Software Baseado em Processamento de Sinais para Detecção, Classificação e Diagnóstico de Distúrbios Relacionados a Sistemas de Energia Elétrica

Ruben Barros Godoy João Onofre Pereira Pinto, *Member, IEEE* Luigi Galotto Júnior
Heder Almeida Menezes Bruno Lacerda Resende

***Resumo* – A identificação de distúrbios em correntes e tensões em sistemas elétricos é uma tarefa muito importante visando o monitoramento e proteção destes sistemas. Este artigo apresenta um *software* destinado a identificar, classificar e diagnosticar a origem de distúrbios que degradam o sistema elétrico. Várias técnicas são aplicadas em conjunto: transformadas wavelets, redes neurais artificiais e inferência estatística. O diagnóstico é realizado utilizando um algoritmo de faltas múltiplas, capaz de associar com eficiência os distúrbios encontrados às suas possíveis fontes geradoras. Esta primeira versão do aplicativo trabalha com sinais monofásicos e operação off-line. Os resultados de extensivas simulações confirmam o bom desempenho do algoritmo proposto. Esta combinação de técnicas objetiva o desenvolvimento final de um sistema automático para monitoramento on-line de sistemas elétricos.**

***Palavras-chave* – Distúrbios de Qualidade de Energia, Classificação, Diagnóstico, Wavelets, Redes Neurais Artificiais.**

I. Introdução

O crescimento da utilização de equipamentos computadorizados de alta sensibilidade tem determinado um aumento na exigência sobre os níveis de qualidade da energia elétrica. Não significa unicamente que se deve fornecer energia sem interrupções, mas também suas formas de onda devem ser mantidas senoidais, com freqüência constante, e sem variações significativas na amplitude, assegurando bom funcionamento dos equipamentos. O empobrecimento da Qualidade de Energia (QE) pode causar problemas bastante sérios tais como a redução do tempo de vida das cargas, mau funcionamento de dispositivos de proteção, instabilidades, interrupções na produção, entre outros. A razão determinante para o despertamento do interesse pela boa QE está associada principalmente a fatores econômicos visto que a presença de distúrbios na QE gera ônus significante.

Os métodos existentes para detecção e classificação de distúrbios no sistema elétrico são exaustivos uma vez que estão baseados em análises iniciais visuais [1]. Avanços recentes no processamento de sinais e reconhecimento de padrões têm possibilitado o desenvolvimento de métodos capazes de localizar e classificar diversos tipos de distúrbios. Estes métodos estão baseados na tranformada *wavelet* discreta, análises em multiresolução, aproximações polinomiais e analises biespectrais [1]-[4].

Neste trabalho propõe-se a reunião de diversas técnicas a fim de maximizar o número de distúrbios detectados. Em princípio são utilizadas as transformadas *wavelets* e análises de multiresolução para detecção e duração de distúrbios. Aplica-se o uso da estatística para cálculos de índices e reconhecimento de formas de ondas. Utilizam-se redes neurais adaptativas para levantamento de características como amplitude, freqüência e distorção harmônica dos sinais. Blocos que utilizam lógica Fuzzy determinam a severidade de determinados distúrbios.

Após a classificação de cada distúrbio, um algoritmo de faltas múltiplas determina o conjunto de fontes que apresenta a maior probabilidade de estar associado às perturbações ocorridas. O *software* final foi denominado PQMON 1.0 e é capaz de classificar distúrbios em 13 categorias com respectivos diagnósticos.

II. Classes de Distúrbios

Existem muitos tipos de eventos que podem degradar a QE tornando os problemas de identificação de distúrbios bastante desafiadores. Para o PQMON 1.0 desenvolveu-se um algoritmo capaz de idenificar 13 categorias de distúrbios, a saber: interrupções e de curta duração, subtensões e de curta duração, sobretensões sustentadas e de curta duração, transitórios impulsivos e oscilatórios, harmônicas, flutuações, nível CC, subharmônicas e variações na freqüência. Apresentam-se na Fig. 1 as formas de onda de alguns destes distúrbios.

Observa-se na Fig. 1a um sinal de tensão afetado por harmônicas. Distorções harmônicas correspondem a um problema de grande significância em sistemas elétricos [5]. O crescimento de cargas eletrônicas e outras cargas não lineares como controladores de velocidade e fornos a arco vem contribuindo significantemente para o aumento de componentes harmônicas nas correntes e tensões da rede elétrica.

Transitórios causados pelo chaveamento de bancos de capacitores são uma das fontes mais comuns da degração da QE em sistemas de distribuição [5]. Um exemplo de sinal distorcido pelo chaveamento de um banco de capacitores é mostrado na Fig. 1b. A freqüência desta oscilação é determinada pela capacitância e indutância do sistema.

