

# EXPERIÊNCIA COM SISTEMA DE MONITORAMENTO PREDITIVO DE TRANSFORMADORES DE ALTA TENSÃO EM PLANTAS DA BRASKEM

João Luiz Gonçalves Neto (1)<sup>1</sup>

José Rafael dos Santos (2)<sup>2</sup>

Silas Sampietri Costa (3)<sup>3</sup>

Gilberto Amorim Moura (4)<sup>4</sup>

Daniel Pedrosa Santos (5)<sup>5</sup>

Lucas Pavan Fritoli (6)<sup>6</sup>

## RESUMO

Esse trabalho analisa os resultados práticos da implantação e operação de um moderno sistema de monitoramento preditivo em transformadores de alta tensão das subestações das unidades da Braskem em SP (PE8 Cubatão e PP4 ABC). Esse projeto alcançou o objetivo de garantir maior confiabilidade e rentabilidade da empresa com ações corretas no tempo certo e com o custo adequado, tratando-se dos transformadores de entrada das subestações de 88 kV.

A gestão eficiente dos ativos elétricos de subestações demanda ferramentas capazes de fornecer o estado atual e os cenários futuros das máquinas, permitindo assim que sejam tomadas as melhores decisões técnico-financeiras de como manter o parque íntegro e disponível. Dentro das indústrias, a energia elétrica é um insumo insubstituível, e a falta dela pode trazer grandes prejuízos para a organização. Na busca por excelência na manutenção e continuidade do seu sistema elétrico, a Braskem implementou em 2011 o monitoramento on-line como forma de evitar falhas catastróficas nos transformadores de potências nas subestações de 88 kV.

Este artigo mostra a experiência bem sucedida da Braskem na aplicação dessa tecnologia e na prática da manutenção preditiva para aumento de confiabilidade. Constituído por um conjunto de sensores inteligentes (IEDs) e um software especialista para geração de diagnósticos e prognósticos, o sistema já está em pleno funcionamento a mais de 03 anos. O software conta com modelos matemáticos de engenharia, baseados em inteligência artificial, para auxílio na tomada de decisão.

## PALAVRAS-CHAVE

Monitoração on-line, Diagnóstico, Prognóstico, Manutenção preditiva, Transformador

---

<sup>1</sup> Braskem PE8 Cubatão-SP - Engenharia de Manutenção

<sup>2</sup> Braskem PP4 Mauá-SP - Engenharia de Confiabilidade

<sup>3</sup> Braskem PP4 Mauá-SP - Engenharia de Manutenção

<sup>4</sup> Treotech Sistemas Digitais - Diretor Comercial

<sup>5</sup> Treotech Sistemas Digitais - Engenharia de Desenvolvimento

<sup>6</sup> Treotech Sistema Digitais - Engenharia de Aplicação

## 1.0 - INTRODUÇÃO

A cada três anos as plantas industriais da Braskem em Mauá e Cubatão interrompem suas atividades para inspeção e manutenção geral de suas instalações. São vistoriadas máquinas e estruturas, além das condições do sistema elétrico que recebe atenção especial com atividades específicas, principalmente na subestação de energia.

Devido à energia elétrica se tratar de um insumo fundamental para a produção fabril, é necessário que todos os ativos da subestação estejam em perfeito estado de funcionamento. Assim, cada detalhe do sistema é verificado, como os equipamentos de manobra (disjuntores e seccionadores), os isoladores (TCs e TPs) e, em destaque, o transformador de energia.

Ambas as subestação possuem cada apenas um transformador que não podem apresentar nenhuma inconsistência, pois pode representar grandes prejuízos à empresa.

As ações das equipes técnicas e de manutenção da Braskem visam manter a segurança dos colaboradores, alcançar o maior desempenho dos ativos além de obter o fornecimento ininterrupto de eletricidade para atender ao constante crescimento produtivo.

Assim, a partir de 2011 as duas unidades passaram a operar com o monitoramento on-line dos transformadores, de forma a realizar análises preditivas e aumentar a confiabilidade energética.



Fig. 1. SE Braskem Cubatão/SP -  
Transformador 88 / 13,8 kV, 15 MVA



Fig. 2. SE Braskem Mauá/SP -  
Transformador 88 / 13,8 kV, 35 MVA

## 2.0 - ESTATÍSTICAS DE FALHAS EM TRANSFORMADORES

Uma pesquisa internacional de desempenho de transformadores de potência em serviço [1], realizada pelo Cigré com dados de falhas ocorridas entre 1968 e 1978 envolvendo mais de 1000 falhas, revelou, para diversos tipos e aplicações de transformadores, as principais causas de retirada de serviço, tanto forçadas quanto planejadas.

