

Figura 3.4 - Forma de onda com distúrbio do tipo afundamento e elevação.

Nos sistemas elétricos industriais onde existem várias falhas ou perturbações superpostas, como no caso da operação de fornos elétricos a arco, suas perfeitas identificações e classificações não podem ser obtidas utilizando-se as técnicas apresentadas em Abdel-Galil et al. (2004); Duque et al. (2005); Gaouda et al. (1998, 1999 e 2000); He e Starzyk (2006); Poisson et al. (2000) e Santoso et al. (1996), pois tais procedimentos não contemplam o perfil de ocorrência de várias perturbações simultâneas, presente nos sinais em análise.

Assim sendo, estas técnicas não são eficazes para a detecção de distúrbios múltiplos, motivando o desenvolvimento de uma nova técnica para a correta caracterização desses fenômenos.

3.3 DESENVOLVIMENTO DO ALGORITMO DE IDENTIFICAÇÃO DE DISTÚRBIOS MÚLTIPLOS

Para resolver o problema de identificação e classificação de distúrbios múltiplos, foi desenvolvida por Cândido e Zanetta (2008), uma nova técnica através de um algoritmo para análise automática de tais eventos. No desenvolvimento do algoritmo foi utilizado o software Matlab e seu toolbox Wavelet, para a análise e simulação dos sinais real e de referência. Dentre as diversas funções disponíveis

pode-se destacar a wavedec, utilizada para decomposição, e a waverc, com o propósito de reconstituir os sinais (MISITI; OPPENHEIM; POGGI, 1996-1997).

O fluxograma apresentado, na Figura 3.5 a seguir, mostra o algoritmo completo da técnica desenvolvida para a identificação e classificação de distúrbios múltiplos.

