



Latin American Journal of Energy Research – Lajer (2024) v. 11, n. 1, pp. 72–83
<https://doi.org/10.21712/lajer.2024.v11.n1.p72-83>

Estudo bibliométrico sobre sistemas de proteção aplicados em microrredes: desafios e perspectivas

Bibliometric study on protection systems applied on microgrids: challenges and perspectives

Dominnic Gomes da Silva^{1,*}, Enoque Dutra Garcia²

¹ Aluno de Graduação em Engenharia de Energia, Universidade Federal do Pampa - Unipampa, campus Bagé, RS, Brasil

² Professor do Curso de Engenharia de Energia, Universidade Federal do Pampa - Unipampa, campus Bagé, RS, Brasil

* Autor para correspondência, E-mail: dominnicilva.aluno@unipampa.edu.br

Received: 14 May 2024 | Accepted: 22 May 2024 | Published online: 5 June 2024

Resumo: A evolução tecnológica observada ao redor do mundo proporciona ao sistema elétrico diversas vantagens englobando conceitos de democratização do uso eficiente da energia elétrica, proporcionando confiabilidade e qualidade no fornecimento do produto. Nesse sentido, influenciado pela significativa adoção de geradores distribuídos, principalmente de características intermitentes e renováveis, impulsionou-se a diversificação de sistemas conhecidos como Microrredes. Esses sistemas, ao contrário de sistemas de distribuição com GD, são circuitos que operam em diferentes topologias, podendo ser *on grid* ou *off grid*. Nesse contexto, os sistemas de proteção tradicionais tendem a não operar corretamente devido a alteração nos níveis de falta, afetando a coordenação e seletividade dos dispositivos de proteção. Diante desse cenário, este artigo investiga os impactos causados à operabilidade das proteções através de uma metodologia de pesquisa e uma análise bibliométrica promovendo uma visão abrangente e atualizada do estado da arte em sistemas de proteção para microrredes. Ao final, são discutidas as propostas e contribuições relevantes ao tema, destacando as futuras tendências para mitigar os desafios impostos. Palavras-chave: Microrrede, Pesquisa bibliométrica, Recurso Energético Distribuído, Sistema de proteção, Relé digital.

Abstract: The technological evolution observed worldwide provides the electrical system with several advantages, encompassing concepts of democratization of efficient electricity use, ensuring reliability and quality in product supply. In this regard, influenced by the significant deployment of distributed generators, mainly with intermittent and renewable characteristics, the diversification of systems known as Microgrids has been propelled. Unlike distribution systems with distributed generation (DG), these systems are circuits that operate in different topologies, capable of operating on-grid or off-grid. In this context, traditional protection systems tend to operate incorrectly due to changes in fault levels, affecting the coordination and selectivity of protection devices. Given this scenario, this article investigates the impacts on protection operability through a research methodology and bibliometric analysis, promoting a comprehensive and updated view of the state of the art in protection systems for microgrids. Finally, relevant proposals and contributions to the topic are discussed, highlighting future trends to mitigate the challenges posed.

Keywords: *Microgrids, Bibliometric research, Distributed Energy Resource, Protection system, Digital relay.*

1 Introdução

Pesquisas indicam um movimento de modernização do Sistema Elétrico de Potência (SEP), centrada em cinco pilares: descentralização, descarbonização, digitalização, democratização e desenho de mercado (E+ Transição Energética, 2021). Nesse contexto, segundo a Empresa de Pesquisa Energética (2018), a utilização de Recursos Energéticos Distribuídos (REDs), principalmente de característica renovável e intermitente como fotovoltaica e eólica, tem crescido consideravelmente. Dessa forma, fomenta-se um

cenário propício à tendência de implementação de Microrredes (MRs), essenciais para melhoria na qualidade e eficiência da energia consumida nas cargas. Além dos benefícios indicados na Figura 1, a principal razão para tal está na sua operação autônoma quando desconectada da rede, sem interrupção do fornecimento de energia, favorecendo a independência dos consumidores em relação à rede principal (Sampaio, 2019).

Benefícios Diretos		Benefícios Indiretos
Consumidores	Economia	
Gerenciamento pelo lado da demanda	Novos mercados	Sustentabilidade e redução da dependência de combustíveis fósseis
Eficiência	Novos produtos	Mitigação de mudanças climáticas
Qualidade	Expansão	Redução da área física necessária para geração de energia
Confiabilidade	Optimização dos custos	Integração de fontes renováveis
Resiliência		Serviços Ancilares
Independência		

Figura 1. Representação de estrutura típica de microrredes.

Segundo Marnay et al. (2015), MRs são sistemas elétricos de distribuição que contêm cargas e recursos energéticos distribuídos (como geradores distribuídos, dispositivos de armazenamento, ou cargas controláveis) podendo operar de forma controlada e coordenada, tanto enquanto conectadas à rede principal quanto quando no modo ilhado. Outras definições internacionais semelhantes podem ser encontradas na literatura técnica especializada, e em suma verifica-se que delimitações quanto a fronteiras elétricas, níveis de tensão e características dos DERs em momento algum se configuram como requisitos para classificação.

