

X SEPOPE

21 a 25 de maio de 2006

May – 21st to 25th – 2006
FLORIANÓPOLIS (SC) – BRASIL

**X SIMPÓSIO DE ESPECIALISTAS EM PLANEJAMENTO DA OPERAÇÃO
E EXPANSÃO ELÉTRICA**

**X SYMPOSIUM OF SPECIALISTS IN ELECTRIC OPERATIONAL
AND EXPANSION PLANNING**

**Avaliação de um Método de Compressão para Oscilografia com Base em
Procedimentos de Análise de Perturbações Elétricas**

**Michel P. Tcheou¹ Lisandro Lovisolo^{2,1} Marco A. M. Rodrigues³
Eduardo A. B. da Silva¹ Paulo S. R. Diniz¹ Salvatore Mantuano F.⁴
Marco A. F. Ramos⁴**

**1. COPPE/UFRJ 2. DETEL/UERJ 3. CEPTEL 4. FURNAS
BRASIL**

RESUMO

Este artigo avalia um método de compressão aplicado a sinais de tensão e corrente de arquivos de oscilografia, através de duas abordagens: uma avaliação de desempenho realizada com o auxílio de especialistas em análise de perturbações elétricas e a aplicação de uma ferramenta de localização de faltas. Na primeira abordagem, elaborou-se um questionário, baseado nos procedimentos mais comuns de análise de perturbações, com o propósito de conduzir os especialistas na análise e na medição de grandezas elétricas de um conjunto de oscilogramas, sem que eles tenham conhecimento dos que correspondem às versões originais e comprimidas, evitando, assim, que seja realizada uma análise tendenciosa. Essa avaliação nos permite verificar se a compressão do arquivo acarreta em perda significativa de informação que possa conduzir a uma análise diferente em relação ao original. A segunda abordagem consiste em se aplicar uma ferramenta de localização de faltas em ambas versões dos oscilogramas, possibilitando obter o erro percentual da distância encontrada para a versão comprimida em relação à distância encontrada para a versão original. Essas duas avaliações proporcionaram uma perspectiva real do desempenho do método de compressão de arquivos de oscilografia tendo em vista procedimentos de análise de perturbações elétricas. Os resultados demonstram que através deste método de compressão é possível obter um alto nível de compactação com baixa probabilidade de erro na análise e interpretação dos oscilogramas comprimidos com relação ao original.

PALAVRAS-CHAVE

Oscilografia, análise de perturbações, compressão de sinais, Matching Pursuit, localização de faltas.

1. Introdução

A oscilografia é caracterizada pela medição de grandezas de tensão e corrente com alta resolução no domínio do tempo e cujo registro ocorre em consequência da detecção de uma perturbação [1]. Uma das formas mais utilizadas para documentar um evento é a oscilografia digital, que tem exercido um papel bastante importante na operação do sistema elétrico de potência, em especial na análise da proteção.

As mudanças recentes no setor elétrico resultaram em um cenário onde a malha interligada do sistema brasileiro é composta de diversos agentes em diferentes funções, como geração, transmissão e distribuição de energia. Para cada um desses agentes, tornou-se importante a documentação das perturbações ocorridas, não somente por força da legislação, como também para permitir uma melhor identificação de suas causas. Em face da disseminação de oscilógrafos digitais, tem-se observado um aumento da quantidade de eventos registrados, o que implica num crescimento progressivo no número, cada vez maior, de arquivos de oscilografia, também denominados oscilogramas. Dessa maneira, surge a necessidade de se estudar e desenvolver técnicas de compressão a fim de reduzir o espaço necessário para o armazenamento desses arquivos e, nos casos onde os meios comunicação sejam precários, facilitar sua transmissão.

Em [2,3], apresentou-se um método de compressão com perdas aplicado a sinais de tensão e corrente de oscilogramas. Nesse método, utiliza-se uma técnica de decomposição adaptativa de sinais, denominada Matching Pursuits [4], capaz de obter uma representação bastante compacta do sinal, resultando em um bom desempenho de compressão com pouca distorção, isto é, baixa perda de informação. Esse alto grau de compressão se deve à robustez desse método em identificar os fenômenos existentes nos sinais de perturbações elétricas. Contudo, é necessário verificar quão baixa deve ser a perda de informação para que a análise de um oscilograma não fique comprometida. No caso de imagens e sinais de áudio, a qualidade do sinal comprimido é avaliada de forma subjetiva através da visão e da audição, respectivamente. Já a qualidade do oscilograma comprimido deve ser avaliada com base em procedimentos de análise de perturbações elétricas.

Neste trabalho, realiza-se uma avaliação do método de compressão utilizando duas abordagens. A primeira corresponde a uma avaliação de desempenho realizada com o auxílio de especialistas em análise de perturbações elétricas de Furnas Centrais Elétricas e do Centro de Pesquisa de Energia Elétrica (CEPEL). A avaliação nos permite verificar se a compressão do arquivo resulta em perda significativa de informação que possa conduzir a uma análise diferente da obtida com o oscilograma original. Para isso, elaborou-se um questionário, com base nos procedimentos mais comuns em análise de perturbações, para conduzir os especialistas na análise e na medição de grandezas elétricas de um conjunto de oscilogramas. Nesse conjunto, existem as versões original e comprimida de diferentes oscilogramas, sem o conhecimento do especialista, evitando, assim, uma análise tendenciosa. A segunda abordagem está relacionada a uma avaliação em termos de análise automática, a qual consiste em se utilizar uma ferramenta de localização de faltas nas versões de cada oscilograma, possibilitando obter os erros percentuais das distâncias encontradas com versões comprimidas em relação à distância encontrada com a versão original. A partir dessas duas avaliações, foi possível obter uma perspectiva real do desempenho do método de compressão de arquivos de oscilografia, cujos resultados serão apresentados mais adiante.

