

Sistema Integrado de Monitoramento e Diagnóstico da Condição Operativa de Comutadores de Derivação em Carga

J. N. Garcez, A.R. Garcez Castro, A. L. da Silva Castro, S. F. P. Pereira, E. M. de Castro, G. N. da Rocha Filho, L. R. Moraes, M. A. de Lima, R. C. Limão, R. R. da Silva, R. J. de Souza Lemos, S. M. dos Santos, V. C. F. de Rosa, A. C. F. Saraiva

Resumo – O monitoramento das condições operativas de comutadores de derivação em carga de transformadores é de grande importância para integridade global de um sistema de energia elétrica. A compreensão dos mecanismos das falhas e do tempo de vida deste equipamento é importante para operação e planejamento e como consequência, as empresas passaram a investir significativamente em sistemas de diagnósticos com o objetivo de detectar possíveis falhas incipientes nestes equipamentos. Com diagnóstico precoce, um plano eficiente de manutenção pode ser elaborado evitando assim mudanças significativas na faixa de operação dos sistemas elétricos, que poderiam levar a situações não desejadas de funcionamento.

O trabalho descreve um sistema para monitoramento e diagnóstico da condição operativa de comutadores de derivação sob carga de transformadores das subestações de transmissão da Eletronorte integrando avaliação do desempenho do óleo isolante e monitoramento de vibrações.

Os resultados obtidos apontam para viabilidade de aplicação da metodologia desenvolvida no setor elétrico.

Palavras-chave – Comutador de Derivação em Carga, Monitoramento de Transformadores, Análise Físico-Química, Análise de Vibrações, Lógica Difusa, Transformada Wavelet, Banco de Dados.

I. INTRODUÇÃO

Os comutadores de derivação em carga (OLTC) de transformadores das subestações de transmissão, como dispositivos de chaveamento mecânico, constituem-se no subsistema mais caro e vulnerável do transformador. Enquetes internacionais sobre falhas em transformadores, mostram que os OLTC's se constituem em maior fonte de problemas do transformador. Esses modos de falhas são categorizados como elétricas, mecânicas e térmicas, podendo ser ainda provocadas pela poluição e contaminação. As falhas nos OLTC's são dominadas pela origem mecânica que podem levar a falhas elétricas como queima dos contactos, resistores de transição e rupturas de isolamento, responsáveis por muitos defeitos nos transformadores.

Resultados de pesquisas sobre modos de falhas no OLTC's mostram que, manutenções mal feitas e envelhecimento de componentes são os principais constituintes às falhas no equipamento. As vibrações causadas pelo movimento dos contactos podem ser usadas como principal assinatura para avaliar a condição operativa do OLTC, por conterem várias componentes impulsivas, cada uma delas relacionada a operação atual do OLTC.[1-3]

O OLTC pode ser considerado como um sistema mecânico complexo, tendo como entradas excitatórias as forças impulsivas iniciadas por movimentos rápidos nos contactos, e como saída, as respostas vibratórias no tanque do equipamento, medidas usando um acelerômetro. A deterioração no estado do mecanismo de acionamento e nos contactos conduzem alterações nas amplitudes e instantes de ocorrência dos pulsos de excitação na entrada. Como as respostas do sistema estão diretamente relacionadas as entradas, uma resposta vibratória transitória completamente diferente é atribuída às mudanças nas entradas. Desde a primeira investigação experimental de aplicação do monitoramento de vibrações em OLTC, vários sistemas de monitoramento on-line para testes de campo foram implementados. [4-8] No entanto, os padrões de sinais de vibração produzidos pelos movimentos dos contactos são um novo tipo de sinal, ainda não estudado sistematicamente, acarretando a necessidade de desenvolver novas técnicas para processamento e análise de sinais para avaliação da condição operativa do OLTC.

Especialistas em análise de óleo isolante estão bastante familiarizados com as práticas e vantagens da análise da presença anormal de partículas metálicas em suspensão no óleo, fragmentos oriundos do desgaste de partes metálicas. Quando comparada com as análises de vibrações, a análise de óleo apresenta certas vantagens, pois podem fornecer informações antecipadas e diretas sobre a forma de desgastes e das condições operativas do equipamento. De fato, em muitas situações, tem provado ser um indicativo seguro do desgaste em equipamentos ativos, quando comparado à análise de vibrações. O óleo mineral isolante em serviço está continuamente deteriorando-se devido às reações de oxidação, que podem ser aceleradas pela presença de compostos metálicos, oxigênio, alto teor de água e calor excessivo. Como consequência pode ocorrer mudanças de cor, formação de compostos ácidos e um estágio mais avançado da oxidação, precipitação de borra. Estas mudanças nas características no óleo devem ser acompanhadas por análises físico-químicas periódicas.

Este trabalho foi apoiado pela Eletronorte – Centrais Elétricas do Norte do Brasil, através de seu programa de Pesquisa e Desenvolvimento, Ciclo 2002/2003.