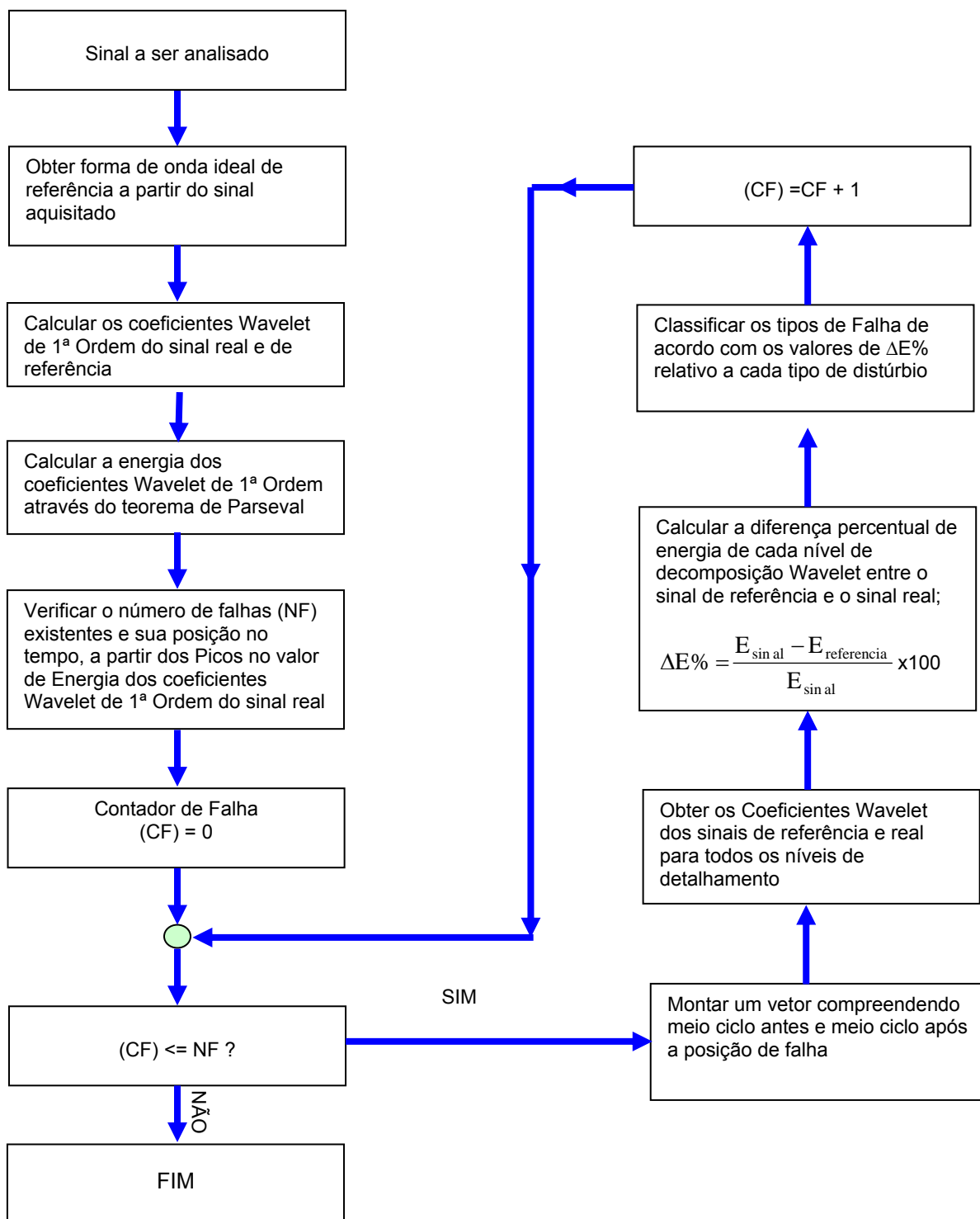


Figura 3.5 - Algoritmo completo de identificação e classificação de distúrbios múltiplos.

3.3.1 Equações utilizadas no desenvolvimento do algoritmo de detecção de distúrbios múltiplos

As expressões (3) e (4) representam a formulação da Transformada Wavelet Contínua, onde o sinal a ser decomposto é denominado por $x(t)$ (BOGGESS; NARCOWICH, 2001).

$$TWC(a,b) = \frac{1}{\sqrt{|a|}} \int_{-\infty}^{\infty} x(t) \cdot \psi_{a,b}^*(t) \cdot dt \quad (3)$$

$$\psi_{a,b}(t) = |a|^{-1/2} \cdot \psi\left(\frac{t-b}{a}\right) \quad (4)$$

A função base ou Wavelet-mãe é dada por $\psi(t)$, em que os valores a e b pertencem ao conjunto de números reais, com $a \neq 0$, que se comportam como parâmetros de dilatação e translação respectivamente.

A Wavelet-mãe discreta é apresentada na equação (5), enquanto que a Transformada Wavelet Discreta (TWD) é dada pela equação (6). O sinal a ser analisado é decomposto em diversos níveis de resolução ou sub-bandas, utilizando a técnica de bancos de filtros digitais (KIM, AGGARWAL, 2000).

$$\psi_{m,n}(t) = a_0^{-\frac{m}{2}} \psi\left(\frac{t - nb_0 a_0^m}{a_0^m}\right) \quad (5)$$

$$TWD(m,n) = |a_0^m|^{-\frac{1}{2}} \sum_x f(n) \psi\left(\frac{x - nb_0 a_0^m}{a_0^m}\right) \quad (6)$$

Neste caso os parâmetros a e b tornam-se funções dos números inteiros m e n , isto é, $a = a_0^m$ e $b = nb_0 a_0^m$.

Por outro lado, como parte do desenvolvimento do algoritmo, será necessário o cálculo da energia contida nos sinais envolvidos na análise para cada um dos níveis de decomposição conforme equação (7) (Hsu, 1973).

$$E = \int_{-\infty}^{\infty} |x(t)|^2 dt \quad (7)$$

3.3.2 Identificação de distúrbios múltiplos - Descrição do algoritmo

O primeiro passo para a identificação dos distúrbios múltiplos é a aquisição de um sinal com tais características. Os sinais reais utilizados neste trabalho foram coletados no secundário do FEA1, conforme menção anterior, com uma taxa de amostragem de 64 pontos por ciclo a 60 Hz. Isso significa que os sinais foram atualizados praticamente a cada 260 μ seg. As amostras foram coletadas a partir do sistema de medição (ANGRISANI et al., 1998).

O segundo passo consiste na geração de um sinal de referência, a partir do sinal real coletado. Com a finalidade de estabelecer um padrão de comparação com o sinal real, a teoria para a classificação dos distúrbios múltiplos está baseada na diferença de energia dos coeficientes da forma de onda dos sinais reais e de referência, sendo, portanto, necessário gerar a forma de onda do sinal de referência.

