Capítulo 3

Algoritmo para Determinação e Classificação de Distúrbios Múltiplos em Sistemas Elétricos

Este capítulo apresenta o algoritmo desenvolvido para determinação e classificação de distúrbios múltiplos presentes nos sinais de tensão para se avaliar de modo eficiente a qualidade de energia nas redes de distribuição dos sistemas com fornos elétricos a arco.

3.1 TRANSFORMADA WAVELET

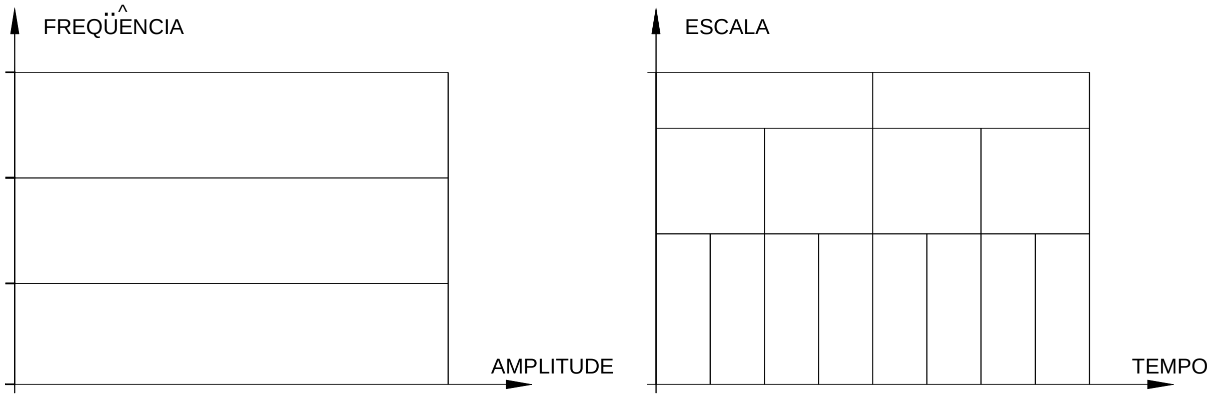
O estudo dos distúrbios elétricos tem merecido grande atenção devido ao crescente interesse pela racionalização e otimização do consumo de energia elétrica, além dos inconvenientes introduzidos na rede.

Muitas vezes, a simples inspeção de forma de onda de um sinal não é o bastante para proporcionar o pronto reconhecimento da existência de um distúrbio. Nos sistemas elétricos, estes distúrbios podem ser ocasionados por curtos-circuitos, chaveamento de banco de capacitores e operações com cargas não-lineares, dentre outros. No presente trabalho, abordam-se os distúrbios causados pela operação de fornos elétricos a arco.

Wavelets são funções capazes de decompor e descrever sinais nos domínios da freqüência e do tempo, de forma a permitir a análise destes sinais em diferentes escalas de freqüência e de tempo. A decomposição de uma função com o uso de Wavelets é conhecida como Transformada Wavelet e assim, como na análise de Fourier, tem suas transformadas contínua e discreta.

A principal vantagem da Transformada Wavelet é a sua capacidade de realizar uma análise local, ou seja, analisar um sinal em um ponto ou região específica. É capaz também de revelar algumas características presentes nos sinais, tais como pontos de descontinuidades e picos suaves entre outros. O método consegue comprimir e eliminar o ruído de um sinal sem degradação acentuada. Em sinais elétricos, a análise Wavelet é capaz de localizar, com precisão, os instantes de tempo de ocorrência de eventos transitórios.

O contraste entre as técnicas através da aplicação de Fourier e Wavelet é que, enquanto as Transformadas de Fourier realizam a análise de um sinal por janelas simples, que têm tamanho fixo, as Transformadas Wavelet utilizam janelas de tamanhos variados, que se adequam de acordo com a freqüência do sinal, possibilitando assim, analisar sinais não-estacionários. A idéia básica da utilização das janelas está apresentada na Figura 3.1.



a) Domínio da freqüência (Fourier) b) Análise Wavelet

Figura 3.1 - Exemplos de plano tempo-frequência (Fourier X Wavelet).