A figura 3 mostra esses dados para transformadores com comutador sob carga em usinas. Nessa estatística o OLTC configura como a principal origem de falhas em transformadores, seguido pela parte ativa e a buchas.



Fig. 3. Estatística das causas para saída de serviço de transformadores com OLTC [1].

Com esta base e a necessidade de aumentar a confiabilidade na operação dos ativos foram selecionadas as variáveis a monitorar, além das funções de tratamento de dados necessárias para transformar as variáveis medidas em informações úteis para diagnóstico e prognóstico dos transformadores.

Com isso buscou-se cobrir os principais subsistemas do transformador e reduzir, assim, o risco de falhas e indisponibilidade de planta.

### 3.0 - SENSORIAMENTO DOS TRANSFORMADORES

As variáveis medidas nos transformadores elevadores das plantas de Mauá e Cubatão são mostradas na tabela 1, agrupadas por subsistema.

Tabela 1 - Variáveis monitoradas nos transformadores elevadores agrupadas por subsistemas

<b>Sistema</b>	<b>Sensor</b>	<b>Variável</b>
OLTC	Regulador de tensão	Regulação automática da tensão
		Qualidade de energia
	Monitor de torque	Esforço do mecanismo de acionamento
Buchas	Monitor de Buchas	Capacitância
		Tangente Delta
		Correntes de fuga
		Tensões fase-terra e fase-fase
		Tendências de evolução
Parte ativa	Monitor de temperatura	Temperatura do óleo
		Temp. dos enrolamentos (hot-spot)
		Temperatura ambiente
		Percentuais de carga
	Monitor de gás	Hidrogênio no óleo
		Tendências de evolução
Tanque e Óleo	Monitor de umidade	Teor de água no óleo (ppm)
		Saturação relativa de água no óleo %
		Saturação relativa à temp. ambiente
		Saturação relativa à temp. de referência
		Tendência de evolução do teor de água
	Relé de ruptura	Ruptura da bolsa do tanque de expansão
Outros		Contatos de alarme: - Relé buchholz, - Válvula de alívio de pressão, - Nível de óleo, etc.

Todos os dados obtidos pelos sensores instalados diretamente no transformador são enviados ao servidor localizado na própria planta da Braskem e, depois de processados, são disponibilizados de forma on-line na tela do computador. Por meio da rede intranet, de qualquer terminal autorizado é possível acessar o sistema.

#### 4.0 - TRATAMENTO DE DADOS PARA DIAGNÓSTICOS E PROGNÓSTICOS

Para o tratamento dos dados obtidos a partir dos sensores citados acima, o sistema de monitoramento instalado possui em seu software um Módulo de Engenharia, que inclui os modelos de engenharia mostrados na tabela 2.

Tabela 2 - Modelos de Engenharia para diagnóstico e prognóstico do estado dos transformadores

<b>Modelo de Engenharia</b>	<b>Diagnósticos e Prognósticos</b>
Vida útil da isolação	Vida útil restante da isolação (%)
	Tendência de perda de vida da isolação (%/dia)
	Tempo de vida restante da isolação (anos)
Previsão de gradiente final de temperatura	Temperatura futura do hot-spot após estabilização
	Tempo para alcançar temperatura de alarme
	Tempo para alcançar temperatura de desligamento
Gases no óleo	Tendência de evolução do gás no óleo (principalmente H <sub>2</sub> )
	Alarmes por tendência de evolução e concentrações de gás altas ou muito altas
Cromatografia / Físico-químico	Laudo de ensaios de gás-cromatografia off-line
	Laudo de ensaios físico-químicos off-line
Umidade no óleo e no papel	Selagem do transformador – ruptura da bolsa de borracha do tanque de expansão
	Teor de água no óleo (ppm)
	Tendência de evolução do teor de água (ppm/dia)
	Teor de água no papel (% da massa seca)
	Fator de aceleração da perda de vida da isolação por hidrólise
Temperatura de formação de bolhas	Temperatura de formação de bolhas
	Temperatura de formação de água livre
Eficiência do resfriamento	Temperatura do topo do óleo calculada
	Diferença entre temperaturas medida e calculada
	Eficiência do sistema de resfriamento
Torque e tempo de operação do motor	Torque máximo do motor em cada região da comutação