A obtenção do sinal de referência depende da determinação de sua fase e amplitude. A fase do sinal de referência pode ser obtida com diferentes métodos, por exemplo, pela obtenção da componente fundamental da Transformada de Fourier ou pela aplicação do método dos Mínimos Quadrados.

Uma possibilidade que simplifica de maneira bem significativa o cálculo e o esforço computacional é simplesmente fazer uma análise do quadrado do sinal real, como pode ser observado na Figura 3.6. Nesta figura, para a sincronização, basta considerar os pontos de mínimo e relacioná-los com os instantes de cruzamento com o zero do sinal. A utilização desse método revelou-se suficientemente precisa para os propósitos do algoritmo desenvolvido, muito embora o mesmo possa ser complementado com a utilização dos métodos citados anteriormente.

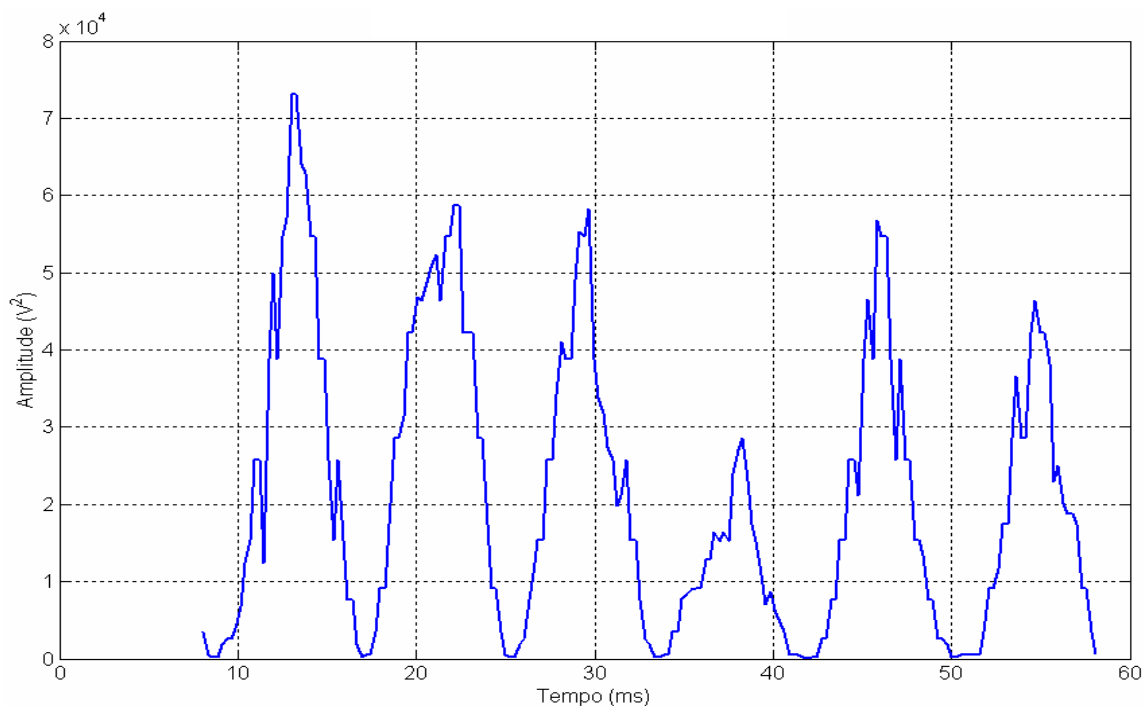


Figura 3.6 - Identificação da fase do sinal de referência através da aplicação do método dos mínimos quadrados.

A amplitude do sinal de referência foi obtida através do cálculo do valor eficaz do sinal real, cuja análise é feita a partir do instante de detecção do primeiro zero, conforme Figura 3.7.

