

# ANÁLISE DE ESTABILIDADE TRANSITÓRIA UTILIZANDO A FERRAMENTA WAVELET PARA DETECTAR VARIAÇÕES ANORMAIS DE TENSÃO

<sup>1</sup>Marcelo Pansani Freitas, <sup>2</sup>Júlio Cesar Ferreira, <sup>3</sup>Geraldo Caixeta Guimarães

<sup>1,2</sup>Instituto Federal de Educação Ciências e Tecnologia do Triângulo Mineiro, Uberaba – Minas Gerais

<sup>3</sup>Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Engenharia Elétrica, Uberlândia – Minas Gerais,

<sup>1</sup>marcelopansani@iftm.edu.br, <sup>2</sup>juliocesar@iftm.edu.br, <sup>3</sup>gcaixeta@ufu.br

**Resumo** - Este artigo se concentra na análise da estabilidade transitória de um Sistema Elétrico de Potência observando a importância de registrar as variações eventuais de tensão as quais podem ultrapassar os limites estabelecidos para operação normal de equipamentos conectados à rede elétrica. Como exemplo, cita-se os turbogeneradores utilizados em usinas que estão sujeitos a danos quando em prolongada operação sob condições anormais de tensão. Para supervisionar a tensão do sistema são utilizados reguladores de tensão, os quais acionam os dispositivos de proteção quando são detectadas condições anormais. Neste contexto, os principais objetivos deste trabalho consistem em apresentar a implementação de um algoritmo capaz de detectar distúrbios, caracterizados por situações de variação de tensão, fazendo a análise da estabilidade transitória e também quantizando o tempo em que o sistema esteve operando nestas condições. É empregada a técnica de wavelet de análise de multiresolução (AMR) para detecção de variações anormais de tensão e os dados obtidos podem ser tratados de modo a serem utilizados para uma possível manutenção preditiva ou preventiva de turbo-generadores.

**Palavras-Chave** – Estabilidade, regulador de tensão, sobretensão, subtensão, Transformada de Wavelet.

## TRANSIENT STABILITY ANALYSIS USING WAVELET TOOL TO DETECT ABNORMAL VOLTAGE VARIATIONS

**Abstract** - This article focuses on the analysis of transient stability of an Electric Power System noting the importance of recording any voltage variations which may exceed the limits for normal operation of equipment connected to the power grid. As example, it can be mentioned the turbo-generators used in power plants that are subject to damage when in prolonged operation under abnormal voltage conditions. Voltage regulators are used to monitor the system voltage and they may trigger the protective devices when abnormal conditions are detected. In this context, the main objectives of this

paper are to present the implementation of an algorithm able to detect disturbances, characterized by voltage variation situations, performing the analysis of transient stability and also determining the time that the system was operating under such conditions. It is used the Wavelet technique multiresolution analysis (AMR) to detect abnormal voltage variations and the data obtained can be used for a possible predictive or preventive maintenance of turbo-generators.

**Keywords** - Stability, voltage regulator, overvoltage, undervoltage, Wavelet Transform.

## I. INTRODUÇÃO

Os estudos de estabilidade transitória analisam o comportamento dos sistemas após perturbações de grande impacto e se o sistema será capaz de encontrar um novo ponto de operação após o distúrbio e quais os procedimentos necessários para que isso aconteça. O *Institute of Electrical and Electronics Engineers* (IEEE), em [9] sugere o modelo subtransitório, também chamado de modelo 4, para estudos de estabilidade transitória.

Este trabalho propõe, principalmente, implementar um algoritmo capaz de detectar variações anormais na tensão de um sistema elétrico, analisando sua estabilidade transitória decorrentes de distúrbios, quantizando o tempo em que o sistema esteve operando nestas condições. Uma outra proposta seria utilizar estes dados para eventuais manutenções preditivas na geração que sofre as maiores consequências quando do acontecimento dos distúrbios.

Com essa finalidade, diversas técnicas vêm sendo desenvolvidas para monitorar, detectar e analisar a variação de tensão do sistema elétrico de potência (SEP), baseadas principalmente na disposição dos fasores, no método dos mínimos quadrados, na Transformada Rápida de Fourier - FFT, em técnicas inteligentes, no filtro de Kalman e na Transformada de Wavelet utilizada neste trabalho [1,2,3].

Através do desenvolvimento dos sistemas de *hardware* computacional e dos algoritmos para fins de proteção e monitoramento, a tecnologia digital passou a ser a base utilizada na maioria dos sistemas existentes nas subestações, atuando em conjunto com a aplicação das técnicas citadas anteriormente. Um dos principais equipamentos de proteção para estes sistemas são os relés digitais, com função de proteção, monitoramento, medição, controle e comunicação.

