



## XVIII Seminário Nacional de Distribuição de Energia Elétrica

SENDI 2008 - 06 a 10 de outubro

Olinda - Pernambuco - Brasil

### Desenvolvimento e Avaliação de um Múltiplo Analisador de Gás Dissolvido em Óleo de Transformadores de Potência Utilizando Comunicação GPRS

<b>Marco A. M. Cavaco</b>	<b>André S. Noronha</b>	<b>Lucas C. Pires</b>
<b>Labmetro - UFSC</b>	<b>Labmetro - UFSC</b>	<b>Labmetro - UFSC</b>

<b>Mauro E. Benedet</b>	<b>César A. A. Nogueira</b>	<b>Régis H. Coelho</b>
<b>Labmetro - UFSC</b>	<b>CEFET-RS</b>	<b>CELESC</b>
mauroedb@yahoo.com.br		

#### Palavras-chave

Transformador de Potência

Gás dissolvido em óleo

GPRS

Instrumentação

Metrologia

#### Resumo

Com amplo uso em subestações elétricas, transformadores de potência são equipamentos caros e indispensáveis aos sistemas de transmissão e distribuição. Dentre as diversas atividades de manutenção a que um transformador está sujeito, a análise de gases dissolvidos em óleo é uma das mais relevantes. Os gases surgem a partir de falhas no isolamento que levam à formação de arcos elétricos na região banhada pelo óleo isolante, podendo levar o equipamento à explosão [1]. Comumente o monitoramento da concentração desses gases é realizado através da análise por cromatografia em fase gasosa, produzindo resultados aceitáveis. Infelizmente, esta análise representa um estado determinado da condição do transformador, não permitindo uma análise continuada e de longo prazo, i.e., a cromatografia não garante o *status* dos valores até que uma próxima amostra seja retirada. O intervalo de tempo entre amostras pode ser relevante para a ocorrência de uma falha no transformador. Este trabalho apresenta um produto automatizado capaz de monitorar até três transformadores de forma remota. Neste produto, um único sistema de medição é capaz de analisar a concentração dos gases dissolvidos no óleo de múltiplos transformadores, reduzindo significativamente os custos no monitoramento *on-line*. Além da comunicação via Internet foi implementada uma comunicação via GPRS.

## 1. INTRODUÇÃO

O dia a dia da manutenção industrial é caracterizado cada vez mais pela necessidade do conhecimento real do estado de equipamentos e sistemas de integração industrial. Para tal, é de suma importância a otimização de métodos e processos, reduzindo-se custos e incrementando o desempenho dos sistemas e a qualidade dos serviços.

Transformadores de potência são equipamentos muito importantes nos sistemas de transmissão e distribuição de energia elétrica, sem eles não seria possível transmitir e distribuir a energia elétrica gerada nas centrais geradoras. Esses equipamentos são projetados para atender a uma elevada vida útil, e para que esse objetivo seja alcançado se faz necessário a aplicação de um planejamento minucioso e detalhado de suas atividades de manutenção. No entanto, ao longo do tempo os transformadores estão sujeitos à falhas, trazendo prejuízo não somente a concessionária de energia elétrica, mas para a sociedade em geral.

Diversas são as atividades de manutenção que um transformador sofre, sendo que uma das principais envolve a análise química do óleo isolante. O óleo mineral isolante é utilizado no núcleo do transformador com as funções de isolar as partes ativas do dispositivo e também atuar na refrigeração do sistema. Através do monitoramento do óleo, é possível diagnosticar a situação de operação e a confiabilidade do transformador. Dentre os ensaios aplicados ao óleo, a análise de gases dissolvidos no mesmo é um dos passos mais importantes para o diagnóstico de falhas incipientes no isolamento do transformador [2]. Comumente o monitoramento da concentração desses gases é realizado através de cromatografia em fase gasosa [3], apresentando resultados aceitáveis. A periodicidade intrínseca ao ensaio apresenta apenas um momento específico da condição do transformador, não permitindo uma avaliação contínua do sistema, portanto, mudanças significativas no teor dos gases entre o período de amostra não são detectáveis, prejudicando a garantia de eficácia do sistema [4].

Equipamentos de monitoramento *on-line* com acompanhamento remoto para instalação em transformadores já são uma realidade no mercado internacional, no entanto seu alto custo, com necessidade de um dispositivo por transformador prejudica a ampliação e difusão de sua utilização. Portanto, foi proposto um produto que realize medições a distância, *on-line* e de maneira multiplexada, monitorando mais de um transformador de potência com o mesmo sistema de medição.