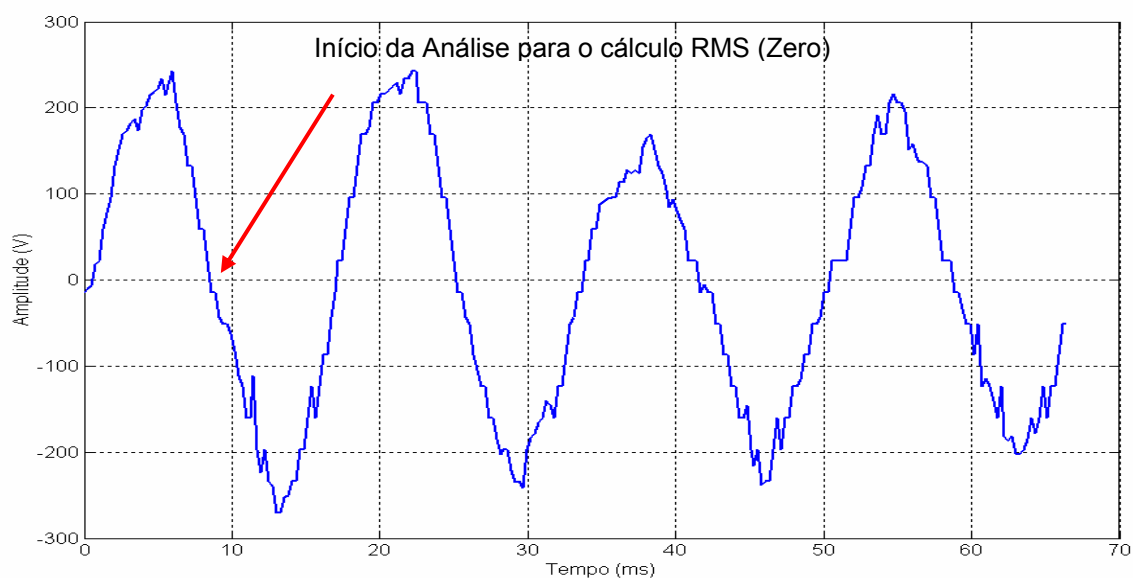


Figura 3.7 - Determinação da amplitude do sinal de referência através do cálculo do valor eficaz do sinal real.

A Figura 3.8 exemplifica o sinal real de tensão no secundário do transformador T-047 e o sinal de referência gerado a partir do procedimento descrito anteriormente.

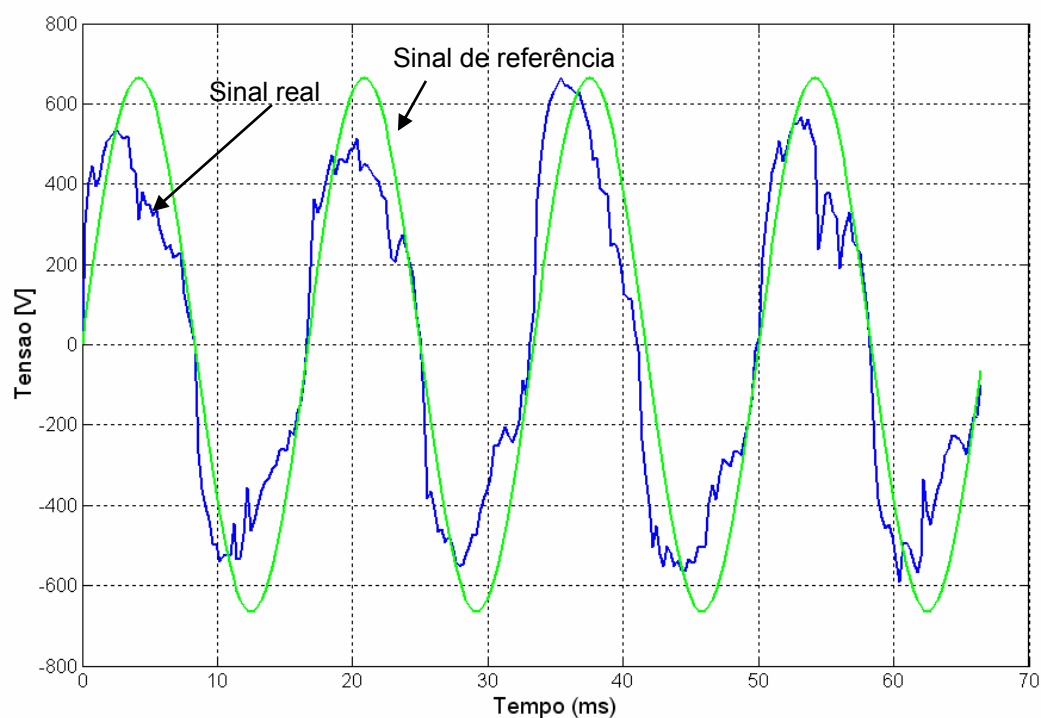


Figura 3.8 - Aspecto dos sinais real e de referência.