Um transitório diferente daquele referente ao chaveamento dos bancos de capacitores é o transitório impulsivo. A Fig. 1c mostra este distúrbio. Este não apresenta simetria em relação ao sinal senoidal. Geralmente é causado por variações bruscas na corrente, provocando picos na tensão. Estão associados ao acionamento manual de interruptores e chaves.

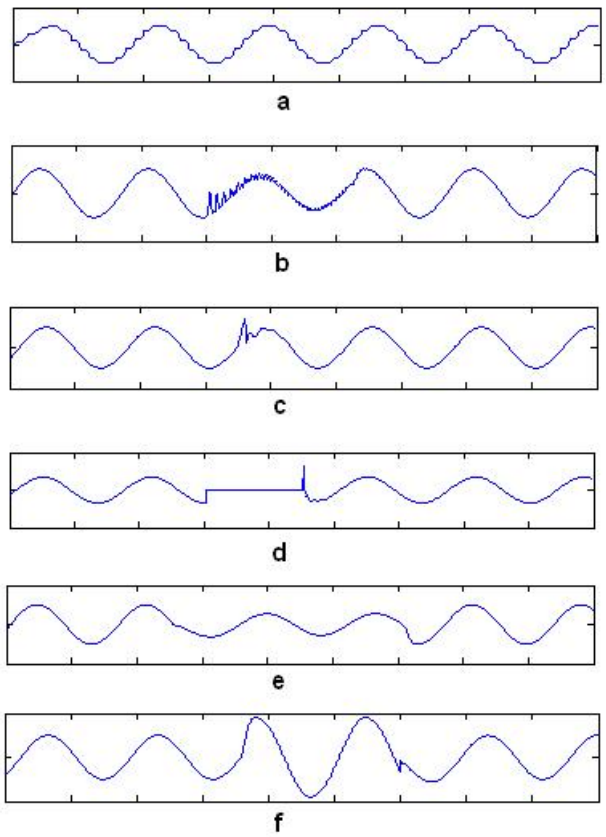

Fig. 1 Principais distúrbios associados à qualidade de energia. (a) harmônicos; (b) transitório oscilatório; (c) transitórios impulsivos; (d) interrupções momentâneas; (e) afundamento; (f) elevação de tensão.

As interrupções momentâneas de tensão correspondem a situações geralmente associadas à faltas no sistema elétrico. Nestes casos a tensão é reduzida a valores inferiores a 0,1 pu. Na Fig. 1d pode ser observado este distúrbio. Este fenômeno tem duração de até 1 minuto. Caso este tempo seja excedido o fenômeno é caracterizado como uma interrupção sustentada.

Também associado às situações de falta têm-se os afundamentos de tensão (Fig. 1e). Estes ditúrbios podem ser provenientes também de partidas de grandes cargas e representam um decréscimo gradual no valor eficaz da tensão para níveis entre 0,1 e 0,9 pu. Tem duração inferior a 1minuto e caso exceda este tempo o distúrbio é caracterizado como subtensão sustentada.

Na Fig. 1f tem-se a situação de elevação momentânea de tensão. Estas elevações estão associadas a valores entre 1,1 e 1,8 pu e com duração não superior a 1 minuto. Geralmente são ocasionadas por faltas, energização de capacitores e chaveamento de cargas. Caso exceda 1 minuto de duração o distúrbio passa a ser caracterizado como sobretensão sustentada.

As flutuações de tensão são variações sistemáticas dos valores eficazes de tensão, ou uma série de mudanças aleatórias, cujas magnitudes normalmente não excedem faixas entre 0,95 e 1,05 pu. Embora as flutuações de tensão apresentem efeitos negativos no rendimento de máquinas rotativas e provoquem interferências em sistemas de proteção, a cintilação luminosa advinda deste distúrbio é uma conseqüência que merece grande destaque (devido ao desconforto visual que causa).

A variação na freqüência fundamental é um fenômeno bastante complexo e de conseqüências catastróficas. Normalmente o nível permitido encontra-se entre ± 0,1% o que exige bastante exatidão na estimação da freqüência. Estas variações podem ser causadas por faltas em sistemas de transmissão, saída de um grande bloco de carga, ou pela saída de uma grande fonte de geração. Em sistemas que tenham sua própria geração, a magnitude e o tempo das máquinas operando fora da velocidade resultam em desvios da freqüência mais significativos [6].