Nos testes, 60% dos arquivos de oscilografia utilizados são provenientes de faltas reais e 40% de faltas simuladas em ATP. Utilizaram-se, nos testes, além dos arquivos originais, arquivos comprimidos em dois níveis de compactação: no primeiro a compactação é menor (variando de 3 a 12 vezes) porém o erro é quase imperceptível; no segundo a compactação é maior (variando de 12 a 46) e o erro é um pouco maior, porém isto não compromete significativamente a realização das análises.

A Seção 2 descreve o método de compressão de oscilogramas que utiliza o Matching Pursuit. A Seção 3 apresenta os procedimentos e resultados da avaliação do desempenho do método por especialistas em análise de perturbações. A Seção 4 apresenta os resultados da avaliação com o auxílio da ferramenta de localização de faltas. Por fim, a Seção 5 apresenta as conclusões deste trabalho.

2. Método de Compressão de Oscilogramas

Nesta seção, descreve-se o método de compressão de sinais de tensão e corrente de oscilogramas avaliado neste artigo [3,8]. A Figura 1 ilustra o diagrama de blocos associado a esta técnica de compressão. Primeiramente, decompõe-se o sinal através do algoritmo de Matching Pursuit (MP) com base em um dicionário de senóides moduladas por janelas exponenciais, também denominadas de átomos exponenciais. O algoritmo MP realiza aproximações sucessivas do sinal de forma iterativa, onde a cada passo, escolhe-se no dicionário o átomo de maior correlação com o sinal. O átomo escolhido é escalonado e subtraído do sinal, obtendo-se um resíduo, ao qual o mesmo processo é reaplicado até que sua energia se torne suficientemente pequena. Ao fim da decomposição, o sinal $x(t)$ é expresso através da seguinte expansão linear:

$$x(t) \approx \sum_{i=1}^M \alpha_i e^{-\rho_i(t-t_{i_i})} \cos(2\pi k_i F t + \phi_i) [u(t-t_{i_i}) - u(t-t_{F_i})] \quad (1)$$

onde M é número de componentes da expansão, F é a frequência fundamental da rede elétrica (50/60Hz) e cada componente desse somatório corresponde ao átomo obtido no passo i , sendo este representado pelo conjunto de parâmetros $\gamma_i = (\alpha_i, k_i, \rho_i, \phi_i, t_{i_i}, t_{F_i})$, onde α_i é a amplitude, k_i é um múltiplo inteiro da frequência fundamental, ρ_i é o fator de decaimento, ϕ_i é o deslocamento de fase, t_{i_i} e t_{F_i} são os tempos de início e fim da região de suporte do átomo, e $u(\cdot)$ é função de degrau unitário. Portanto, $x(t)$ é caracterizado pelo conjunto de γ_i 's, $i = 1, \dots, M$, conhecido também como livro de estruturas (*structure book* [4]).

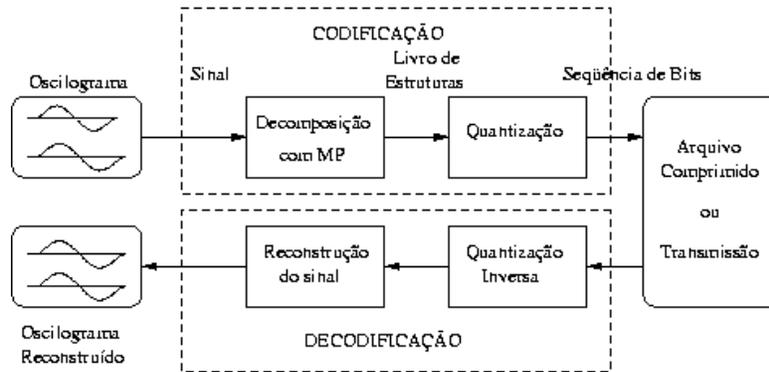


Figura 1 - Diagrama de blocos do método de compressão de oscilogramas.

Observe que o modelo de sinal da Equação (1) é capaz de representar os fenômenos mais comuns presentes em sinais de perturbações elétricas tais como harmônicos, transitórios, sobretensões e subtensões [5]. Em consequência disso, a energia se concentra nos coeficientes α_i 's associados aos átomos mais coerentes com os padrões existentes no sinal.