<b>Modelo de Engenharia</b>	<b>Diagnósticos e Prognósticos</b>
do comutador	Tempo de operação do mecanismo do comutador Alarmes por valores de torque e tempo de operação fora dos padrões
Assistente de manutenção do comutador	Número de operações do comutador
	Somatória da corrente comutada
	Tempo de serviço do comutador
	Previsão de tempo restante para manutenção do comutador
	Avisos com antecedência para manutenção do comutador
Assistente de manutenção da ventilação forçada	Tempo de operação dos grupos de ventilação, total e após a última manutenção
	Previsão de tempo restante para manutenção da ventilação
	Avisos com antecedência para manutenção da ventilação

Dessa forma, os dados brutos dos sensores permitem obter informações úteis para diagnósticos e prognósticos do estado dos transformadores [2], [3].

## 5.0 - ARQUITETURA DO SISTEMA DE MONITORAÇÃO

A arquitetura do sistema de monitoramento dos transformadores da Braskem é mostrada na figura 4.

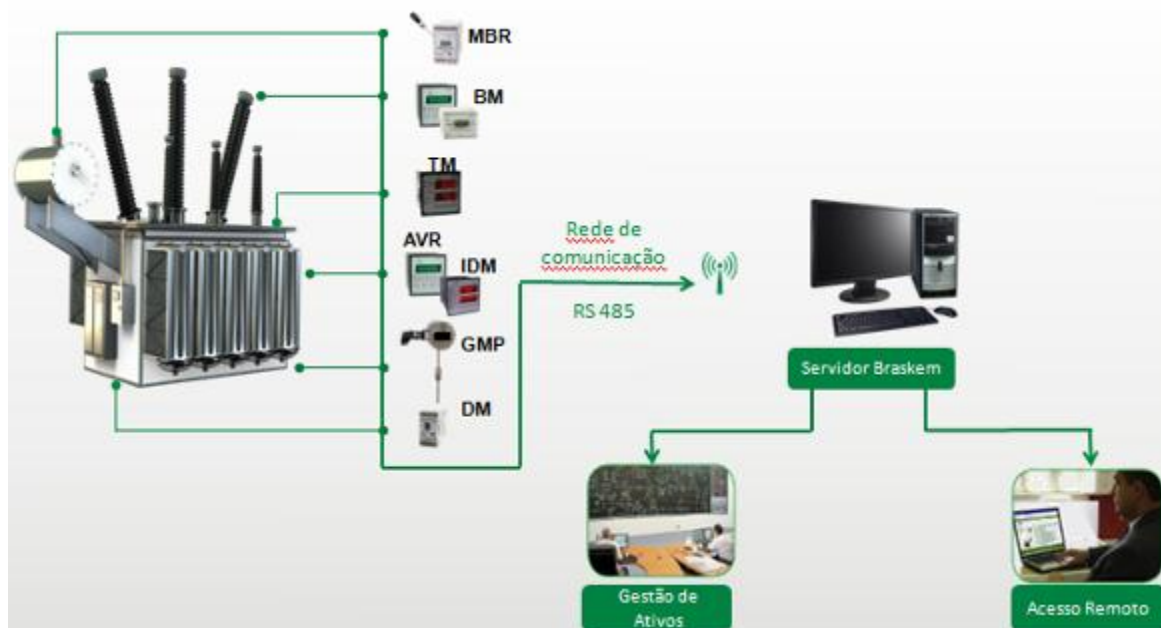


Fig. 4. Arquitetura do sistema de monitoramento dos transformadores



Fig. 5. Pt100 para medição da temperatura do óleo



Fig. 6. Monitor de Gás e Umidade dissolvidos em óleo isolante



Fig. 7. Monitores de Temperatura, Torque, Bucha e Relé 90



Fig. 8. Servidor com o software de monitoramento on-line na sala de controle

## 6.0 - RESULTADOS OBTIDOS

Diversos resultados foram auferidos com a instalação e operação do sistema de monitoramento descrito, atingindo-se os seguintes objetivos:

- Diagnóstico on-line do estado do transformador;
- Disponibilidade de planta;
- Visualização de alarmes e alertas e agir segundo normas e procedimento aplicáveis às condições de operação normais e contingenciais;
- Ações preditivas de manutenção, operação e planejamento;
- Padronização das ações e da comunicação na área de manutenção;
- Identificação de oportunidades de otimização da eficiência dos ativos;
- Gestão efetiva da manutenção por meio de relatórios periódicos de desempenho e

do estado dos ativos;