III. Algoritmo de Classificação e Diagnóstico

O diagrama na Fig. 2 mostra de maneira simplificada o algoritmo de classificação e diagnóstico de distúrbios. Neste estudo os distúrbios detectados estão sempre associados ao sinal de tensão. O sinal de corrente é utilizado para auxílio no diagnóstico do tipo de fonte que tenha gerado o distúrbio. A freqüência de amostragem dos sinais é de 7680 Hz, ou seja, 128 amostras por ciclo. Obviamente que esta freqüência pode ser ajustada para valores que venham a corresponder com a taxa de amostragem dos equipamentos de aquisição de sinais.

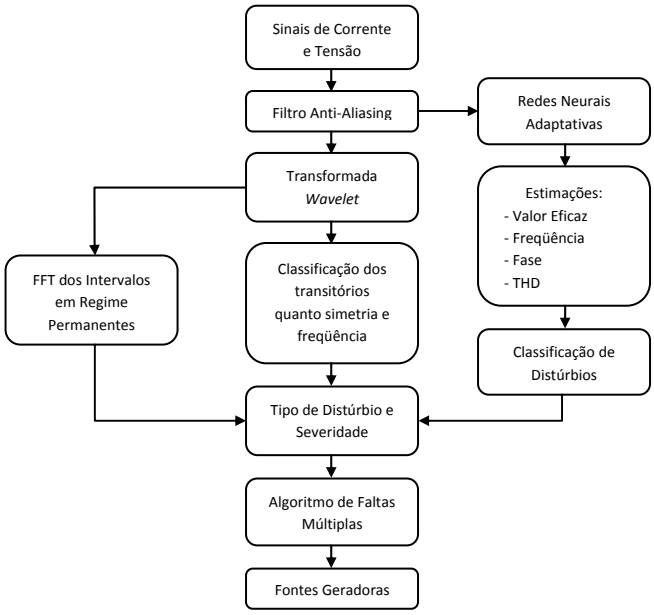

Fig. 2. Diagrama de classificação e diagnóstico.

A. *Filtro Anti-Aliasing*

Como apresentado na Fig. 2, o primeiro passo é passar os sinais originais através de um filtro anti-aliasing digital. Este filtro corresponde a um passa-baixas com freqüência de corte igual a metade da freqüência de amostragem, no caso aqui apresentado 3840Hz. É importante destacar que para os cálculos de flutuações de tensão e cintilação utiliza-se apenas um ponto por ciclo, destacando a importância do filtro anti-aliasing durante a sub-amostragem.

Após a filtragem do sinal o mesmo é processado paralelamente através de redes neurais adaptativas e a

transformada wavelet. Estes procedimentos são descritos nos tópicos seguintes.

B. Redes Neurais Adaptativas

Após a filtragem, o sinal começará a ser processado. Alguns fenômenos são observados a partir da análise de todo sinal. Estes são processados através de uma rede neural artificial adaptativa, também conhecida como Adaline. Nesta etapa a rede procura reproduzir o sinal a ser analisado. Nos pesos dos neurônios são armazenadas as informações referentes à amplitude, freqüência fundamental e fase dos sinais analisados.

O algoritmo de atualização dos pesos é freqüentemente referenciado como regra delta de Widrow-Hoff. Esta regra busca a minimização do erro quadrático médio entre a saída desejada e a saída estimada para todo instante k. A regra delta está descrita em (1).

$$W_{k+1} = W_k + \frac{a.e_{k.X}}{X^T.X} \tag{1}$$

onde,

k é o índice do tempo ou iteração

$W_k = [W_{1,k}, W_{2,k}, \dots, W_{n,k}]^T$ é o vetor de pesos no tempo correspondente k.

$[W_1, W_2, \dots, W_n]^T$ é o vetor correspondente às entradas.

$e_k = y_k - \bar{y}_k$ é o erro no instante k.

α é o fator de redução ou mais comumente: taxa de aprendizagem.

A equação (1) é válida desde que o numerador não se anule, caso contrário, os pesos não são atualizados naquela iteração. Atualmente algumas modificações têm sido inseridas na regra delta convencional principalmente para acelerar a convergência [7], [8].

Apresenta-se na Fig. 3 um esquema geral da arquitetura da Adaline. Nesta figura a saída predita está indicada por $\bar{y}(k)$ e o erro entre os valores estimados e desejados por $e(k)$.