Portanto, a técnica de Wavelet se baseia na utilização de longos intervalos de tempo, onde as informações de baixa freqüência são disponíveis e em curtos intervalos de tempo, onde as informações de alta freqüência estão mais evidentes.

3.1.1 Introdução às Famílias Wavelet

Assim como a Transformada de Fourier utiliza as funções seno e cosseno, a análise Wavelet também utiliza funções-base. Nesta última é possível escolher qual dessas funções será utilizada. Vários pesquisadores construíram as suas próprias funções, também chamadas de Wavelet de análise ou Wavelet-mãe (BOGGESS e NARCOWICH, 2001).

Para que uma função possa ser definida como uma Wavelet-mãe, a mesma deve ter as seguintes características:

a) A área total sob a curva da função é 0, ou seja:

$$\int_{-\infty}^{\infty} \psi(t)\, dt = 0 \tag{1}$$

b) A energia da função é finita, ou seja:

$$\int_{-\infty}^{\infty} |\psi(t)|^2\, dt < \infty \tag{2}$$

As propriedades identificadas nas duas equações anteriores sugerem que $\psi(t)$ tende a oscilar acima e abaixo do eixo t, e tem sua energia localizada em determinada região, já que ela é finita.

Essa característica de energia concentrada em uma região finita é que diferencia a análise usando Wavelet da análise com base na teoria de Fourier, já que esta última usa as funções seno e cosseno que são periódicas. O problema maior da aplicação da Série de Fourier, como a Transformada Discreta de Fourier (TDF), é que as funções com distúrbios, obtidas em fornos a arco, não são periódicas e além disso, a aplicação da Transformada de Fourier é difícil de ser utilizada em função dos elevados tempos de análise envolvidos.

Na análise de Fourier, podem ser extraídas apenas informações sobre o domínio da freqüência, enquanto na análise Wavelet podem ser extraídas informações adicionais da função no domínio do tempo. As Wavelets equilibram a incerteza entre o domínio do tempo e o domínio da freqüência (BOGGESS e NARCOWICH, 2001).

Para ser utilizada na análise de sinais, uma função Wavelet também deve permitir a existência da Transformada inversa.

A seguir, serão apresentadas algumas famílias de Wavelet-mãe, definidas no domínio do tempo.

3.1.1.1 Wavelet Haar

A Transformada de Haar foi introduzida em 1910, por Alfred Haar, e é o mais antigo dos métodos de Transformada Wavelet, no qual os pulsos quadrados são usados para aproximar a função original.

Transformadas Wavelet utilizando funções de Haar como funções base são as mais simples de implementar e são computacionalmente as menos exigentes. Tal Wavelet apresenta o inconveniente de ser descontinua, como mostra a Figura 3.2.

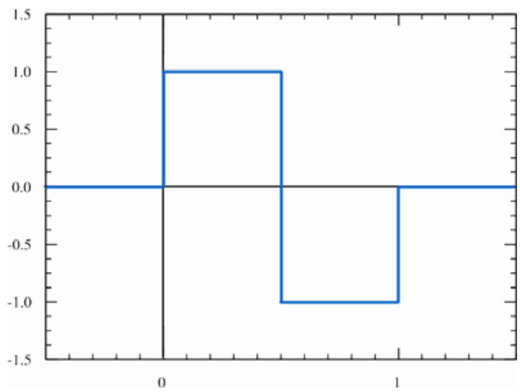


Figura 3.2 - Exemplo de Wavelet Haar.

3.1.1.2 Wavelet Daubechies

Em 1988 Ingrid Daubechies construiu um conjunto de funções base Wavelet ortonormais, que são, talvez, as matematicamente mais elegantes e se tornaram um marco nas aplicações de Wavelets. Neste conjunto a Wavelet Daub1 é a própria Wavelet Haar. Pode-se observar, na Figura 3.3, que quanto maior a ordem da Wavelet mais oscilatória é sua forma de onda.