No passo seguinte, com o objetivo de comprimir o sinal, o método quantiza os parâmetros do livro de estruturas, eliminando os átomos com coeficientes de baixa energia. Cada parâmetro de γ_i é quantizado, independentemente, através de um quantizador escalar uniforme da seguinte forma [6]:

$$x_q = I_x \times \Delta_{q(x)}, \text{ onde } I_x = \left\lfloor \frac{x + \frac{\Delta_{q(x)}}{2}}{\Delta_{q(x)}} \right\rfloor \quad (2)$$

onde x é o parâmetro a ser quantizado e x_q sua versão quantizada, $\Delta_{q(x)}$ é o passo de quantização e I_x é o índice associado a x . Esse índice é codificado convertendo-o para sua representação binária e

adicionado à seqüência de bits que é, posteriormente, armazenada em arquivo ou transmitida. Note que se trata de uma quantização dos parâmetros e não das amostras das formas de onda que compõem o sinal. Isso explica o bom desempenho deste método na compressão de sinais de oscilogramas, cujos resultados em termos de SNR (*signal-to-noise ratio*) e razão de compressão podem ser vistos em [2,3,7].

É importante destacar que a quantização é realizada tendo em vista a alocação ótima de bits entre os parâmetros de γ_i , com o propósito de inserir a menor distorção dada uma razão de compressão desejada [8].

Observe na Figura 1 que no processo de decodificação, inicialmente, decodifica-se a seqüência de bits, obtendo-se os índices de quantização. Em seguida, realiza-se a quantização inversa a partir desses índices, recuperando-se, assim, o livro de estruturas. Por fim, o algoritmo de decodificação reconstrói o sinal através da combinação linear dos elementos do livro de estruturas.

Utilizando esse método, comprimiu-se um sinal de corrente para diferentes razões de compressão (número de vezes que o arquivo original é maior que o comprimido). A Figura 2 ilustra um sinal elétrico original e suas versões comprimidas com as razões de compressão (r_c) de 5, 12 e 20 vezes. Observe que a distorção introduzida no sinal para $r_c = 5$ é quase imperceptível. Com $r_c = 12$ começam a aparecer alguns artefatos mais grosseiros, como é o caso do decaimento da senóide de maior amplitude que desaparece. Para $r_c = 20$, a senóide pura do trecho inicial, correspondente a pré-falta, também desaparece. Isso demonstra que a análise do desempenho da compressão não deve ser feita apenas em termos quantitativos medindo o SNR. No caso de sinais elétricos, apenas a avaliação subjetiva através da simples visualização do oscilograma também não é suficiente. É necessário que se avalie o método com base em procedimentos próprios da análise de perturbações elétricas e no uso de ferramentas de auxílio para o cálculo de fasores, distância da falta, etc.

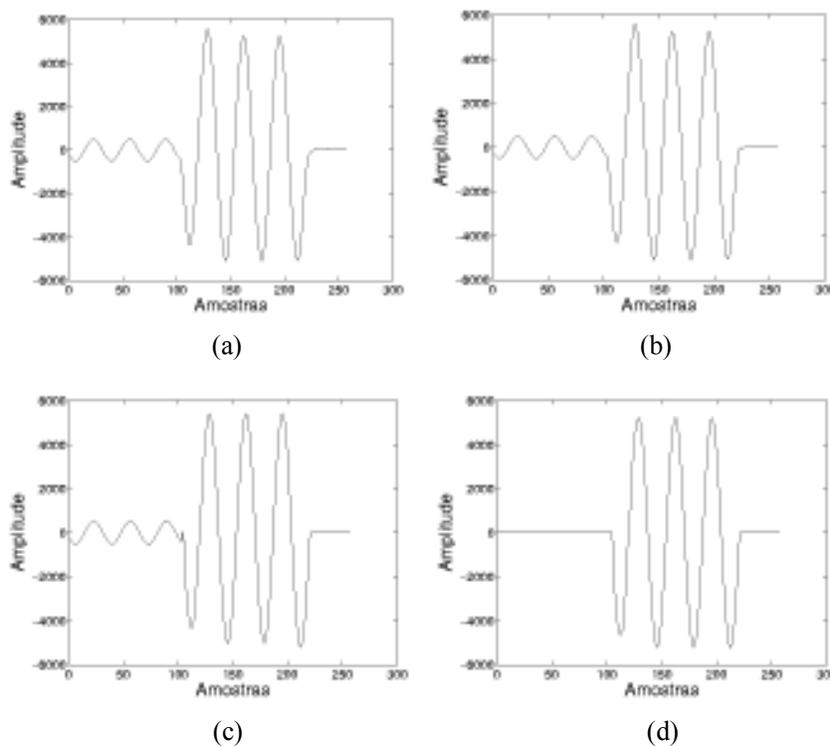


Figura 2 - Exemplo de um sinal elétrico original (a) e suas versões comprimidas com as razões de compressão 5 (b), 12 (c) e 20 (d).

3. Avaliação por Especialistas em Análise de Perturbações Elétricas

Nessa avaliação, utilizaram-se sete oscilogramas, sendo quatro provenientes de faltas reais (*o_real1*, *o_real2*, *o_real3*, *o_real4*) e três de faltas simuladas em ATP (*o_atp1*, *o_atp2*, *o_atp3*). Para cada um desses arquivos foram geradas duas versões comprimidas, sendo que uma com nível de compressão menor r_{c1} (variando de 3 a 12 vezes), com o erro quase imperceptível; e a outra com um nível de compressão maior r_{c2} (variando de 12 a 46), contendo um pouco mais de distorção, contudo ainda apresentando uma boa qualidade visual. Portanto, isso resulta em um total de 21 arquivos, incluindo o original e duas versões comprimidas de cada oscilograma. Esses oscilogramas podem ser vistos em [8].