Com objetivo de tornar o produto mais independente da infra-estrutura das subestações bem como, viabilizar a análise dos transformadores em locais onde não há ponto de Internet, uma comunicação utilizando a rede de telefonia móvel através de GPRS foi implementada.

## 2. SISTEMA DE MEDIÇÃO

O sistema de medição empregado para analisar a concentração de gases nas amostras de óleo, foi o GMM (*Gas and Moisture Monitor*) fabricado pela *Tree Tech*® [5].

A medição é feita a partir do contato do óleo mineral com uma membrana permeável que permite a passagem dos gases. Estes entram em contato com um detector eletroquímico de gases que, ao reagirem com oxigênio, fazem com que o sensor gere um sinal elétrico proporcional à velocidade da reação de oxidação do gás.

O sensor em questão avalia a concentração de hidrogênio (H<sub>2</sub>) e a umidade contidos no óleo do transformador. Esses dados são bastante relevantes para determinar se o transformador está funcionando adequadamente. A tabela 1 apresenta as principais características do GMM.

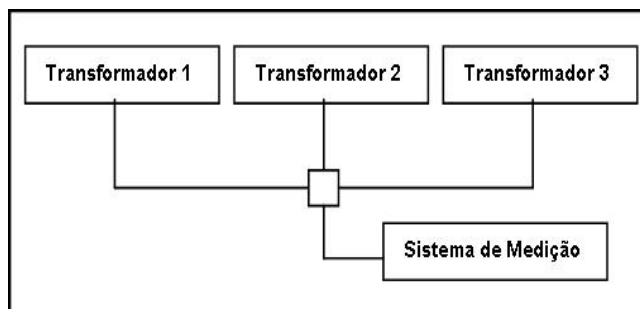
Além da concentração de gás hidrogênio e da umidade presentes na amostra, o sensor também monitora a temperatura do óleo isolante. Através de cálculos o GMM também disponibiliza a evolução das taxas de hidrogênio e umidade no tempo.

**Tabela 1 - Características do GMM**

Faixa de medição (H <sub>2</sub> )	(0 a 2000) ppm
Incerteza da medição (H <sub>2</sub> )	± 5% da leitura ± 20 ppm
Faixa de medição (umidade)	(0 a 100) %
Incerteza da medição (umidade)	± 2 %
Resolução	1 ppm
Temperatura ambiente	(-10 a 100) °C
Temperatura do óleo	(-10 a 100) °C
Pressão do óleo	1 MPa
Comunicação	RS232 e RS485