No âmbito nacional, o legislador definiu as MRs através da Lei 14300 (2022) como: “a integração de vários recursos de geração distribuída, armazenamento de energia elétrica e cargas em sistema de distribuição secundário capaz de operar conectado a uma rede principal de distribuição de energia elétrica e também de forma isolada, controlando os parâmetros de eletricidade e provendo condições para ações de recomposição e de autorrestabelecimento.” Interpreta-se por meio dessa última definição uma restrição quanto a forma de configuração de MRs, limitando-as ao secundário do transformador de distribuição em via pública e conexões de consumidor gerador. Nesse sentido, esses sistemas caracterizam-se como uma porção elétrica do sistema com cargas e DERs conforme modelo genérico apresentado na Figura 2.

Em meio as principais contribuições para o tema e disseminação das microrredes, o grupo de trabalho WG6.22 do *Conseil International des Grands Réseaux Électriques* (CIGRÉ) desempenhou um papel fundamental através da publicação do documento *Microgrid Evolution Roadmap*, onde destacou as vantagens e funcionalidades desses sistemas. Entre os pontos-chave, destaca-se para fins deste artigo conforme transcrito “i) proteção e automação para garantir operação segura, estável e autônoma dos ativos internos das microrredes, assim como rápida detecção e isolamento de faltas, sejam estas internas ou externas aos limites da microrrede; ii) comunicação e monitoramento remoto para habilitar esforço colaborativo de sistemas internos e externos de controle, proteção e automação para gerenciamento da operação diária e/ou implementação de esquemas de controle e proteção” (Marnay et al., 2015).

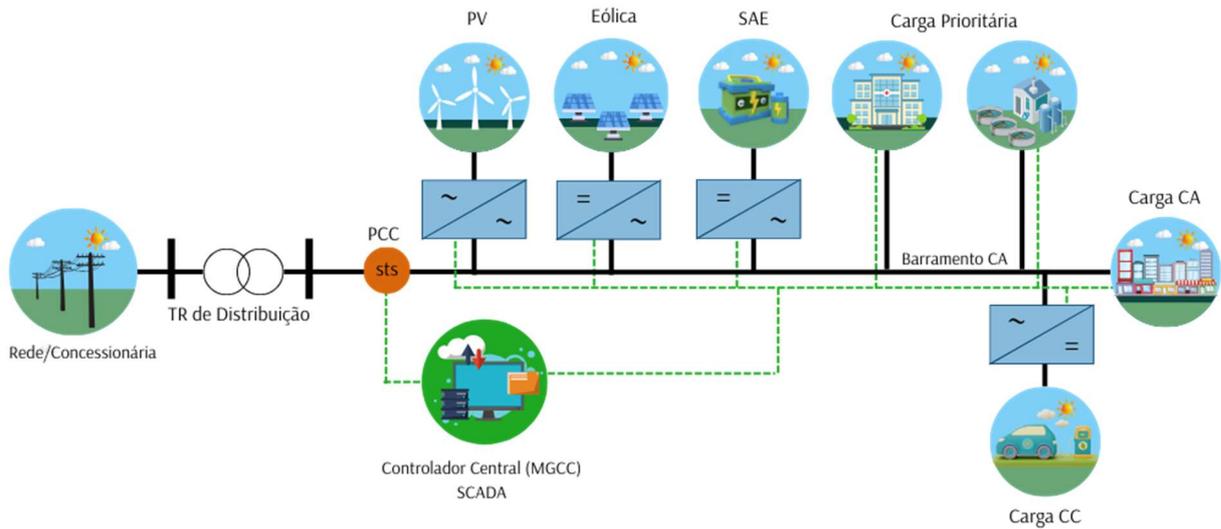


Figura 2. Representação de estrutura típica de microrredes.

Como supracitado, a proteção das microrredes são necessárias para a disseminação desses sistemas, isso pois deve assegurar continuidade do fornecimento de energia durante ocorrência de distúrbios. A filosofia dos sistemas de proteção, conforme indicado na Figura 3, é assegurar a desconexão de todo sistema submetido a qualquer anormalidade que o faça operar fora dos limites previstos ou parte dele. E ainda deve fornecer informações necessárias aos responsáveis por sua operação, de modo a facilitar a identificação dos defeitos e a sua consequente recuperação. Os equipamentos de proteção devem ser capazes de realizar sua função com seletividade, rapidez, sensibilidade, segurança e economia. Dessa forma, o elemento de proteção deve desconectar a parte defeituosa durante a ocorrência do defeito, sendo capaz de definir a localidade deste, que quando dentro de sua zona de proteção atua em um tempo mínimo de operação, reduzindo, ou mesmo eliminando as anormalidades (Caminha, 1977; Mamede, 2013).



Figura 3. Propriedades fundamentais de um sistema de proteção.

Entretanto, o sistema de proteção utilizado em sistemas de distribuição (SDs) convencionais não é suficiente para operar de maneira adequada quando em presença de MRs. Isso ocorre principalmente devido

às variações de correntes de falta nas MRs, tanto dependendo da configuração na qual opera, especialmente no modo ilhado, quanto pela influência dos REDs (Marnay et al., 2015). Sati et al. (2024) aponta as alterações nos níveis de corrente de falta entre os modos de operação devido às características intermitentes da maioria dos geradores distribuídos, isso devido as características limitadas de corrente de falha e fluxo bidirecional causadas por geradores distribuídos interfaceados por inversores IIDGs.