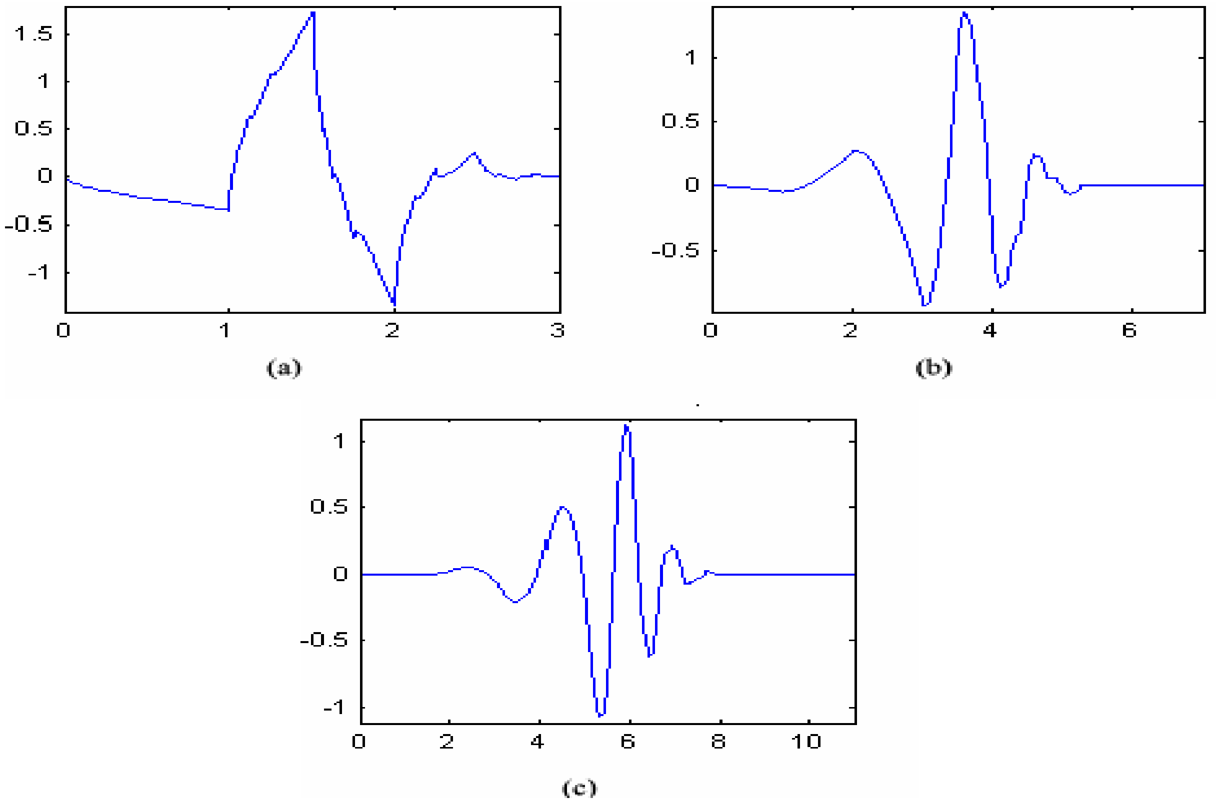


Figura 3.3 - Exemplos de Wavelets *Daubechies*:
(a) *Daub2*, (b) *Daub4*, (c) *Daub6*

3.2 ANÁLISE DE DISTÚRBIOS MÚLTIPLOS

A forma tradicional para identificação dos distúrbios temporários está baseada na comparação ponto a ponto de ciclos adjacentes. A dificuldade dessa técnica está relacionada com a impossibilidade de detecção de múltiplos distúrbios que ocorrem em determinados tipos de cargas como, por exemplo, nas formas de onda da tensão e corrente de fornos elétricos a arco.

O método para a localização de distúrbios em sinais, como por exemplo, afundamentos e elevações ilustrados na Figura 3.4, foi apresentado por Gaouda et al. (1999). Em Gaouda et al. (1999, 2000); Delmont (2003) e He e Starzyk (2006), é feita uma complementação dessa técnica para a caracterização do distúrbio através da análise do módulo da diferença de energia entre o distúrbio e o sinal considerado ideal. Em Heydt e Galli (1997), a análise é feita através da diferença de energia do sinal, facilitando a identificação de distúrbios que geram queda ou aumento em seu nível de energia.