

Estudo Comparativo de Metodologias para Análise de Contingências em Sistemas Elétricos de Potência

Comparison of Methodologies for Contingency Analysis in Electric Power Systems

RESUMO

Este trabalho apresenta um estudo comparativo entre sete metodologias diferentes utilizadas para classificar contingências críticas em sistemas elétricos de potência, com o objetivo de especificar quais linhas de transmissão causam mais danos ao sistema caso ocorra alguma contingência. São considerados os sistemas testes de 14 e 57 barras do IEEE e a comparação dos métodos é feita no *software* WEKA. O estudo é realizado por meio de um banco de dados obtidos por intermédio dos métodos de avaliação de contingências dos dois sistemas, em consonância com o agrupamento dos métodos que apresentaram resultados mais parecidos, no que tange a classificação das contingências críticas. Para isso, foi utilizado o algoritmo SimpleKMeans, contido na base de dados do *software* WEKA. Os resultados indicam que técnicas de mineração de dados são particularmente úteis na tarefa de análise de contingências.

PALAVRAS-CHAVE: Análise de Contingências. Estabilidade de Sistemas Elétricos. WEKA. Linhas de Transmissão.

ABSTRACT

This paper presents a comparative study of seven different methodologies used to classify critical contingencies in electrical power systems, with the purpose of specifying which transmission lines cause the most damage when contingencies occurs. The analysis are carried out considering IEEE 14 and 57 bus test systems and the method comparison was implemented in the WEKA software. The study is conducted through a database obtained through the contingency assessment methods of the two systems, in line with the grouping of the methods that presented the most similar results, regarding the classification of critical contingencies. For this, the SimpleKMeans algorithm, contained in the WEKA software database, was used. The results indicate that data mining techniques are particularly useful in the contingency analysis task.

KEYWORDS: Contingency Analysis, Power System Stability. WEKA. Transmission Lines.

Victor Rocha Carneiro
victor.utfprmed@gmail.com
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, Paraná, Brasil

Diogo Marujo
diogomarujo@utfpr.edu.br
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, Paraná, Brasil

Recebido: 19 ago. 2019.

Aprovado: 01 out. 2019.

Direito autoral: Este trabalho está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.



INTRODUÇÃO

O Sistema Elétrico de Potência (SEP) está sujeito a diversos tipos de perturbações e operam numa linha tênue entre o aceitável e o limite nominal de operação. A análise de contingências é realizada para a obtenção dos dispositivos mais críticos do sistema, aquelas cuja saída de operação resultam em situações mais complexas de operação. Neste trabalho somente serão consideradas como contingências as saídas de operação de linhas de transmissão.

Existem vários métodos para classificação de contingências críticas. O método do índice de desempenho (PI) foi proposto por Ejebe e Wollenberg (1979), para classificar as contingências críticas de um sistema elétrico e implementar metodologias capazes de indicar reforços na rede de transmissão.

Outros métodos encontrados nas referências sobre análise de contingências, são os métodos de margem de carga de potência ativa (MC), margem de carga de potência reativa (MCR) e vetor tangente (VT), que foram utilizados por Krauer (2007) com o objetivo de proporcionar, através de priorizações de obras de planejamento, um melhor fornecimento da potência reativa ao sistema.

Albuquerque (2005) propõe uma metodologia que também aborda o índice de desempenho (PI), esta estratégia conta com a elaboração de níveis de listas ordenadas de contingências que indicam a proximidade do ponto de operação em relação ao limite de estabilidade de tensão.

Este artigo tem como objetivo apresentar uma análise comparativa de algumas dessas metodologias para classificação de contingências em SEP e agrupar os métodos de acordo com os resultados, utilizando o software WEKA. Este trabalho é considerado uma continuação do trabalho apresentado por (LENTZ, 2018).