Luo et al. (2022) explica que esse fenômeno ocorre visto que, durante operação autônoma da microrrede, a direção da corrente pode mudar, fazendo com que a corrente de falha reduza significativamente em comparação com a de quando a MR opera conectada à rede principal. Conforme explica Ferrari et al (2023), os dispositivos comumente empregados, como os relés de sobrecorrente, não são sensibilizados corretamente e perdem coordenação. Dessa forma, técnicas devem ser aplicadas para mitigar esses desafios, e uma promissora alternativa são os Sistemas de Proteção Adaptativos (SPAs). SPAs apresentam uma filosofia de ajuste em função de alterações identificadas no sistema elétrico. Além dessa técnica, outras são estudadas, entre as quais são citadas aplicação de limitadores de corrente e sistemas multi-agentes, esquemas baseados em inteligência computacional como lógica fuzzy, meta-heurística e redes neurais artificiais (Coury et al., 2007)

Considerando que esse tema é relativamente novo com aplicações reais emergindo nos últimos anos, e reconhecendo a relevância do assunto de proteção para disseminação eficaz dessa tecnologia, muitos estudos estão sendo realizados nessa área. A contínua produção de trabalhos resultou em um amplo acervo bibliográfico, que dificulta a análise eficaz desses materiais. Sendo assim, no presente artigo se propõe estudo para aplicar metodologia de análise bibliométrica, que conforme explica Mugnaini (2003), é capaz de analisar dados bibliográficos de longos períodos de tempo dentro de uma área científica. Assim, o objetivo é investigar a evolução das referências pesquisadas e identificar as tendências dos estudos relacionados, assimilando informações de forma sistemática para exploração adequada do tema.

2 Metodologia

Para a análise bibliométrica, utilizou-se as bases de dados do Instituto de Engenheiros Eletricistas e Eletrônicos (IEEE) e *Elsevier Science Direct*. A metodologia para tal processo de pesquisa baseia-se numa análise e mapeamento bibliométrico, e está descrito conforme a Figura 4.

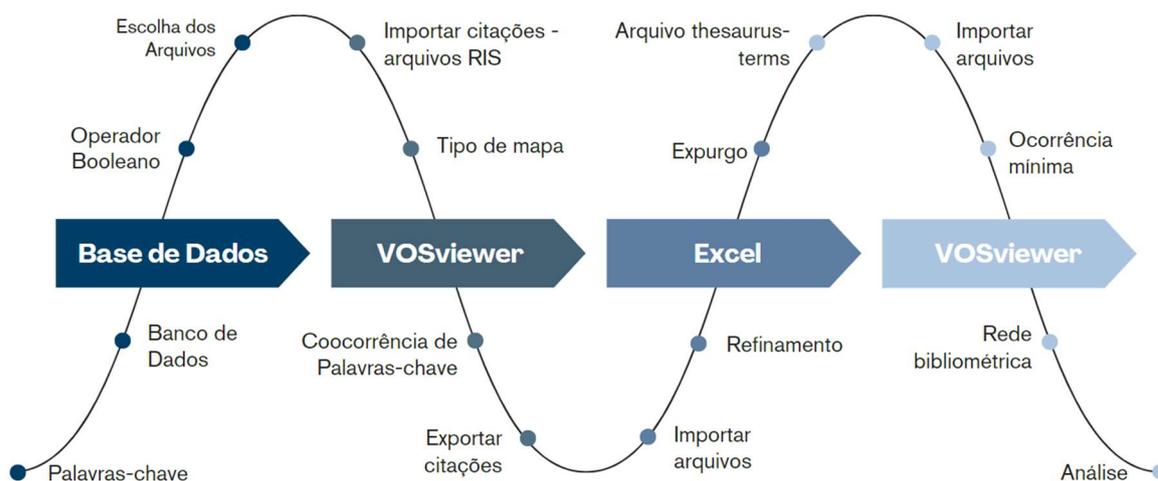


Figura 4. Processo metodológico para pesquisa bibliométrica.

Na primeira Etapa, que diz respeito a coleta de dados, inicia com a definição das palavras-chaves para pesquisa bibliográfica nas bases de dados IEEE e Science Direct onde concentram-se mais papers relacionados à área científica em estudo. A pesquisa avançada nessas bases é realizada através de operadores booleanos aplicados nas palavras-chave que melhor atendem o foco do estudo, e assim, referências são selecionadas por uma similaridade do tema a partir da matriz de amarração para correlacionar conteúdo. A partir disso, a Etapa 2 é iniciada com a exportação de arquivos em formato RIS,

o qual é reconhecido pela ferramenta computacional VOSviewer. Em seguida, os arquivos são importados e o tipo de mapa para análise das correlações é selecionado, onde a coocorrência das palavras-chave é escolhida e salvas em metadados. Os resultados são importados para planilha eletrônica no Excel durante a Etapa 3, onde o refinamento dos dados pela construção dos arquivos “thesaurus-terms” é realizado, e depois importado novamente no VOSviewer. O passo seguinte é a eliminação de termos não relacionados à pesquisa, para concluir essa Etapa com a geração da rede bibliométrica para posterior análise.