Estabelecido o sinal de referência, o procedimento se desenvolve com o cálculo dos coeficientes Wavelet de primeira ordem, referentes aos dois sinais, com o intuito de identificar os pontos onde há distorções na forma de onda. Tais coeficientes podem ser visualizados na Figura 3.9, que ilustra os resultados obtidos nesta etapa.

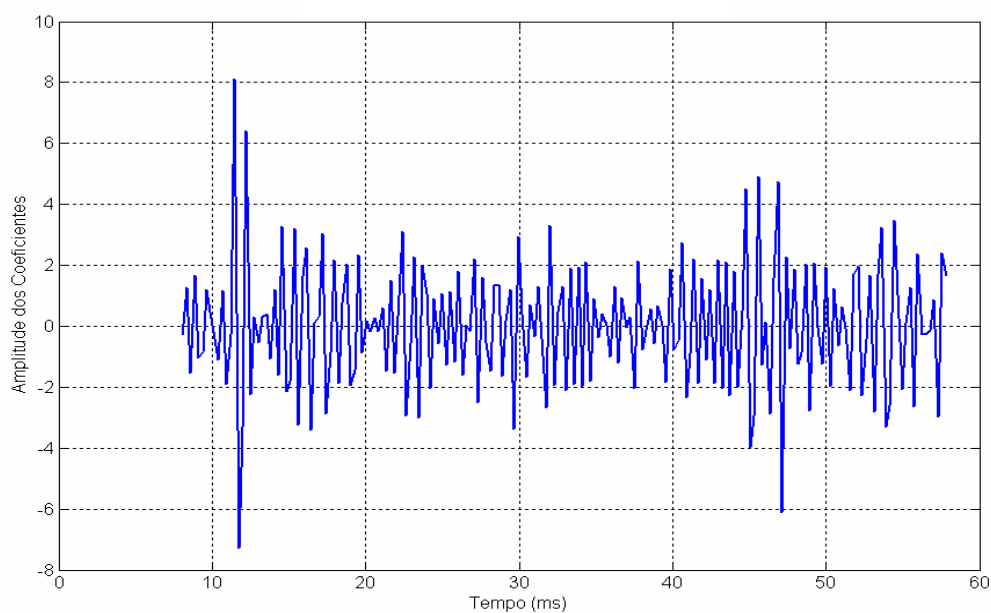


Figura 3.9 - Coeficientes Wavelet de primeira ordem.

Após a identificação dos pontos de distorção, calculam-se as energias dos coeficientes Wavelet de primeira ordem dos sinais de referência e real, por meio da equação (6), na forma do somatório dos quadrados de cada coeficiente do sinal Wavelet decomposto. A energia de cada componente é ilustrada na Figura 3.10.