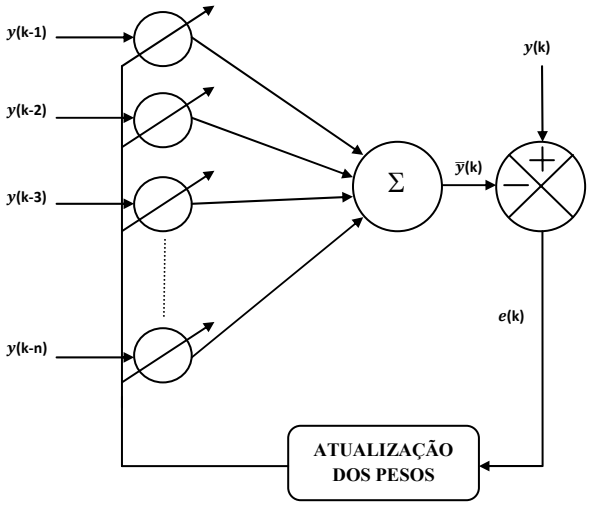

Fig. 3. Arquitetura genérica de uma Adaline.

C. Transformada Wavelet

Através da técnica de análise em multiresolução (MRA) é possível encontrar os coeficientes das decomposições *wavelets*. Várias *wavelets* foram utilizadas enquanto se validava a técnica. Para o fim proposto, não foram observadas diferenças significantes de desempenho entre as *wavelets*. Optou-se pela daubechies 5 devido a sua suavidade promover boas resoluções de freqüência.

Utilizando o primeiro nível de decomposição de uma *wavelet* daubechies 5 (db5), um limiar é calculado com base neste próprio nível, e desta maneira torna-se possível localizar instantes de alterações ocorridas no sinal. Um exemplo de sinal analisado é mostrado na Fig. 4.

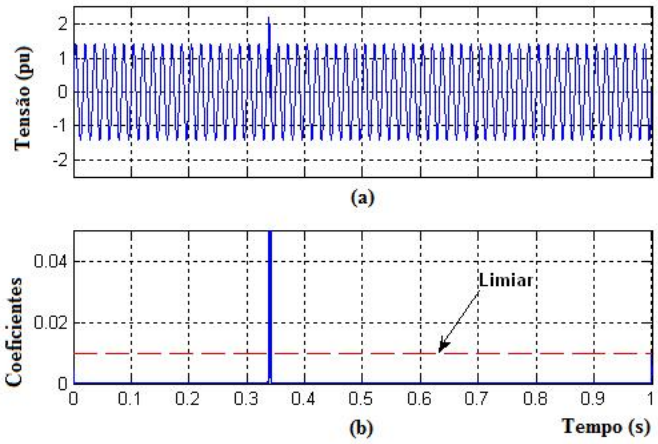

Fig. 4. Detecção de Intervalos Transitórios. (a) Sinal de tensão ao longo do tempo. (b) Decomposição de primeiro nível utilizando *wavelet* daubechies 5

A duração do fenômeno transitório é definida pelo tempo que os coeficientes do primeiro nível permanecem acima do limiar estipulado. O limiar apresentado na Fig. 4 é obtido através do desvio padrão dos coeficientes, porém este valor pode ser alterado pelo usuário para valores mais adequados.

Uma vez que as janelas de tempo referentes aos distúrbios transitórios foram definidas, as janelas referentes à operação em regime permanente equivalem aos intervalos complementares da janela total.

D. Intervalos de Regime Permanente

Os intervalos cujo sinal encontra-se em regime permanente são analisados utilizando a transformada rápida de Fourier (FFT). Sendo assim torna-se possível o levantamento das principais freqüências associadas aos sinais de corrente e tensão. A presença de nível CC é facilmente encontrada uma vez que a magnitude da componente contínua é apresentada no resultado da FFT.

E. Transitórios

Através da MRA o sinal é decomposto em 5 níveis. As aproximações são filtradas eliminando a fundamental e subharmônicas do sinal. Após o a filtragem o sinal resultante é composto unicamente pelo transitório. Utilizando a transformada de Fourier janelada (STFT) localiza-se o conteúdo de freqüência predominante neste sinal.

Os transitórios impulsivos são caracterizados verificando o índice de assimetria do intervalo transitório sem a presença da fundamental. Se o valor calculado diferencia-se muito de zero caracteriza-se o distúrbio. Tal índice está definido em (2).

$$y = \frac{E(x-m)^3}{s^3} \tag{2}$$

F. *Tipo de Distúrbio e Severidade*

A utilização de redes neurais adaptativas, transformadas *wavelet* e alguns cálculos estatísticos determinam os tipos de distúrbios que ocorrem no sinal. Alguns distúrbios, como afundamentos e elevações de tensão podem ter suas severidades avaliadas. Para esta avaliação utiliza-se um bloco de regras Fuzzy que relaciona o valor eficaz da tensão e o tempo de duração da mesma [9].