Três especialistas em análise de perturbações elétricas, sendo dois de Furnas e um do CEPEL, preencheram um questionário, formado por perguntas baseadas em procedimentos rotineiros de análise de sinais oscilográficos, para cada um dos 21 oscilogramas sem o conhecimento de quais eram os arquivos originais e comprimidos. As análises desses oscilogramas foram realizadas através de um software implementado no CEPEL denominado SINAPE [9] (Sistema Integrado de Apoio à Análise de Perturbações) que auxilia no processo de análise de oscilogramas, permitindo a visualização dos sinais de tensão e corrente medidos no sistema elétrico, a medição de diversas características da perturbação, o cálculo da impedância da linha de transmissão, dos fasores, etc.

A seguir, descrevem-se os itens presentes no questionário e para cada item demonstra-se como é realizada análise pelo especialista utilizando o SINAPE. Como exemplo, analisou-se o oscilograma *o_atp1* original ilustrado na Figura 3. Ao fim desta seção, apresentam-se os resultados desta avaliação.

3.1. Identificação do tipo de falta

O especialista deve identificar se a falta é do tipo: fase-terra (AN, BN, CN), bifásico-terra (ABN, BCN, CAN) ou trifásico (ABC).

Na maioria das vezes isso pode ser feito pela simples visualização do oscilograma, observando-se em que fase ocorreu uma mudança mais significativa do comportamento do sinal. No caso do oscilograma *o_atp1*, a falta é do tipo AN, pois verifica-se através da Figura 3 que houve uma subtensão na fase A e um aumento da amplitude da corrente da mesma fase.

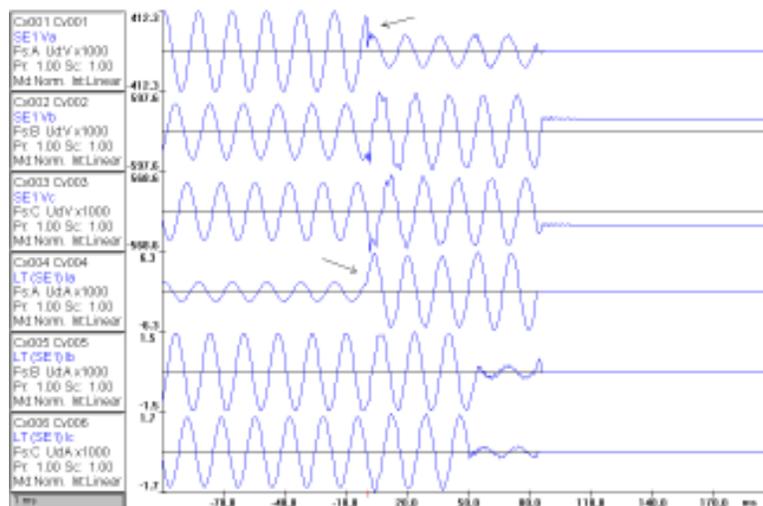


Figura 3 - Identificação do tipo de falta no oscilograma *o_atp1*.

3.2. Verificação do equilíbrio entre as fases A, B e C

Esse procedimento é realizado quando o especialista deseja verificar as condições de pré-falta. Nesse caso, isso é feito através de uma ferramenta do SINAPE para o cálculo de fasores. A análise

pode ser feita de duas formas, que podem ser melhor compreendidas observando-se a tela do programa na Figura 4. A primeira consiste em verificar se as diferenças entre os ângulos das tensões das três fases no fasor original se aproximam de 120 graus. A segunda considera o fato de que o fasor original é equivalente à soma de suas componentes simétricas: seqüência positiva, negativa e zero. Caso haja equilíbrio entre as fases, as seqüências negativa e zero apresentam vetores nulos, e a seqüência positiva é idêntica ao fasor original. É importante destacar que, nesse caso, a janela de cálculo dos fasores deve ser posicionada dentro do trecho de pré-falta.

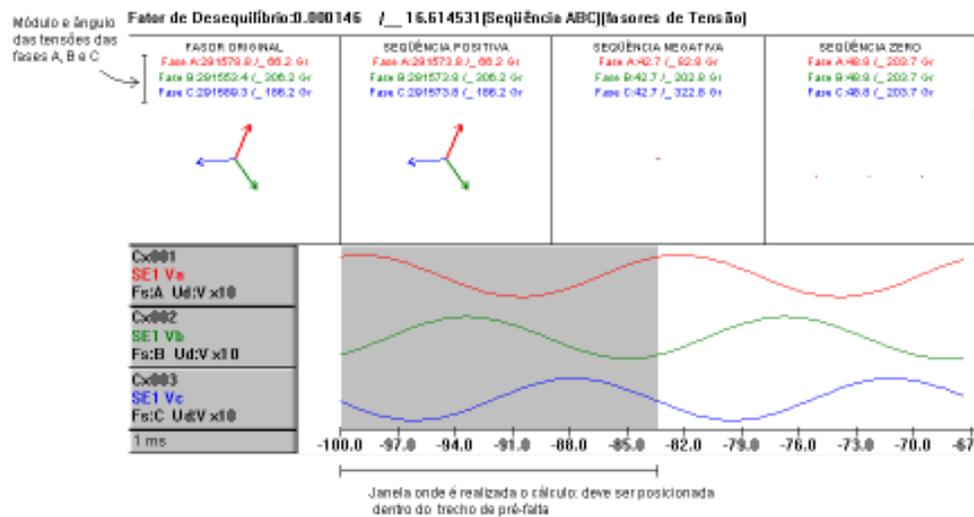


Figura 4 - Verificação do equilíbrio entre as fases no oscilograma *o_atp1*.

