



**XX SNPTEE  
SEMINÁRIO NACIONAL  
DE PRODUÇÃO E  
TRANSMISSÃO DE  
ENERGIA ELÉTRICA**

Versão 1.0  
XXX.YY  
22 a 25 Novembro de 2009  
Recife - PE

## **GRUPO –VIII**

### **GRUPO DE ESTUDO DE SUBESTAÇÕES E EQUIPAMENTOS DE ALTA TENSÃO - GSE**

#### **MONITORAMENTO ON-LINE DE DESCARGAS PARCIAIS NA SIG DE ITAIPU (NECESSIDADE, ESPECIFICAÇÃO, IMPLEMENTAÇÃO E CASOS JÁ DETECTADOS)**

**José Guilherme Rodrigues Filho (\*)  
ITAIPU BINACIONAL**

**Eleceu Barz  
ITAIPU BINACIONAL**

## **RESUMO**

O presente trabalho relata as etapas de identificação da necessidade e oportunidade de se implementar um sistema de monitoramento com capacidade de detecção de falhas do dielétrico da SIG de Itaipu, que permitisse a atuação ainda em uma fase incipiente e cobrindo a maior faixa dos modos de falha possíveis. O trabalho também relata a fase de avaliação das metodologias disponíveis em uma instalação protótipo, a especificação do sistema para atender às condições de campo de Itaipu, sua implementação e alguns casos já identificados e reparados.

## **PALAVRAS-CHAVE**

Monitoramento Descargas Parciais, Descargas Parciais UHF, Descargas Parciais SF<sub>6</sub>.

### **1.0 - INTRODUÇÃO**

A Subestação Isolada a Gás SF<sub>6</sub> (SIG), 500kV de Itaipu entrou em operação em 1984, quando apresentou de forma atípica um elevado número de falhas. Estas falhas apresentaram alguns modos comuns e identificadas algumas causas, o fabricante atuou no sentido de introduzir modificações necessárias para o restabelecimento da confiabilidade dos equipamentos.

A Figura 1, a seguir, mostra que a partir de 1990, com a introdução das ações e correções, houve uma redução da taxa de falha para um patamar em torno de duas falhas por ano. Este patamar, embora menos crítico que o dos anos 84 a 89, ainda estava acima dos índices de desempenho esperados para uma SIG de 500kV, mesmo considerando que temos em Itaipu 54 Disjuntores, 128 Chaves Seccionadoras, 154 Chaves de Aterramento, 414 TC's, 24 TP's, 132 Para-raios ZnO, aprox. 7500m de barramentos e mais de 110 ton. de SF<sub>6</sub>.

#### **1.1 A necessidade**

Desde 1984 Itaipu realiza o monitoramento de Descargas Parciais (DP), utilizando um detector acústico portátil, que amplifica vibrações na faixa de 36 a 44 kHz utilizando uma sonda piezo-elétrica. Este monitoramento se faz através de uma varredura mensal em todos os equipamentos. Com este método foi possível identificar e atuar preventivamente em alguns modos de falha, principalmente nos que envolviam certos tipos de partículas metálicas livres na base dos disjuntores e chaves seccionadoras.

Este método porém não demonstrou ser suficiente para detectar outros tipos possíveis de modos de falha, como bolhas ou vazios ("voids") no isolamento sólido, além de não ser um monitoramento on-line, ou seja a detecção não ocorre caso no momento da varredura mensal o sinal não esteja presente.

Configurou-se então a necessidade de ter uma metodologia complementar que ampliasse a possibilidade de detecção dos modos de falha possíveis de identificação ainda em seu estágio inicial.



FIGURA 1 – Falhas por ano na SIG 500kV de Itaipu

## 2.0 - PROTÓTIPOS E ESPECIFICAÇÃO

A performance das diversas alternativas e sua adaptabilidade às condições dos equipamentos em operação na SIG de Itaipu foram prototipadas primeiramente com a inserção de defeitos e aplicação de tensão nominal em uma mini-SIG construída com componentes reserva da SIG principal, Figura 2. Posteriormente no caso de sucesso e viabilidade, foram validadas na SIG principal sob todas as condições reais de operação, principalmente no que se refere a ruídos que poderiam interferir na qualidade do monitoramento.