### 3. MULTIPLEXAÇÃO

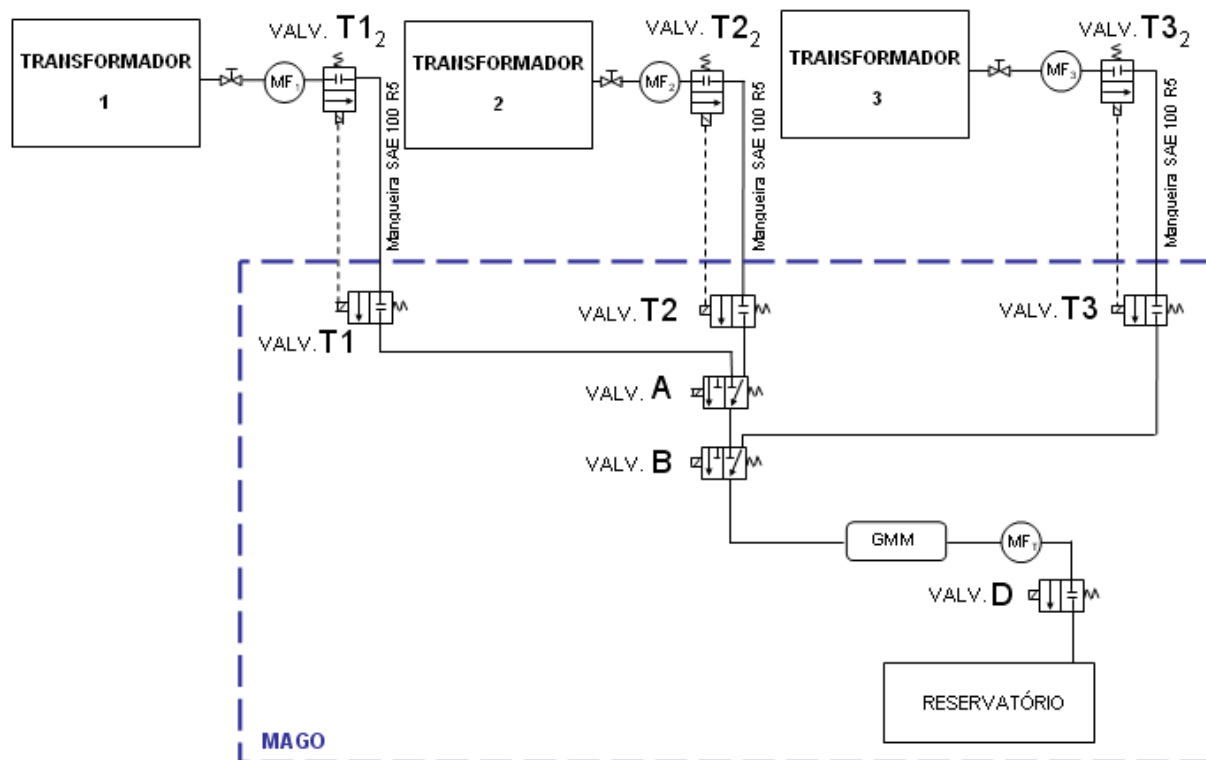
Como já foi citado, o custo para monitorar individualmente transformadores de médio porte é muito elevado, tornando sua prática injustificável, neste sentido foi desenvolvido, em parceria com a Celesc (Centrais Elétricas de Santa Catarina), um produto para a multiplexação da análise da concentração de gases em óleo para vários transformadores (Figura 1). Na sua fase de desenvolvimento ficou decidido que o produto deveria ser de fácil deslocamento e com estrutura modular, características necessárias à sua utilização nas diversas subestações da concessionária.



**Figura 1: Esquema genérico da multiplexação do sistema de medição**

A multiplexação foi realizada através de um sistema hidráulico com mangueiras e válvulas solenóides, conforme é apresentado na Figura 2, comandadas por um controlador [6]. Posteriormente foram adicionados ao projeto inicial quatro medidores de vazão, instalados com objetivo de detectar vazamentos e otimizar o processo de drenagem pré-medição<sup>1</sup>. O conjunto destes equipamentos, foi denominado MAGO (Múltiplo Analisador de Gás em Óleo), correspondendo ao retângulo destacado na figura 2.

<sup>1</sup> A drenagem pré-medição é necessária para retirar o óleo armazenado nas mangueiras e assim, assegurar a representatividade da amostra.



**Figura 2: Diagrama hidráulico do MAGO**

A lógica da multiplexação foi implementada através de comando hidráulico, com a inserção de duas válvulas de três vias e duas posições em série com o sistema. Desta forma, a amostra de óleo recolhida é representativa e diz respeito apenas ao transformador que se deseja avaliar.

Para que análise das amostras seja feita, é necessária a seguinte lógica, referente a figura 2, para o acionamento das válvulas:

- Análise do transformador T1:  
Acionar as válvulas: T1, T1<sub>2</sub>, A, B e D.
- Análise do transformador T2:  
Acionar as válvulas: T2, T2<sub>2</sub>, B e D.
- Análise do transformador T3:  
Acionar as válvulas: T3, T3<sub>2</sub> e D.

#### 4.SISTEMA DE CONTROLE

A automatização do sistema de medição é feita por um controlador lógico programável (CLP) sofisticado que atua sobre as válvulas solenóides e realiza a aquisição dos dados provenientes do sistema de medição da concentração dos gases e dos medidores de vazão. Compete também ao controlador parte decisiva no gerenciamento da interação com o usuário, em diferentes formas de comunicação. Foi utilizado o CLP *Compact FieldPoint*® fabricado pela *National Instruments*® sendo este programado em linguagem *LabVIEW*®.

Uma característica importante do produto desenvolvido é a capacidade de operação e supervisão tanto local quanto remotamente do processo de medição. Através de entradas e saídas digitais, auxiliadas por chaves, botões e leds, foi desenvolvida uma interface física de comando no próprio produto, permitindo assim que parte de sua operação possa ser feita localmente.