Um ponto importante que cabe destacar relaciona-se ao idioma de escolha das palavras-chave para pesquisa. Como apresentado na Figura 5, é indiscutível o impacto da língua inglesa nas publicações. Isso não é apenas direcionado a essa situação em específico, uma vez que pesquisadores explicam esse fenômeno devido a abrangência que publicações em inglês podem alcançar em comparação com outros idiomas, como português. Sendo assim, optou-se pela pesquisa utilizando termos técnicos em inglês, objetivando maior eficiência nas conclusões.

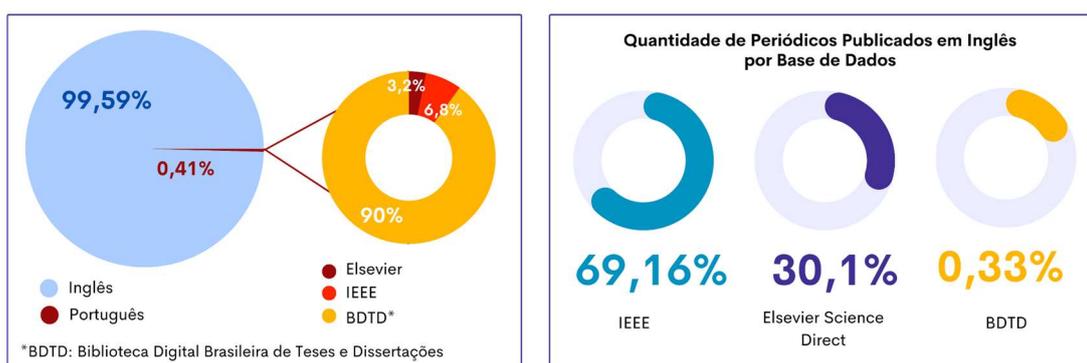


Figura 5. Análise das publicações quanto ao idioma.

3 Resultados

Como resultado da primeira parte do processo metodológico, tem-se a Tabela 1. Nela, traz-se um comparativo entre a quantidade de documentos encontrados nas bases de dados de acordo com as palavras-chave e operadores booleanos empregados para realizar a pesquisa. Consta-se uma defasagem entre os estudos e publicações relacionados à tecnologia das MRs, e principalmente aqueles voltados para a proteção desses sistemas, o que também pode ser observado na Figura 6. No que se diz respeito a comunicação, também há uma escassez de documentos referentes a tal aspecto, sendo que este também é necessário para garantir o funcionamento e segurança dos sistemas. Essa discrepância revela uma lacuna expressiva na literatura técnica especializada, destacando a necessidade de uma maior atenção em pesquisas relacionadas a esse campo científico.

Tabela 1. Quantidade de documentos conforme palavras-chave.

Palavras-chave de busca com operadores booleanos	Nº total de documentos		%	
	Elsevier	IEEE	Elsevier	IEEE
“microgrid”	22.806	52.392	30,33%	69,67%
“microgrid” AND “microgrid protection”	6.172	4.802	56,24%	43,76%
“microgrid” AND “microgrid protection” AND “adaptive microgrid protection”	3.515	509	87,35%	12,65%
“microgrid” AND “microgrid protection” AND “microgrid communication”	3.456	1.208	74,10%	25,90%

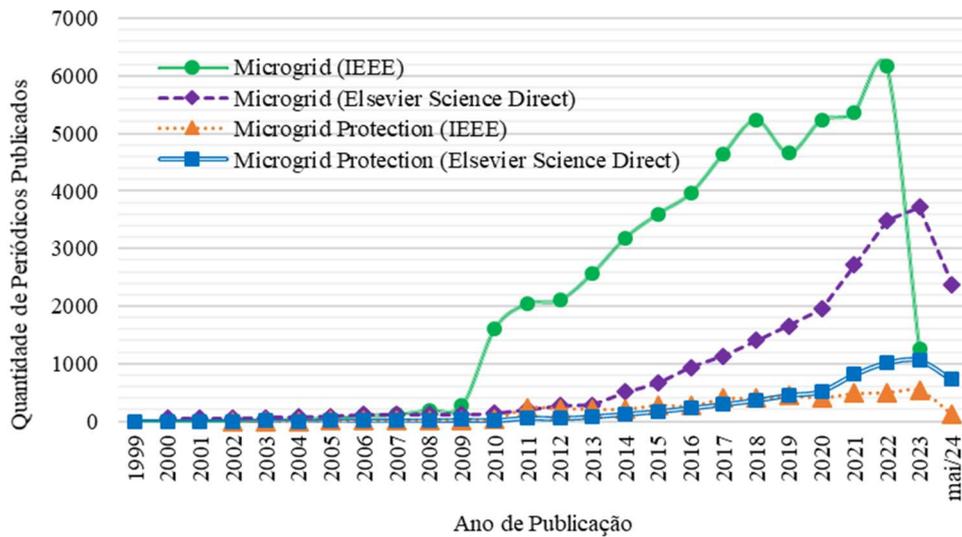


Figura 6. Evolução da publicação de periódicos com tema relacionado à pesquisa.