O presente artigo está dividido a seguir, da seguinte forma: na Seção “Material e Métodos” são apresentados os métodos estudados para classificação das contingências críticas e a metodologia aplicada. Na “Resultados e Discussões” são apresentados os resultados e é realizada uma discussão sobre os resultados encontrados. E finalmente, nas próximas sessões, são apresentadas as conclusões obtidas a partir da realização deste artigo.

MATERIAL E MÉTODOS

A metodologia para classificação de contingências utilizada neste trabalho foi dividida em duas etapas, que são detalhadas seguir:

MÉTODOS CLASSIFICAÇÃO DE CONTINGÊNCIAS CRÍTICAS

Dentre esses métodos encontrados na literatura, utilizou-se o índice de desempenho Índice de performance de tensão (PIV), o Índice de performance de potência ativa (PIMW), a soma dos dois índices citados anteriormente (PI), fator e sensibilidade linear (dT), margem de carga de potência ativa (MC), margem de carga de potência reativa (MCR) e o vetor tangente (VT).

Segundo Ejebe e Wollenberg (1979), os índices de desempenho (PIC, PIMW e PI) comparam os valores nominais das tensões nos barramentos e dos fluxos de potência com os valores de pós-contingência. Quanto maiores os índices PIV e PIMW, mais crítica é a linha.

O fator e sensibilidade linear (dT), proposto por Wood e Wollenberg (1996), os fatores de sensibilidade calculam a mudança nos fluxos de potência e de geração devido a ocorrência de contingências.

Utilizada por Krauer (2007), a análise da curva PV serviu de base para avaliar as linhas os sistemas de potência. A partir do traçado desta curva, determinou-se a margem de carga de potência ativa (MC) que é dada pela diferença entre P_o (potência inicial de operação do sistema) e PMC (o ponto de máximo carregamento do sistema), determinou-se também a margem de carga de potência reativa (MCR) que indica se a barra está em déficit ou quanto ela pode fornecer de potência reativa.

Por fim, para cada contingência é calculado um vetor tangente (VT) e um ponto de equilíbrio e quanto maior for a norma do vetor tangente mais crítica será a contingência, igualmente para os outros critérios citados anteriormente, Krauer (2007) também utilizou essa técnica.

AGRUPAMENTO DOS MÉTODOS

Tendo em vista que o agrupamento manual das respostas obtidas em cada método se torna uma tarefa complexa, para a realização deste estudo foi utilizado o software WEKA (versão 3.6) juntamente com os dados das contingências simuladas por alguns métodos e resultados obtidos dos sistemas de 14 e 57 barras do IEEE (Institute of Electrical and Electronic Engineers).

Primeiramente o *ranking* de contingência críticas obtidos para cada um dos métodos supracitados foram inseridos no banco de dados do WEKA como arquivos arff, que é o padrão utilizado pelo *software*. Após a representação das classificações de cada método das 5 contingências mais críticas no sistema de 14 barras e das 10 contingências mais críticas no sistema de 57 barras, realizou-se o agrupamento dos métodos que apresentaram resultados mais parecidos tratando-se do nível de contingência crítica de cada linha de transmissão. O agrupamento foi realizado no software WEKA com a ferramenta Cluster, algoritmo SimpleKMeans e definição de 3 grupos gerados.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta sessão serão mostrados os resultados obtidos através das metodologias implementadas para classificação de contingências críticas, considerando os sistemas 14 e 57 barras do IEEE

Na Tabela 1 são mostradas as classificações das 5 contingências mais críticas dos métodos PI, PIV, PIMW e dT referentes ao sistema de 14 Barras. As classificações das 5 contingências mais críticas dos métodos VT, MC, e MCR referentes ao sistema de 14 Barras, são mostrados na Tabela 2.

Tabela 1 – Classificação de Contingências dos métodos PI e PIV (14 Barras IEEE).

