

Classificação de Fontes Causadoras de Distúrbios de Tensão Utilizando Mineração de Dados

Evandro A. Reche, Eduardo A. P. Gomes,

Denis V. Coury, Mário Oleskovicz

Departamento de Engenharia Elétrica e de Computação

EESC, Universidade de São Paulo

{evandroreche; eduardoapgomes}@usp.br

{coury; olesk}@sc.usp.br

Ricardo A. S. Fernandes

Departamento de Engenharia Elétrica

CCET, Universidade Federal de São Carlos

ricardo.asf@ufscar.br

Resumo — Neste artigo são investigadas as potencialidades de uma nova metodologia de mineração de dados para classificar fontes causadoras de distúrbios de tensão oriundos de partidas de motores, energização de transformadores, faltas e distorções harmônicas. Este método é o *Data-Mining of Code Repositories* (DAMICORE), que pode lidar com problemas nos quais os dados apresentam correlações complexas. O DAMICORE utiliza três técnicas para realizar a mineração de dados, a saber: *Normalized Compression Distance* (NCD), *Neighbor-Joining* (NJ) e *Fast-Newman* (FN). A metodologia proposta parte de um pré-processamento dos sinais trifásicos de modo a extrair 12 características por fase, as quais são apresentadas como entradas ao classificador de eventos baseado no DAMICORE. Os resultados mostram que o método é capaz de distinguir os eventos com elevados índices de precisão.

Palavras-chave — Classificação de Distúrbios, DAMICORE, Mineração de Dados, Qualidade de Energia Elétrica.

I. NOMENCLATURA

Para a análise dos resultados deste trabalho, foram adotadas as seguintes nomenclaturas para os distúrbios de tensão estudados:

FLTA – Curto-circuito monofásico ou entre quaisquer fases, envolvendo ou não terra;

FLTE – Curto-circuito monofásico à terra, com sobretensão verificada nas fases sãs (característico de circuitos isolados);

MOT – Partida de motor trifásico;

TRA – Energização de transformador trifásico;

OSO – Oscilação harmônica transitória verificada em circuito energizado e em operação;

OSE – Oscilação harmônica transitória verificada durante a energização do circuito.

II. INTRODUÇÃO

O monitoramento da Qualidade da Energia Elétrica (QEE) é o processo de coleta de dados de medição para análise e interpretação, com o objetivo de obter informações úteis sobre eventos. A importância que se dá ao tema de QEE vem crescendo na medida em que as agências reguladoras enrijecem índices de qualidade de produto e de serviço. O processo de aquisição de dados é normalmente realizado por medição contínua de tensão e corrente [1].

Os distúrbios na forma de onda da tensão (afundamentos, elevações, distorções harmônicas, etc.), em geral, são identificados de acordo com seus parâmetros limites, definidos pela agência reguladora, quando excedidos. Sua classificação se dá pelas características destes parâmetros (principalmente, duração e intensidade)[2]. Os Registradores de Perturbações comercialmente disponíveis possibilitam o monitoramento destes parâmetros e permitem ajuste de *trigger* para registro oscilográfico. Porém, estes eventos são armazenados e não é realizada uma análise automática de cada um para detectar qual é a sua fonte causadora [3].

Dado que a implementação de sistemas inteligentes para analisar e interpretar os dados brutos automaticamente tem sido o foco de diversos estudos recentes [1], [4], [5], este trabalho segue na linha de analisar/classificar os eventos de acordo com a sua fonte causadora. As formas de onda dos distúrbios elétricos apresentam certas características que permitem suas subdivisões em classes [4].

Para este trabalho, foram analisadas as formas de onda da tensão dos distúrbios relativos à: partida de motores, energização de transformadores, faltas e distorções harmônicas. Tais sinais foram gerados a partir de equações apresentadas em [6], sendo, portanto, sinais sintéticos. O processo de extração de parâmetros consiste na detecção de um conjunto de dados que caracterizam o perfil de cada evento de acordo com sua origem. De posse dos conjuntos de dados de cada arquivo, foi decidido qual tratamento adequado a ser feito a eles por meio da técnica *Data-Mining of Code Repositories* (DAMICORE). Essa técnica foi escolhida, pois é uma técnica baseada na compressão de dados capaz de detectar similaridades entre arquivos de qualquer tipo, vetores, matrizes, textos e que vem mostrando bons resultados em problemas relacionados às ciências da computação [7].