- Redução do risco de falhas catastróficas, com a detecção dos defeitos em estágio inicial [4], [5] - de 30% para 72% das falhas detectadas preditivamente;
- Conseqüentemente, aumento da segurança para o pessoal da usina, para os equipamentos e para a instalação;
- Extensão da vida útil dos equipamentos ao detectar rapidamente condições de envelhecimento acelerado;
- Preservação da imagem corporativa ao reduzir a chance de acidentes;
- Preparação dos equipamentos para aplicação da filosofia da Manutenção Centrada na Confiabilidade (MCC);
- Melhores Prêmios de seguros

Desde de o início do funcionamento do sistema as plantas da Braskem já se beneficiaram dos diagnósticos e prognósticos, garantindo que a produção de plástico nunca fosse interrompida desnecessariamente.

### 2011 - Detecção de falha incipiente após manutenção preventiva

Na para geral da planta houve a revisão completa preventiva do OLTC. Logo após, pelo acompanhamento do torque do motor a cada operação de comando de TAP, foi detectado um defeito: do TAP 06 para o 07, na SE Mauá/SP o mecanismo necessitava dois comandos para efetuar a operação.

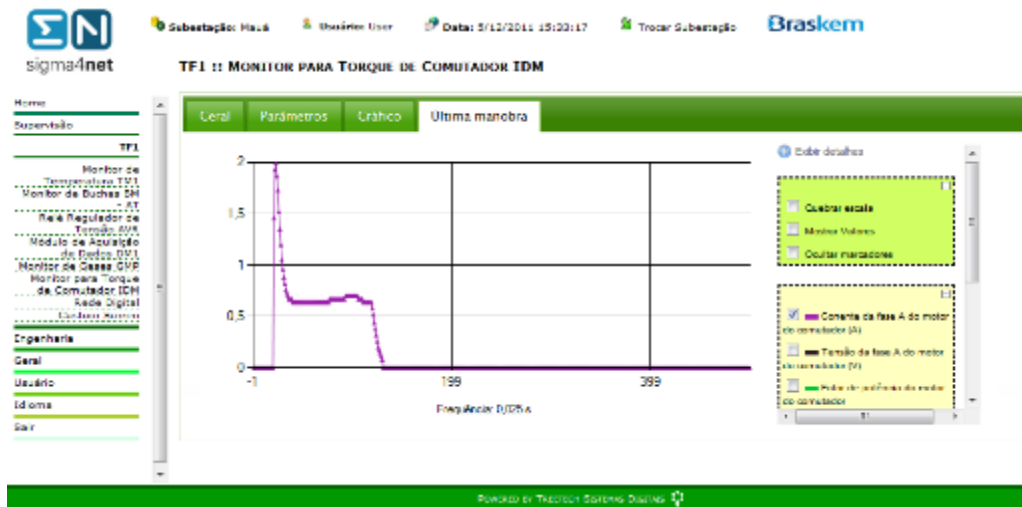


Fig. 9. Oscilografia do motor durante troca de TAP



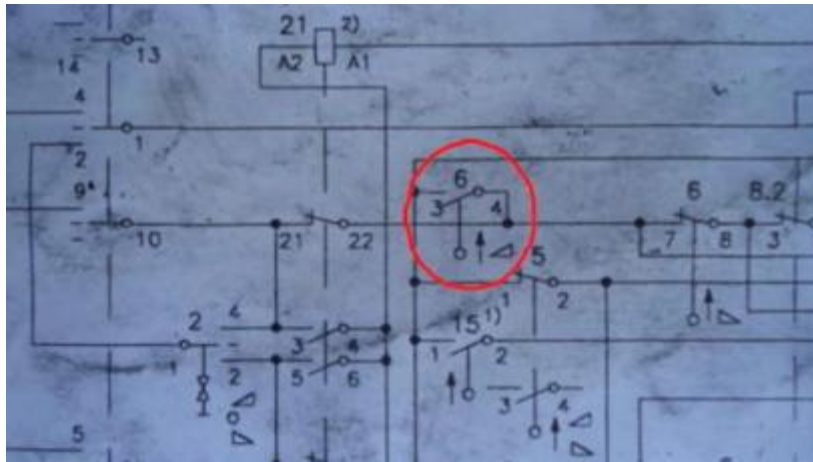


Fig. 10. Projeto elétrico de funcionamento do OLTC

O número excessivo de operações e consequente desgaste do OLTC pode causar quebra e até explosão do mesmo.

