai regiões com valores mais altos, removendo ruído e desconectando objetos.
- d_k : é o resultado da dilatação da imagem $|\Delta v_k|$ com o elemento estruturante s_k .
- e_k : é o resultado da erosão da imagem d_k com o mesmo elemento estruturante, correspondendo a uma **abertura morfológica**, útil para remover ruídos e preservar a estrutura principal da imagem.

O valor máximo do sinal resultante dessas operações é utilizado como métrica discriminante, aproveitando o fato de que o comportamento morfológico dos sinais se altera significativamente na presença de ilhamento.

Conforme mostrado em [8], a implementação das operações de dilatação e erosão aos sinais elétricos são reduzidas ao cálculo dos valores máximos e mínimos do sinal processado na vizinhança especificada pelo elemento estruturante e, portanto, não requerem custo computacional adicional.

III. METODOLOGIA

A. Conjunto de dados utilizado

Neste trabalho, utilizam-se dados originalmente simulados por Lima et al. [15], os quais representam sinais trifásicos de tensão no ponto de acoplamento comum (PAC) de uma planta fotovoltaica de 250 kW conectada à rede. O modelo considera três condições distintas de operação:

- Operação Nominal: sistema operando de forma estável e conectada à rede;
- Falta Linha-Linha: curto-circuito entre duas fases da rede durante 50 ms;
- Condição de Ilhamento: desconexão da carga local da rede, sendo alimentada apenas pela fonte fotovoltaica.

Cada uma dessas condições foi simulada sob nove diferentes perfis de carga, definidos com base nos limites da zona de

não detecção (ZND), conforme os critérios estabelecidos pelo IEEE Std 1547–2003. No total, o conjunto de dados é composto por 2700 sinais (900 sinais por condição, considerando as 3 fases).

A taxa de amostragem inicial dos sinais simulados era de 198 kHz; no entanto, visando maior realismo e redução do custo computacional, os sinais foram reamostrados para aproximadamente 254 amostras por ciclo, o que corresponde a uma redução de 13 vezes na taxa original. Além disso, as janelas de análise foram reduzidas para dois ciclos da componente fundamental (60 Hz), e o tempo de início dos distúrbios (ilhamento ou falta) foi aleatorizado dentro do intervalo de simulação, de modo a evitar viés temporal na extração de características. Por fim, os dados foram normalizados por escalonamento, dividindo-se os valores instantâneos pelo valor de pico nominal fase-terra, de aproximadamente 24 kV, a fim de padronizar a amplitude dos sinais.

B. Pré-processamento dos dados

Os dados estão organizados em três categorias principais: operação nominal (Figura 1), condição de falta (Figura 2) e ocorrência de ilhamento (Figura 3). Cada categoria inclui 100 sinais para as três fases do sistema. Além disso, foi utilizada Relação Sinal-Ruído (do inglês, *Signal-to-Noise Ratio*) (SNR) de 70 dB, 60 dB e 50 dB para a simulação dos sinais e validação do método, porém para fins de ilustração foi escolhido o conjunto de dados contendo SNR de 60 dB. Inicialmente, os sinais são separados por fase e por condição.

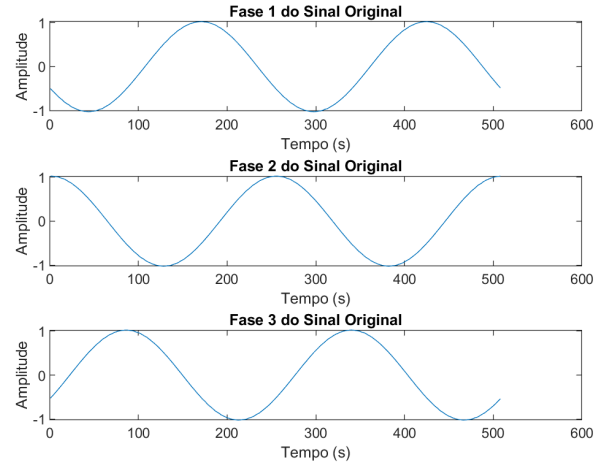


Figura 1. Três fases do sinal original em condição nominal.

Para isolar os eventos transitórios dos sinais, aplicou-se um filtro notch digital, com fator de qualidade ajustado por um parâmetro de profundidade (fatorNotch = 0.9), em torno da frequência de 60 Hz. Além disso, os sinais filtrados passaram por um corte inicial de 50 amostras para evitar os transientes da simulação. As Figuras 4, 5 e 6 mostram o sinal após o filtro notch ter sido aplicado para as condições nominal, falta e ilhamento, respectivamente.