J. N. Garcez, A.R. Garcez Castro, A. L. da Silva Castro, S. F. P. Pereira, G. N. da Rocha Filho, R. C. Limão são professores Pesquisadores do Nesc – Núcleo de Energia, Sistemas e Comunicação do Departamento de Engenharia Elétrica e da Computação da UFPA (e-mail : jgarcez@ufpa.br)
E. M. de Castro, L. R. Moraes, M. A. de Lima, R. R. da Silva, R. J. de Souza Lemos, S. M. dos Santos, V. C. F. de Rosa são alunos do curso de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da UFPA.

A. C. F. Saraiva é Engenheiro da Eletronorte

Análise dos fragmentos não pode cobrir efetivamente todos os modos de falhas do equipamento, e, por esta razão, análise de óleo e de vibração são componentes necessários e vitais para um programa eficiente de manutenção. Tanto a análise de fragmentos de desgaste metálico, quanto à análise de vibrações são tarefas complicadas em termos de seus requisitos e da demanda de especialista e experiência humana.

Especialistas nas duas áreas, muitas vezes, trabalham isoladamente, necessitando de uma integração efetiva das duas técnicas de monitoramento, o que se constitui em um grande desafio, principalmente no setor elétrico. Nos últimos anos pesquisas direcionadas para este fim vêm sendo conduzidas, porém com resultados limitados.[9-13] Entretanto, avanços tecnológicos envolvendo sensores, inteligência computacional, ciência da computação e processamento de informação, criam um otimismo renovado na superação destes obstáculos, acenando com novas abordagens integradas para solução de problemas de monitoramento e diagnóstico de equipamentos. Este trabalho descreve um Sistema Integrado para o diagnóstico da Condição Operativa de Chaves Comutadoras de Transformadores de Potência.

II. MÓDULO DE AQUISIÇÃO E CONDICIONAMENTO DE SINAIS DA VIBRAÇÃO DA CHAVE COMUTADORA

Os componentes utilizados para a aquisição do sinal de vibração são:

- Acelerômetro;
- Base magnética;
- Condicionador de Sinais;
- Placa de aquisição; e
- Laptop

Os circuitos de condicionamento são divididos em duas partes: uma placa que condiciona os sinais dos sensores de vibração; e uma placa que possui circuitos auxiliares para a placa condicionadora, além de servir como base para esta.

A figura 1 ilustra em diagrama de blocos os circuitos que compõem a placa condicionadora, que são um regulador de corrente que alimenta o sensor de vibração (acelerômetro), pelo qual o sinal de vibração é passada para o condicionador, um amplificador, e o filtro *anti-aliasing*.

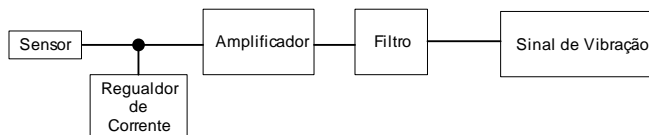


Figura 1. Diagrama de blocos da placa condicionadora de sinais de vibração.

O módulo de condicionamento de sinal tem a aparência de uma caixa (figura 2), onde externamente são visíveis os pontos, a saber:

- Entrada para a alimentação do sistema feita por 127V AC;
- Entrada o cabo de ligação da placa de aquisição;
- Entrada para os canais de aquisição.

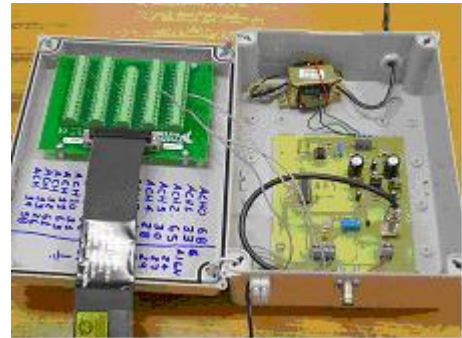


Figura2 – Protótipo do Condicionador de Sinal – Vibração.

Internamente o condicionador será composto por diversas funções integradas por componentes ou módulos prontos, os quais serão responsáveis desde a alimentação dos sensores e aquisição dos dados pelos mesmos até a entrega desses dados de uma forma acessível à placa de aquisição.

III. MÓDULO DE ANÁLISE DAS VIBRAÇÕES ATRAVÉS DA TRANSFORMADA WAVELET

O monitoramento e diagnóstico *on-line* são largamente empregados em quase todos os campos da indústria com aplicações em automação, manutenção preditiva e controle de qualidade. As técnicas mais largamente empregadas baseiam-se na detecção de presença anormal de partículas metálicas em suspensão, devido a desgastes e, mais frequentemente, análise dos sinais de vibrações estão presentes na operação de chaves comutadoras onde sinais são ricos em informações sobre o comportamento do processo. Como consequência, eles são amplamente utilizados na análise de falhas, monitoramento de condições, monitoramento de desgastes etc.

Tradicionalmente, os sinais de vibrações são analisados através da teoria de Fourier. Esta teoria, quando aplicada a sistemas mecânicos, oferece interpretações físicas significativas acerca dos distúrbios presentes nos sinais. No entanto, o método de Fourier se mostra ineficiente quando as distorções são de natureza não estacionária.