A análise principal volta-se às redes bibliométricas resultantes desse processo metodológico. Para construção destas, trabalhos cujo foco coincidem com a área de pesquisa em estudo são mapeados através das redes bibliométricas pela coocorrência de palavras-chave. Estas são representações gráficas onde pode-se identificar os links entre os termos e os números de vezes que estes se repetem, indicando seu impacto no estudo. Com isso, foi possível desenvolver duas redes, uma para cada banco de dados.

A rede 1, apresentada na Figura 7, refere-se aos arquivos gerais dos termos encontrados no Elsevier Science Direct filtradas por ano de publicação (2021-2024) para aferir atualizações de maior contribuições com o tema, e também por tipo de publicação (*review* e *research articles*).

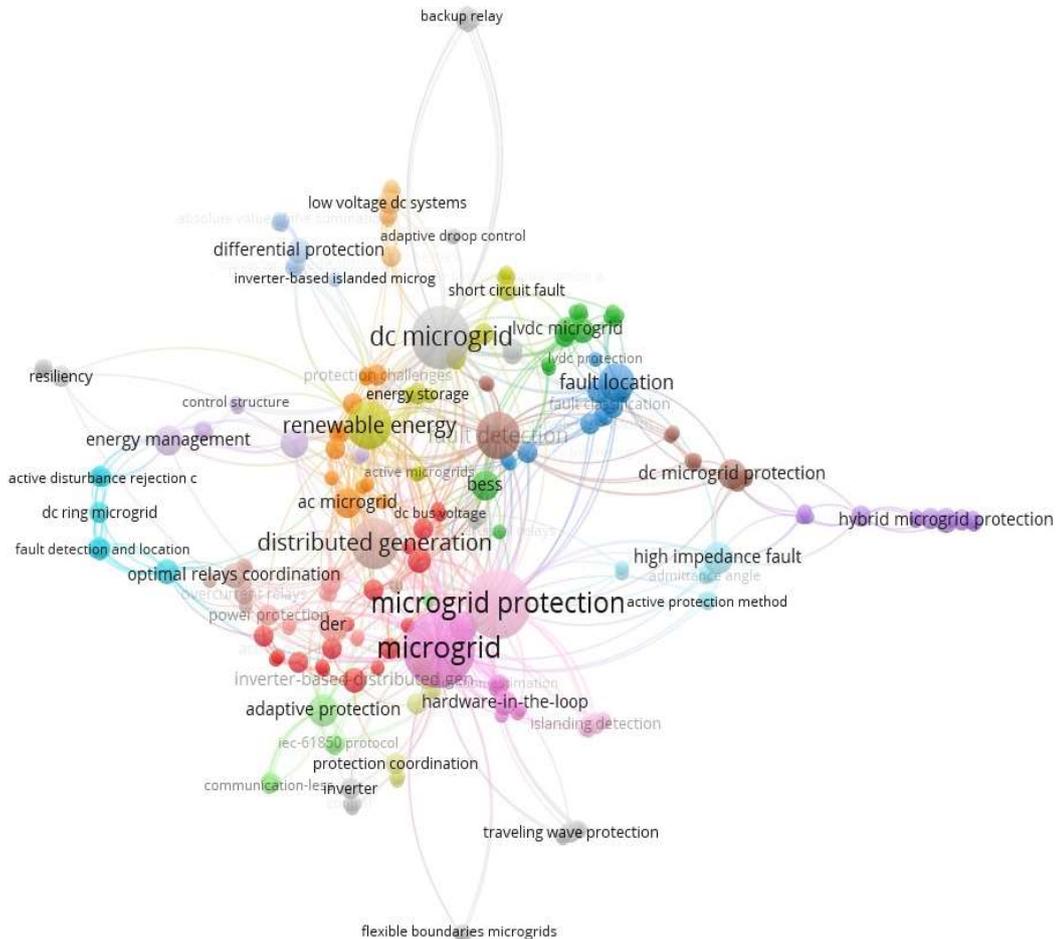


Figura 7. Rede bibliométrica das publicações no Elsevier Science Direct.

3 Análises

3.1 Análise SWOT

SWOT é uma sigla que vem do inglês *Strength, Weakness, Opportunities e Threats*, que traduzindo significa Força, Fraqueza, Oportunidades e Ameaças. Segundo Alves (2014), análises SWOT são comumente utilizadas em estudos de planejamento estratégico em organizações privadas e públicas com objetivo de aumentar eficiência nos processos de produção e desempenho no mercado. No que se refere a projetos e novas tecnologias, essa técnica auxilia a maximizar os pontos-chave do projeto e identificar pontos de melhoria, onde necessita implementar estratégias ou recursos para mitigar qualquer desafio.

Partindo desse pressuposto, e tendo em mente as publicações selecionadas a partir das redes bibliométricas, a matriz de amarração apresentada na Tabela 2 relaciona os artigos e dissertações com maior impacto de contribuição ao tema e identifica o número respectivo de citações. Já na tabela 3, relaciona a matriz SWOT a partir da investigação minuciosa dessas publicações relacionadas na Tabela 2.

Tabela 2. Publicações mais relevantes ao tema.