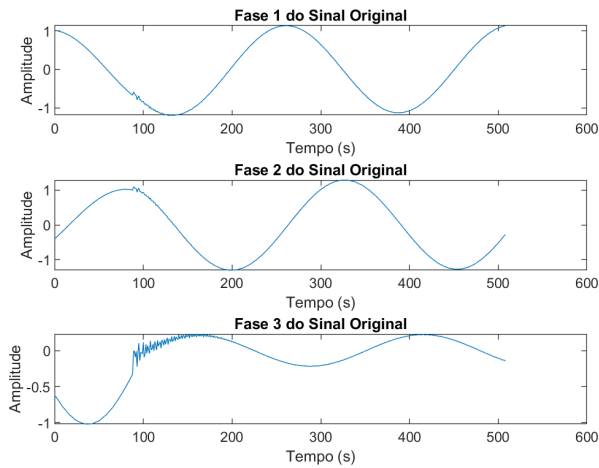


Figura 2. Três fases do sinal original em condição de falta.

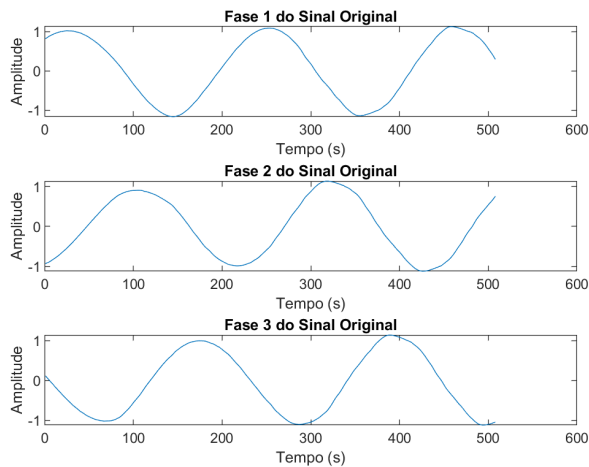


Figura 3. Três fases do sinal original em condição de ilhamento.

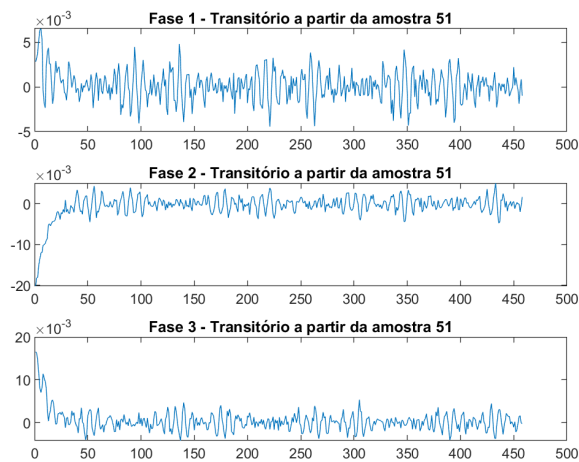


Figura 4. Resultado do filtro notch aplicado às três fases do sinal original em condição nominal.

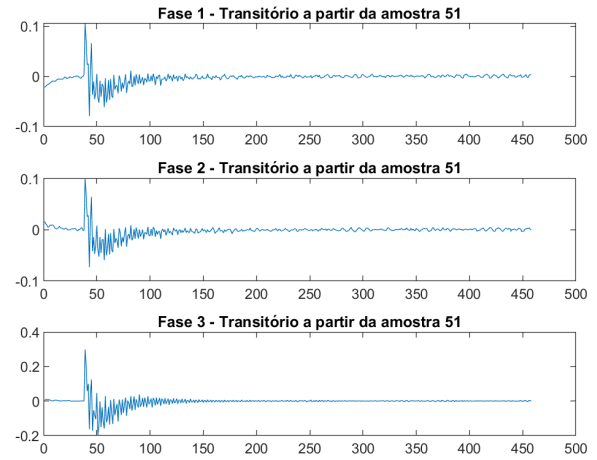


Figura 5. Resultado do filtro notch aplicado às três fases do sinal original em condição de falta.