Dentro do contexto do monitoramento de vibrações a teoria wavelet constitui-se em um novo método para a detecção, localização e classificação de distúrbios que comprometem o comportamento do sistema.[9]

A análise wavelet, da mesma forma que a análise de Fourier, se fundamenta na utilização de funções-base. A teoria de Fourier utiliza as funções seno e cosseno. Já na análise wavelet, pode-se escolher a função-base a ser utilizada.

Tais funções são designadas wavelet de análise ou wavelet mães. Uma wavelet mãe pode ser dilatada ou comprimida e, também, transladada no tempo, originando as chamadas wavelets filhas, ou simplesmente, wavelets.

A análise wavelet é capaz de proporcionar, simultaneamente, informação no tempo e em frequência de um sinal, caracterizando a sua representação tempo-frequência. Na verdade, a teoria wavelet transforma o sinal no domínio do tempo para o domínio "tempo-escala". O parâmetro escala é definido como sendo uma grandeza inversamente proporcional à frequência.

A principal vantagem da análise wavelet é a sua capacidade de realizar uma análise local, ou seja, analisar uma área localizada de um sinal. É capaz de revelar algumas características presentes nos sinais, tais como: pontos de descontinuidade, tendências, descontinuidade nas derivadas, etc. Adicionalmente, o método consegue comprimir e eliminar o ruído de um sinal, sem degradação apreciável.

Transformar um sinal discreto no domínio do tempo para o domínio wavelet, utilizando o processo da codificação por sub-banda, implica em se decompor o sinal original em diferentes escalas (ou, também, designada, níveis), com diferentes resoluções no tempo e em frequência.

O cálculo da DWT de um sinal envolve, basicamente, dois processos: o primeiro se refere à determinação dos coeficientes wavelet, que representam o sinal no domínio transformado; e o segundo consiste na determinação das versões aproximadas e detalhadas do sinal original, em diferentes níveis de resolução, no domínio do tempo, a partir dos coeficientes wavelet calculados.

O sinal original no domínio do tempo' é representado no domínio wavelet através dos chamados coeficientes wavelet, os quais são determinados através da decomposição do referido sinal em diferentes níveis de resolução no tempo e em frequência.

Para análise dos sinais aquisitados foi utilizado o LABVIEW – Processamento de Sinais – Análise Wavelet, tendo sido escolhido Daubechies 10, db – 10, com decomposição em 5 níveis. A distribuição de energia caracteriza a assinatura do sinal de vibração. A figura 3 mostra algumas telas obtidas pelo software de Processamento de Sinais.

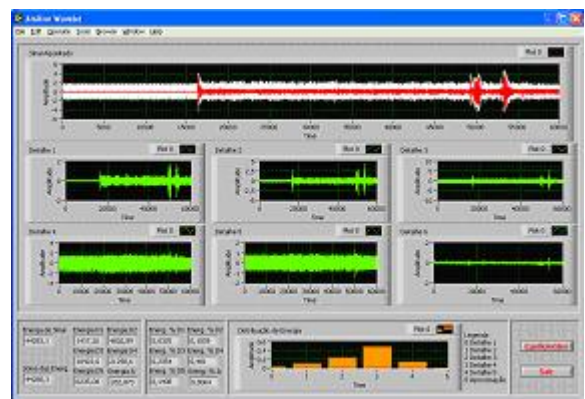
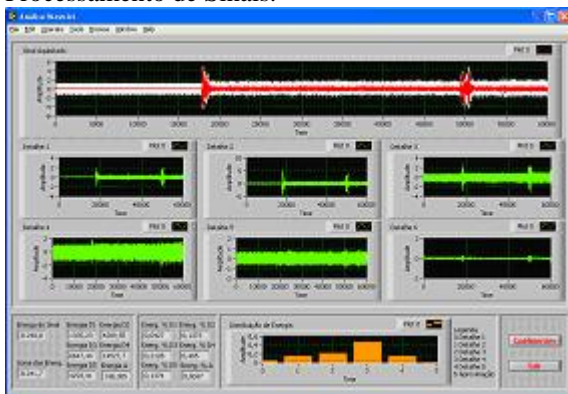


Figura 3 – Decomposição de um Sinal de Vibração Através da Transformada Wavelet

IV. MÓDULO PARA ANÁLISE FÍSICO-QUÍMICA E ESPECTRO-FOTOMÉTRICA DE METAIS PRESENTES NO ÓLEO ISOLANTE

A determinação das propriedades físico-químicas do óleo isolante é de suma importância para garantir as condições operacionais dos transformadores e para manter ou ampliar a vida útil desses equipamentos.

Os ensaios realizados no óleo isolante em uso permite diagnosticar alguns problemas, como pontos quentes, sobre-aquecimento e vazamentos, além de informar sobre qualidade isolante e térmica do próprio óleo isolante.