O artigo está organizado de forma que na Seção II é apresentada toda a metodologia empregada para a classificação dos distúrbios, bem como a geração dos sinais. A Seção III consiste nos resultados encontrados. Por fim, a Seção IV apresenta as conclusões obtidas mediante os resultados.

III. METODOLOGIA

Para alcançar o objetivo de verificar a viabilidade do uso da mineração de dados para os fins deste trabalho, é fundamental que se tenham sinais (formas de onda de tensão) com assinatura característica de sua fonte causadora (partida de motores, energização de transformadores, etc.). Seguindo este processo, também é importante que se tenha um algoritmo para fazer a leitura destes sinais, com a capacidade de reconhecer e extrair deles parâmetros particulares, ou menos comuns em outros eventos. Levantados os parâmetros de cada evento e salvos separadamente em arquivos de texto padrão, fica

viabilizada a mineração destes arquivos pelo DAMICORE. Neste sentido, o método para simulação adotado foi organizado conforme apresentado na Fig. 1.

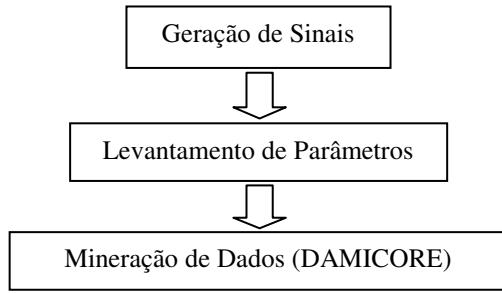


Fig. 1. Fluxograma da metodologia deste trabalho.

Todos os algoritmos envolvidos neste trabalho (que serão apresentados a seguir) utilizam o software MATLAB (R2010a) como ambiente de programação [8].

A. Geração dos Sinais

Em geral, as oscilografias de distúrbios são obtidas por meio de monitoramentos de campo. Entretanto, fatores como a aleatoriedade dos distúrbios, necessidade de longas campanhas de medição e o acesso restrito a banco de dados de empresas inviabilizam que pesquisadores tenham acesso a este tipo dado. Neste sentido, a simulação destes eventos se torna uma alternativa cada vez mais presente para obter as formas de onda dos distúrbios [6].

Os modelos matemáticos adotados para a simulação dos sinais foram extraídos de [6], e a função de cada evento consiste basicamente na soma e/ou subtração da função senoidal pura do sistema elétrico em questão, com a função do distúrbio desejado. As funções dos distúrbios permitem a variação dos parâmetros e perfis de cada evento, viabilizando assim uma grande variedade de eventos com o mesmo tipo de distúrbio.

Portanto, os sinais foram gerados com frequência fundamental de 60 Hz, duração de 5 segundos com taxa de amostragem de 128 amostras/ciclo, limitando a capacidade de reprodução de frequências acima de 12ª harmônica, bem como reprodução de descargas atmosféricas. Foi adotado que todos os distúrbios se iniciassem no instante próximo a 500 ms, pois se partiu do princípio que seriam equivalentes às oscilografias geradas por um registrador de perturbações comercialmente disponível, com este ajuste parametrizável e padronizado.

Para este trabalho, foram realizadas simulações de distúrbios divididos igualmente em cinco eventos característicos, a saber: afundamento devido à falta, afundamento devido à partida de motor, afundamento devido à energização de transformadores, energização com oscilação transitória e oscilação transitória durante a operação do sistema.