PI		PIV		PIMW		dT	
linha	PI	linha	PIV	linha	PIMW	linha	dT
4--5	0.9719	4--7	0.9626	4--7	0.9802	2--5	0.499
4--7	0.9746	10--11	0.9633	4--5	0.9907	4--9	0.6247
1--5	0.9766	12--13	0.9694	5--6	0.9934	6--11	0.8336
3--4	0.9882	3--4	0.9759	3--4	0.994	1--5	0.9247
5--6	1.0	5--6	1.0	1--5	1.0	9--14	1.0

Fonte: Autoria própria (2019).

Tabela 2 – Classificação de Contingências dos métodos VT e MC (14 Barras IEEE).

Vetor tangente (VT)		Margem de carga de potência ativa (MC)		Margem de carga de potência reativa (MCR)	
linha	VT	linha	MC	linha	MCR
4--7	0.381	6--13	0.2892	1--2	0.9647
2--3	0.392	7--9	0.4101	3--4	0.9752
1--5	0.4163	5--6	0.6292	1--5	0.9786
5--6	0.552	2--3	0.6572	2--5	0.9794
1--2	1.0	1--2	1.0	12--13	1.0

Fonte: Autoria própria (2019).

Analisando as classificações obtidas através dos 7 métodos aplicados para avaliar a severidades das possíveis contingências nas linhas de transmissão do sistema de 14 barras do IEEE, é possível afirmar que a contingência mais crítica ocorre na linha que interliga as barras 5 e 6. Dentre as sete classificações de diferentes métodos avaliadas, em duas delas essa contingência ficou na primeira posição, em uma foi classificada como a segunda mais crítica e em duas delas está na terceira posição.

O quadro 1 apresenta o resultado do agrupamento das formas de avaliação das contingências mais críticas do sistema de 14 Barras. No agrupamento, o algoritmo implementado no WEKA compara entre si os dados dos sete métodos aplicados em cada barra, e agrupa os métodos que classificam a periculosidade da contingência de maneira mais parecida. Neste sistema a ferramenta gerou 3 grupos, no primeiro grupo estão os métodos PIMW e MCR. Observando as analisando os resultados obtidos, notou-se que os dois métodos classificaram as contingências nas linhas próximas das barras com unidades geradoras, onde a potência injetada tende a ser maior.

O grupo 2 é composto pelos métodos PI e PIV, analisando a tabela 1 nota-se que o montante de carga conectada as barras suscetíveis ao evento acabam sendo fundamentais para a análise do nível crítico da contingência.

Os métodos dT, VT e MC, se encaixam no grupo 3, o motivo de MC e VT serem agrupados, reside no fato de que o primeiro método utiliza vetor tangente para realizar o traçado da curva PV, já a inclusão do método dT deve-se ao fato que o

método leva em consideração a mudança do fluxo de potência ativa de uma barra para outra após a ocorrência de uma contingência.

Quadro 1 – Comparação de métodos análise de contingências 14 Barras

Agrupamento 14 Barras			
	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3
Métodos	PIMW	PI	dT
	MCR	PIV	VT
			MC

Fonte: Autoria própria (2019).

Para o sistema de 57 Barras foi realizado o mesmo processo de classificação de cada método das 10 contingências mais crítica, e obteve-se as 7 tabelas de cada método, no estilo das tabelas do sistema de 14 Barras.

Através dos 7 métodos aplicados para avaliar a severidade das possíveis contingências nas linhas de transmissão do sistema de 57 barras do IEEE, é possível afirmar que a contingência mais crítica ocorre na linha que interliga as barras 34 e 35. Dentre as sete classificações de diferentes métodos avaliadas, em duas delas essa contingência ficou na segunda posição; em uma foi classificada como a terceira mais crítica e em outra está na sexta posição.