FIGURA 2 – Mini-SIG para prototipação com inserção de defeitos e aplicação de tensão

As metodologias disponíveis e analisadas para utilização foram:

- I) IEC 60270 / Divisor capacitivo conectado diretamente ao potencial  
Utilizado como referência nos ensaios da Mini-SIG mas não aplicável às condições de campo por ser muito sensível a ruídos nas condições operativas, alto custo para os divisores capacitivos e de difícil conexão aos equipamentos existentes;
- II) Método acústico  
Já praticado na Itaipu com uma varredura mensal em mais de 200 pontos. O método se mostra incapaz de detectar todos os possíveis modos de falha e não tem disponibilidade on-line;
- III) Método Químico (coleta de SF<sub>6</sub> e análise cromatográfica)  
Pela estabilidade do SF<sub>6</sub> e por sua propriedade de recomposição, nos recursos disponíveis para análise, não foi verificada a capacidade de detectar alterações indicativas de falha em seu estágio inicial;
- IV) Método Químico (Ion Mobility Spectrometer)  
Testado por duas vezes em condições de laboratório (Mini-SIG) e de campo, sem apresentar performance satisfatória;
- V) Método óptico  
Não avaliado como protótipo por ter a limitação de não detecção de descargas internas em isoladores e outras estruturas que não permitam a propagação da luz;
- VI) Método UHF/VHF (detecção de ondas eletromagnéticas de alta frequência dentro dos invólucros)  
Foram avaliados com sucesso dois equipamentos de diferentes fornecedores, que por adotarem diferentes tecnologias para a aquisição e tratamento dos sinais, acabaram apresentando diferentes performances em quesitos como rejeição do nível de ruído, ferramenta para auxílio no diagnóstico, on-line full time versus transdutores com varredura multiplexada para vários sensores acarretando períodos de off-line x online para cada sensor.

Baseado nas constatações acima, considerando a vantagens e o sucesso obtido em VI) Método UHF, Itaipu especificou um sistema que contemplasse as seguintes premissas:

- a) O sistema deve aumentar a faixa dos modos de falha detectáveis em relação ao método acústico;
- b) O sistema deve ser compatível para instalação com os equipamentos já em operação;
- c) O custo do sistema deve ser compatível com o custo do reparo de pelo menos uma falha por ano;
- d) O sistema deve ser on-line (full time para todos os sensores).

### 3.0 - IMPLEMENTAÇÃO

A implementação do sistema de monitoramento on-line de descargas parciais por UHF na SIG de Itaipu se deu em duas etapas, a primeira em aproveitamento da contratação das duas novas unidades geradoras (9A e 18A), teve sua conclusão em setembro de 2002 tendo sido instalados nesta oportunidade 12 pontos de monitoramento na parte da SIG de 50Hz e mais 12 pontos na parte da SIG de 60Hz.

Concluída esta primeira etapa e sendo a avaliação positiva, foi realizada a segunda etapa com a instalação de mais 414 pontos, totalizando 438 pontos monitorados na SIG, concluídos em agosto de 2006.

O sistema de monitoramento adquirido da empresa escocesa DMS (Diagnostic Monitoring Systems), consta de 03 itens básicos conforme diagrama da Figura 3, sendo o primeiro item um elemento sensor que tem a função de uma antena de UHF, o segundo item é um conversor óptico onde o sinal analógico captado pela antena é convertido em um sinal digital transferido através de fibra-óptica ao terceiro item que é um conjunto de processadores encarregados das funções de gerenciamento da rede de comunicações, processamento dos sinais, armazenamento e Interface Homem Máquina (IHM).

Particularmente no caso de Itaipu o elemento sensor não precisou ser instalado, tendo sido utilizado como antena um elemento da blindagem(anti-corona) das chaves de aterramento originalmente projetado pelo fabricante para servir de ponto de verificação de tensão antes da operação da chave de aterramento, Figura 4. Neste ponto foi adicionado um conector BNC tipo T, permitindo assim o monitoramento e a disponibilidade simultânea para a verificação pela operação.

Cada unidade conversora óptica, Figura 5, é identificada pelo nome da chave de aterramento a que esta associada, recebe sinal de 03 antenas monofásicas referentes aos pontos simétricos das 03 fases do barramento em que esta conectada. Cada ponto é identificado pelo nome da chave de aterramento seguido do sub-índice da fase de referência.

Ainda como particularidade do sistema de monitoramento de Descargas Parciais por UHF fornecido para Itaipu podemos citar que são na realidade dois sistemas, Figura 6, sendo um para os equipamentos conectados as unidades de 50Hz e outro para os equipamentos conectados as unidades de 60Hz. Isto se fez necessário pelo fato de que os sinais de DP são representados em função do ângulo de fase em que ocorrem, tendo como referência a tensão, que são naturalmente independentes e diferentes entre si para os equipamentos de 50Hz e 60Hz.