G. *Diagnóstico de Fontes Geradoras*

Para a seleção dos melhores conjuntos de fontes que possam ter gerado os distúrbios é necessária a representação do sistema de potência como um *Digraph Model* [10]. De maneira simplificada pode-se descrevê-lo como:

- Um conjunto S de fontes de distúrbios. $S=\{s_1, s_2, \ldots, s_m\}$;
- Um conjunto T de distúrbios. $T=\{t_1, t_2, \ldots, s_n\}$;
- Probabilidades associadas às fontes de distúrbios. $p(S)=\{p(s_1), p(s_2), \ldots, p(s_m)\}$;
- Uma matriz de dependência, $D=[d_{ij}]$;

O desafio do problema é encontrar o conjunto $X \subseteq S$ que seja consistente com os distúrbios que foram encontrados. Estatisticamente pode-se escrever:

$$\max_{X\subseteq S} P(X|T_p, T_f) \tag{3}$$

onde T_p representa os distúrbios não detectados (testes aprovados) e T_f os distúrbios detectados (testes reprovados).

Para auxílio dos cálculos define-se um vetor x de tamanho m, onde $x_i = 1$ se a fonte de distúrbio faz parte de um conjunto X previamente escolhido e onde $x_i = 0$, caso contrário.

Valendo-se do teorema de Bayes tem-se que:

$$\max_{X\subseteq S} P(X|T_p, T_f) = \max_{X\subseteq S} \frac{P(T_p,T_f|X).P(X)}{P(T_p,T_f)} \tag{4}$$

Considerando o termo $P(T_p, T_f)$ uma constante, pode-se reescrever a expressão (4):

$$\arg\max_{X\subseteq S} P(X|T_p, T_f) = \arg\max_{X\subseteq S} P(T_p|X).P(T_f|X).P(X) \tag{5}$$

onde:

$$P(X) = \prod_{i=1}^{m} p(s_i)^{x_i}.(1-p(s_i))^{1-x_i} \tag{6}$$

Para melhor entender (5) pode-se avaliar $P(T_p|X)$ e $P(T_f|X)$ através da matriz dependência D. Deste modo tem-se:

$$P(T_p|X) = \prod_{t_j \in T_p} p(t_j \in T_p|X) \tag{7}$$

$$P(T_f|X) = \prod_{t_k \in T_f} p(t_k \in T_f|X) \tag{8}$$

e finalmente:

$$p(t_j \in T_p|X) = \prod_{i=1}^{m} (1-d_{ij})^{x_i} \tag{9}$$

$$p(t_k \in T_f|X) = 1 - p(t_j \in T_p|X) \tag{10}$$

Importante verificar que tanto em (9) como em (10) assume-se que os testes são condicionalmente independentes, o que se considera um padrão em problemas de testes de hipóteses. Os testes apresentam probabilidade igual à unidade para afirmar a verdade sobre um evento e zero para falsas indicações. A metodologia apresentada pode ser facilmente estendida para o caso em que os testes venham a ser assimétricos, ou seja, probabilidades diferentes de 1 para detecções e diferentes de zero para a possibilidade de falsidade na indicação [11].

IV. Resultados e Análises

A. *Casos Hipotéticos*

A seguir alguns casos serão analisados com distúrbios hipotéticos e serão obtidos seus respectivos diagnósticos. Todos os sinais foram gerados através de simulação de sistemas elétricos em *software* Simulink/MATLAB 7.0®.

Na Fig. 5 tem-se um exemplo de análise. Os sinais gerados em simulação correspondem a uma falta na fase medida do sistema em estudo. Após processamento dos sinais observaram-se os seguintes distúrbios: "Afundamento de Tensão de Alta Severidade" e a presença de "Ruídos" [12]. A transformada *wavelet* discreta possibilitou a detecção exata do intervalo de tempo cujo fenômeno ocorreu (área em destaque do gráfico de tensão).

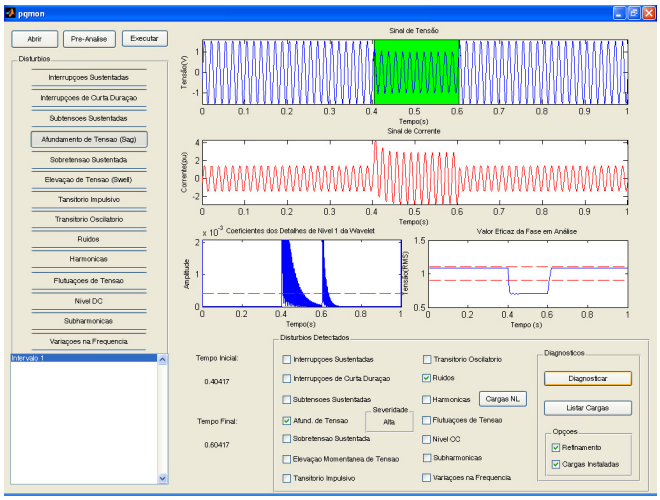

Fig. 5. PQMON em análise de sinal referente à falta monofásica na fase medida.