Em virtude da portabilidade proposta pelo MAGO, proveniente da necessidade de sua utilização em diversos locais, foi especificada uma maneira de configurá-lo para que informações como subestação e dados dos transformadores analisados sejam atualizadas no sistema. Com isso permitiu-se que as informações obtidas do sistema de medição fiquem corretamente atreladas aos seus respectivos transformadores. Essa configuração é feita utilizando a entrada serial do CLP no momento da instalação do MAGO na subestação.

Para que o MAGO seja controlado remotamente, foram implementadas duas formas de comunicação: uma usando *ethernet* (rede local da própria CELESC) e outra usando a rede de comunicação móvel GPRS.

No acesso via *ethernet* foi implementado um software com interface amigável ao usuário para que este possa realizar o comando utilizando qualquer computador com acesso a rede local. Desta forma, é realizado através de protocolo *http* o acesso direto ao software embarcado. Como limitação dessa modalidade temos o atrelamento ao pacote de software fornecido pela *National Instruments*. A interface de acesso é apresentada na Figura 3.

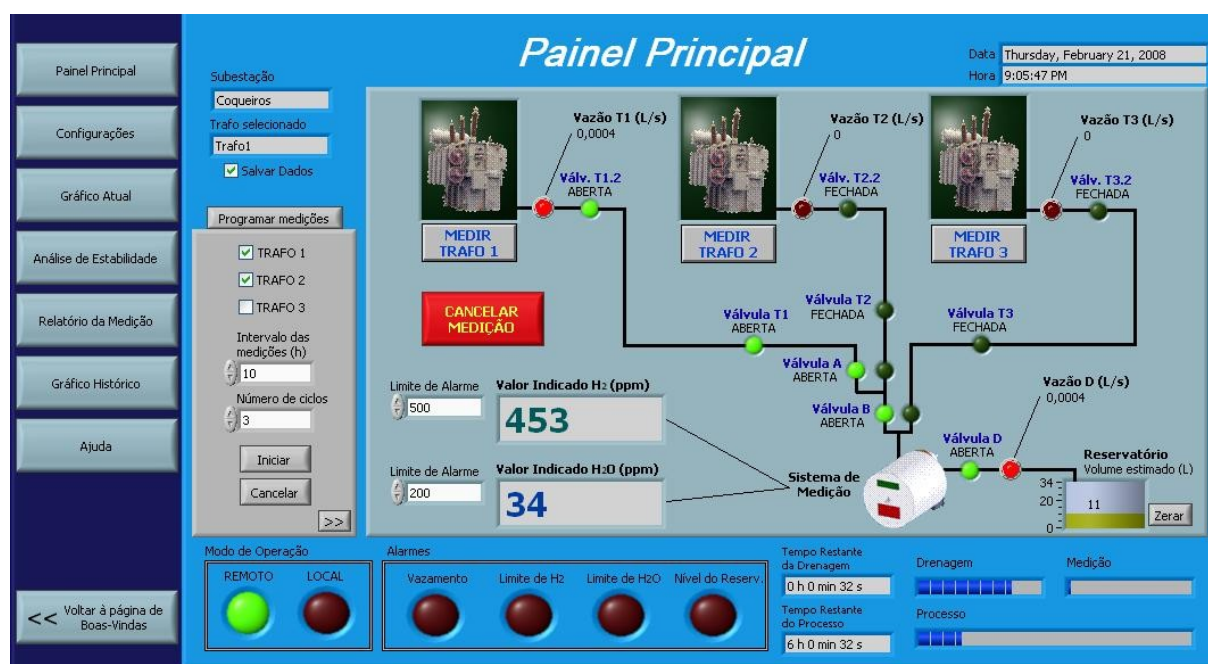


Figura 3: Interface para acesso via ethernet do MAGO

## 5.COMUNICAÇÃO GPRS

Apesar do desempenho satisfatório da comunicação via rede local e da confiabilidade apresentada pelo sistema nos testes, algumas restrições inerentes a esse tipo de acesso motivaram a busca por um outro tipo de comunicação. Para tentar tornar a comunicação do MAGO independente das instalações da subestação (apenas 30% das subestações da CELESC possuem ponto de rede) a alternativa encontrada foi utilizar acesso via GPRS.

O GPRS (*General Packet Radio Service*) é uma tecnologia que utiliza a rede de telefonia móvel para enviar e receber dados. No serviço fornecido pelas operadoras de telefonia, as informações são transmitidas em pacotes de *bytes*, enviadas em partes e montadas no momento da recepção.