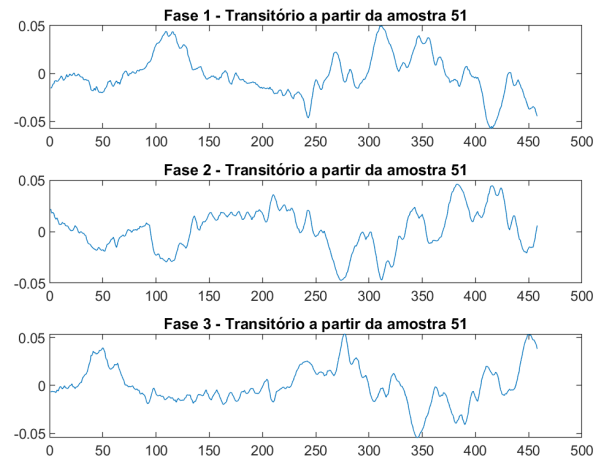


Figura 6. Resultado do filtro notch aplicado às três fases do sinal original em condição de ilhamento.

Para destacar os picos dos transitórios, foi aplicada a morfologia matemática utilizando uma sequência de dilatação e erosão sobre o sinal em módulo. O elemento estruturante foi ajustado com tamanho proporcional ao comprimento do sinal. As Figuras 7, 8 e 9 demonstram o efeito da morfologia sobre as saídas do filtro notch para as condições nominal, falta e ilhamento, respectivamente.

As três fases de cada instância de sinal resultante da morfologia matemática foram concatenadas, formando um vetor representativo do evento. Para eliminar o transitório de inicialização do filtro notch, as 25 primeiras amostras do sinal de saída da morfologia matemática foram descartadas. Em seguida, extraiu-se o valor máximo de cada vetor como característica discriminativa.

Com os valores máximos extraídos para cada condição (nominal, ilhamento e falta), foi possível observar uma separação clara e linear entre as classes utilizando um simples

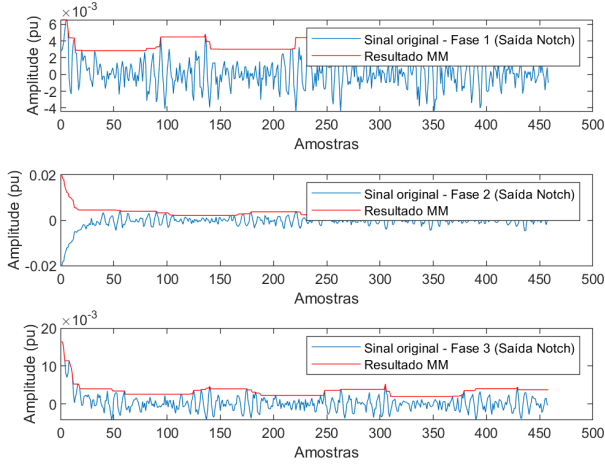


Figura 7. Resultado da morfologia matemática aplicada à saída do filtro notch da condição nominal.

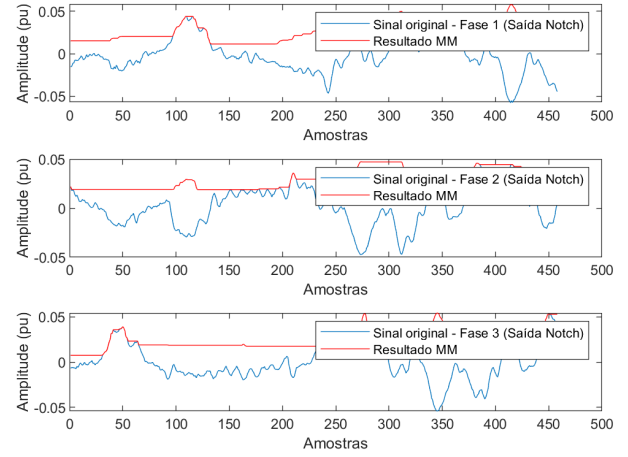


Figura 9. Resultado da morfologia matemática aplicada à saída do filtro notch da condição de ilhamento.