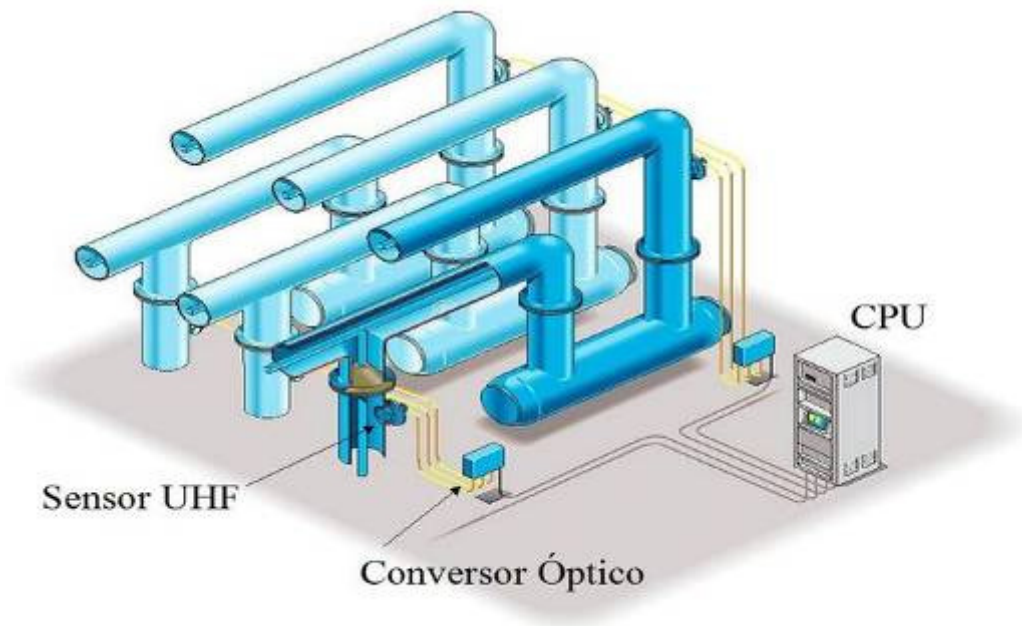


FIGURA 3 – Diagrama dos componentes do sistema de monitoramento de DP por UHF



FIGURA 4 – Conexão ao sensor com um BNC tipo "T"



FIGURA 5 – Conversor Óptico (OCU)



FIGURA 6 – Unidades de comunicação, processamento e IHM dos sistemas de 50Hz e 60Hz

#### 4.0 - CASOS JÁ DETECTADOS

A seguir serão mostrados 06 casos já detectados pelo sistema pelo sistema de monitoramento de descargas parciais e reparados pela atuação da equipe de manutenção da Itaipu, com os respectivos sinais de detecção, descritivo e imagens da anormalidade encontrada.

##### 4.1 – Disjuntor 85L02 fase S (Outubro/2001)

Durante inspeção com unidade portátil da DMS foi detectado a ocorrência de DP na fase S do disjuntor 85L02, com características de partícula no invólucro (ocorrência no semi-ciclo positivo) Figura 7 abaixo. O diagnóstico foi confirmado pela inspeção realizada, Figura 8. Com a retirada das partículas foi eliminado o risco de um flash-over e o sinal de DP foi normalizado.