Essa rede apresenta uma característica muito importante: seus usuários estão sempre conectados à rede, onde os recursos somente são atribuídos quando for necessário enviar ou receber dados. Dessa maneira, as operadoras lidam com a limitação ao número de endereços eletrônicos (*IPs*)

disponíveis. Como consequência dessa política, os endereços fornecidos aos dispositivos possuem característica dinâmica e não válida, tornando inviável sua localização remotamente.

Para solucionar este problema, foi desenvolvido em linguagem JAVA um servidor que realiza o gerenciamento das informações, centralizando as conexões feitas a partir dos dispositivos, estabelecendo um canal de comunicação enquanto dados estiverem sendo enviados ou recebidos.

Adicionalmente foi desenvolvida na mesma linguagem do servidor uma interface alternativa, apresentada na Figura 4, que se comunica ao servidor enviando e recebendo apenas os dados estritamente necessários ao funcionamento do sistema. A redução da quantidade de informação é importante devido à restrição quanto à quantidade e ao fluxo de dados que a comunicação GPRS apresenta.

The image shows a software interface for GPRS access, divided into four main sections:

- Dados do transformador Medido:** Fields for Subestação (Coqueiros), Código EP (133), Número de Série (023155-9), Entrada (TrafoA), Número Operacional (T14), and Fabricante (Alston).
- Panel de Controle (Manual):** Buttons for TA, TB, and TC, a Cancela Medição button, and a field for Trafo em Medição (Trafo A).
- Resultado da medições de H2O e H2:** Concentração de H2O (231 ppm) and Concentração de H2 (445 ppm). It also shows Último Trafo Medido (Trafo B), Data (12/02/2006), and Hora (15:45).
- Modo Automático de Medição:** Intervalo entre Medições (3 horas) and Número de Ciclos (2 ciclos). It asks "Quais Trafos Você Deseja Que o Sistema Avalie?" with checkboxes for Trafo A (checked), Trafo B (unchecked), and Trafo C (checked). Buttons for Configurar and Iniciar Automático are present.

At the bottom of the interface are three buttons: Gera Relatório, Atualizar, and Sair.

Figura 4: Interface do acesso via GPRS

## 6.PROTOTIPAGEM

Depois de validar a idéia e projetar o funcionamento do sistema de multiplexação, medição e comunicação, foi proposto criar um produto com estrutura portátil, modular e funcional, podendo comportar adequadamente os componentes que formam o sistema e, acima de tudo, seguir as normas de segurança e identificação para ambientes onde se trabalha com equipamentos de alta potência.

Foi desenvolvido então um produto bastante portátil, podendo ser facilmente transportado entre as subestações localizadas nas diversas regiões de Santa Catarina, monitorando assim uma gama extensa de transformadores no estado.

O produto apresenta uma estrutura modular dividida em módulo principal e módulos externos. O módulo principal é dividido em três compartimentos desmontáveis, o que facilita o processo de limpeza e manutenção do MAGO.