O diagnóstico é realizado utilizando as funções "Refinamento" e "Cargas Instaladas". A Fig. 6 apresenta a janela do PQMON contendo resultados e recomendações [12].

O diagnóstico apresentou as seguintes fontes para os distúrbios: “Energização de Transformadores”, “Falta na Fase Medida” ou “Fenômeno Proveniente de outro Sistema Interligado”. Embora o PQMON não tenha reduzido o diagnóstico a uma única resposta, o item “Falta na Fase Medida” encontra-se no conjunto de diagnóstico de máxima probabilidade. Este fato garante a veracidade da resposta.

Na janela de relatório final do PQMON são apresentadas medidas preventivas para evitar o distúrbio e recomendações de segurança que garantam a integridade física do sistema.

Num outro caso simulou-se um sistema elétrico bastante simples. Além do gerador, um ramal de alimentação e um transformador, foram instaladas cargas não lineares em baixa tensão correspondentes a retificadores de seis pulsos [12].

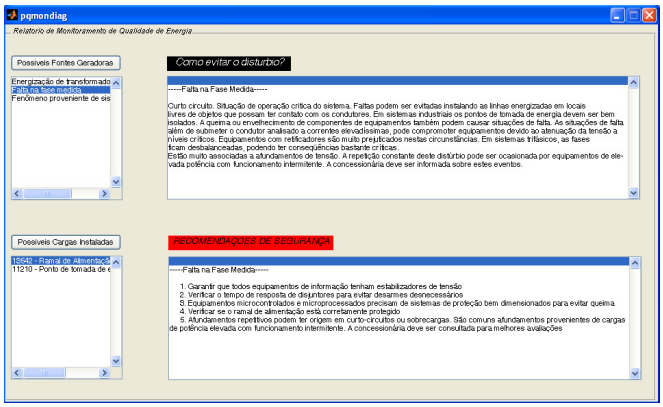

Fig. 6. Diagnóstico referente à condição de falta monofásica na fase medida.

Na Fig. 7 pode ser observado o resultado das estimações realizadas pelas redes neurais adaptativas. Estas estimações ocorrem paralelamente aos procedimentos que utilizam a transformada *wavelet* uma vez que necessitam do sinal completo, contendo intervalos em regime permanente e transitórios.

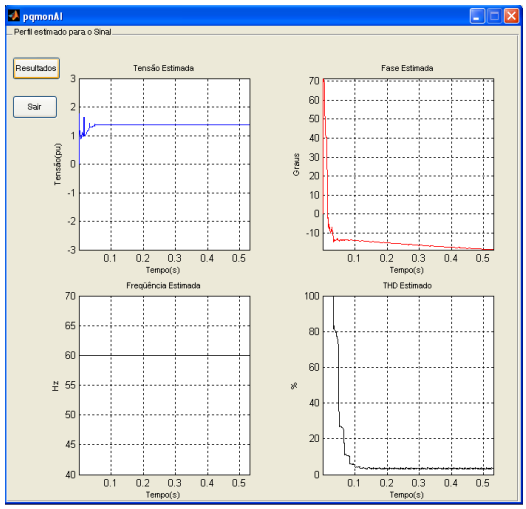

Fig. 7. Resultados encontrados para estimação de parâmetros da tensão.

Como se pode observar, os parâmetros foram coerentemente estimados pela rede neural adaptativa. Localizou-se a fundamental com valor eficaz e freqüência constantes. A distorção estimada para a tensão foi pouco inferior a 4%. A estimação da fase é mais lenta que as demais estimações, porém tendeu ao valor aproximado de -20°. Nesta primeira versão do PQMON, a fase do sinal é uma característica meramente informativa. Já em próximas versões, serão realizadas análises trifásicas, deste modo a informação das fases será determinante para o cálculo de desequilíbrios.

O processamento restante do sinal possibilitou a localização dos distúrbios referentes a “Harmônicas” e “Ruídos”.

Já o conjunto de fontes prováveis de geração de distúrbios inclui a presença genérica de cargas não lineares confirmando a validade da resposta. Analisando as cargas listadas do circuito, o refinamento é ainda maior, apresentando como possível carga geradora do distúrbio um “Retificador de Seis Pulsos”.

B. Caso Real

A fim de validar o sistema proposto viu-se a necessidade da realização de análises de casos reais.