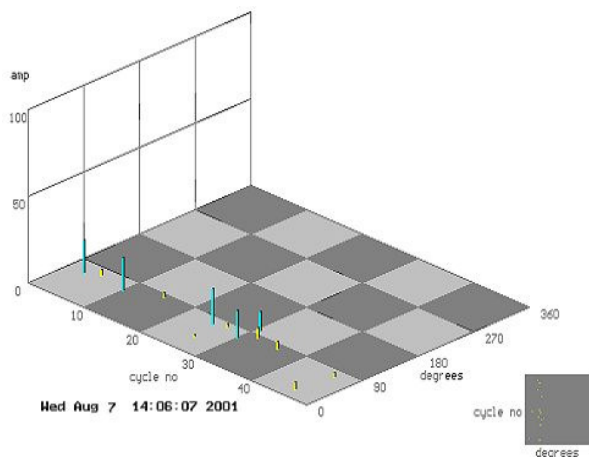


FIGURA 7 – Tela apresentando DP

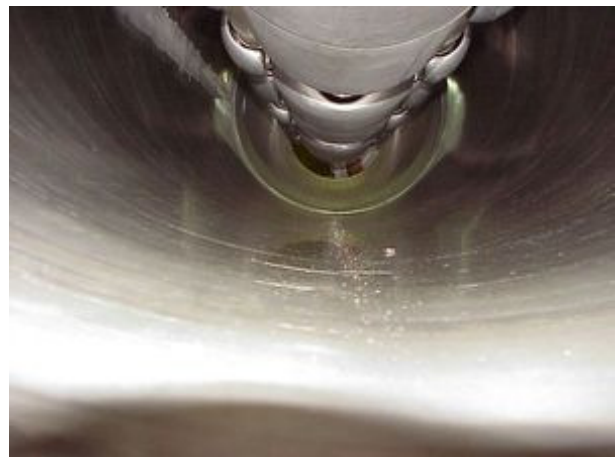


FIGURA 8 – Partículas na parte inferior do invólucro

##### 4.2 Disjuntor 06U16 fase A (Junho/2003)

O sistema on-line detectou que após operações (abertura e fechamento), durante alguns segundos persistiam atividades de DP, Figura 9, na fase A do disjuntor 06U16 tendo como diagnóstico partículas. O diagnóstico foi confirmado pela inspeção realizada, Figura 10. Com a retirada das partículas foi eliminado o risco de um flash-over e o sinal de DP foi normalizado.

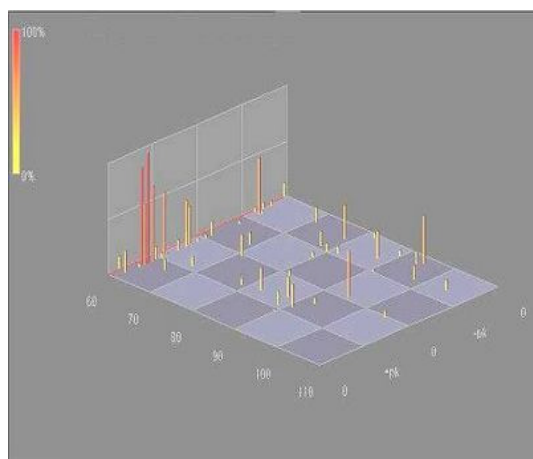


FIGURA 9 – Tela com DPs após operação



FIGURA 10 – Partículas na parte inferior do invólucro



### 4.3 Disjuntor 86LI2 fase S (Agosto/2003)

De forma idêntica ao item 4.2, o sistema detectou a existência de DP após operações de abertura e fechamento do disjuntor 86LI2. Ver Figuras 11 e 12 respectivamente com a tela do sistema com a distribuição das DP's e as partículas encontradas ao fundo do invólucro do disjuntor durante inspeção.

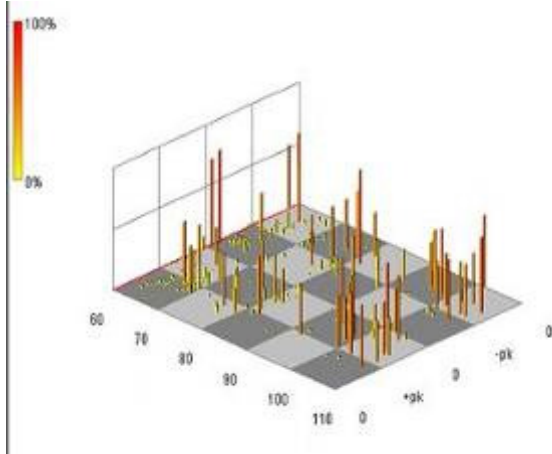


FIGURA 11 – Tela com DP's após operação



FIGURA 12 – Partículas na parte inferior do invólucro

### 4.4 Disjuntor 05U09 fase R (Agosto/2005)

O sistema on-line detectou a ocorrência de Descargas Parciais de baixa intensidade mas de forma contínua na fase R do Disjuntor 05U09 fase R, tendo como diagnóstico pela ferramenta de redes neurais, Figura 13, partículas.

A inspeção constatou a existência tanto de partículas oriundas da erosão dos contatos de arco(metal) e do bocal isolante (teflon) Figura 14, como também um pequeno filete de rosca em alumínio, Figura 15.