1) Afundamento de tensão devido à falta (FLTA)

A principal característica da assinatura deste tipo de afundamento é o perfil estacionário, onde a tensão cai abruptamente do seu valor nominal até outro entre 0.9 e 0.1 p.u. Sua duração e amplitude são aleatórios, função representada por (1) e (2). Sendo s a amplitude do afundamento, f_i a frequência do sistema, θ_A o ângulo de defasagem e t representa a variável tempo. Os instantes de início e fim são definidos por t_n .

$$V_A = [1 - s(u_i - u_2)] \sin(2\pi f_i t + \theta_A) \quad (1)$$

$$u_n = \begin{cases} 1: \forall t \text{ if } t - t_n > 0 \\ 0: \forall t \text{ if } t - t_n < 0 \end{cases} \quad (2)$$

Foram também consideradas faltas monofásicas em sistemas isolados, onde é verificada elevação de tensão nas demais fases.

2) Afundamento de tensão devido à partida de Motores de Indução Trifásicos (MOT)

Este tipo de evento é caracterizado por ser um afundamento de tensão que apresenta uma alta taxa de variação no decaimento e uma baixa taxa de variação no restabelecimento. Em geral, não é seguido de interrupção e a tensão remanescente não decai mais que 0,85 p.u [9], também é relevante a presença de terceiro harmônico (que diminui na mesma taxa de variação do restabelecimento da tensão eficaz). Sua função é representada por (3), (4) e (5), onde M_s e M_r são as funções auxiliares de decaimento e de elevação das tensões, r é a ondulação do sinal, f_r é a frequência desta ondulação, α é taxa de afundamento, β é a taxa de recuperação, t_i representa o instante de início da perturbação e ρ é a taxa de decaimento da ondulação do sinal. As demais variáveis são equivalentes às equações anteriores.

$$V_A = [1 - s(M_s - M_r)] \sin(2\pi f_i t + \theta_A) \quad (3)$$

$$M_s = u_i(1 - e^{-\alpha t_i}) + u_i(r \sin(2\pi f_r t_i) e^{-\alpha t_i}) \quad (4)$$

$$M_r = u_2(1 - e^{-\beta t_i}) \quad (5)$$

3) Afundamento de tensão devido à Energização de Transformadores Trifásicos (TRA)

Energizações de transformadores tem a particularidade de sempre ser desequilibrado, pois cada fase, no momento da energização, tem um valor de tensão diferente, influenciando na saturação do transformador em cada fase de seus enrolamentos. Outra particularidade é a ausência de afundamento com tensão remanescente inferior a 0,75 p.u. [9]. A função deste evento é representada por (6). As demais variáveis são equivalentes às equações anteriores.

$$V_A = [1 - s(u_i \cdot e^{-\alpha(t-t_i)})] \sin(2\pi f_r t_i + \theta_A) \quad (6)$$

4) Energização do circuito com oscilação harmônica transitória (OSE)

A presença de componentes harmônicos em oscilações transitórias obedece à função (7), onde t_m é a magnitude a tensão transitória e f_{osc} é a frequência harmônica. As demais variáveis são equivalentes às equações anteriores.

$$V_A = u_i \sin(2\pi f_i t + \theta_A) + [u_i \cdot t_m \sin(2\pi f_{osc} t_i) \cdot e^{-\rho t_i}] \quad (7)$$

5) Oscilação harmônica transitória durante a operação (OSE)

A presença de componentes harmônicos em eventos transitórios ocorridos durante a operação do sistema ocorre

principalmente devido a chaveamentos e energizações [1]. Nas simulações obedece à função (8), em que t_m é a magnitude da tensão transitória e f_{osc} é a frequência harmônica.

$$V_A = \text{sen}(2\pi f_i t + \theta_A) + [u_i \cdot t_m \text{sen}(2\pi f_{osc} t_i) \cdot e^{-\rho t_i}] \quad (8)$$

Os parâmetros de entrada de cada evento foram definidos com base em [5], [9]–[11]. Os valores máximos e mínimos estão especificados na Tabela 1, que nas simulações estão linearmente espaçados, totalizando 60 eventos distintos para cada tipo de distúrbio, com algumas observações relativas à simulação:

- Foram considerados apenas motores e transformadores trifásicos, pois estes equipamentos de médio e grande porte são responsáveis por distúrbios deste tipo no sistema de potência [1] sendo que equipamentos monofásicos raramente provocariam um distúrbio no sistema devido a sua pequena potência. Para os demais eventos monofásicos, as fases sãs mantiveram seus valores nominais;
- Foi adicionada a presença de segundo harmônico na energização dos transformadores e terceiro harmônico em motores [12];

TABELA 1. PARÂMETROS MÁXIMOS E MÍNIMOS.