A possibilidade de implementação de algoritmos computacionais com a utilização de operações matemáticas é a principal característica para se utilizar estes equipamentos [4,5,6].



XIII CEEL - ISSN 2178-8308  
12 a 16 de Outubro de 2015  
Universidade Federal de Uberlândia - UFU  
Uberlândia - Minas Gerais - Brasil

Este artigo trata de pesquisas de variações anormais de tensão ocorridas em um SEP (Sistema Elétrico de Potência) dotado de GD, onde são encontrados grupos turbo-geradores. Isto porque a ocorrência de distúrbios, tais como curto-circuitos, perdas de carga ou geração, é prejudicial ao sistema de geração, principalmente aqueles que empregam turbinas a vapor. Estes são característicos de geração distribuída que ocorrem em indústrias e usinas, sendo considerados por muitos como uma solução para suprir a demanda de consumo futuro. Empregam unidades geradoras de pequeno porte acionadas geralmente por turbinas a vapor que utilizam resíduos do processo como elemento energético primário.

## II. A TRANSFORMADA DE WAVELET - ANÁLISE MULTIRESOLUÇÃO (AMR)

Basicamente a análise de dados de acordo com escalas variáveis no domínio do tempo e da frequência é o que compõe utilização da teoria de Wavelet. J. Morlet introduziu o termo "Wavelet", tendo a base matemática de suas ideias formalizada pelo físico teórico Alex Grossmann [1,7,10].

Considerando-se a Transformada Wavelet em suas formas Contínua e Discreta, são observados as **aproximações e detalhes**. Na figura 1 é mostrado o processo que representa a filtragem.

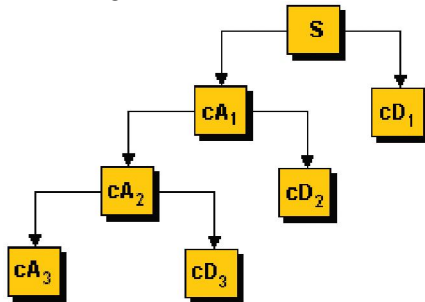


Fig. 1. Ilustração do processo sucessivo de decomposição de um sinal em AMR. [10]

De forma equivalente à Transformada de Fourier (TF), a Transformada Wavelet (TW) faz a decomposição do sinal em diferentes escalas, com diferentes níveis de resolução, partindo de uma única função. No entanto, enquanto a TF fornece uma representação geral do sinal, a TW apresenta uma representação local no domínio do tempo de um dado sinal. Esta é a grande vantagem do uso da TW [7,8]. A Transformada Wavelet é uma ótima ferramenta e com recursos excelentes para se aplicar em uma ampla faixa de sinais que não são periódicos e que podem conter as componentes senoidais e de impulso, como os sinais típicos nos transitórios de sistemas de potência. A análise da Wavelet concentra-se em pequenos intervalos de tempo para toda a amostragem de grandes variações ou oscilações do sinal de tensão, melhorando assim a análise dos distúrbios de estabilidade do SEP [1].

Utilizando filtros passa alta e passa baixa, a técnica de Análise Multiresolução (AMR) realiza a análise de um sinal através de um processo de filtragem, de uma forma bastante prática. Este processo fornece versões do sinal original

relativas aos coeficientes de funções Wavelets e funções escala, respectivamente [1].

## III. ESTUDOS DA ESTABILIDADE

A questão da estabilidade está relacionada com o comportamento apresentado pelas máquinas síncronas quando há um distúrbio no sistema. Se este distúrbio causar um desbalanço entre o suprimento e a demanda de potência, uma nova condição de operação em regime permanente será buscada pelo sistema. Se o sistema é estável, todas as máquinas síncronas interligadas no sistema deverão permanecer em sincronismo, isto é, elas deverão manter-se operando em paralelo e com a mesma velocidade.

O estudo em regime transitório baseia-se nos casos abrangendo grandes e bruscas variações de tensão na geração ou nas cargas, podendo provocar a perda de sincronismo dos elementos ligados a este sistema. A preocupação primordial de estabilidade transitória é a verificação da manutenção do sincronismo entre as máquinas num curto período de tempo após a ocorrência do distúrbio, durante o qual, a ação dos controladores não causa efeitos significativos no comportamento do sistema.