Os líquidos utilizados em equipamentos elétricos têm como principais funções o isolamento e a refrigeração. Para um líquido cumprir a função de isolamento, este deve atuar

como um dielétrico ou extintor de arco entre as partes que apresentaram diferenças de potenciais elétricos. Os parâmetros físico-químicos para verificar as características utilizadas neste projeto são: teor de água, condutividade, padrão de cor, oxigênio dissolvido.

Face a impossibilidade de realização destes ensaios em campo, montou-se no laboratório de Química Analítica e Meio Ambiente da UFPA um protótipo de Linha de Monitoramento. Este protótipo é composto por diversos componentes, a saber:

- Transformador de 10KVA acoplado a Bomba Dosadora;
- Bomba de vácuo;
- Analisador de PH micro-processado;
- Sonda de PH de transferência – HH;
- Analisador de condutividade micro-processado;
- Célula de condutividade;
- Analisador de Oxigênio Industrial;
- Sonda de Imersão para oxigênio dissolvido;
- Espectrofotômetro ultravioleta digital micro-processado;
- Bomba peristáltica;
- Tubo peristáltico. E
- Cubetas.

As figuras 4,5 e 6 ilustram o protótipo de linha.

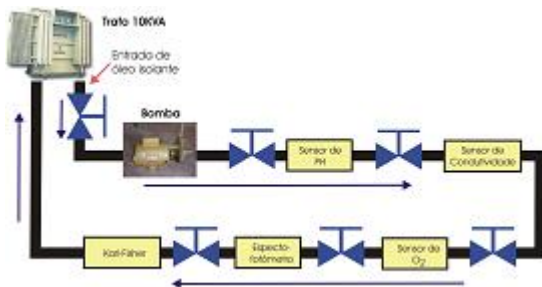


Figura 4 – Diagrama de Blocos da Linha de Monitoramento

Físico-Químico – Protótipo da Linha



Figura 5 – Aspecto da Linha de Monitoramento



Figura 6 – Operação de Linha de Monitoramento

V. SISTEMA DE BANCO DE DADOS

O sistema tem por função principal adquirir sinais de diversas grandezas de transformadores e informatizar em banco de dados próprio, tendo como benefícios:

- Monitoração e gravação de sinais automaticamente (via trigger) de vibração de comutadores;
- Monitoração e gravação de sinais analógicos (oxigênio dissolvido, PH e condutividade, além de ter espaços para mais canais)
- Disponibilizar os dados em forma digital para outros padrões;
- Gravação periódicas de grandezas;
- Armazenar dados do espectrofotômetro.

O desenvolvimento do software tem duas ferramentas principais: o LabVIEW e o SQL Server.

O SQL Server tem uma dupla função no desenvolvimento deste software. A primeira é no desenvolvimento do banco de dados e a segunda é o gerenciamento do banco de dados, precisando para isso, estar ativo durante a aquisição de dados.

O LabVIEW é o ambiente de desenvolvimento de todo o software, sendo responsável pela realização de diversas funções, a saber:

- Administração de usuários;
- Cadastro de transformadores;
- Configuração da placa de aquisição;
- Aquisição de sinais;
- Gravar sinais no banco de dados;
- Visualizar sinais coletados.

O Banco de dados relacional tem por finalidade armazenar os dados necessários ao sistema de monitoramento de transformadores.

Para o sistema são necessárias sete tabelas, a saber: *TRANSF*, *CONFIGURACAO*, *CONFIGURACAO_UM_CAMPO*, *VIBRACAO*, *GRANDEZA*, *QUIMICO* e *USUARIO*, conforme mostra a Figura 7. As tabelas, seus campos e o relacionamento entre elas são detalhados a seguir.

Transf: Esta tabela possui as informações relacionadas ao transformador. Esta tabela tem como chave primária *id_transf* o qual é a identificação do instrumento. *Local* é onde o transformador está localizado. E *tipo* é o modelo de transformador.

Configuracao: Esta tabela é responsável por armazenar os dados de configuração, sendo os dados armazenados referentes aos canais de monitoramento. São campos desta tabela: *canal*, *nome*, *conversao* (valor numérico da constante do sensor), *tipo*, *limite* (para gravação) e *habilitado* (se o canal está habilitado ou desabilitado).

Configuração um campo:

Esta tabela é simples e apenas mantém o nome do transformador em que o sistema está operando, o campo é *id_transf*.

Vibracao:

Esta tabela possui as informações relacionadas aos canais de vibração. São campos desta tabela: *id_transf*, *canal*, *data*, *senal* e *dt* (taxa de aquisição). Sendo *senal* um campo que contenha todos os valores do sinal.

Grandeza:

Esta tabela possui as informações relacionadas aos canais de qualquer grandeza que seu armazenamento seja de apenas um valor. São campos desta tabela: *id_transf*, *unidade*, *data* e *valor*.

Quimico:

Esta tabela possui as informações relacionadas aos dados coletados pelo espectrofotômetro. São campos desta tabela: *id_transf*, *agente*, *data*, *absorbancia*, *transmitancia* e *concentracao*.

Usuario: Esta tabela possui as informações relacionadas aos usuários.