Função	t1(s)	t2(s)	Afundamento (p.u.)			Constantes			Harm. (V)	Harm. (Hz)
			A	B	C	ρ	α	β		
OSO	0,5	-	-	-	-	50	-	-	1,4	180
	0,5	-	-	-	-	500	-	-	0,2	720
OSE	0,5	-	-	-	-	50	-	-	1,4	180
	0,56	-	-	-	-	500	-	-	0,2	720
MOT	0,5	0,6	0,15	0,15	0,15	1	50	0,5	-	-
	0,55	0,7	0,1	0,1	0,1	1	200	3	-	-
TRA	0,5	-	0,25	0,25	0,25	-	0,5	-	-	-
	0,55	-	0,05	0,05	0,05	-	3	-	-	-
FLT	0,5	2,3	-0,4	-0,4	-0,4	-	-	-	-	-
	0,5	2,4	0,77	0,77	0,77	-	-	-	-	-

B. Levantamento dos Parâmetros Característicos dos Sinais

É de fundamental importância que os arquivos a serem minerados carreguem o maior número de informações relevantes dos sinais trifásicos das tensões. Neste sentido, foi elaborado um algoritmo (representado na fig. 2) capaz de fazer um pré-processamento dos sinais trifásicos da tensão. Este algoritmo extrai 12 características destes eventos e as organiza dentro de uma matriz de dados. Cada coluna da matriz de dados representa um parâmetro característico extraído, com valores individuais por fase (distribuídos nas linhas).

Cada parâmetro que compõe a matriz de dados é apresentado a seguir:

1) *Vmax* - se refere à tensão máxima instantânea verificada em cada fase do evento. É mais evidente principalmente em eventos como descargas atmosféricas, mas também é presente em elevações de tensão e em parte dos transitórios harmônicos;

2) *Duração de Distorção Harmônica Significante* - o termo significativo foi adotado como sendo qualquer distorção harmônica com duração superior a 0.5 ciclos e Distorção Harmônica Total (DHT) superior a 2%. A este parâmetro foram dedicadas 2 colunas da Matriz de dados, pois, dependendo do evento, variações abruptas no valor da tensão à

frequência nominal são interpretadas como distorções harmônicas;

3) *Média de Distorção Harmônica Significante* - a este parâmetro também foram dedicadas 2 colunas da Matriz de dados. E a Média se define como o valor médio do DHT durante o distúrbio;

4) *Duração de Afundamento* - duração em segundos do afundamento verificado;

5) *Média do Afundamento* - é a média da variação da tensão (ΔV) durante o afundamento, quando verificado;

6) *Duração da Elevação* - duração em segundos da elevação verificada;

7) *Média da Elevação* - é a média da variação da tensão (ΔV) durante a elevação, quando verificada;

8) *Número de Picos Positivos da Derivada do Valor Root Mean Square (RMS)* - este parâmetro caracteriza bem as variações de tensão abruptas para o caso de afundamentos. Por exemplo, caso houverem dois picos verificados, é característica de que ocorreram dois afundamentos abruptos (provavelmente falta seguida de interrupção);

9) *Número de Picos Negativos da Derivada do Valor RMS* - análogo ao anterior, porém reflete variações abruptas na elevação da tensão;

10) *Sequência de Pico* - a este parâmetro se dá o valor -1 caso houver um pico negativo seguido de um pico positivo, o valor 1 caso seja um pico positivo seguido de um pico negativo, e zero quando não for nenhum destes casos. Este parâmetro caracteriza bem os eventos múltiplos (afundamento seguido de interrupção, por exemplo) e transitórios impulsivos, bem como diferencia os afundamentos monofásicos com e sem elevação de tensão nas demais fases;

11) *Derivada Mínima da tensão RMS* - este parâmetro diferencia os afundamentos de tensão pela sua taxa de variação no tempo durante afundamento, característicos de partidas de motores, cuja tensão não decai instantaneamente;

12) *Derivada Máxima da tensão RMS* - similar ao anterior, porém é caracterizado pela elevação/normalização, denunciando afundamentos indutivos, como a normalização da partida de motores e energização de transformadores.