3.3. Identificação dos tempos de início e fim da falta

Os tempos de início e fim da falta são obtidos com o auxílio de uma linha vertical tracejada capaz de percorrer todo o oscilograma. Note que, além de indicar o tempo no canto esquerdo abaixo da figura, o SINAPE retorna também os valores instantâneo (V_{inst}) e RMS (V_{rms}) das amplitudes das tensões e correntes situados na caixa de texto do lado esquerdo de cada sinal. A identificação do tempo de início da falta no oscilograma *o_atp1* é ilustrada na Figura 5. É importante dizer que o instante do fim da falta foi considerado como sendo o momento de abertura do disjuntor.

3.4. Obtenção do valor da corrente de curto-circuito antes da abertura do disjuntor

A análise do valor da corrente de curto-circuito é normalmente realizada com o propósito de avaliar o efeito da sobrecorrente sobre os disjuntores. Esse valor é obtido observando o valor de pico da corrente afetada um ciclo antes da abertura do mesmo. Para isso, utilizou-se a mesma linha vertical utilizada na identificação dos tempos de início e fim da falta ilustrada na Figura 5.

3.5. Obtenção dos valores de módulo e ângulo das tensões e correntes das fases A, B e C nos períodos de pré-falta e pós-falta

Esses valores são obtidos através da ferramenta de cálculo de fasores apresentada na verificação do equilíbrio entre as fases, ilustrado na Figura 4. Todavia, ao se calcular os valores de módulo e ângulo na pós-falta, deve-se posicionar a janela de cálculo dos fasores alguns ciclos após a falta quando a perturbação já estiver estabilizada.

3.6. Resultados

Os resultados da análise dos 21 oscilogramas realizada por cada especialista foram organizados em tabelas, que podem ser vistas em [8] para maiores detalhes. Contudo, os dados das tabelas por si só não proporcionam a exata noção do desempenho do método de compressão. Além disso, os critérios

de avaliação podem variar de um especialista para outro. Em face disso, essas informações foram traduzidas de forma mais clara para se verificar o real desempenho do método.

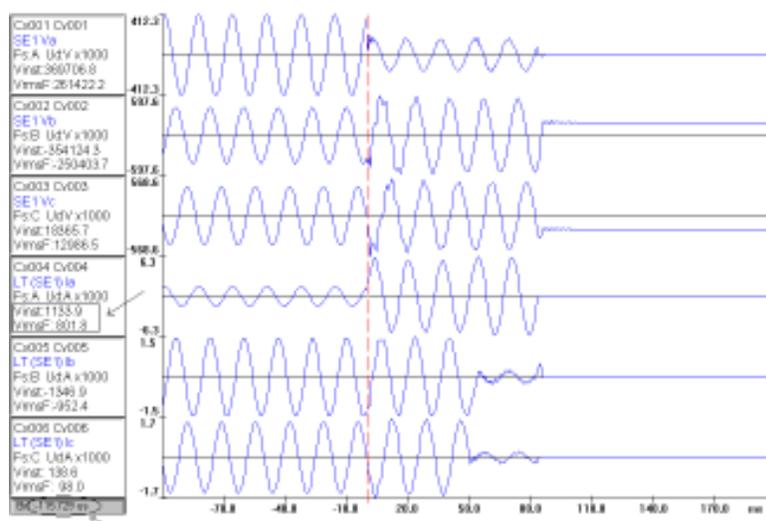


Figura 5 - Identificação dos tempos de início da falta no oscilograma *o_atp1*.

Primeiramente, calculou-se a probabilidade de acerto de cada oscilograma comparando os resultados obtidos, na identificação do tipo de falta e na verificação do equilíbrio entre as fases, a partir das versões comprimidas em relação aos resultados obtidos na análise da versão original. Por exemplo, caso os 3 especialistas tenham analisado o mesmo tipo de falta em ambos os arquivos, original e comprimido, a probabilidade de acerto é de 100 %. No entanto, caso 2 dos 3 especialistas acertem o tipo de falta a probabilidade é de 66,7 % e assim por diante.

A Tabela I apresenta a média das probabilidades de acerto dos sete oscilogramas. Observe que houve falha de interpretação na verificação do equilíbrio entre as fases somente em alguns oscilogramas comprimidos com r_{c2} . Isso ocorreu porque a quantização dos sinais do oscilograma é realizada de forma independente conforme foi visto na Seção 2. Dessa maneira, introduziu-se maior distorção na amplitude e na fase de um dos sinais de tensão em relação aos outros, ocasionando o desequilíbrio. Entretanto, mesmo com um nível de compressão mais alto, o método apresentou um bom desempenho, permitindo 100 % de acerto na identificação do tipo de falta. Além disso, ele se mostrou bastante robusto para os arquivos comprimidos com a razão de compressão r_{c1} , permitindo 100 % de acerto tanto na identificação da falta quanto na verificação do equilíbrio entre as fases.