Os sinais foram capturados com auxílio de um osciloscópio Tektronix TDS 420A. A taxa de amostragem foi de 2,5 kHz. Considerando que o *software* foi desenvolvido para análises de sinais amostrados a 7680 Hz, foi necessária uma simples adequação no mesmo. O local de aquisição dos sinais foi um dos barramentos do quadro de distribuição do BATLAB-1 - Laboratório de Eletrônica de Potência, Sistemas Digitais, Inteligência Artificial e Acionamento de Máquinas da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul. Durante a aquisição, as cargas presentes no sistema eram computadores, lâmpadas fluorescentes (reatores), estabilizadores de tensão, um refrigerador e condicionadores de ar.

Após a execução do *software* confirmou-se a presença de harmônicas. Com base nas harmônicas foi prevista a predominância de fontes chaveadas no circuito [12]. A Fig. 8 mostra a janela do *software* contendo os resultados da análise.

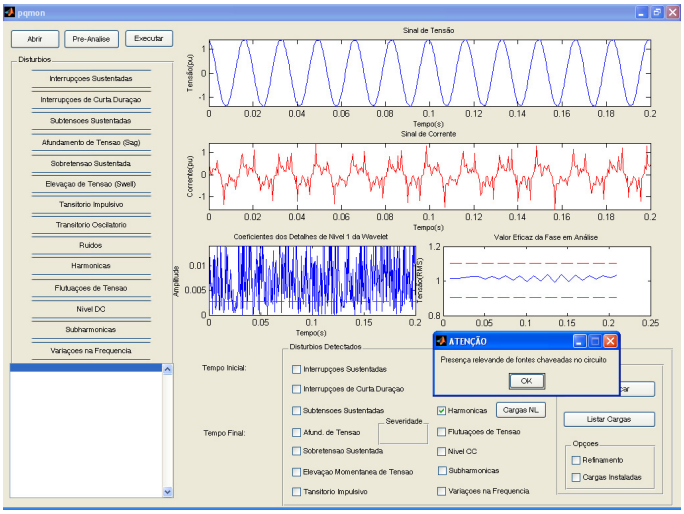

Fig. 8. Resultados do PQMON em análise de sinais reais.

Confirmando a validade das respostas do *software*, as prováveis soluções de fontes dos distúrbios foram especificamente “Controladores de Velocidade”, “Cargas Não Lineares”, “Reatores Eletrônicos” e “Distúrbio Advindo de

Fontes Externas" [12]. Os resultados finais bem como as recomendações a serem tomadas são apresentadas numa janela semelhante a mostrada na Fig. 6.

V. CONCLUSÕES

Este trabalho apresentou o desenvolvimento de uma ferramenta computacional capaz de detectar, classificar e diagnosticar distúrbios em sistemas elétricos. O *software* corresponde a uma composição de funções estocásticas, funções binárias, redes neurais artificiais, sistemas baseados em lógica Fuzzy, índices, e relações de causa e efeito. Com auxílio do Simulink/MATLAB® foram modelados 50 sistemas elétricos diferentes. A detecção dos distúrbios foi precisa em todas as situações hipotéticas e os diagnósticos foram coerentes. Com auxílio de um osciloscópio Tektronix TDS 420A, foi também colhido um sinal da rede elétrica e analisado pelo *software* PQMON. O resultado foi satisfatório.

Na continuidade deste trabalho estão sendo realizadas análises trifásicas, podendo-se avaliar novas classes de distúrbios, interações entre fases, correntes de neutro e outros distúrbios. Um módulo para aquisição de sinais da rede elétrica está em desenvolvimento. Otimizações nos tempos de processamento estão sendo realizadas para que o sistema possa apresentar diagnósticos em tempo real. Objetiva-se desenvolver o PQMON em uma plataforma computacional independente e com interface amigável. Além disso o PQMON poderá fornecer relatórios em formato texto, contendo gráficos e índices. Finalmente, busca-se a implementação do mesmo em linguagem de máquina, resultando num equipamento com as funções de aquisição e realização dos diagnósticos de QE.

VI. REFERÊNCIAS

[1] S. Santoso, E. J. Powers, W. M. Grady, A. C. Parsons, "Power quality disturbance waveform recognition using wavelet-based neural classifier. I. Theoretical foundadion." *IEEE Transactions on Power Delivery*, Vol. 15, pp. 222-228, Jan. 2000.

[2] A. M. Gaouda, M. M. A. Salama, M. R. Sultan, A. Y. Chikhani, "Power quality detection and classification using wavelet-multiresolution signal decomposition," *IEEE Transactions On Power Delivery,* Vol. 14, pp. 1469-1476, Oct. 1999.