É importante reafirmar que cada fase é individualmente analisada e seus parâmetros são adicionados separadamente na matriz de dados, facilitando a identificação de desbalanço entre fases na própria mineração de dados (o que indica energização de transformadores). As principais observações a serem feitas sobre o algoritmo são:

- O filtro passa baixa foi implementado para que a possível presença de harmônicos em sinais não influencie na análise da tensão RMS (que neste caso se refere apenas à frequência nominal). Trata-se de um *Butterworth Filter* frequência de corte de 120Hz e terceira ordem;
- O cálculo da tensão RMS foi feito com janela de um ciclo e passo de uma amostra;
- Foi calculada a média móvel da tensão RMS com janela de um ciclo e passo de uma amostra. Este parâmetro foi utilizado como referência para o V_{rms} devido ao fato de que a RMS calculada apresenta um *Ripple* nos instantes de afundamentos e/ou elevação, influenciando negativamente nas análises com derivadas;

entre os mesmos [7]. A organização da similaridade encontrada é apresentada sob a forma de *árvore filogenética*, que consiste em uma representação gráfica na forma de árvore que mostra a relação entre várias espécies com um possível ancestral em comum. Correlacionando os arquivos de acordo com a hierarquia de semelhança entre eles [14]. O DAMICORE executa três algoritmos em sequência, sendo eles:

- Normalized compression distance (NCD)[15];
- Neighbor-Joining (NJ)[16];
- Fast Newman (FN)[17].

A NCD é uma métrica que verifica similaridades entre dois arquivos. No DAMICORE a NCD é calculada entre todos os arquivos selecionados para a mineração de dados, obtendo-se assim uma matriz de distâncias de dimensão $M \times M$, em que M é o número de arquivos a serem minerados. Cada elemento da matriz recebe um valor entre zero e um, correspondente a similaridade entre dois arquivos (quanto mais similar, mais próximo de zero). Esta matriz resultante contém o grau de similaridade entre todos os arquivos a serem minerados.

O NJ é um algoritmo capaz de calcular árvores filogenéticas utilizando uma matriz de distâncias que contém as respectivas similaridades entre organismos vivos. A árvore filogenética calculada é uma representação gráfica útil para analisar as relações de hereditariedade entre espécies [16]. No caso do DAMICORE, essa matriz de distâncias é obtida na etapa NCD, sendo assim a árvore filogenética obtida é uma representação gráfica que mostra a relação entre os dados apresentados ao DAMICORE.

O FN é um algoritmo que detecta no grafo da árvore filogenética fornecida pelo NJ os grupos (Clusters) que armazenam dados com características similares entre si.

IV. RESULTADOS

De posse das oscilografias geradas, com seus sinais pré-processados e levantados estes parâmetros, o DAMICORE retorna dois resultados diferentes, sendo: a Árvore filogenética e a divisão em *Clusters*.

1) *Árvore Filogenética:*

É possível observar (Fig. 3) que se formaram pelo menos quatro grandes grupos bem definidos, sendo eles:

- Oscilação harmônica durante a operação (OSO);
- Oscilação harmônica durante a energização do circuito monitorado (OSE);
- Energização de Transformadores (TRA);
- Partida de Motores (MOT).

É importante relembrar que os eventos relativos às faltas são os mais aleatórios possíveis, em termos de magnitude, presença de harmônicos, duração, etc. Esta aleatoriedade resultou na formação ramos segregados para distúrbios devido a ocorrência de faltas, porém bem definidos e próximos entre si, apresentando também um agrupamento dos eventos onde não há elevação de tensão nas fases sãs, bem como o agrupamento dos eventos que tem a presença deste fenômeno.