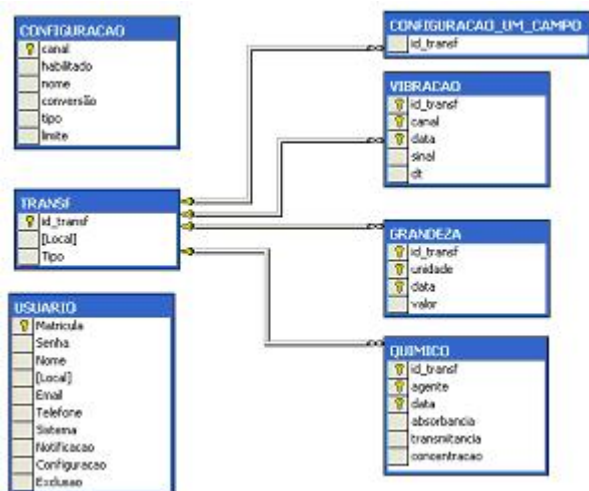


Figura 7– Diagrama com as tabelas e seus relacionamentos

Os relacionamentos entre tabelas estão baseados unicamente pelo campo *id_transf*, onde as tabelas com dados adquiridos (*vibração*, *grandeza* e *quimico*) utilizam o campo para indicar a proveniência dos dados e o relacionamento assegura que só haverá dados referentes a transformadores já cadastrados na tabela transf.

Chave:

Chave Primária. É um campo onde somente um registro pode possuir um valor. Caso dois campos sejam a chave primária a combinação dos dois não pode ser repetida, as chaves primárias de cada tabela estão representadas por uma chave.

Chave Estrangeira: É um campo em que para que seja válido um valor, este deve existir em outra tabela especificada. Estão indicadas pelos relacionamentos, ligações, entre as tabelas.

VI. SISTEMA DE DIAGNÓSTICO INTELIGENTE BASEADO NA LÓGICA FUZZY

O sistema inteligente proposto tem como objetivo avaliar as propriedades físico – químicas do óleo isolante e baseado nestas propriedades realizar o diagnóstico da sua condição operativa, indicando a necessidade ou não de substituição do mesmo. O sistema desenvolvido poderá auxiliar na tomada de decisão procurando assim diminuir os problemas relativos a parada desnecessária dos transformadores, procurando assim melhorar o serviço de manutenção.

O software desenvolvido baseado em inteligência computacional conforme definido na arquitetura do sistema de monitoramento tem as seguintes funções:

- Analisar as propriedades físicas químicas do óleo isolante;
- Diagnosticar o estado operativo do óleo.

O sistema de diagnóstico inteligente foi desenvolvido baseado em Sistemas Difusos. Os sistemas difusos são sistemas que utilizam uma variedade de conceitos e técnicas para representar e inferir conhecimento que é impreciso e incerto. Os Sistemas difusos são sistemas dinâmicos, paralelos que podem estimar funções de entradas/saída, sendo que as relações entre as variáveis são representadas através de regras SE-ENTÃO na forma: SE (antecedente) ENTÃO (consequente).

O antecedente é uma proposição do tipo “x é A” onde x é uma variável do problema e A é um termo lingüístico (por exemplo pequeno, médio e grande) geralmente representado por uma função de pertinência.

O conjunto de regras SE-ENTÃO podem ser obtidas através de especialistas no domínio do problema ou então diretamente de uma base de dados representativa do problema.

Para o desenvolvimento do sistema difuso proposto, todas as regras foram construídas baseadas na Tabela 1 (valores limites fornecidos pelo NB-108-2/1978 e IEC-247). O sistema de diagnóstico do óleo isolante é baseado na análise das variáveis que serão disponibilizadas on-line pelos sensores instalados no transformador que são: acidez, oxigênio dissolvido e resistividade.

Tabela 1

Ensaio	Resultados típicos			Valores-límites						
	Óleo novo	Óleo usado	Óleo novo	Óleo usado				A Regenerar	Após tratamento	
				Satisfatório		A recondicionar			Ate 250 kv	Acima
1	2	3	4	Ate 230 kv	Acima	Ate 230 kv	Acima	9	10	11
Acidez	0,03	0,1-0,2	0,05	<0,3	<0,1	-	-	>0,4	-	<0,1
Oxigênio dissolvido	<5000	-	-	-	-	-	-	>5000	-	-
Resistividade	<150	-	-	-	-	-	-	>150	-	-

NOTAS :

1. As características constantes desta tabela não devem ser consideradas quando forem menos rigorosas que as estipuladas;
2. Os valores limites devem ser seguidos com o maior ou menor rigor, considerando-se as tendências apresentadas pelos resultados de ensaios periódicos, a responsabilidade operativa e o nível de tensão do equipamento;
3. A coluna óleo novo refere-se a óleo novo tratado para colocação em transformadores.

Todas as funções de pertinência para as variáveis de entrada do sistema difuso (acidez, oxigênio dissolvido e resistividade) foram construídas a partir da Tabela 1 (Figura 11).