Tabela I - Média das probabilidades de acerto dos sete oscilogramas.

	Tipo de Falta (%)	Equilíbrio(%)
r_{c1}	100	100
r_{c2}	100	85,7

Considerando os tempos de início e fim da falta, a corrente de curto-circuito e os módulos das tensões e correntes das fases na pré-falta e na pós-falta, calcularam-se para cada oscilograma os erros percentuais médios desses parâmetros a partir dos resultados das análises dos três especialistas. Por exemplo, para cada oscilograma e especialista, obtém-se o erro percentual da corrente de curto obtida na análise da versão comprimida em relação à corrente obtida na análise da versão original. Em seguida, realiza-se a média aritmética dos erros percentuais dos três especialistas, resultando, assim, no erro percentual médio da corrente de curto do oscilograma para uma dada razão de compressão (r_{c1} ou r_{c2}). É importante mencionar que os erros percentuais dos tempos de início e fim da falta são

calculados com base no tempo de duração da falta, e não em função dos tempos medidos no arquivo original. A Figura 6 apresenta a média dos erros percentuais médios entre os oscilogramas através de um gráfico de barras.

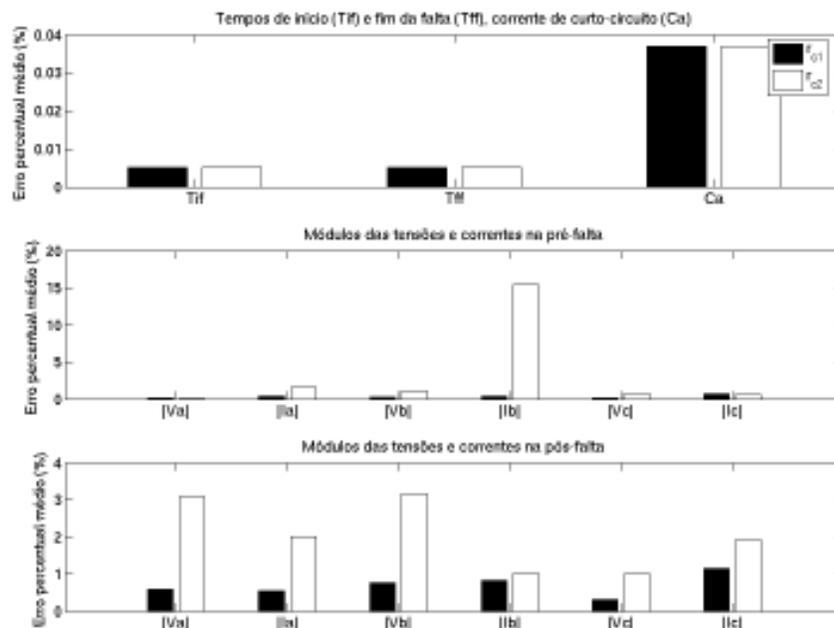


Figura 6 - Média dos erros percentuais dos parâmetros analisados entre os sete oscilogramas.

Observe que os resultados foram bastante satisfatórios, contudo note na Figura 6 que obteve-se um erro percentual médio significativo aproximadamente de 15 % na medição do módulo da corrente I_b na pré-falta para a razão de compressão r_{c2} . Isso pode ser facilmente compreendido ao observarmos o oscilograma o_real3 comprimido com razão r_{c2} e o compararmos com a sua versão original. A Figura 7 apresenta os sinais dos oscilogramas original e comprimido de o_real3 correspondentes à corrente I_b . Observe que a senóide presente no período de pré-falta da corrente I_b foi eliminada na compressão. Apesar deste fato isolado, obtiveram-se, de um modo geral, erros percentuais bastante reduzidos.

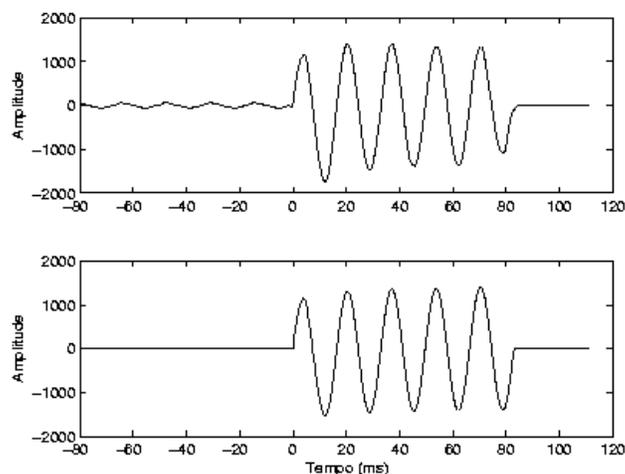


Figura 7 - Corrente I_b nos oscilogramas original e comprimido de o_real3 .

A partir do gráfico da Figura 6, verifica-se que, em geral, os arquivos comprimidos com maior nível de compressão r_{c2} apresentaram maior discrepância nos resultados da análise que os arquivos comprimidos com menor nível de compressão, r_{c1} , o que já era esperado. Contudo, mesmo assim a maioria dos arquivos comprimidos com r_{c2} ainda são aceitáveis. Por exemplo, para os oscilogramas o_real1 e o_atp1 obtiveram-se erros percentuais abaixo de 6 %, mesmo com altas razões de compressão, 12 e 26 respectivamente.