Nº	Título	Autor	Ano	Tipo	Citações
1	Microgrid Evolution Roadmap	Marnay et al.	2015	Artigo	101
2	Recent Developments and Challenges on AC Microgrids Fault Detection and Protection Systems—A Review	Hussain et al.	2020	Artigo	58
3	Adaptive Multi-Agent-Zonal Protection Scheme for AC Microgrids	De La Cruz et al.	2023	Artigo	-
4	Adaptive Protection Scheme for a Microgrid with High Levels of Renewable Energy Generation	Shah et al.	2021	Artigo	5
5	Adaptive Protection Scheme with Passive Islanding Detection for AC Microgrids	Luo et al.	2022	Artigo	1
6	An Adaptive Protection Strategy for Reliable Operation of Microgrids	Sedghisigarchi et al.	2018	Artigo	6
7	Review and Evaluation of Protection Issues and Solutions for Future Distribution Networks	Khan et al.	2019	Artigo	5
8	Real-Time Model-Adaptive Relaying Applied to Microgrid Protection	Ferrari et al.	2023	Artigo	1
9	Review of Networked Microgrid Protection: Architectures, Challenges, Solutions, and Future Trends	De La Cruz et al.	2024	Artigo	1
10	A communication-free active unit protection scheme for inverter dominated islanded microgrids	Khan et al.	2022	Artigo	9
11	Adaptive harmonic-based protection coordination for inverter-dominated isolated microgrids considering N-1 contingency	Sati et al.	2024	Artigo	-
12	AI-enabled traveling wave protection for microgrids	Etingov et al.	2022	Artigo	9
13	An adaptive protection coordination for microgrids utilizing an improved optimization technique for user-defined DOCRs characteristics with different groups of settings considering N-1 contingency	Merabet et al.	2024	Artigo	-

14	Analysis and design of overcurrent protection for grid-connected microgrid with PV generation	Pradhan et al.	2022	Artigo	-
15	An efficient protection scheme for microgrid using ROC of differential admittance angle	Kumar et al.	2024	Artigo	1
16	A new current-based protection system for inverter-dominated microgrids	Ferreira et al.	2023	Artigo	-
17	Microrrede com Controle Centralizado e Despachável	Brandão et al.	2018	Artigo	-
18	Nova Estratégia de Proteção para Microrredes Utilizando uma Abordagem Adaptativa com Características Híbridas de Atuação	Pedro Barra	2022	Dissertação	-
19	Sistema de Proteção Adaptativa Aplicado a Redes de Distribuição e Microrredes de Média Tensão	Felipe Sampaio	2019	Dissertação	-
20	Impacto de Microrredes sobre o Sistema de Proteção de Redes de Distribuição	André Gifalli	2019	Dissertação	-

A matriz SWOT resultante da revisão das referências citadas na Tabela 2 relaciona-se conforme indicado a seguir na Tabela 3:

Tabela 3. Matriz SWOT.

Forças	Fraquezas	Oportunidades	Ameaças
Volume de pesquisas crescente na área	Coordenação dos relés de sobrecorrente	Esquemas de sobrecorrente adaptados com disjuntores	Operação indevida ou não operação dos dispositivos
Esquema de proteção assistido com comunicação	Condições de baixa tensão devido falta externa	Proteção adaptativa para modificar configurações	Quantidade de cenários simulados e curvas de atuação inseridas nos relés
Correlação para implementação de GDs e EVs	Deteção e previsão de falta	Aplicação de inteligência computacional	Atuações desnecessárias “false tripping”
Investimento para impulsionar a implementação	Alteração da sensibilidade dos relés	Medição para detectar condição de ilhamento e alterações na tensão e frequência	Condição de operação autônoma (ilhamento)
Tecnologia existente	Variação dos níveis de corrente de falta	Proteção adaptativa com esquemas de sobrecorrente	Desafios para integração de GD com inversor como interface de conexão - IIDG

De forma resumida, conclui-se pela matriz proposta que i) majoritariamente, os desafio da difusão das microrredes está relacionado a sua operação no modo ilhado, e transitórios na mudança para operação autônoma, visto que durante esses momentos as correntes de falta sofrem alterações e conseqüentemente, outros parâmetros elétricos também modificam; ii) dos trabalhos que investigam como mitigar os desafios, a maioria aplicada sistema adaptativos, e baseiam-se em ajustes de equipamentos de proteção já existentes no sistema; iii) uma minoria de trabalhos aplicam simulações para investigar esses transitórios, simulando modos de operação e faltas específicas, limitando o estudo e assim, resultados para aplicações.

3.2 Análise dos trabalhos mais relevantes

Como forma de análise dos trabalhos mais relevantes à área de estudo, a Tabela 4 sumariza os principais pontos construtivos de cada documento estudado. Para melhor interpretação, destaca-se que as áreas investigadas levam em consideração:

- 1). Filosofia de proteção: proposta e equipamentos de proteção que o autor julgou necessário para mitigar desafios para difusão das MRs sendo opção relevante conforme já identificado na literatura
 - a. proteção adaptativa relés direcionais de sobrecorrente (DOCR)
 - b. injeção de harmônicas (H)
 - c. outro (OT)
- 2). Software: plataformas e técnicas de simulação aplicadas para testes e validação das propostas;
 - a. PSCAD (PS)
 - b. OPAL (OP)
 - c. DIgSILENT (DIg)
 - d. MATLAB/SIMULINK (SIM)
 - e. Outro (OT)
- 3). Modos de operação: cenários investigados durante simulações considerando operabilidade das MRs;
 - a. conectado à rede (RE)
 - b. ilhado (IL)
- 4). Delimitação das MRs:
 - a. alimentador (AL)
 - b. bloco de rede (BR): segundo explica Garcia (2018) bloco de área da atuação dos dispositivos de proteção e manobra
 - c. unidade consumidora (UC)

Tabela 4. Publicações mais relevantes ao tema.