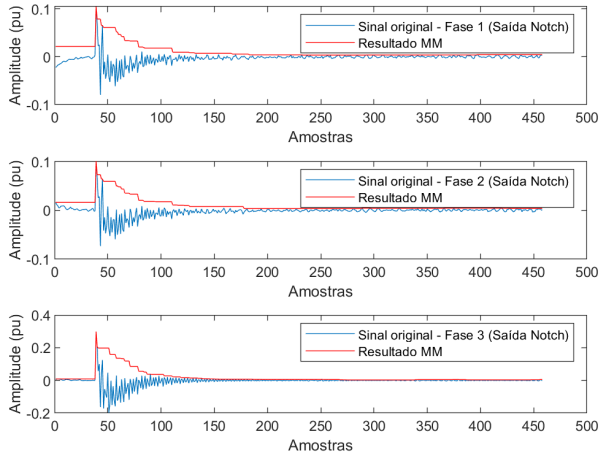


Figura 8. Resultado da morfologia matemática aplicada à saída do filtro notch da condição de falta.

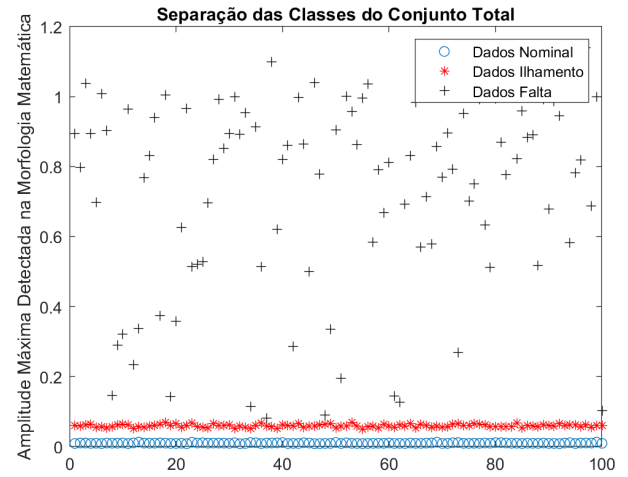


Figura 10. Resultado dos valores máximos extraídos para cada condição para o conjunto total de dados.

gráfico de dispersão, evidenciando o potencial da abordagem. A Figura 10 ilustra o gráfico de dispersão resultante dessa ação.

C. Avaliação do Método

A avaliação do desempenho do método proposto foi realizada por meio da separação do conjunto de dados em 70% para treinamento e 30% para teste. A partir do conjunto de treinamento, foram definidos os limiares de separação entre as classes com base na distribuição dos valores máximos obtidos após o processamento morfológico.

IV. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O gráfico de dispersão apresentado na Figura 11 evidencia uma separação clara entre as três condições de operação: nominal, falta e ilhamento. Essa separabilidade linear indica

que a métrica adotada — o valor máximo dos sinais morfolologicamente processados — é eficaz na diferenciação das condições.

Com os limiares definidos no conjunto de treino, a classificação foi aplicada ao conjunto de teste (vide Figura 12), e os resultados apresentados na matriz de confusão da Figura 13. A análise da matriz revela um desempenho promissor do método proposto, com taxas de 100% de acerto para todas as classes. Este resultado foi alcançado para todas as SNRs consideradas neste trabalho. As condições de ilhamento foram corretamente identificadas em todos os casos, evidenciando a capacidade da abordagem em detectar esse fenômeno com precisão.

Os resultados obtidos reforçam as vantagens do método proposto: além de computacionalmente simples, a combinação entre o filtro notch e as operações de morfologia matemática é capaz de realçar características discriminantes relevantes mesmo em sinais ruidosos e sob variadas condições de carga.

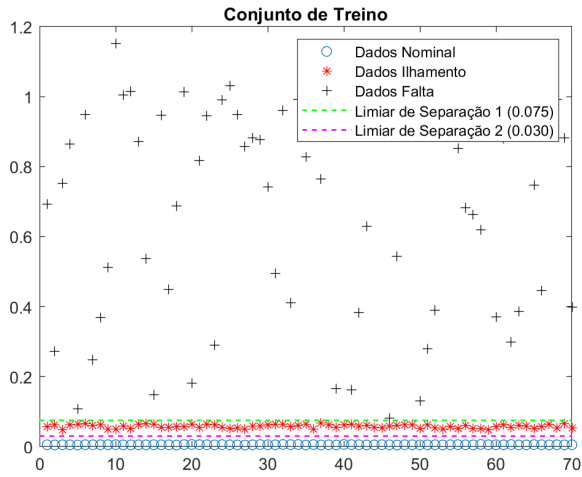


Figura 11. Resultado dos valores máximos extraídos para cada condição para o conjunto de treino.