[3] I. Y. Chung, D. J. Won, J. M. Kim, *et al.* "Development of power quality diagnosis system for power quality improvement," *IEEE Power Engineering Society General Meeting*, vol.2, p. 1261, July 2003.

[4] J. S. Lee, C. H. Lee, J. O. Kim, S. W. Nam, "Classification of power quality disturbances using orthogonal polynomial approximation and bispectra," *Electronics Letters*, Vol. 33, pp. 1522-1524, Aug. 1997.

[5] R. C. Dugan, *Electrical Power Systems Quality,* New York: McGraw-Hill, 1996.

[6] O. Delmont, "Utilização da Transformada Wavelet para Caracterização de Distúrbios na Qualidade da Energia Elétrica". São Paulo, 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

[7] R. El Shatshat, M. Kazerani, M. M. A. Salama, "On-line tracking and mitigation of power system harmonics using ADALINE-based active power filter system". *Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering*, Vol.4, pp. 2119- 2124, 2004.

[8] A. K. Pradhan, A. Routray, A. Basak, "Power system frequency estimation using least mean square technique". *IEEE Transactions on Power Delivery,* Vol. 20, no. 3, pp. 1812- 1816, 2005.

[9] B. D. Bonatto, T. Niimura, H.W. Dommel, "A Fuzzy Logic Application to Represent Load Sensitivity to Voltage Sags", *8th International Conference on Harmonics And Quality Power*, Vol. 1, pp. 60-64, Oct., 1998.

[10] Fang Tu, K.R. Pattipati, S. Deb, *et al*, "Computationally efficient algorithms for multiple fault diagnosis in large graph-based systems" *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, Part A*, Vol.33, no.1, pp. 73- 85, Jan. 2003.

[11] M. Shakeri, R. Pattipati, V. Raghavan, et al, "Optimal and near-optimal algorithms for multiple fault diagnosis with unreliable tests", IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, Part C, Vol.28, no.3, pp.431-440, Aug. 1998.

[12] R. B. Godoy, "Software baseado em processamento de sinais para detecção, classificação e diagnóstico de distúrbios relacionados a sistemas de energia elétrica," dissertação de Mestrado, Dept. Engenharia Elétrica, Univ. Federal de Mato Grosso do Sul, 2006.

VII. BIOGRAFIAS

Ruben Barros Godoy, nascido em 13 de fevereiro de 1982 em Campo Grande, MS, Brasil. Engenheiro Eletricista pela Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, MS, Brasil em 2004. Mestre em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, MS, Brasil em 2006. Doutorando na UNESP - Faculdade de Engenharia de Ilha Solteria, Ilha Solteira, SP, Brasil. Suas áreas de interesse incluem eletrônica de potência, processamento de sinais e qualidade de energia.

João Onofre Pereira Pinto, membro do IEEE, nasceu em 22 de junho de 1966 em Valparaíso, S.P., Brasil. Engenheiro Eletricista pela Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, Brasil, em 1990. Mestre em engenharia elétrica pela Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, Brasil, em 1993, e Ph.D. pela The University of Tennessee, Knoxville, TN, EUA em 2001. Atualmente é professor da Universidade Federal do Mato Grosso do Sul, Campo Grande, Brasil. Pesquisador do CNPq, suas áreas de interesse incluem mineração de dados, sistema de suporte a decisão, processamento de sinais, aplicações de redes neurais artificiais, lógica nebulosa, algoritmos genéticos e wavelets em eletrônica de potência, técnicas PWM, controle e acionamento de máquinas.

Luigi Galotto Junior, nascido em 12/02/1981 em São Paulo é engenheiro eletricista (2003) e mestre em aplicações de inteligência artificial (2006) pela Universidade Federal de Mato Grosso do Sul.

Tem trabalhado como pesquisador desde 2003 e, atualmente, é professor colaborador na Universidade Federal de Mato Grosso do Sul. Me. Galotto tem a maior parte das publicações em congressos de eletrônica de potência do IEEE e publicações em monitoramento e diagnóstico.

Heder Almeida Menezes, nascido em 15 de outubro de 1980 em Três Lagoas - MS, Brasil. Atualmente é aluno bolsista do curso de Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Mato Grosso do Sul - UFMS. Dentre as áreas de interesse destacam-se qualidade de energia, inteligência artificial e eletrônica de potência

Bruno Lacerda Resende, nascido em Botucatu (SP) em 02 de setembro de 1980. Atualmente é aluno bolsista do curso de Engenharia Elétrica pela Universidade Federal do Mato Grosso do Sul. Realiza projetos na área de qualidade de energia e eletrônica de potência.