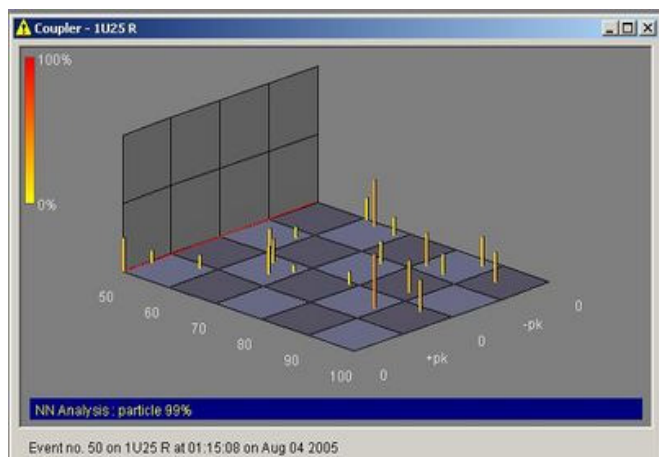


FIGURA 13 – Tela com DP's e Diagnóstico



FIGURA 14 – Partículas metálicas e teflon



FIGURA 15 – Filete de rosca em alumínio

#### 4.5 Pára-raios A34-T1 fase T (Maio/2006)

Dois sensores instalados em chaves de aterramento próximas ao Pára-raios de barra A34-T1 fase T passaram a indicar o mesmo sinal de DP, porém com intensidades diferentes, Figuras 16 e 17.

Utilizando um sensor recentemente oferecido para testes pelo fabricante do sistema, adaptado para de ser acoplado aos isoladores de resina através de uma abertura lateral na blindagem metálica destinada a injeção de resina no molde, foi possível chegar com precisão ao ponto de emissão de DP. A vantagem do uso deste sensor junto aos isoladores se deve ao fato de existirem muito mais isoladores do que chaves de aterramento instalados na SIG, possibilitando assim procurar pela origem da sinal com mais precisão

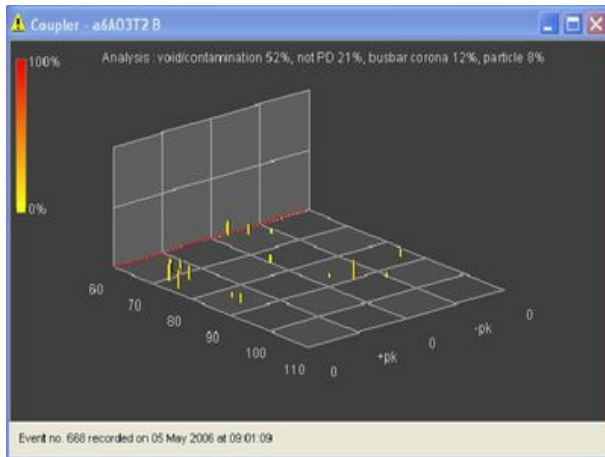


FIGURA 16 – Sinal captado pelo sensor mais distante

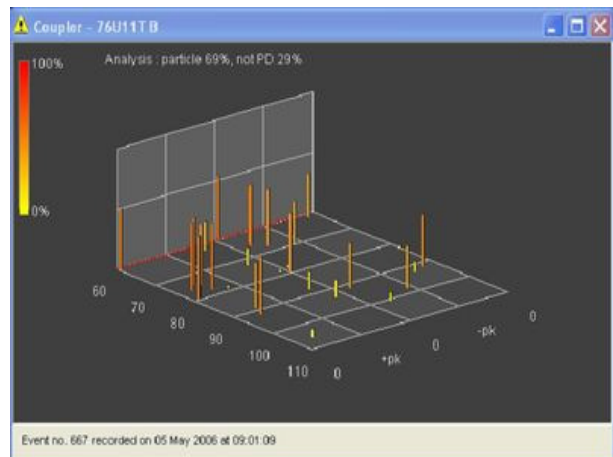


FIGURA 17 – Sinal captado pelo sensor mais próximo

O pára-raios foi substituído e aguardamos instruções do fabricante para uma inspeção interna. Após substituição o sinal foi normalizado.