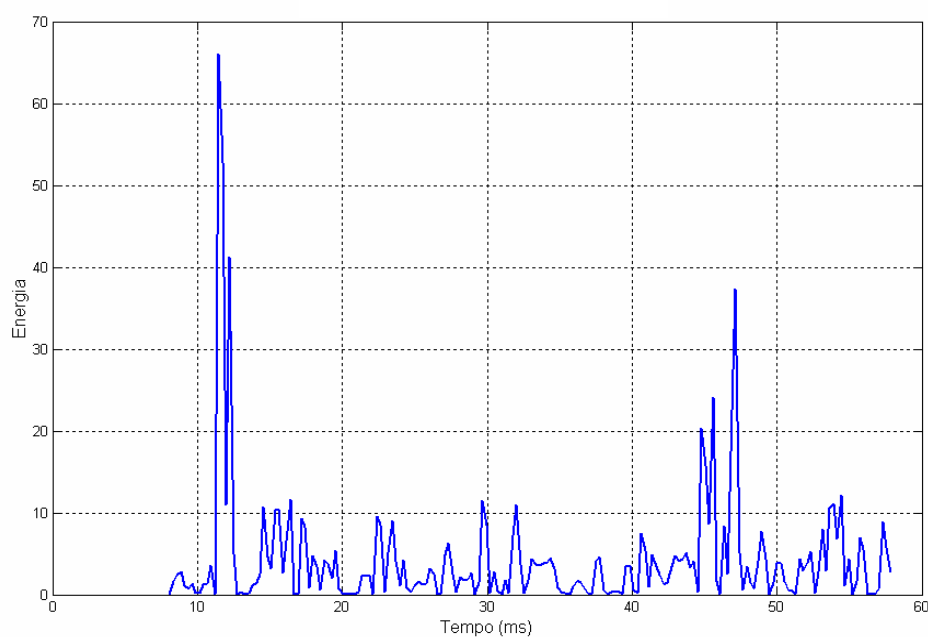


Figura 3.10 - Energia dos coeficientes Wavelet de primeira ordem.

Para que a análise seja estendida a todos os distúrbios, verifica-se o número de distúrbios existentes através do seu instante de ocorrência. Cada distúrbio é sinalizado a partir dos valores de pico nos coeficientes de energia de primeira ordem do sinal real, com cada pico, nos coeficientes Wavelet de primeira ordem, correspondendo a uma mudança de comportamento no sinal real.

A próxima etapa do algoritmo desenvolvido consiste na montagem de um vetor com 1/2 ciclo de amostras antes e após a passagem pelo primeiro zero, conforme pode ser visualizado na Figura 3.11.

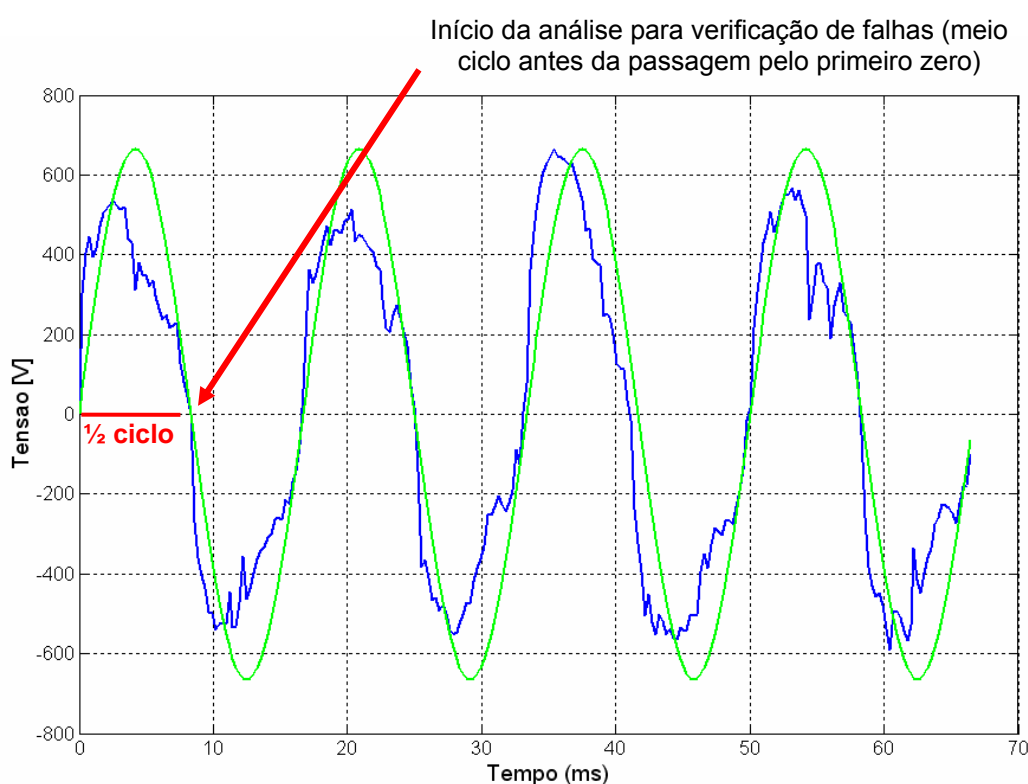


Figura 3.11 - Indicação do instante de início da montagem de vetores.

Para cada vetor (real e de referência), obtiveram-se 12 níveis de decomposição, visando identificar a distribuição de energia ao longo desses níveis, possibilitando, dessa forma, a elaboração dos critérios para classificação dos distúrbios múltiplos.