2) *Clusters:*

São os grupos resultantes da execução da técnica FN chamados aqui de *Clusters*. Para a simulação, o algoritmo retornou 26 *Clusters* distintos, conforme Fig. 4.

Fazendo uma análise dos Clusters definidos pelo DAMICORE, conclui-se que dos 26 Clusters Gerados, 23 deles são muito bem definidos, onde os Clusters:

- 6, 9, 10, 19 e 26 são, exclusivamente, de eventos do tipo MOT;

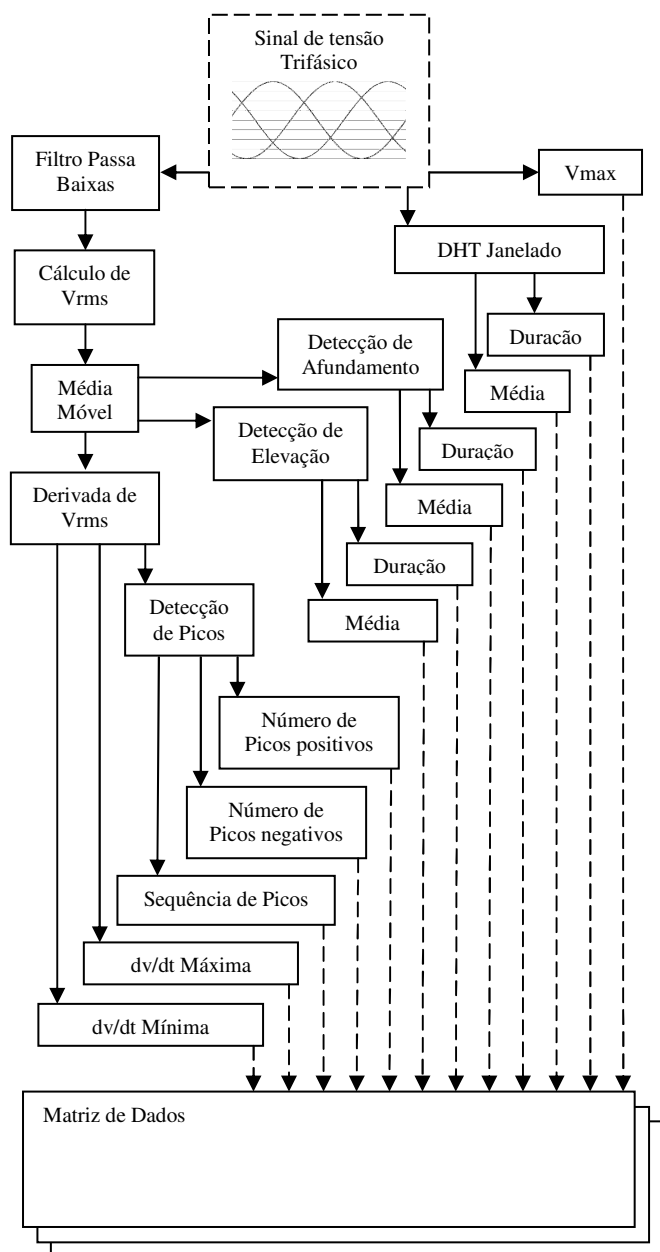


Fig. 2. Fluxograma de extração da Matriz de Parâmetros Característicos.

C. Mineração de Dados via DAMICORE

O DAMICORE é uma ferramenta de mineração de dados que tem como objetivo principal correlacionar arquivos dispostos em repositório, a fim de determinar a similaridade

- 2, 4, 20, 24 e 25 são, exclusivamente, de eventos do tipo OSO;
- 5, 11, 12, 17 e 18 são, exclusivamente, de eventos OSE;
- 13, 14, 22 e 23 são, exclusivamente, de eventos TRA;
- 1, 7, 15, 16 e 21 são todos referentes à faltas, sendo que o grupo 7 é exclusivamente com elevação, o 1 é misto (faltas com elevação ou elevação) e os demais são exclusivos de faltas com afundamento;
- Os Clusters 3 e 8 não definiram bem as características de seus eventos.