Referência	Proteção				Software				Operação			MR		
	DOCR	MA	H	OT	PS	OP	DIg	SIM	OT	RE	IL	AL	BR	UC
De La Cruz et al.	●	●				●				●	●	●		
Shah et al.	●			●					●	●	●	●		
Luo et al.				●			●			●	●	●		
Sedghisigarchi et al.	●						●			●	●	●	●	
Khan et al.(2019)	●		●	●	●					●	●	●		
Ferrari et al.	●									●	●	●		
Khan et al.(2022)			●			●					●	●		
Sati et al.	●		●	●	●					●	●	●		
Etingov et al.				●				●		●	●			●
Merabet et al.	●						●	●		●	●			●
Pradhan et al.	●				●							●		
Kumar et al.				●				●				●		
Ferreira et al.	●			●						●	●			●
Brandão et al.				●						●	●	●		●
Pedro Barra Felipe Sampaio	●			●	●					●	●	●	●	

4 Conclusões

Este artigo identifica os desafios induzidos pela transformação a qual o sistema elétrico passa atualmente, visto a implementação dos DERs e a tendência de implementação das Microrredes. Dessa forma, revisa as publicações mais recentes e relevantes ao tema do ponto de vista da proteção, tema relevante para garantir a segura operabilidade desses sistemas.

Com a análise bibliométrica apresentada, um mapeamento sobre as propostas de técnicas e esquemas de proteção é realizado, deduzindo a predominância de sistemas de proteção adaptativos com métodos de ajustes para configurar em tempo real os relés digitais de sobrecorrente.

Em conclusão, constata-se que não há uma única e prática solução aos desafios supracitados pela implementação das Microrredes, o que em parte, justifica a até então carência de regulamentação para padronizar regras e procedimentos de conexão para estes sistemas.

Agradecimentos

Os autores agradecem a Universidade Federal do Pampa e aos colegas pelo apoio e parceria.

Referências bibliográficas

Instituto E+ Transição Energética (2021) Manual de Termos e Conceitos: Transição Energética. *Cartilha Eletrônica do Instituto E+ Transição Energética* [online], pp 23-25. <https://emailsenergia.org/wp-content/uploads/2020/12/ECartilhaTransicaoEnergetica-1.pdf>

Sampaio, FC (2019) *Sistema de Proteção Adaptativa Aplicado a Redes de Distribuição e Microrredes em Média Tensão*. Tese de mestrado, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza. <https://repositorio.ufc.br/handle/riufc/48581>

Marnay, C. Chatzivasileiadis, S. Iravani, R. Joos, G. Lombardi, P. Mancarella, P. e Appen, J. v. (2015) ‘Microgrid evolution roadmap’, *2015 International Symposium on Smart Electric Distribution Systems and Technologies (EDST)*. Vienna, Austria.

Caminha, AC (1977) *Introdução à proteção dos sistemas elétricos*. São Paulo, Edgard Blucher Ltda.

Mamede, JF (2013) *Proteção de sistemas elétricos de potência*. Rio de Janeiro, LTC. ISBN 978-85-216-2012-9.

Sati, TE, Azzouz, MA e Shaaban, MF (2024) ‘Adaptive harmonic-based protection coordination for inverter-dominated isolated microgrids considering N-1 contingency.’ *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 156. ISSN 0142-0615. <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2023.109750>

Luo, Y, Nutkani IU e Meegahapola, L (2022) ‘Adaptive Protection Scheme with Passive Islanding Detection for AC Microgrids’, *2022 International Power Electronics Conference (IPEC-Himeji 2022-ECCE Asia)*, Himeji, Japan, 2022, pp. 1584-1591.

Ferrari, M, Smith, T, Shepard, N, Sundararajan, A, Herron, D, Piesciorovsky, EM, Snyder, I, Ollis, B, Hambrick, J, Stitch, C e Marshall, M (2023) ‘Real-Time Model-Adaptive Relaying Applied to Microgrid Protection’, *2023 IEEE Power & Energy Society Innovative Smart Grid Technologies Conference (ISGT)*, Washington, DC, USA. pp. 1-5. <https://doi.org/10.1109/ISGT51731.2023.10066421>

Coury, DV, Oleskovicz, M e Giovanini, R (2007) *Proteção digital de sistemas elétricos de potência: dos relés eletromecânicos aos microprocessados inteligentes*. São Carlos: EESC-USP.

Mugnaini, R (2003) *A bibliometria na exploração de bases de dados: a importância da linguística*. Seminário em Ciências da Informação, Londrina, Paraná.