#### 4.6 Isolador estanque da Seccionadora 55U9A (Maio/2006)

O sistema on-line detectou Descargas Parciais de média intensidade e de forma contínua, Figura 18, no sensor da chave seccionadora 55U9A. O diagnóstico pela ferramenta de redes neurais indicava “void” (bolha) pelo padrão das descargas. Foi realizada uma primeira inspeção e limpeza através do flange de acesso ao compartimento da seccionadora, porém não foi identificado nesta oportunidade, a origem das descargas. Após reenergizado o sinal continuou como antes. Decidiu-se então por realizar uma segunda inspeção, desta vez com desmontagem da chave. Identificou-se então, por inspeção visual do isolador de resina, a existência uma bolha com diâmetro aproximado de 3mm na superfície do isolador, Figura 19.

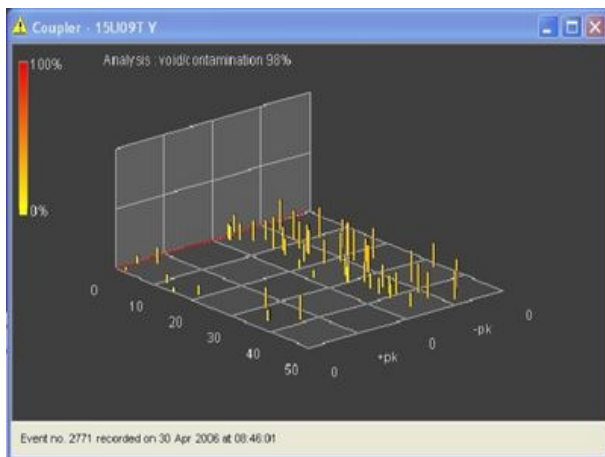


FIGURA 18 – Sinal de DP na seccionadora 55U9A



FIGURA 19 – Bolha de 3mm no isolador

O isolador foi substituído e após reenergizado o sinal foi normalizado.

Ficou porém uma questão de que as carbonizações encontradas ao redor da bolha de 3mm na superfície do isolador, Figura 19, não pareciam ser compatíveis com o sinal de DP detectado, seriam insuficientes para um sinal tão forte.

Conseguiu-se então junto ao Hospital de Itaipu, utilizar o aparelho de Tomografia por RX Helicoidal, Figura 20, para fazer uma varredura por imagem radiográfica da estrutura do isolador. Nesta inspeção foi identificada uma bolha interna com diâmetro de 0,6cm, Figura 21, sendo esta pela dimensão e por estar mais próxima ao condutor central, mais compatível com o nível de descargas detectado.



FIGURA 20 – Isolador no Tomógrafo



FIGURA 21 – Imagens radiográficas obtidas do isolador

## 5.0 - CONCLUSÃO

O sistema de monitoramento on-line de Descargas Parciais por UHF instalado na SIG 500kV de Itaipu atendeu às especificações e às expectativas, tendo demonstrado, pelos casos já detectados ser uma ferramenta de grande utilidade na identificação de falhas do dielétrico ainda em sua fase inicial, permitindo a atuação preventiva por parte da manutenção.

Pode-se concluir também que houve retorno financeiro do investimento em um tempo inferior ao esperado, pois somente os ganhos pela não evolução para falha dos exemplos acima citados, já foram suficientes para cobrir o investimento.

## 6.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) IEC 60.270 – 98. International Electrotechnical Commission – “High-Voltage Test Techniques – Partial Discharge Measurements”
- (2) Hampton, B. – “DMS – Partial Discharge Monitoring System” – Curso/Treinamento ministrado durante o comissionamento do sistema de monitoramento da Usina de Itaipu – Setembro/2002
- (3) Amorin et al – Amorin, Helio P.; Velasco, Marley Maria; Antonio, Guilherme G.; Levy, Alain François S. – “Recognition of partial discharge of high voltage equipment using neural network” – ISAP’99, paper 0217, Rio de Janeiro abril 1999
- (4) Rodrigues Filho, José G. – “Classificação de descargas parciais em equipamentos isolados a SF<sub>6</sub> a partir do monitoramento on-line por UHF” – Dissertação submetida a Universidade Federal de Itajubá para obtenção do título de Mestre em Eng. Elétrica – 2002

## 7.0 - DADOS BIOGRÁFICOS

José Guilherme Rodrigues Filho.

Nascido em Santos Dumont, MG, em 27 de Outubro de 1958.

Engenheiro Eletricista pela Universidade Federal de Minas Gerais – 1981.

M.Sc. em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Itajubá – 2002.

Empresa: Itaipu Binacional – Divisão de Engenharia de Manutenção de Equipamentos de Alta Tensão

Prof. Curso Eng. Elétrica Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE.