**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENERGIA
EP-FEA-IEE-IF**

HUMBERTO DE ALENCAR PIZZA DA SILVA

**Protetor de Rede Inteligente e Relé Digital com tecnologia nacional
integrando Proteção, Controle, Telecomando e Monitoramento,
viabilizando *Smart Grid* e Geração Distribuída a partir dos Sistemas
de Distribuição Subterrâneos nas Grandes Metrôpoles**

SÃO PAULO

2011

HUMBERTO DE ALENCAR PIZZA DA SILVA

**Protetor de Rede Inteligente e Relé Digital com tecnologia nacional
integrando Proteção, Controle, Telecomando e Monitoramento,
viabilizando *Smart Grid* e Geração Distribuída a partir dos Sistemas
de Distribuição Subterrâneos nas Grandes Metrópoles**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em
Energia da Universidade de São Paulo (Escola
Politécnica / Faculdade de Economia e Administração
/ Instituto de Eletrotécnica e Energia / Instituto de
Física), para a obtenção do título de Doutor em
Energia.

Orientador: Prof. Dr. José Aquiles Baesso Grimon

SÃO PAULO

2011

AUTORIZO A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

FICHA CATALOGRÁFICA

da Silva, Humberto de Alencar Pizza

Protetor de Rede Inteligente e Relé Digital com tecnologia nacional integrando Proteção, Controle, Telecomando e Monitoramento, viabilizando Smart Grid e Geração Distribuída a partir dos Sistemas de Distribuição Subterrâneos nas Grandes Metrópoles / Humberto de Alencar Pizza da Silva; orientador: Prof. Dr. José Aquiles Baesso Grimoni. São Paulo, 2011.

251 p.: il; 30 cm.

Tese de Doutorado do Programa de Pós-Graduação em Energia (EP / FEA / IEE / IF) da Universidade de São Paulo.

1.Protetor de Redes Inteligente 2.Relés Digitais,
3.Dispositivo Eletrônico Inteligente 4.Sistema de Distribuição Subterrâneo Secundário Trifásico 4.*Smart Grid* 5.Geração Distribuída 6.Gerenciamento de Ativos 6.Monitoramento 7.Automação I. Título

TUDO TEM SEU TEMPO

[Eclesiastes 3, 1-8]

Tudo tem seu tempo.

Há um momento oportuno para cada coisa debaixo do céu:

Tempo de nascer e tempo de morrer;

Tempo de plantar e tempo de arrancar
o que se plantou;

Tempo de matar e tempo de se curar;

Tempo de destruir e tempo de construir;

Tempo de chorar e tempo de rir;

Tempo de lamentar e tempo de dançar;

Tempo de espalhar pedras e tempo
de as ajuntar;

Tempo de abraçar e tempo de se afastar
dos abraços;

Tempo de procurar e tempo de perder;

Tempo de guardar e tempo de jogar fora;

Tempo de rasgar e tempo de costurar;

Tempo de calar e tempo de falar;

Tempo de amor e tempo de ódio;

Tempo de guerra e tempo de paz.

MEDITAÇÃO SOBRE A VIDA

[Eclesiastes 3, 9-14]

Que proveito tira o trabalhador do seu esforço?

Observei a tarefa que Deus impôs aos humanos, para que nela se ocupassem. As coisas que ele fez são todas boas a seu tempo. Além disso, entregou o mundo ao coração deles. No entanto, o ser humano jamais chega a conhecer o princípio e o fim da ação que Deus realiza. Compreendi, então, que nada de bom existe senão alegrar-se e fazer o bem durante a vida. Pois todo aquele que come e bebe, e vê o fruto do seu trabalho, isso é dom de Deus. Aprendi que tudo o que Deus faz é para sempre. A isso nada podemos acrescentar, nem disso podemos tirar, do que Deus fez para que o tenham e o amem.

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador Prof. Dr. José Aquiles Baesso Grimoni pela amizade, pelas diretrizes, pela orientação objetiva e com a visão sempre mais profunda que sempre levou a reflexões com horizontes mais abrangentes.

Ao Prof. Dr. Geraldo Francisco Burani pelo total apoio, como colega de trabalho, cujos conselhos trouxeram-me paz e tranquilidade nas minhas tarefas do dia-a-dia no Instituto como pesquisador e nos trabalhos relacionadas ao doutorado.

Ao Prof. Dr. José Sidnei Colombo Martini pela abertura e incentivo pessoal na minha carreira, que foram fonte de inspiração rumo a um futuro profissional promissor.

Aos colegas pesquisadores, em especial ao D.Sc. Eng^o. Douglas A. A. Garcia, cuja excelência aplicada aos projetos levou a um alto índice de profissionalismo e aos resultados de todos os trabalhos de pesquisa e desenvolvimento ao longo destes anos todos. Sua inestimável parceria e espírito de equipe garantem uma posição de destaque do grupo de pesquisa do IEE-USP ao qual tenho enorme satisfação em fazer parte. Os seus trabalhos foram a fonte inspiradora desta tese de doutorado.