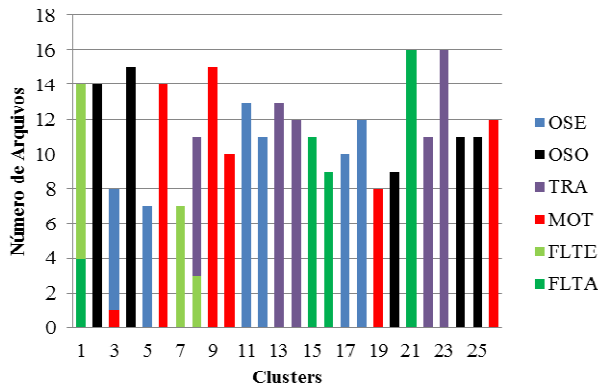


Fig. 3. Divisão dos arquivos em Clusters.

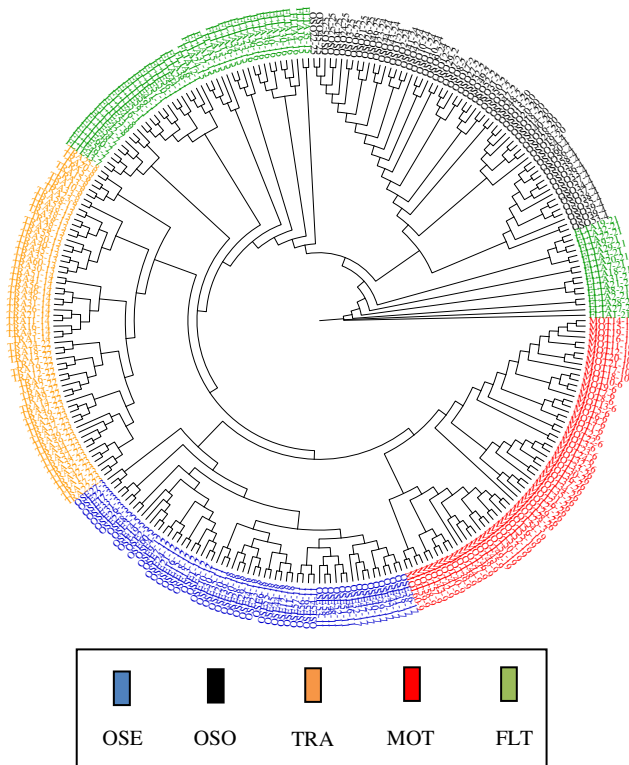


Fig. 4. Árvore Filogenética retornada pelo DAMICORE.

Analisando em conjunto os *clusters* e a árvore filogenética, pode-se entender que, no grupo 8 existem parâmetros similares entre eventos, visto que na árvore, ambos estão relativamente próximos. Já o caso relativo ao grupo 3, pode ser considerado como erro de classificação pois o evento MOT25 (Agrupado no Cluster 3) está bem distante dos outros arquivos.

Considerando eventos oriundos de faltas como um só tipo (com afundamentos ou elevação), obtém-se que dos 300 eventos simulados, tratados e minerados, 281 ficaram em

Clusters bem definidos de acordo com sua origem. Resultando em um acerto de 93,7%.

V. CONCLUSÃO

A capacidade que o DAMICORE tem para minerar dados complexos já é conhecida. Dado isso, fica evidente que o sucesso do DAMICORE para os fins deste trabalho está intimamente relacionado com a representatividade da matriz de saída retornada pela ferramenta de pré-processamento das oscilografias. Tal pré-processamento extrai 12 parâmetros por fase de cada evento, com fins de representar melhor o evento de acordo com sua fonte causadora.

Neste contexto, o DAMICORE se mostrou viável como ferramenta de classificação de fontes de distúrbios na forma de onda da tensão. Por meio da inspeção visual da árvore filogenética e a análise dos Clusters encontrados nesta árvore fica evidente a capacidade da ferramenta distinguir padrões similares dos distúrbios (TRA, MOT, OSO, OSE, e FLT) com uma precisão de 93,7%.