Finalmente, com base nos valores dos ângulos das tensões e correntes das fases obtidos pelos especialistas, foram calculados os erros absolutos entre os valores medidos a partir da análise do arquivo comprimido em relação ao original. A Figura 8 apresenta o gráfico da média dos erros absolutos entre os oscilogramas medidos em graus.

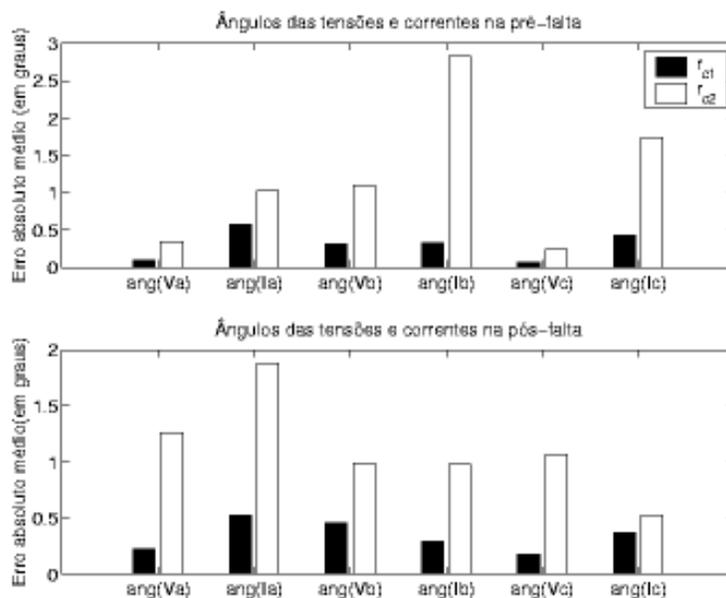


Figura 8 - Média dos erros absolutos dos valores de ângulo entre os sete oscilogramas.

Da mesma forma, observa-se que os resultados das medições dos ângulos também foram satisfatórios. Note que ocorreu uma maior discrepância na medição do ângulo da corrente Ib na pré-falta para a razão r_{c2} pelo mesmo motivo pelo qual houve um maior erro na medição do módulo, já explicado anteriormente. A compressão inseriu um nível de distorção onde a senóide da pré-falta foi eliminada (ver Figura 7).

Verifica-se também que, em geral, os arquivos comprimidos com maior nível de compressão, r_{c2} , também apresentaram maior discrepância nos resultados de medição dos ângulos das tensões e das correntes comparados aos resultados obtidos com os arquivos comprimidos com menor nível de compressão, r_{c1} , o que também já se esperava. Novamente, pode-se dizer que, mesmo assim, a maioria dos arquivos comprimidos com r_{c2} ainda são aceitáveis. Por exemplo, para o oscilograma o_atp3 , mesmo comprimido com uma razão de compressão de 46 vezes, foi possível obter erros absolutos abaixo de 6 graus.

4. Avaliação por Ferramenta de Localização de Falta

Nessa avaliação, utilizou-se uma ferramenta, também elaborada no CEPEL, capaz de calcular a distância de uma falta ocorrida em uma linha de transmissão no mesmo conjunto de oscilogramas avaliado pelos especialistas, com exceção dos oscilogramas o_real2 e o_real4 , pois nestes casos a falta não ocorreu na linha monitorada. Essa ferramenta se baseia em um algoritmo introduzido por

Takagi et al [10,11] já consagrado e bastante utilizado por especialistas em proteção de sistemas elétricos.

A Tabela II lista as distâncias, em percentual do comprimento da linha de transmissão, encontradas aplicando-se o algoritmo de localização de faltas nos oscilogramas originais e em suas versões comprimidas.

Tabela II - Resultados dos testes de localização de faltas. A distância da falta é dada em percentual do comprimento total da linha de transmissão.

Oscilograma	original	r_{c1}	r_{c2}
o_real1	77,2 %	77,7 %	77,8 %
o_real3	58,7 %	58,7 %	61,1 %
o_atp1	25,3 %	25,8 %	26,5 %
o_atp2	26,9 %	27,2 %	33 %
o_atp3	25,3 %	25,5 %	24 %

Com base nessa tabela, calcularam-se os erros absolutos das distâncias obtidas para os oscilogramas comprimidos (com as razões de compressão r_{c1} e r_{c2}) em relação à distância obtida para o original, como está ilustrado na Figura 9. Note que os arquivos comprimidos com r_{c1} apresentaram erros abaixo de 1 %; novamente, constata-se a robustez do método para tais níveis de compressão. Mesmo os arquivos comprimidos com maior razão de compressão, r_{c2} , apresentaram bons resultados, sendo que o maior erro, correspondente ao oscilograma *o_atp2*, foi de 6 % do comprimento total da linha. Segundo os especialistas essa magnitude de erro somente não é aceitável em algumas situações.