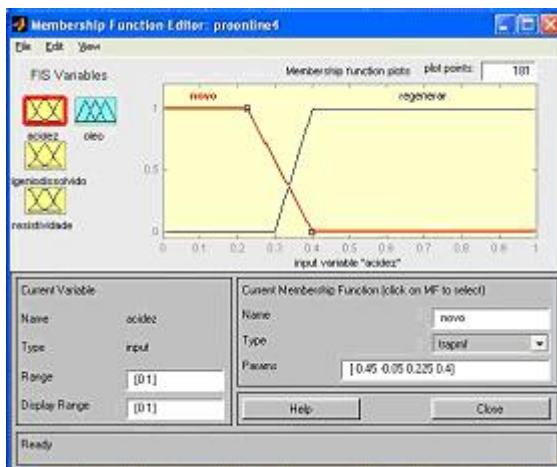


FIGURA 8a - função de pertinência da acidez.

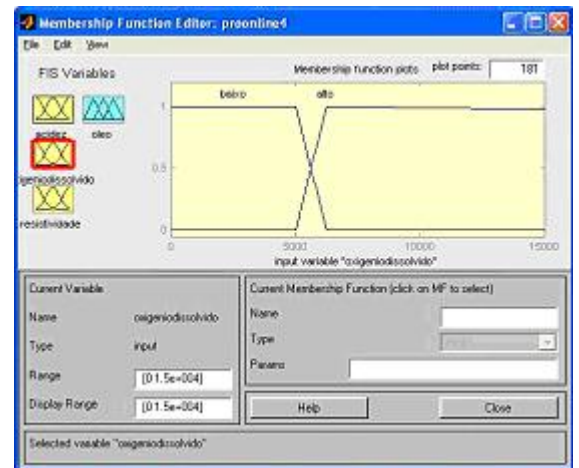


FIGURA 8b - função de pertinência do oxigênio dissolvido

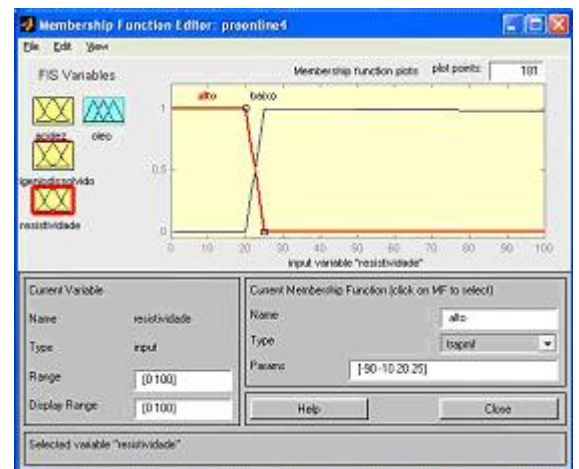


FIGURA 8c - função de pertinência da resistividade

A Figura 9 apresenta as regras difusas geradas para o diagnóstico do óleo isolante.

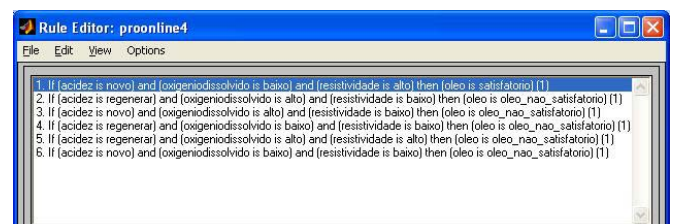


Figura 9 – Regras difusas

A interface gráfica desenvolvida para apresentação dos resultados para o operador do sistema pode ser vista na Figura 10.

O operador pode selecionar o transformador que deverá ser avaliado e obter o histórico de diagnóstico do mesmo. Selecionado o transformador, o operador poderá iniciar uma nova coleta para diagnóstico atual. O diagnóstico completo é apresentado em uma caixa de apresentação específica. Nesta caixa podemos verificar o diagnóstico para qualquer data de coleta armazenada no histórico.

O sistema desenvolvido informa ao operador se o óleo está em condição **NORMAL**, **ALERTA** ou **PERIGO**. Caso esteja em condição de **ALERTA** ou **PERIGO**, um relatório sobre as condições reais do óleo é disponibilizado na caixa de apresentação de diagnóstico.

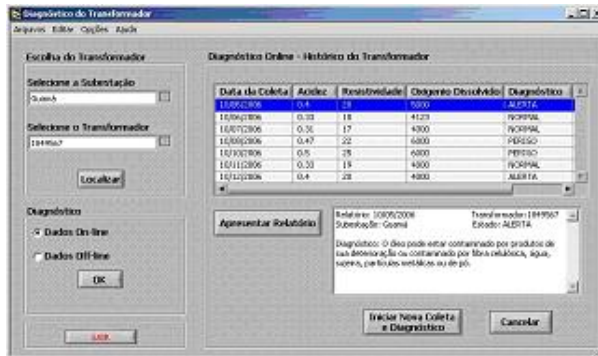


Figura 10 – Interface do sistema de diagnóstico

VII. INSTALAÇÃO DO SISTEMA DE AQUISIÇÃO E CONDICIONAMENTO DE SISTEMAS DE VIBRAÇÃO

A instalação do sistema é feita de maneira simples. Primeiramente é fixado o acelerômetro juntamente com a base magnética na parte superior do transformador, perto da tampa no sentido horizontal, onde através dos ensaios foi verificado haver uma melhor relação entre o sinal da comutação e do transformador, ruído. A utilização da base magnética para acoplar o acelerômetro ao transformador foi escolhida por ser a maneira mais simples e com resultados confiáveis.