Estes resultados abrem um leque de possibilidades para o uso desta ferramenta na classificação de distúrbios de qualidade de energia elétrica, relacionados a estudos com fins de desenvolver algoritmos para reconhecimento e levantamento de características de distúrbios além destes aqui apresentados, seja eventos com múltiplos distúrbios, ou oscilografias extraídas em campo.

VI. AGRADECIMENTOS

REFERÊNCIAS

- [1] R. Dugan, S. Santoso, and M. F. McGranaghan, *Electrical Power Systems Quality*, Third Edit. McGraw-Hill Professional Publishing, 2012.
- [2] A. Agência Nacional de Energia Elétrica, "Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST Módulo 8 – Qualidade da Energia Elétrica," 2015.
- [3] "Registrador de Perturbações Digital Multifunção - Manual de Usuário." Reason Tecnologia S.A., pp. 1–250, 2014.
- [4] P. K. Dash, S. Mishra, M. M. A. Salama, and A. C. Liew, "Classification of power system disturbances using a fuzzy expert system and a Fourier Linear Combiner," *IEEE Trans. Power Deliv.*, vol. 15, no. 2, pp. 472–477, 2000.
- [5] T. K. Abdel-Galil, M. Kamel, A. M. Youssef, E. F. El-Saadany, and M. M. A. Salama, "Power Quality Disturbance Classification Using the Inductive Inference Approach," *IEEE Trans. Power Deliv.*, vol. 19, no. 4, pp. 1812–1818, 2004.
- [6] R. H. G. Tan and V. K. Ramachandramurthy, "Numerical Model Framework of Power Quality Events," *Eur. J. Sci. Res.*, vol. 43, no. 1, pp. 30–47, 2010.
- [7] B. A. Silva, L. A. Cuminato, A. C. B. Delbem, P. C. Diniz, and V. Bonato, "A technique to guide heterogeneous multi-core processor design along with an heterogeneity-aware scheduling policy," *IET Comput. Digit. Techniques*, p. 25, 2014.
- [8] "MATLAB Documentation." [Online]. Available: https://www.mathworks.com/help/matlab/index.html?s_cid=doc_ftr.

- [9] D. Ning, C. Wei, S. Juan, W. Jianwei, and X. Yonghai, "Voltage sag disturbance detection based on RMS voltage method," *Asia-Pacific Power Energy Eng. Conf. APPEEC*, 2009.
- [10] S. Roy and S. Nath, "Classification of Power Quality Disturbances Using Features of Signals," *Int. J. Sci. Res. Publ.*, vol. 2, no. 11, pp. 18–21, 2012.
- [11] V. Kumar and M. Kaur, "Power Quality Event Generation in MATLAB / Simulink Environment," *Int. J. Adv. Res. Electr. Eletronics Instrum. Eng.*, vol. 4, no. 7, pp. 6055–6059, 2015.
- [12] D. V. Coury, M. Oleskovicz, and R. Giovanini, *Proteção Digital de Sistemas Elétricos de Potência: dos Relés Eletromecânicos aos Microprocessados Inteligentes*. Editora da Universidade de São Paulo, 2007.
- [13] ANEEL, "AGENCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST Módulo 8 – Qualidade da Energia Elétrica," p. 76, 2009.
- [14] E. A. P. Gomes, "Detecção de Ilhamento de Geradores Síncronos Distribuídos por Correlações da Mineração Complexa de Dados," Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo, São Carlos, Brasil, 2016.
- [15] R. Cilibrasi and P. M. B. Vitányi, "Clustering by compression," *IEEE Trans. Inf. Theory*, vol. 51, no. 4, pp. 1523–1545, 2005.
- [16] N. Saitou and M. Nei, "The neighbor-joining method: a new method for reconstructing phylogenetic trees.,", *Mol. Biol. Evol.*, vol. 4, no. 4, pp. 406–425, 1987.
- [17] M. E. J. Newman, "Fast algorithm for detecting community structure in networks," *Phys. Rev. E*, vol. 69, no. 6, p. 66133, 2004.