O técnico responsável pelo OLTC retornou a planta e foi identificado que uma das peças nos pontos 03 e 04 estava danificada. A falha foi detectada ainda de forma incipiente e não causou maiores complicações operacionais para a Braskem.

### 2012 - Disponibilidade de planta mesmo com falha

Durante uma inspeção visual de rotina na SE Mauá/SP foi detectado um vazamento de óleo em uma das buchas condensivas de 88 kV do transformador principal. Toda a produção de polipropileno da Braskem estava concentrada na planta e não era possível um desligamento da planta para correção do defeito.

Com a perda de óleo isolante, há também a perda de isolamento dielétrico da bucha.

Por meio do monitoramento on-line de capacitância e tangente delta da bucha em questão, a Braskem pode acompanhar a evolução de criticidade e risco do transformador em operação.

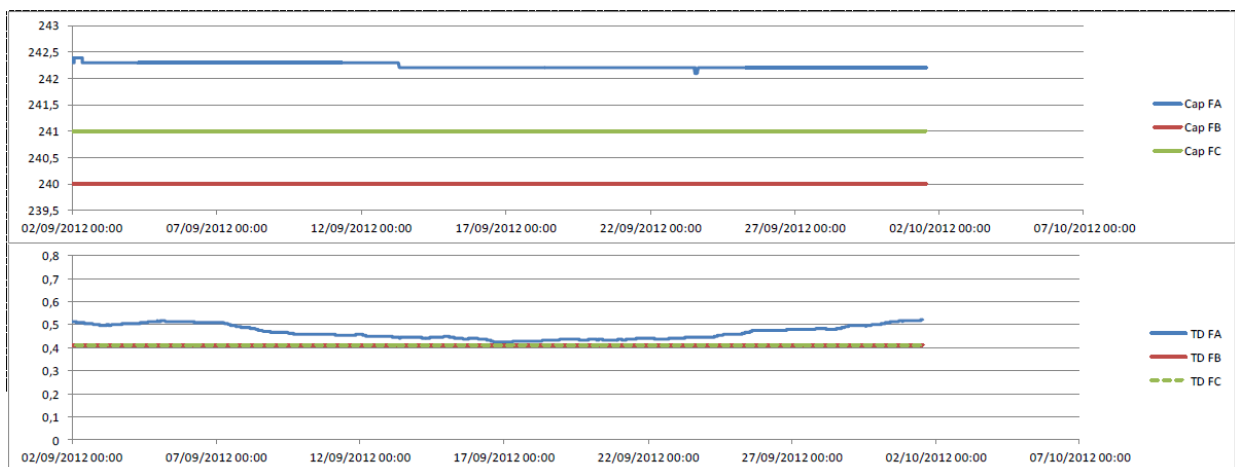


Fig. 11. Gráfico do comportamento da bucha durante o vazamento

A produção continuou normalmente, pois as leituras não apresentavam indícios de

explosão aparente e a Braskem operou normalmente por quase 02 meses até o momento ideal de parada da subestação para conserto da bucha.

### 2013 - Secagem do óleo no tempo certo

O excesso de água no óleo isolante do transformador acarreta efeitos negativos amplamente conhecidos, tais como a diminuição da rigidez dielétrica e a migração de água para o papel isolante, com risco de formação de bolhas e envelhecimento acelerado na presença de altas temperaturas, colocando em risco a vida útil e a integridade do equipamento [6].

O sistema de monitoramento acusou a presença de água fora dos padrões de norma estabelecidos e alarmou para a equipe de manutenção da Braskem Cubatão/SP que esta deveria fazer a secagem do óleo.