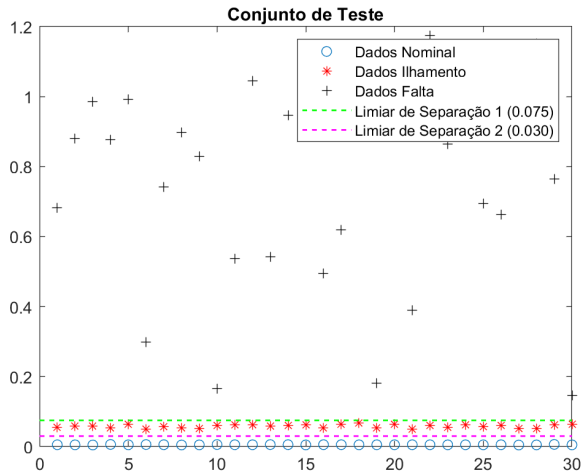


Figura 12. Resultado dos valores máximos extraídos para cada condição para o conjunto de teste.

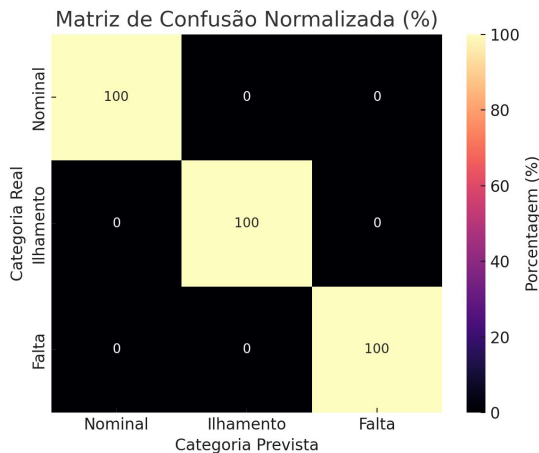


Figura 13. Matriz de confusão do percentual de acerto no conjunto de teste.

A abordagem mostrou-se promissora tanto para implementação embarcada em dispositivos de proteção quanto para integração em sistemas de monitoramento em tempo real.

Em comparação com outros métodos passivos citados na literatura, como o uso de taxa de variação da frequência (ROCOF) [5] e a análise espectral com wavelets [6], a abordagem proposta demonstrou resultados superiores em termos de simplicidade computacional e acurácia, atingindo 100% de acerto em todos os cenários testados. Além disso, ao contrário de métodos ativos e híbridos, que podem degradar a qualidade de energia ou demandar injeção de distúrbios, como apresentado por El-Moubarak et al. [16], o presente método não interfere no sistema, mantendo a integridade da operação. Essa característica o torna altamente atrativo para aplicação em sistemas com restrições de qualidade de energia.

Tabela I
COMPARAÇÃO ENTRE MÉTODOS DE DETECÇÃO DE ILHAMENTO

Método	Tipo	Acurácia (%)	Sensível à NDZ
Filtro Notch + Morfologia (proposto)	Passivo	100	Baixa
ROCOF (Rate of Change of Frequency)	Passivo	75–85	Alta
Deteção por Wavelets	Passivo	85–92	Média
Técnica Híbrida baseada em NDZ adaptável	Híbrido	95–99	Baixa
Desvio Ativo de Frequência (AFD)	Ativo	90–98	Baixa

V. CONCLUSÕES

Este artigo apresenta um método eficiente para detecção de ilhamento utilizando ferramentas de processamento de sinais. Ele é baseado em um filtro notch digital para extrair informação relevante do sinal de tensão trifásico e em morfologia matemática para enfatizar valores máximos da assinatura dos efeitos do ilhamento nos sinais de tensão.

Os resultados obtidos a partir de sinais simulados demonstram que a abordagem proposta apresenta alta sensibilidade à presença de ilhamento, mesmo sob condições de ruído e variações nos parâmetros da rede. Além disso, o método apresenta baixa complexidade computacional, o que o torna atrativo para implementação embarcada em equipamentos de proteção e monitoramento.

Para trabalhos futuros, tem-se a intenção de automatizar a escolha do limiar de separação das classes, tornando-o adaptativo, bem como investigar novas condições e distúrbios, uma vez que novos eventos podem requerer um classificador mais sofisticado.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem às entidades apoiadoras mencionadas anteriormente: ao CNPq (Projeto nº 444154/2024-8), à FAPESP (Projeto APQ-02323-24) e à CAPES.