No sistema estável, a resposta oscilatória é amortecida após um determinado período de tempo. Já no sistema instável, essa nova condição de operação não acontece e a oscilação do sinal permanece. Outro aspecto, definido em [12] consiste na capacidade do sistema de energia, para uma condição de operação inicial dada, recuperar o estado de equilíbrio e operar após ter sido submetido a uma perturbação física, com a maioria das variáveis do sistema dentro de seus limites de modo que praticamente todo o sistema permaneça intacto.

Conforme [13] os sistemas elétricos de potência evoluíram bastante ao longo do último século, desta forma diferentes formas de instabilidade surgiram em períodos distintos. Historicamente, a instabilidade transitória tem dominado os problemas de estabilidade na maioria dos sistemas e tem sido o foco dos estudos de estabilidade pelas indústrias [12]. De acordo com o aprimoramento das ferramentas computacionais, o estudo da estabilidade é modificado, sendo as teorias da estabilidade modificadas e acontece um avanço dos sistemas de controle de potência.

Em 1920, Steinmetz [13] foi o primeiro a reconhecer a importância do problema da estabilidade dos sistemas elétricos de potência. Nessa época o problema de estabilidade era associado com a alimentação de cargas localizadas em locais distantes com a transmissão através de longas linhas.

## IV. FUNDAMENTOS E IMPLEMENTAÇÃO DO ALGORITMO PROPOSTO

Para realizar a simulação um sistema elétrico e mostrar a necessidade de monitoramento da tensão do sistema, utilizou-se para a simulação o sistema elétrico de 9 barras da figura 2. Este modelo é utilizado em artigos do IEEE e está disponível na biblioteca do *software* PSAT (*Power System Analysis Toolbox*) [11].

Todo o sistema elétrico, desde a geração até a carga à qual está conectada por meio de sistemas de transmissão e distribuição, deve operar em equilíbrio, tanto de frequência como de tensão. Esse equilíbrio é conseguido mantendo-se valores de tensão dentro de níveis pré-estabelecidos, ao longo de toda a rede do sistema elétrico. Como o sistema é quase todo interligado, o equilíbrio deve ser mantido, pois falhas em qualquer área podem prejudicar seu desempenho.

No sistema proposto (figura 2), ligado ao barramento B1 um gerador síncrono de 100 MVA representa uma unidade geradora hidráulica, formada por reguladores de tensão e estabilizadores de potência. Neste barramento também encontra-se a representação de um barramento infinito, simbolizando o equivalente de todo o sistema elétrico. Nos barramentos B2 e B3 existem outras duas unidades geradoras de 65 MVA e 90MVA, todas estas unidades citadas simbolizando um sistema de GD de turbinas a vapor.

O objetivo principal é analisar o comportamento dos transitórios no sistema, uma vez que grandes oscilações no período de estabilidade do sistema podem causar danos às turbinas. Foram criadas duas situações hipotéticas para esta análise:

- **Caso 1** - Simulação de um curto-circuito trifásico localizado na barra 4 (indicado na figura 2).
- **Caso 2** - Simulação de perda de carga conectada na barra 6.

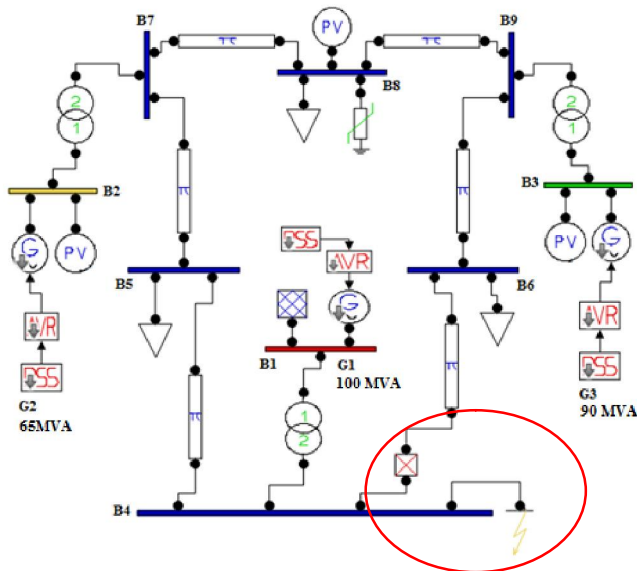


Fig. 2. Sistema elétrico para estudo de casos.

A figura 3 mostra um diagrama geral com a lógica computacional usada no algoritmo proposto. Para implementar o algoritmo, foi utilizado o ambiente de linguagem de programação do *software* Matlab. O sistema elétrico também foi simulado nesta mesma plataforma.