Posteriormente, o acelerômetro é conectado ao condicionador de sinais, e este por sua vez a placa de aquisição e ao laptop.

No *laptop* há um software que receberá os sinais provenientes do acelerômetro e os armazenará arquivo texto (Figura 11)

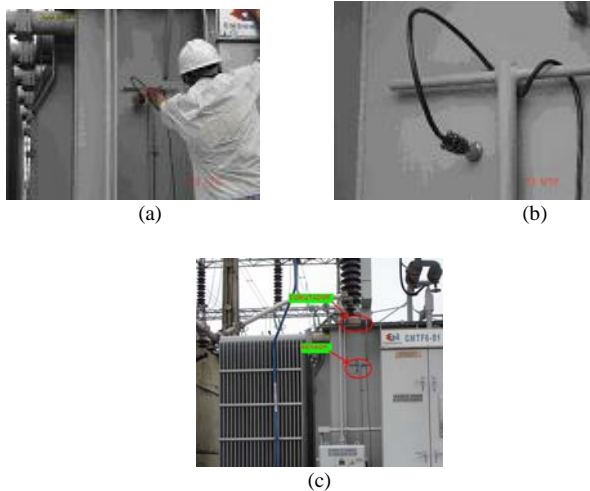


Figura 11 – Fixação do sensor de vibração na parede do transformador da SE GUAMÁ. (a) e (b) detalhes da instalação, (c) visão panorâmica do sensor na parede do transformador.

Os sinais adquiridos pelo acelerômetro foram transmitidos através de cabo até a casa de relés situada a, aproximadamente, 40 metros do transformador como ilustrado na Figura 12.



Figura 12 – Indicação do trajeto (em vermelho) do cabo de transmissão dos sinais de vibração.

Na casa de relés (local abrigado) o sinal transmitido é processado no condicionador de sinais que faz a devida adequação de nível para a entrada da placa de aquisição, possibilitando a ação do software de monitoramento instalado no computador portátil como exemplificado no Figura 13.



Figura 13 – Sistema de tratamento de sinais. (a) módulo condicionador de sinais. (b) computador portátil.

O sistema instalado ficou em operação a partir da tarde do dia 21 de dezembro de 2005 até a manhã do dia 23 de dezembro de 2005. Conforme Tabela 2.

Tabela 2

Horários	TAP no inicio	TAP no final
17/07/2006 13:33	8	9
17/07/2006 17:58	9	8
18/07/2006 08:25	8	9
18/07/2006 22:27	9	8
19/07/2006 17:32	8	7
19/07/2006 18:46	7	8
20/07/2006 01:03	8	7
20/07/2006 08:25	7	8

Todos os eventos foram confirmados por funcionários da Eletronorte através de registros do sistema por eles utilizados. Além disso, foi disponibilizado pela Eletronorte os valores dos taps citados anteriormente.

A seguir algumas figuras com as assinaturas de vibração das comutações adquiridas.

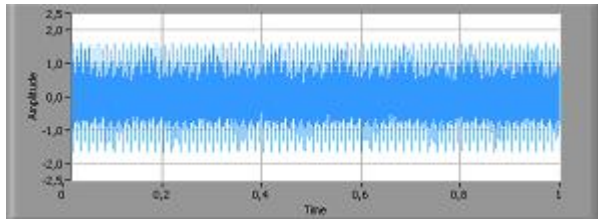


Figura 14 - Vibração do transformador do dia 19 de julho às 16:00

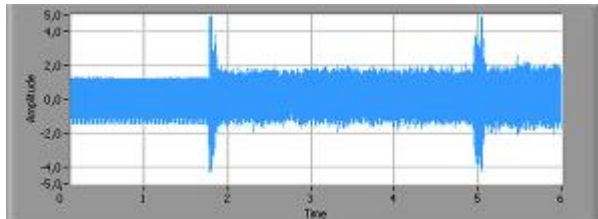


Figura 15 - Comutação realizada no dia 17 de julho às 13:33 indo do tap 9 para o 9

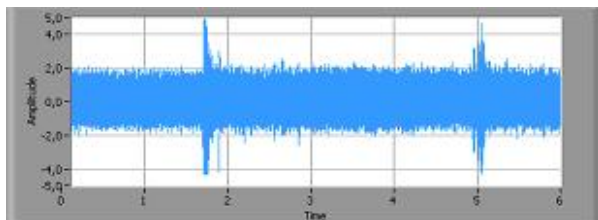


Figura 16 - Comutação realizada no dia 17 de julho às 17:58 indo do tap 9 para o 8