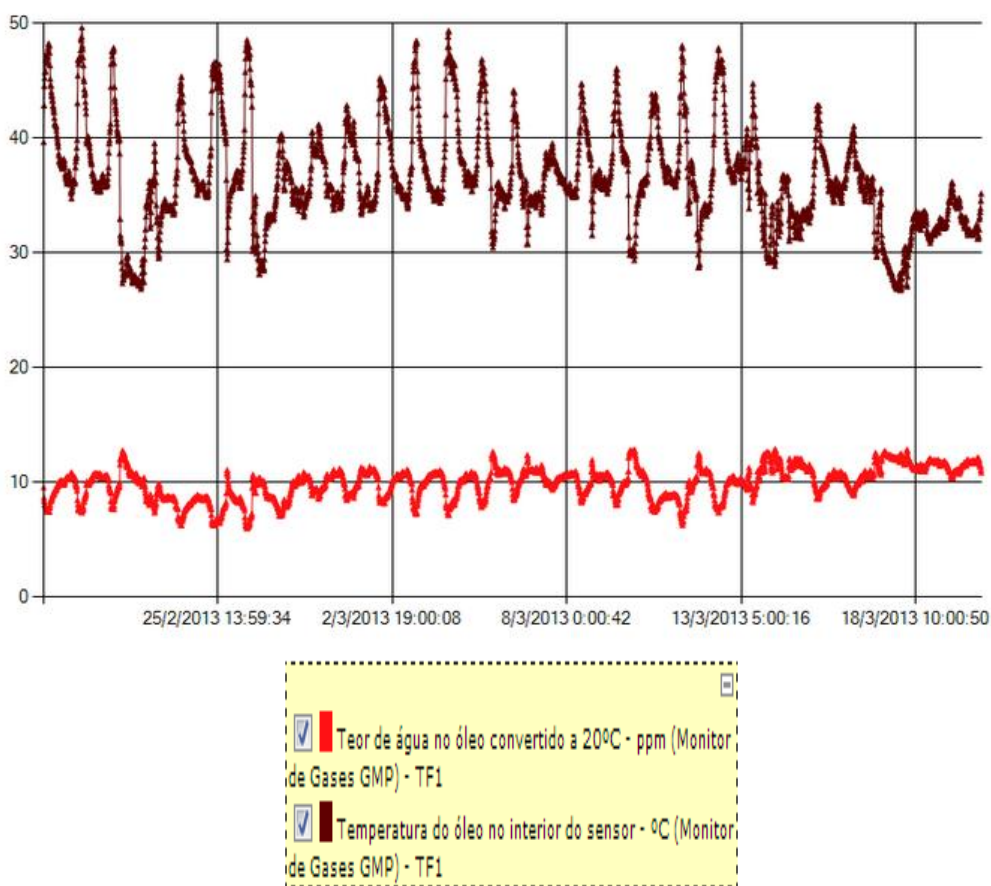


Fig. 12. Gráfico da umidade ao longo do tempo - limite atingido de 13 ppm.

Em tempo, a Braskem contratou o serviço especializado e tratou o óleo isolante para que não houvesse qualquer restrição operativa.

As ações foram tomadas em tempo certo, de forma planejada e gastando menos recursos. Por meio do software também atestou-se a qualidade do serviço prestado.

## 7.0 - CONCLUSÃO

Considerando a importância da energia elétrica para a produção da Braskem, a implantação de um sistema de monitoramento on-line para seus transformadores de potência é uma medida indispensável para o aumento da confiabilidade e disponibilidade de planta.

A utilização do conceito preditivo também transforma o planejamento das ações de manutenção, tornando-as mais eficazes e eficientes, respeitando as demandas do grupo Braskem e causando o menor distúrbio operacional e financeiro possível.

Os benefícios já atingidos justificaram financeiramente a aplicação do sistema e estuda-se a aplicação deste para demais unidades da Braskem e para novos ativos elétricos, como disjuntores, seccionadores e trafo-secos.

## 8.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ELECTRA, "An International Survey on Failures in Large Power Transformers in Service", Paris, CIGRE, Ref. no. 88, 1983.
- [2] Amom, Jorge, Alves, Marcos, Vita, André, Kastrup Filho, Oscar, Ribeiro, Adolfo, et. al., "Sistema de Diagnósticos para o Monitoramento de Subestações de Alta Tensão e o Gerenciamento das Atividades de Manutenção: Integração e Aplicações", X ERLAC - Encontro Regional Latinoamericano do CIGRÉ, Puerto Iguazu, Argentina, 2003.
- [3] Alves, Marcos, "Sistema de Monitoração On-Line de Transformadores de Potência", Revista Eletricidade Moderna, Maio/2004.
- [4] Melo, Marcos A. C., Alves, Marcos, "Experiência com Monitoração On-Line de Capacitância e Tangente Delta de Buchas Condensivas", XIX SNPTEE – Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica. Rio de Janeiro, Brasil, 2007.
- [5] Alves, Marcos, Silva, Gilson, "Experiência de Campo com Monitoração On-Line de um Transformador 343MVA 230kV com 2 Comutadores sob Carga", IV Workspot – Workshop on Power Transformers, Recife, Brasil, 2005.
- [6] Alves, Marcos, Vasconcellos, Vagner, "Monitoramento da Umidade no Óleo Isolante de Transformadores de Potência Visando o Aumento da Confiabilidade Operativa", V Workspot – Workshop on Power Transformers, Belém, Brasil, 2008.