REFERÊNCIAS

- [1] SARHAN, Mohammad Abu. An extensive review and analysis of islanding detection techniques in DG systems. *Electric Power Systems Research*, v. 220, p. 109102, 2023.
- [2] RAMI REDDY, C. et al. State of the art review of islanding detection methods for integrated distributed generation system. *Electric Power Components & Systems*, p. 1–30, 2024.

- [3] JALIL, Muhammad Waleed; RAZA, Muhammad Qasim; IQBAL, Shahid; KHAN, Inam Ullah. A review of islanding detection techniques for inverter-based distributed generation. In: 2023 4th International Conference on Energy, Power, and Environment (ICEPE). IEEE, 2023. p. 1–6.
- [4] Bharti, I. P., Singh, N. K., Gupta, O. H., & Singh, A. K. (2024). A comparative review of various islanding detection algorithms for converter and synchronous generator-based microgrids. *International Journal of Green Energy*, 22(1), 183–201.
- [5] MORADZADEH, M.; ISLAM, S. A passive islanding detection method for inverter-based distributed generators using rate of change of frequency. *Electric Power Systems Research*, v. 81, n. 7, p. 1334–1342, 2011.
- [6] MOKHTARI, H.; KARIMI-GHARTEMANI, M.; IRAVANI, M. R. Experimental performance evaluation of a wavelet-based on-line voltage detection method for power quality applications. *IEEE transactions on power delivery*, v. 17, n. 1, p. 161–172, 2002.
- [7] GOTTAPU, K.; JYOTHSNA, T. R.; YIRRINKI, V. V. S. N. Performance of a new hybrid approach for detection of islanding for inverter-based DGs. *Renewable energy focus*, v. 43, p. 1–10, 2022.
- [8] PINTO, L. S. et al. Compression method of power quality disturbances based on independent component analysis and fast Fourier transform. *Electric power systems research*, v. 187, n. 106428, p. 106428, 2020.
- [9] LIU, F. et al. Improved SMS islanding detection method for grid-connected converters. *IET renewable power generation*, v. 4, n. 1, p. 36, 2010.
- [10] LOPES, L. A. C.; SUN, H. Performance assessment of active frequency drifting islanding detection methods. *IEEE transactions on energy conversion*, v. 21, n. 1, p. 171–180, 2006.
- [11] FINKEL, Michael (ed.). *Intended and Unintended Islanding of Distribution Grids*. London: The Institution of Engineering and Technology (IET), 2024.
- [12] WALLING, R. A.; MILLER, N. W. Distributed generation islanding-implications on power system dynamic performance. *IEEE Power Engineering Society Summer Meeting. Anais...IEEE*, 2003.
- [13] PROAKIS, J.; MANOLAKIS, D. *Digital signal processing: Principles, algorithms and applications*. 5. ed. Upper Saddle River, NJ, USA: Pearson, 2023.
- [14] HARALICK, R. M.; STERNBERG, S. R.; ZHUANG, X. Image analysis using mathematical morphology. *IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence*, v. 9, n. 4, p. 532–550, 1987.
- [15] LIMA, R. R. et al. Uma Abordagem de Processamento Estatístico de Sinais para Detecção de Ilhamento. *Anais do 15. Congresso Brasileiro de Inteligência Computacional. Anais...SBIC*, 2021.
- [16] EL-MOUBARAK, M.; HASSAN, M.; FAZA, A. Performance of three islanding detection methods for grid-tied multi-inverters. 2015 IEEE 15th International Conference on Environment and Electrical Engineering (EEEIC). *Anais...IEEE*, 2015.
- [17] KIM, M.-S. et al. Comprehensive review of islanding detection methods for distributed generation systems. *Energies*, v. 12, n. 5, p. 837, 2019.
- [18] INGLE, V.; PROAKIS, J. G. *Digital Signal Processing Using Matlab*. Florence, KY, USA: Nelson Engineering, 1999.
- [19] ROPP, M. E.; BEGOVIC, M.; ROHATGI, A. Prevention of islanding in grid-connected photovoltaic systems. *Progress in photovoltaics*, v. 7, n. 1, p. 39–59, 1999.
- [20] THEODORIDIS, S.; KOUTROUMBAS, K. *Pattern Recognition*. 4. ed. [s.l.] Academic Press, 2014.
- [21] D. D. FERREIRA. *Análise de Distúrbios Elétricos em Sistemas de Potência*. UFRJ/COPPE, Rio de Janeiro, 2010.