Devido ao comportamento em suavidade e oferecendo melhor resolução do sinal de tensão, foi utilizado a wavelet db3 (wavelets mãe Daubechies 3) de nível para as análises. Outras famílias de wavelets foram testadas e analisadas, mas esta foi a que melhor representou os resultados esperados.

Para uma boa compreensão do algoritmo, o mesmo foi dividido em duas etapas.

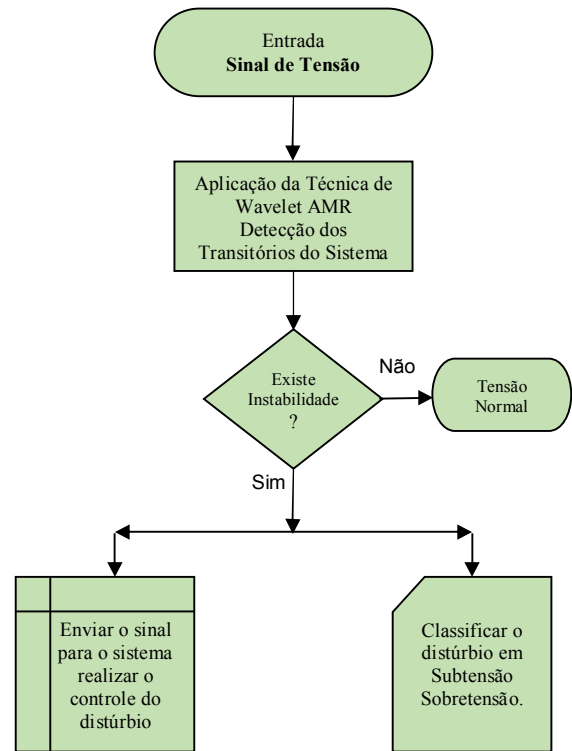


Fig. 3. Fluxograma do Algoritmo proposto.

### 1ª etapa - Condicionamento do sinal e análise AMR

**Etapa 1.1** Etapa em que o sinal é recebido, em forma de um vetor com todos valores referentes à tensão do sistema.

**Etapa 1.2** O vetor é dimensionado conforme a tensão de amostragem do sinal de origem, quanto maior a tensão de amostragem da medição da tensão, maior será o detalhe referente a resolução da tensão. Nesta etapa também se padroniza o tempo em que o sinal de tensão será analisado, sendo que este tempo de análise é referente a tensão de amostragem do sinal medido. Nos estudos de casos simulados utilizou-se um tempo de simulação de 3 segundos, ou seja, a cada 3 segundos o sinal de tensão será analisado.

**Etapa 1.3** A técnica de wavelet AMR é aplicada ao sinal para detecção de um distúrbio, a escolha de uma base para a análise de fenômenos relacionados com sistemas elétricos de potência deve considerar sua capacidade de distinção entre o nível de tensão do sinal original e o nível de tensão dos distúrbios.

Fazendo a utilização da técnica AMR descrita, foram analisadas diversas situações de distúrbios, sendo escolhido como **referência o 1º detalhe**, pois este se mostrou sensível as variações dos valores de tensão nominal, ou seja, quando no sinal de entrada há alguma variação, no 1º detalhe da AMR há variações em escalas de amplitude notória.

Fazendo uso dos comandos da linguagem de programação do Matlab, o qual possui comandos específicos para análise AMR Wavelet, nesta etapa calcula-se a média do vetor **D1 (detalhe 1)** que é comparada com um sinal de referência (sinal este que não possui variações). Caso a média do sinal seja diferente de zero, compreende-se que há

um distúrbio. Com isto, o algoritmo verifica o tempo em que este distúrbio ocorreu através do sinal D1 analisado. Resumindo, nesta etapa é detectado o distúrbio e o tempo em que este ocorre.

## 2ª etapa - Análise da variação de tensão do sinal

Nesta etapa verifica-se no sinal de entrada em análise, os valores de valores de variação de tensão e o tempo de permanência destes valores, através de um algoritmo lógico *if-else (se-se\_não)*. Dividiu-se por intervalos os valores de subtensão e sobretensão no sistema. Em grande parte dos sistemas elétricos de potência existem os relés de proteção, que tratam os sinais através de limites de tensões de acordo com sua frequência na rede, permitindo a configuração de seus parâmetros de controle de tensão.