Aos colegas das Concessionárias parceiras de Projetos de P&D que de uma forma ou de outra colaboraram com o alcance dos objetivos deste trabalho e a disseminação desta solução: CEB Distribuição/Brasília (João Carlos dos Santos e equipe da Gerência de Rede Subterrânea – GRSB/SMS); AES-Eletropaulo (Rubens de Melo e equipe do subterrâneo).

Aos meus pais, Antônio e Deise, pelo exemplo de vida e de perseverança na busca de um ideal e do trabalho digno, e aos meus irmãos, Stella Maris, Marco Aurélio e Lucy Maris pela perseverança na fé em Deus, união e superação na luta pela vida em família.

À minha esposa Fátima, pelo amor e apoio incondicionais e por compartilhar deste ideal, e aos meus filhos Gabriel Iraê e Rafael Naham pela fonte de energia, alegria, carinho, esperança e amor.

RESUMO

SILVA, H.A.P., **Protetor de Rede Inteligente e Relé Digital com tecnologia nacional integrando Proteção, Controle, Telecomando e Monitoramento, viabilizando *Smart Grid* e Geração Distribuída a partir dos Sistemas de Distribuição Subterrâneos nas Grandes Metrôpoles**. 2011. 251p. Tese de Doutorado – Programa de Pós-Graduação em Energia do IEE. Universidade de São Paulo.

A importância das novas tecnologias de informação, automação, monitoramento e sistemas eletrônicos inteligentes têm aumentado significativamente nos últimos anos. Essas tecnologias desempenham um papel fundamental na sociedade moderna e contribuem de forma decisiva para a resolução de importantes desafios para uma sociedade que quer ser mais próspera, internacionalmente competitiva, saudável, segura e sustentável. Como eixo de "inovação", essas tecnologias são fatores importantes para todos os setores produtivos da economia. O motor destas tecnologias, entretanto, é a energia, particularmente a eletricidade. Assim, em uma sociedade cujo estilo de vida é fortemente dependente dela, desenvolver tecnologias que permitam não somente a geração, mas também a distribuição de energia de forma barata e limpa e que garantam seu fornecimento ao longo do tempo com a máxima eficiência é uma questão prioritária. Os sistemas baseados em redes inteligentes (do inglês: *Smart Grid*) vêm, justamente, atender a esses requisitos, representando o que há de mais moderno no setor elétrico, com aumento e diversificação de fontes de geração distribuída na forma de pequenos geradores, maior interação consumidor-distribuidor de energia, integração de diferentes fontes de geração renováveis (ex.: solar, eólica etc.).

O cenário energético nacional está avançando de forma muito rápida. Nas distribuidoras, o foco claramente está na redução de perdas comerciais e de custos operacionais, principalmente por meio da modernização dos ativos e da crescente instalação de dispositivos eletrônicos inteligentes nos clientes de baixa tensão (ex.: medidores eletrônicos, dispositivos eletrônicos inteligentes para monitoramento e diagnóstico, relés digitais etc.).

Esta tese de doutorado apresenta uma solução com tecnologia nacional que disponibiliza todos os benefícios do *Smart Grid* através dos equipamentos mais importantes e estratégicos presentes na topologia das Redes de Distribuição Subterrânea Secundária Trifásica: os Protetores de Redes. A partir do centro nevrálgico das Redes de Distribuição Subterrâneas (RDS), cuja topologia está presente nos centros de alta concentração de carga das principais metrópoles do Brasil, a solução desenvolvida pode viabilizar técnica e economicamente a modernização da automação da RDS, com tecnologia nacional de baixo custo, proporcionando igualmente a incorporação dos avanços do *Smart Grid* e da Geração Distribuída. Este salto tecnológico significaria para as distribuidoras de energia elétrica entre outros benefícios:

- ✓ Melhor controle do processo para uma melhor otimização da rede, desde integração das intermitentes fontes renováveis até uma interação mais dinâmica com os consumidores;
- ✓ Maior flexibilidade às concessionárias em relação ao uso da energia para atingir o grande objetivo social de redução do efeito estufa e otimização do consumo de energia reduzindo perdas e desperdícios;
- ✓ No curto prazo, os benefícios diretos da melhoria do gerenciamento da indisponibilidade, gerenciamento otimizado dos ativos e do capital, melhoria no planejamento, processos e serviços de fornecimento e usos finais de energia, aumento de eficiência de manutenção, redução de perdas técnicas e comerciais, otimização do investimento na compra de novos protetores com menores custos podendo superar a demanda reprimida pelos altos custos de alternativas importadas.

Palavras-chave: Protetor de Redes Inteligentes, Dispositivo Eletrônico Inteligente, Sistema de Distribuição Subterrâneo Secundário Trifásico, *Smart Grid*, Gerenciamento de Ativos, Gerenciamento da Indisponibilidade, Monitoramento, Automação.

ABSTRACT

SILVA, H.A.P., **Protetor de Rede Inteligente e Relé Digital com tecnologia nacional integrando Proteção, Controle, Telecomando e Monitoramento, viabilizando Smart Grid e Geração Distribuída a partir dos Sistemas de Distribuição Subterrâneos nas Grandes Metrópoles.** 2011. 251p. Tese de Doutorado – Programa de Pós-Graduação em Energia - IEE. Universidade de São Paulo.