O quadro 2 apresenta o resultado do agrupamento das formas de avaliação das contingências mais críticas do sistema de 57 Barras. Neste sistema a ferramenta gerou 3 grupos; no primeiro grupo estão os métodos PIMW e VT. O segundo grupo é composto pelos métodos PI, MCR e PIV. Analisando as tabelas que representam as 10 contingências classificadas como mais críticas dos métodos do grupo 2, nota-se que o montante de carga conectada as barras suscetíveis ao evento acabam sendo fundamentais para a análise do nível crítico da contingência.

Os métodos dT e MC se foram alocados no grupo 3. A inclusão do método dT deve-se ao fato que o método leva em consideração a mudança do fluxo de potência ativa de uma barra para outra após a ocorrência de uma contingência.

Quadro 2 – Comparação de métodos análise de contingências 57 Barras

Agrupamento 57 Barras			
	Grupo 1	grupo 2	grupo 3
métodos	PIMW	PI	dT
	VT	PIV	MC
		MCR	

Fonte: Autoria própria (2019).

CONCLUSÃO

Este artigo abordou diferentes métodos de avaliação de contingências críticas em SEP, por meio da análise destes em sistemas teste de 14 e 57 barras do IEEE e com o auxílio do software WEKA. Os resultados obtidos resultaram em um *ranking* das contingências mais críticas dos sistemas, cujo agrupamento dos métodos que avaliam de maneira mais similar o nível de criticidade das contingências.

No que tange o sistema de 14 barras, a contingência mais crítica foi aquela na linha que interliga as barras 5 e 6. Já no sistema de 57 barras, a linha que interliga

as barras 34 e 35 foi classificada como mais crítica. Em relação ao agrupamento dos métodos avaliados, este permite identificar quais métodos retornam um resultado similar a outro. Assim, é possível analisar o sistema apenas pelos métodos que são similares, tal que possa ser obtida uma visualização mais detalhada das contingências do sistema do ponto de vista do aspecto que este agrupamento leva em consideração para a separação. Pode-se afirmar que os resultados referentes ao sistema de 57 barras são mais confiáveis devido ao banco de dados ser maior e possibilitar que o *software* realize a comparação mais avançada entre os métodos.

AGRADECIMENTOS

A Universidade Federal do Paraná, que me proporcionaram o auxílio financeiro e as condições necessárias para que eu alcançasse meus objetivos.

REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, M. A. Seleção de Contingências com relação à estabilidade de tensão para análise de segurança em tempo real. Campinas, SP, Universidade Estadual de Campinas, 2005. Dissertação.

AMARAL, Fernando. **Aprenda Mineração de Dados**. Rio de Janeiro: Editora Alta Books, 2016.

EJEBE, G. C.; WOLLENBERG, B. F (1979). Automatic Contingency Selection. IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol. Pas-9, No. 1, pp. 97 - 109.

KRAUER, Tito Ronald. Uma Metodologia de Análise de Sistemas de Potência Aplicando o Continuado QV e PV no Ambiente de Planejamento de Sistemas Elétricos. 2007. Trabalho de conclusão de curso (Pós-Graduação em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal de Itajubá, Itajubá - MG, 2007. Disponível em: <http://livros01.livrosgratis.com.br/cp044574.pdf>. Acesso em: 8 ago. 2019.

LENTZ, Giovane M.; MARUJO, Diogo; ZEFERINO, Cristiane L.; NASCIMENTO, Bruno N.; JR, Francisco M. **Um Estudo Comparativo para Análise de Contingências em Sistemas Elétricos de Potência**. [S. l.], 2018. Disponível em: <https://plataforma.swge.com.br/PROCEEDINGS/PDF/CBA2018-0382.pdf>. Acesso em: 5 ago. 2019.

UNIVERSIDADE DE WAIKATO. **WEKA**. Nova Zelândia, 2006. Disponível em: <https://sourceforge.net/projects/weka/>. Acesso em: 29 jul. 2019.

WOOD, Allen J.; WOOLLENBERG, Bruce F (1996). **Power Generation, Operation, and Control**. 2. ed.