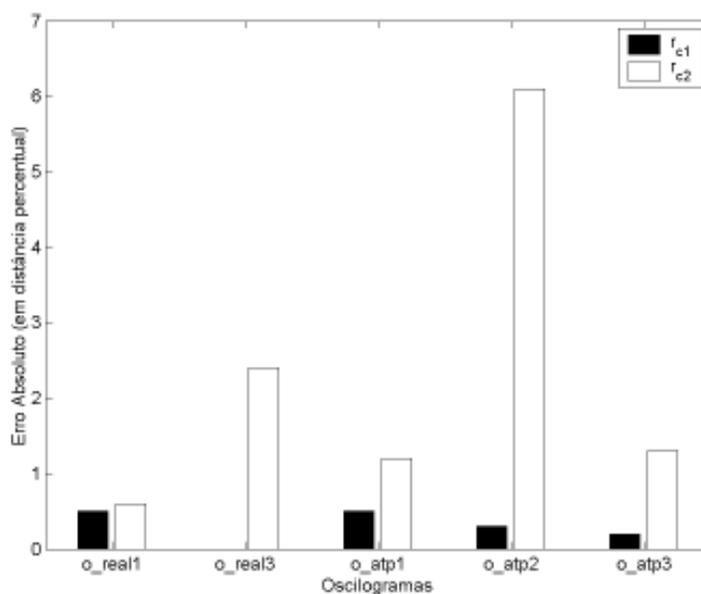


Figura 9 - Erros absolutos das distâncias obtidas para os oscilogramas comprimidos (com as razões de compressão r_{c1} e r_{c2}) em relação à distância obtida para o original.

5. Conclusões

Neste trabalho, avaliou-se, com base em procedimentos de análise de perturbações, um método de compressão por síntese de sinais de tensão e corrente de oscilogramas, no qual são quantizados os parâmetros das componentes de um modelo de sinal e não as amostras do sinal.

A partir dos resultados das avaliações, conclui-se que a probabilidade de erro das análises dos arquivos comprimidos com esses dois níveis de compressão é pequena. Observou-se que os erros de interpretação do equilíbrio entre as fases ocorreram, porque introduziu-se maior distorção na amplitude e na fase de um dos sinais de tensão em relação aos outros, dado que os sinais do oscilograma são quantizados de forma independente.

Verificou-se o bom desempenho do método na compressão dos arquivos com níveis razoáveis de compressão variando de 3 a 12 vezes. Para tais níveis de compressão o especialista irá obter os mesmos resultados de análise da versão comprimida em relação ao original. Quanto aos arquivos comprimidos com maiores níveis de compressão variando de 12 a 46 vezes, observou-se que em alguns casos ocorreria falha de interpretação em alguns procedimentos da análise; entretanto, na maioria dos casos, o método apresentou um bom desempenho. Portanto, mesmo com esses níveis de compressão mais altos a probabilidade de erro ainda é pequena, comprovando a robustez do método.

BIBLIOGRAFIA

- [1] M.A.M. Rodrigues, M.V.F. Figueiredo, S.S. Diniz, A.L.L. Miranda, "Oscillography for power system operational planning", VII SEPOPE, Maio 2000.
- [2] L. Lovisolo, M.A.M. Rodrigues, E.A.B. da Silva, P.S.R. Diniz, S. Mantuano, "Eliminação de resposta transitória de oscilogramas utilizando matching pursuits", VII STPC, Junho 2003.
- [3] L. Lovisolo, E.A.B. da Silva, M.A.M. Rodrigues, P.S.R. Diniz, "Efficient coherent adaptive representations of monitored electric signals in power systems using damped sinusoids", IEEE Trans. on Signal Processing, vol. 53, no. 10, pp. 3831-3846, October 2005.
- [4] S. Mallat and Z. Zhang, "Matching pursuit with time-frequency dictionaries", IEEE Trans. on Signal Processing, vol. 41, no. 12, pp. 3397-3415, Dezembro 1993.
- [5] W. Xu, "Component modeling issues for power quality assessment", IEEE Power Engineering Review, vol. 21, no. 11, pp. 12-15,17, November 2001.
- [6] K. Sayood, Introduction to Data Compression, Morgan Kaufman Publishers, San Francisco, USA, 2nd edition, 2000.
- [7] L. Lovisolo, M.A.M. Rodrigues, P.S.R. Diniz, E.A.B. da Silva, "Power system phenomena analysis using time-frequency decompositions", VIII SEPOPE, Maio 2002.
- [8] M.P. Tcheou, Análise e Representação de Sinais de Oscilografia Usando Decomposições Adaptativas Redundantes, Dissertação de Mestrado, PEE/COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Junho 2005.
- [9] C.A.M. Aviz e M.A.M. Rodrigues, "Sistema integrado de apoio à análise de perturbações - Sinape", XIV SNPTEE, Belém, 1997.
- [10] T. Takagi, Y. Yamakoshi, J. Baba, K. Uemura, T. Sakaguchi, "A new algorithm of an accurate fault location for EHV/UHV transmission lines: Part I - Fourier Transformation Method", IEEE Trans. on Power Apparatus and Systems, vol. PAS-100, no. 3, March 1981.
- [11] T. Takagi, Y. Yamakoshi, J. Baba, K. Uemura, T. Sakaguchi, "A new algorithm of an accurate fault location for EHV/UHV transmission lines: Part II - Laplace Transformation Method", IEEE Trans. on Power Apparatus and Systems, vol. PAS-101, no. 3, March 1982.