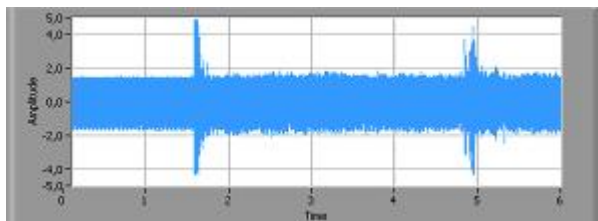


Figura 17 - Comutação realizada no dia 19 de julho às 17:32 indo do tap 8 para o 7

O módulo de medição de sinais de vibração de chaves comutadoras encontra-se funcionando bem dentro da proposta do projeto. Este módulo aquisita, de forma confiável, os sinais de vibração proveniente das chaves comutadoras e os armazena em um banco de dados para a utilização em fases posteriores do sistema de diagnóstico inteligente das condições operativas das chaves comutadoras.

VIII. CONCLUSÕES

O trabalho descreve o desenvolvimento de um sistema que integra o monitoramento de vibrações à análise físico-química do Óleo Isolante de uma Chave Comutadora de Subestação de Transmissão da Eletronorte.

O projeto, procura integrar o conhecimento químico e elétrico, através do compartilhamento das metodologias desenvolvidas no NESC – Núcleo de Energia, Sistemas e Comunicações e LAQUANAM – Laboratório de Química Analítica e Ambiental. O produto final do projeto, ainda encontra-se em fase de desenvolvimento, face as dificuldades encontradas na evolução das várias metas. Necessidade de um maior tempo de execução afim de que se possa atender os requisitos da Norma IEEE – std C57.131.1995 – IEEE, *Standard Requiriments for Load Tap Changers*, notadamente no que diz respeito na coleta de vibrações que possam caracterizar os vários modos de falhas contidas no sinal aquisitado da Chave Comutadora. No aspecto físico-químico, um maior número de análises do Óleo Isolante associados a várias condições operativas da Chave Comutadora é necessário, para uma melhor correlação com os sinais de vibração associados a estas condições.

Esta correlação, no estágio atual de desenvolvimento de protótipo é impossível de ser realizada face às restrições impostas na obtenção de dados associados a situações de falta, tanto no que se refere a condição do óleo isolante quanto as assinaturas das vibrações associadas.

De qualquer forma, pode-se considerar que os resultados obtidos no projeto apontam para a viabilidade de se integrar metodologias química e elétrica na solução de problemas de diagnóstico de equipamentos.

IX. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Annual Book of ASTM Standards. Elétric Insulation – Part 40, American Society for Testing and Materials, Philadelphia, 1982.
- [2] CIGRE SC WG 1205 – “Na International Survey on Failures in Large Power Transformers in Service” – *Electra*, nº 88, pp 21-47 – 1983.
- [3] IEEE – “Draft Standard Requiriments for Load Tap Changers” – PC57.131 – June 1999.
- [4] P. Kang, D. Birtwhistle – “Condition Assessment of Power Transformer On-Load Tap Changers Using Wavelet” – IEEE – *Trans. Power Delivery* – vol 16, nº 8, pp 394-400 – July 2001.
- [5] M. Milaschi – “Manutenção de Transformadores em Líquido Isolante” – Editora Edgar Blücher Ltda – 1989.
- [6] P. Kang, D. Birtwhistle – “Condition Monitoring of Power Transformer On-Load Tap Changers – Part 1- Automatic Condition Diagnostics” – IEE – *Proc Gen., Transm., Dist.* – vol 198, nº 4 – July 2001.
- [7] P. Kang, D. Birtwhistle – “Condition Monitoring of Power Transformer On-Load Tap Changers – Part 2- Automatic Condition Diagnostics” – IEE – *Proc Gen., Transm., Dist.* – vol 198, nº 4 – July 2001.
- [8] P. Kang, D. Birtwhistle, J. Day and McCulloch – “Non Invasive On-Line Condition Monitoring of On-

Load Tap Changers” – Proc. IEEE Power Society Winter Meeting, Singapore - 2000.

[9] S. Mallot – “A Wavelet Tour of Signal Processing” – Academic Press – 1998.

[10] Y. Yan, Y. H. Song – “Condition Monitoring Techniques for Eletrical Equipament” – A Literature Survey – IEEE-Trans on Power Delivery, vol 18, n° 1, pp 4-13, Jan 2003.

[11] Maxwell, H. and Johnson B. (1997). Vibration and lube oil analysis in an integrated predictive maintenance program. Proceedings of the 21st Annual Meeting of the Vibration Institute. pp. 117-124.

[12] Troyer, D. and Williamson, M. (1999). Effective integration of vibration analysis and oil analysis, Proceedings of the International Conference on Codition Monitoring, University College of Swansea, UK. Pp. 411-420.

[13] Want, W. and McFadden, P. (1996). Application of wavelets to gearbox vibration signals for fault detection. Journal of Sound and Vibration 192. pp. 927-939.