## V. ESTUDOS DE CASOS

### Caso 1 - Simulação de curto-circuito trifásico localizado na barra 4

Na simulação deste caso foi aplicado um curto-circuito trifásico com duração de 800ms na barra 4. Sabe-se que em um SEP real os sistemas de proteção atuam antes deste tempo se o curto não for de baixa intensidade ou de alta impedância de falta. Este valor serve como referência para uma melhor verificação do algoritmo proposto. Outros valores de tempo foram utilizados na simulação do curto-circuito, mas os resultados foram semelhantes.

Na figura 4 tem-se dinâmica da tensão, após a ocorrência do curto-circuito trifásico na barra 4 que aconteceu aos 2,3 segundos. Após o curto verifica-se uma atuação dos reguladores de tensão e dos estabilizadores de potência com uma rápida estabilização do sinal. Diante da oscilação, o sistema passa por um período de transitório e, em seguida, volta ao seu valor nominal de tensão (1 p.u.) após aproximadamente 6 segundos.

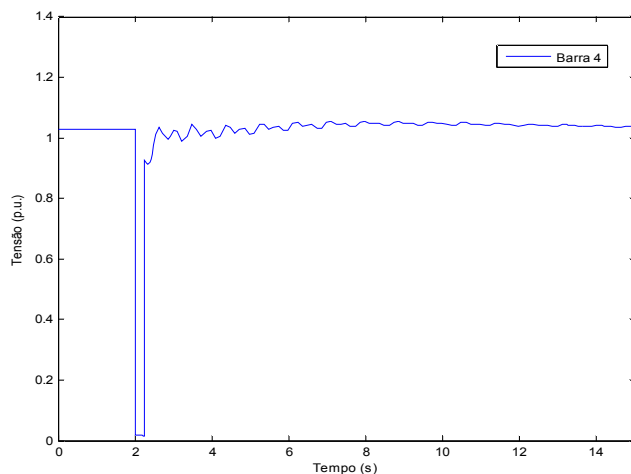


Fig. 4. Tensão na barra 4.

No instante inicial do curto a tensão inicial cai, sua geração sofre um decréscimo e o sistema irá sofrer uma aceleração. Este súbito aumento de rotação é refletido na

tensão do sistema originando picos de transitórios. Com a extinção do curto observa-se uma estabilidade dos transitórios.

Pode-se dizer que houve uma interferência dos reguladores de velocidade e dos estabilizadores de potência na dinâmica do sistema, com o objetivo de estabilizar o mesmo. Uma oscilação de tensão mais acentuada aconteceu durante pouco mais de 5 segundos.

As consequências destes tipos de ocorrências podem ser extremamente danosas aos sistemas elétricos, se não forem prontamente eliminadas pelos dispositivos de proteção.

Com a aplicação da técnica AMR Wavelet no sinal de tensão, desprezando-se os detalhes a3, d2, d3. Utilizou-se o detalhe d1 por possuir maiores detalhes da variação de tensão ocorrida.

Na figura 5 tem-se a análise utilizando a técnica AMR Wavelet, que mostra a detecção de um curto-circuito iniciando aos 2,0 segundos. No detalhe d1 fica evidenciado os momentos exatos nos picos superiores do sinal.

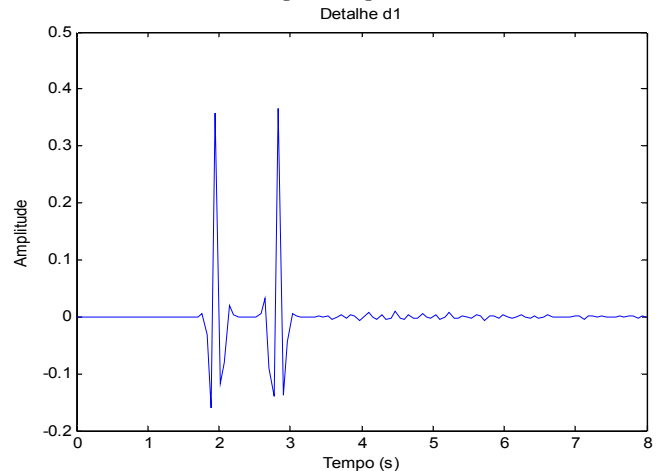


Fig. 5. Aplicação da AMR no sinal de tensão.

Em termos de estabilidade transitória, o curto trifásico é o mais prejudicial à estabilidade e sincronismo dos geradores síncronos. O monitoramento da estabilidade da rede é uma operação fundamental para garantir a continuidade, confiabilidade e qualidade do SEP. A utilização da técnica de Wavelet como ferramenta é de primordial importância para a detecção exata do tempo de permanência do distúrbio, estudo dos possíveis danos causados e possíveis manutenções a serem realizadas.