Alves, TL (2014) *Planejamento estratégico em micro e pequenas empresas: a viabilidade da utilização da matriz SWOT*. Monografia de Bacharelado, Universidade Federal do Pampa, Bagé. <https://repositorio.unipampa.edu.br/handle/riu/590>

Hussain, N, Mashood N, Vasquez, JC e Guerrero, JM (2020) ‘Recent Developments and Challenges on AC Microgrids Fault Detection and Protection Systems—A Review’, *Energies* 13, no. 9: 2149. <https://doi.org/10.3390/en13092149>

De La Cruz, J, Vasquez, JC, Guerrero, JM, Luna, EG e Candelo-Becerra, JE (2023) ‘Adaptive Multi-Agent-Zonal Protection Scheme for AC Microgrids’, *25th European Conference on Power Electronics and Applications (EPE'23 ECCE Europe)*. Aalborg, Denmark, 2023, pp. 1-9. <https://doi.org/10.23919/EPE23ECCEurope58414.2023.10264617>

- Shah, R, Goli, P e Shireen, W (2018) ‘Adaptive Protection Scheme for a Microgrid with High Levels of Renewable Energy Generation’, *Clemson University Power Systems Conference (PSC)*. Charleston, SC, USA, 2018, pp. 1-7. <https://doi.org/10.1109/PSC.2018.8664068>
- Sedghisigarchi, K e Sardari, KT (2018) ‘An adaptive protection strategy for reliable operation of microgrids’, *IEEE International Energy Conference (ENERGYCON)*. Limassol, Cyprus, 2018, pp. 1-6. <https://doi.org/10.1109/ENERGYCON.2018.8398779>
- Khan, AU, Hong, Q, Dyško, A e Booth, C (2019) ‘Review and Evaluation of Protection Issues and Solutions for Future Distribution Networks’, *54th International Universities Power Engineering Conference (UPEC)*. Bucharest, Romania. pp. 1-6. <https://doi.org/10.1109/UPEC.2019.8893528>
- De La Cruz, J, Wu, Y, Candelo-Becerra, JE, Vasques, JC e Guerrero, JM (2024) ‘Review of Networked Microgrid Protection: Architectures, Challenges, Solutions, and Future Trends’, *CSEE Journal of Power and Energy Systems*, vol. 10, no. 2, pp. 448-467. <https://doi.org/10.17775/CSEEJPES.2022.07980>
- Khan, AU, Hong, Q, Egea-Álvarez, A, Dyško, A e Booth, C (2022) ‘A communication-free active unit protection scheme for inverter dominated islanded microgrids’, *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, Volume 142, Part A, 2022, 108125, ISSN 0142-0615. <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2022.108125>
- Etingov, DA, Zhang, P, Tang, Z e Zhou, Y (2022) ‘AI-enabled traveling wave protection for microgrids’, *Electric Power Systems Research*, Volume 210, 108078, ISSN 0378-7796. <https://doi.org/10.1016/j.epsr.2022.108078>
- Merabet, O, Kheldoun, A, Bouchahdane, M e Eltom, A (2024) ‘An adaptive protection coordination for microgrids utilizing an improved optimization technique for user-defined DOCRs characteristics with different groups of settings considering N-1 contingency’, *Expert Systems with Applications*, Volume 248, 123449, ISSN 0957-4174. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2024.123449>
- Pradhan, JD, Hadpe, SS e Shriwastava, RG (2022) ‘Analysis and design of overcurrent protection for grid-connected microgrid with PV generation’, *Global Transitions Proceedings*, Volume 3, Issue 1, pp. 349-358, ISSN 2666-285X. <https://doi.org/10.1016/j.gltp.2022.03.023>
- Kumar, K e Kar, S (2024) An efficient protection scheme for microgrid using ROC of differential admittance angle. *Electric Power Systems Research*, Volume 227, Part A, 109969, ISSN 0378-7796. <https://doi.org/10.1016/j.epsr.2023.109969>
- Ferreira, GS e Vásquez, FAM (2023) ‘A new current-based protection system for inverter-dominated microgrids’, *Electric Power Systems Research*, Volume 225, 109814, ISSN 0378-7796. <https://doi.org/10.1016/j.epsr.2023.109814>
- Brandão, DI, Pomilio, JA, Marafão, FP e Alonso, AMS (2018) ‘Validação experimental de uma microrrede com controle centralizado e despachável’, *Eletrônica de Potência*, Joinville, v. 23, n. 3, p. 281-291. <https://doi.org/10.18618/rep.2018.3.2779>
- Barra, PHA (2022) *Nova Estratégia de Proteção para Microrredes Utilizando uma Abordagem Adaptativa com Características Híbridas de Atuação*. Tese de doutorado, Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos.
- Gifalli, A (2019) *Impacto de microrredes sobre o sistema de proteção de redes de distribuição*. Tese de mestrado, Universidade Estadual Paulista, Bauru.
- Garcia, ED, Pereira, PR, Canha, LN e Popov, VA (2018) ‘Grid functional blocks methodology to dynamic operation and decision making in Smart Grids’, *Electrical Power and Energy Systems*, Volume 103, pp. 267-276, ISSN 0142-0615. <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2018.06.002>