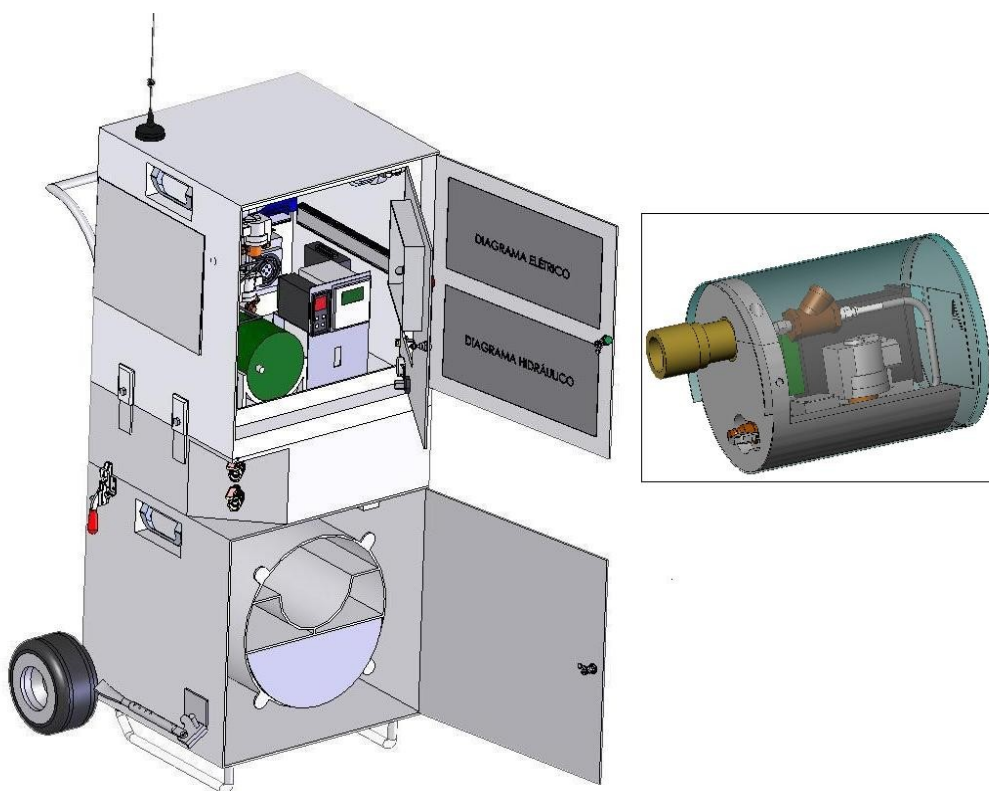
O compartimento superior abriga a parte de controle do sistema, as válvulas, o sistema de medição e os equipamentos responsáveis pela comunicação.

No segundo compartimento fica o reservatório para o óleo que já foi analisado e não tem mais utilidade, este possui um sensor de nível para evitar que o tanque fique cheio, sendo uma válvula aberta quando o nível chega próximo ao máximo.

O compartimento inferior armazena os equipamentos que são usados externamente ao módulo principal, como as mangueiras e os módulos externos.

Os módulos externos (um para cada transformador analisado) contêm um medidor de vazão, um filtro para impurezas e uma das válvulas apresentadas no diagrama da Figura 1, podendo ser a válvula T1<sub>2</sub>, T2<sub>2</sub> ou T3<sub>2</sub>, dependendo do transformador avaliado.

Na Figura 5 tem-se uma visão geral do produto desenvolvido e ao lado o módulo externo que fica conectado ao transformador.



**Figura 5: Vista geral do MAGO com os três módulos, no detalhe o módulo externo.**

## 7.CONCLUSÕES

Inicialmente, o principal beneficiário desta tecnologia é o Departamento de Engenharia de Manutenção da concessionária. O monitoramento mais freqüente dos transformadores melhora a supervisão sobre o estado real de cada transformador, reduzindo a probabilidade de falhas incipientes nos mesmos.

Posteriormente, com a elevação da confiabilidade dos transformadores, os consumidores de energia elétrica serão beneficiados pela redução da taxa de falha e da maior confiabilidade no sistema de transmissão de energia elétrica.

Baseado em testes, a comunicação utilizando GPRS foi validada, mostrando-se uma boa e eficaz alternativa para o acesso e controle sem fio do MAGO. Essa tecnologia permite ainda, como perspectiva futura do trabalho, embarcar o software em aparelhos celulares e realizar o comando com ainda mais praticidade.

## **8.REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- [1] MILASCH M. “Manutenção de Transformadores em Líquido Isolante”, Edgard Blücher, São Paulo, 1984.
- [2] VIEIRA C. L. C.; MATTOS J. M. “Manutenção de Transformador de Força”. Apostila de curso Engelma, 1990.
- [3] NBR-7274/1982. Interpretação da Análise dos Gases de Transformadores em Serviço
- [4] CAVACO, M. A. M. et al. Adaptação de um sensor para a medição de gases dissolvidos em óleo isolante de múltiplos transformadores, CONGRESSO BRASILEIRO DE METROLOGIA, 3, 2003, Recife. Anais. Recife: SBM, 2003.
- [5] TREE TECH SISTEMAS DIGITAIS. Gas and Moisture Monitor – Technical Characteristics. Disponível em: <http://techsales-nw.com/products/ied/pdf/gmm.pdf>. Acesso em: Janeiro de 2008.
- [6] CARDOSO, P. M. Adaptação de um Sistema de Medição de Gases Dissolvidos em Óleo Mineral Isolante para Monitoração de Múltiplos Transformadores de Potência. Dissertação de Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Metrologia Científica e Industrial – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.