### Caso 2 - Simulação de Perda de Carga

Salienta-se novamente que a barra onde foi realizada a perda de carga é a B6. A carga tem predominância capacitiva e foi desligada por um intervalo de tempo de 700ms, com início em 2,0s.

A figura 6 destaca que na barra B4 o sinal de tensão sofre pequeno afundamento inicial e, em seguida, o distúrbio ocasiona oscilações de tensão semelhantes às características de um colapso de tensão, que se caracteriza por permanecer por um período de tempo maior numa área de instabilidade que se estende por vários segundos até chegar ao regime permanente.

As figuras 7 e 9 mostram, respectivamente, que nas barras B6 e B3 (onde se encontra o Gerador 3), que estão interligadas à barra B4, acontece um afundamento de tensão, por causa da característica capacitiva da carga desligada. Em seguida, após alguns segundos o sistema entra num regime de estabilidade transitória, tendendo a voltar ao valor inicial de tensão.

Existe um estreitamento do sinal no momento inferior do afundamento de tensão, em relação ao momento inicial.

Após vários testes realizados, até obter o melhor resultado, na figura 8 é apresentada a decomposição AMR do sinal de perda de carga, com os valores exatos de duração do distúrbio. Os picos superiores mostram os momentos exatos de início e fim da perda de carga (afundamento de tensão) no sistema. Os picos inferiores mostram claramente o estreitamento do afundamento em relação aos momentos de início e fim do distúrbio.

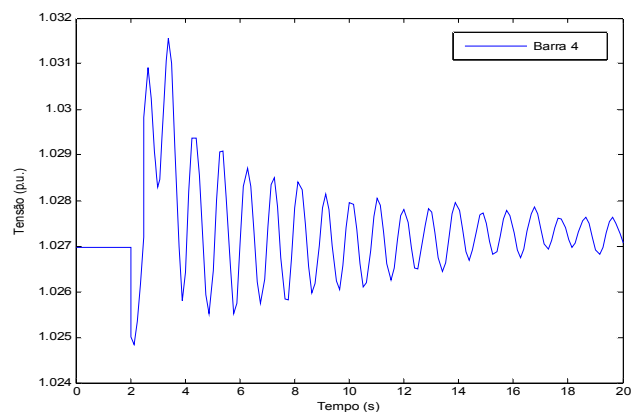


Fig. 6. Tensão na barra 4.

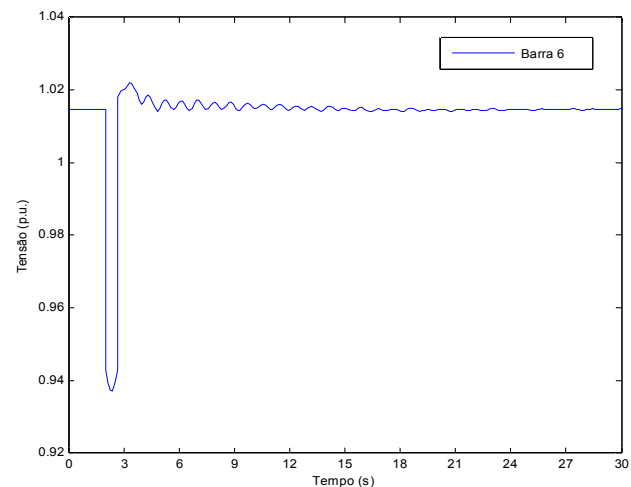


Fig. 7. Tensão na barra 6.

De acordo com [17] observa-se nos estudos de casos que, devido aos diversos níveis de filtragem do sinal original da wavelet mãe utilizada, pode acontecer um atraso de amostragem em relação ao tempo da ordem de alguns milissegundos, o que não interfere na estimação de detecção de um sinal de falta ou curto no sistema elétrico.

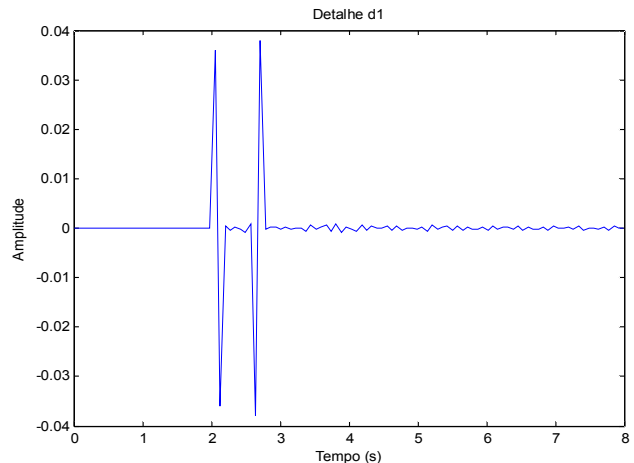


Fig. 8. Aplicação da AMR no sinal de tensão.

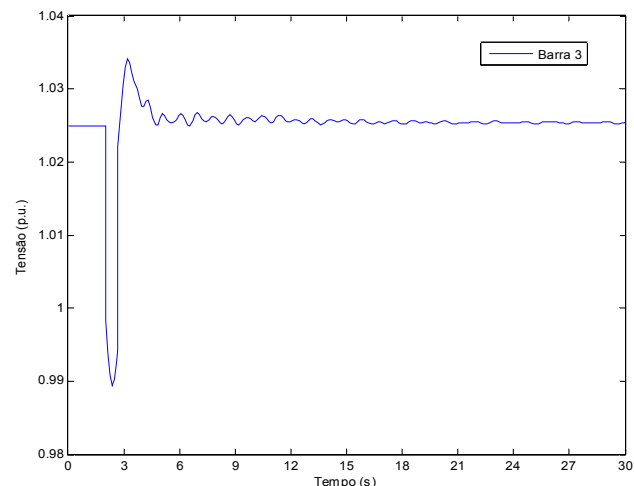


Fig. 9. Tensão na barra 3.

## VI. CLASSIFICAÇÃO DAS VARIAÇÕES TRANSITÓRIAS

As Variações Transitórias de Curta Duração (VTCD) são eventos de afundamento e elevação de tensão com duração de 0,5 ciclo a alguns minutos, dependendo da norma a ser considerada. A norma Americana IEEE e a norma Européia CENELEC (Comitê Europeu de Normalização Eletrotécnica), caracterizam de forma diferente os VTCD, porém a duração do evento é definida da mesma maneira.

Na tabela I é representado o tempo de duração e a amplitude do evento.

Já na norma europeia apresenta abordagem para afundamentos de tensão, sendo estes denominados de “voltage dips”. As elevações de tensão não são abrangidas por tal norma, que se limita a definir tais eventos como: transitórios de sobretensão (“transient overvoltage”) e sobretensão temporária (“temporary overvoltage”), não especificando faixas de magnitude e duração [14].

A figura 10 mostra os limites de sub e sobretensão e indica que quanto menor a duração do distúrbio, maior será a variação suportada pelo equipamento, conforme a curva

CBEMA (Computer Business Equipment Manufactures Association).

Tabela I - Classificação das VTCD conforme a CENELEC [15].

Denominação	Duração do Evento	Amplitude do Evento
Afundamento de Tensão	0,5 ciclo – 1 minuto	0,01 – 0,9 pu
Interrupção de Curta Duração (Short Interruption)	0,5 ciclo – 3 min.	< 0,01 pu
Interrupção de Longa Duração (Long Interruption)	> 3 minutos	< 0,01 pu
Transitório de Sobretensão (Transient overvoltage)	Não definido	> 1,1 pu
Sobretensão Temporária (Temporary overvoltage)	Não definido	> 1,1 pu

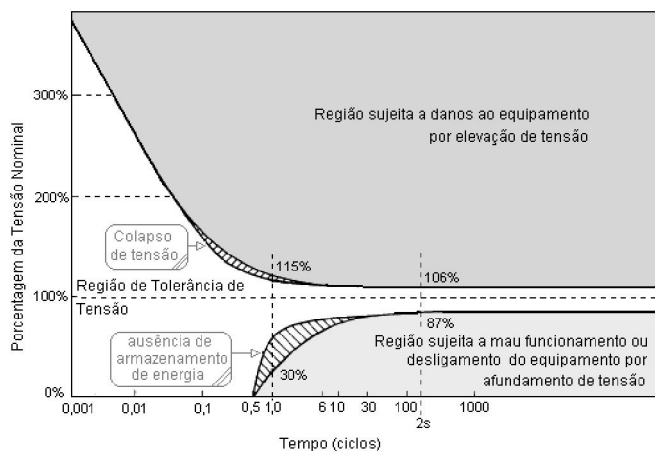


Fig. 10. Limites de duração de sub e sobretensões (CBEMA) [16].

## VII. CONCLUSÃO

Utilizando um sistema teste foi possível analisar entre os estudos de casos propostos, a dinâmica da tensão do sistema elétrico, observando o tempo de sub e sobretensão. Estas análises possibilitaram atingir o objetivo proposto, como já citado, mas também possibilitou expor a necessidade de estudos aprofundados na questão de sistemas de controles eficientes e de ação rápida dos mesmos para que o sistema permaneça ou retorne para a estabilidade, ou seja, saia do período de regime transitório.

Na bibliografia estudada, a técnica da transformada Wavelet está sendo bastante explorada como ferramenta de detecção, em sistemas elétricos, colaborando para os estudos teóricos de manutenção do sincronismo e monitoração entre as máquinas, as margens de carregamento, relés de proteção entre outros, que contemplem esta nova situação e também os resultados práticos ainda não foram totalmente abordados, demonstrando que este assunto representa um campo vasto para pesquisas.

## REFERÊNCIAS

[1] FERREIRA, J. C.; GUIMARÃES, G. C. Utilização da Transformada de Wavelet para Detectar Variações

Anormais de Frequência em Sistemas de Geração Distribuída. *Dissertação de Mestrado*. FEELT/UFU. 2009.

- [2] PRADHAN, A. K.; ROURAY, A.; BASAK, A. Power System Frequency Estimation Using Least Mean Square Technique, *IEEE Transactions on Power Delivery*, VOL. 20, No. 3, pp 1812-1816, July 2005.
- [3] DASH, P.K.; PRADHAN, A.K.; PANDA, G. Frequency Estimation of distorted Power System Signals Using Extended Complex Kalman Filter. *Power Delivery IEEE Transactions on*, Vol. 14, No. 3, pp. 761-766 July 1999.
- [4] CHEMIN, N.U. Aplicações de Controle e Supervisão Distribuídas em Subestações de Energia Elétrica Através do Uso de Relés Digitais de Proteção. 2008. *Dissertação de Mestrado*. FESC/USP, 2008.
- [5] CHAARI, O.; MEUNIER, M.; BROUAYE, F. Wavelets: a new tool for the resonant grounded power distribution systems relaying. *Transactions on Power Delivery, IEEE*, Vol 11, No. 3, pp 1301-1308, July 1996.
- [6] MAGNAGO, F.H.; ABUR, A., Fault location using wavelets, *Power Delivery, IEEE Transactions on*, Vol. 13, No. 4, pp 1475-1479, October 1998
- [7] DAUBECHIES, I. Where Do Wavelets Come From: A Personal Point of View. *Proceedings of the IEEE*, Vol.84, No. 4, pp. 510-513. April 1996.
- [8] SANTOSO, S.; POWERS, E. J.; GRADY, W. M.; HOFMANN, P. Power Quality Assessment via Wavelet Transform Analysis. *IEEE Transactions on Power Delivery*, Vol.11, No. 11, pp. 924-930. April 1996.
- [9] ANSI/IEEE Std. 1110, Three IEEE Guide for Synchronous Generator Modeling Practices in Stability Studies, Press IEEE, New York-NY, março, 1991.
- [10] MISITI, M.; MISITI, Y.; OPPENHEIM, G.; POGGI, J. M. Wavelet Toolbox: User's Guide. *Natick, MA: The MathWorks*, 2008.
- [11] MILANO F. PSAT Power System Analysis Toolbox Manual for PSAT, version 2.1.2, 26 de junho de 2008, *Universidad de Castilla-La Mancha, Espanha* 2008.
- [12] KUNDUR, P. Power System Stability and Control, New York, NY, McGraw-Hill, 1994.
- [13] C. P. STEINMETZ, *Power Control and Stability of Electric Generating Stations*, AIEE Trans., XXXIX, 1215, 1920.
- [14] LUNA, E. K. Uma Contribuição ao Estudo de VTCDs Aplicado a Equipamentos Eletrônicos Alimentados por Conversor CA-CC. *Dissertação de Mestrado*. UNICAMP, Campinas, 2005.
- [15] CENELEC EN 50160; Voltage Characteristics of Electricity Supplied by Public Distribution Systems. European Committee for Electrotechnical Standardization, 1999.
- [16] ITI (CBEMA) curve Application Note; "Technical Committee 3 (TC3) of the Information Technology Industry Council"; Acedido em 30 de Maio de 2015: <http://www.itic.org/technical/iticurv.pdf>.
- [17] SOARES, L. R. Projeto de Novos Sistemas Wavelet com Aplicações na Análise de Sinais do Sistema Elétrico. *Dissertação de Mestrado*. UFPE, Recife, 2006.