The importance of new technologies in the field of, automation, monitoring, information technology and electronic systems have increased significantly in recent years. These technologies play a basic role in the modern society and contribute of decisive way for the resolution of important challenges for a society that is in search of a more prosperous life, internationally competitive, healthful, safe and sustainable. As a key of "innovation", these technologies are key factors for all the productive sectors of the economy in the society. The fuel for the engine of these technologies, however, is the energy, particularly the electricity. Thus, in a society whose life style is strongly dependent of electricity, to develop technologies that not only allow the generation, but also the distribution of energy in a cheap and clean way and which could guarantee its supply throughout the time with the maximum efficiency is a priority issue. The systems based on intelligent networks fully meet these requirements, representing what there is of most modern in the electric sector. The Brazilian energy scenario is quickly changing over the recent years toward modernization, with more distributed generation, in the form of smaller generators, more customer interaction, the integration of more variable resources such as wind and solar, and more renewables overall.

For the Power Utilities, especially in the Distribution Sector, the focus is clearly in the reduction of commercial losses and operational costs, mainly by means of the modernization of the assets and an increase in the installation of intelligent electronic devices at consumers side (e.g.: electronic energy meters, intelligent electronic devices for condition monitoring, digital relays etc.).

This work presents a solution developed based on Brazilian technology that incorporates all the benefits of smart grid to the most important equipment that is present in the topology of the Low-Voltage Secondary Network Distribution System: the Network Protector. From the neuralgic center of these Low-Voltage Secondary Network Systems, which topology is used in the most important cities in Brazil, which has a high load concentration, the solution presented here make it feasible technically and economically the use of smart grid topology profiting from its great benefits such as:

- ✓ Allow utilities to better optimize the grid to support a number of public policies, from intermittent renewable integration to more dynamic interfaces with customers;*
- ✓ Offer utilities more flexibility relative to how they use energy toward the greater societal objectives of reducing greenhouse gases and energy consumption.*
- ✓ In the short and mid term, a smarter grid offers utilities operational benefits (outage management, improved processes, maintenance and workforce efficiency, reduced losses, etc.) as well as benefits associated with improved asset management (system planning, better capital asset utilization, etc.), lower investment to acquire new Network Protectors.*

Keyword: *Intelligent Network Protector, Intelligent Electronic Device, Low-Voltage Secondary Network Systems, Smart Grid, Asset Management, Outage Management, Condition Monitoring, Automation Technology.*

SUMÁRIO

RESUMO.....	vi
ABSTRACT.....	vii
LISTA DE FIGURAS.....	xii
LISTA DE TABELAS.....	xv
ABREVIACÕES.....	xiv
CAPÍTULO 1	1
1.1 INTRODUÇÃO.....	1
1.2 OBJETIVO GERAL.....	3
1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	3
1.4 METODOLOGIA.....	4
1.5 ESTADO DA ARTE E JUSTIFICATIVA DO TRABALHO.....	5
1.6 ESTRUTURA CAPITULAR.....	6
CAPÍTULO 2	10
2.1 CENÁRIO ATUAL E A DEMANDA DE NOVAS TECNOLOGIAS.....	10
2.2 TECNOLOGIAS INTELIGENTES NA RDS DAS GRANDES METRÓPOLES.....	14
2.3 SOLUÇÃO DE MODERNIZAÇÃO PARA A AUTOMAÇÃO NA RDS.....	18
2.4 PROTETOR DE REDES INTELIGENTE E A RDS.....	22
CAPÍTULO 3	26
3.1 GERENCIAMENTO INTELIGENTE DE ATIVOS.....	26
3.1.1 INTEGRANDO MANUTENÇÃO, OPERAÇÃO E O NEGÓCIO.....	30
3.1.2 ALTA DISPONIBILIDADE, UM FATOR CHAVE PARA O ALTO DESEMPENHO DA PLANTA.....	36
3.2 RECOMENDAÇÕES DO CIGRÈ GT A2.23	43
3.3 SMART GRID E GERENCIAMENTO INTELIGENTE DE ATIVOS.....	44
CAPÍTULO 4	46
4.1 GERAÇÃO DISTRIBUÍDA NAS GRANDES METRÓPOLES COM RDS..	46
4.2 EQUACIONANDO GD PARA A RDS DAS GRANDES METRÓPOLES.....	48
4.3 PERSPECTIVAS PARA A GD NAS GRANDES METRÓPOLES.....	51
CAPÍTULO 5	54
5.1 TOPOLOGIA TÍPICA DA RDS NAS GRANDES METRÓPOLES.....	54

5.2	DISPOSITIVO ELETRÔNICO INTELIGENTE (DEI) E RELÉ DIGITAL	62
5.3	FUNÇÕES DE PROTEÇÃO: NORMA IEEE C57.12.44-2005 E	
	AVANÇOS.....	65
5.4	CARACTERÍSTICAS FUNCIONAIS ABERTURA/FECHAMENTO	
	PREVISTAS NA NORMA	67
5.5	FUNÇÕES DE PROTEÇÃO CONFORME PADRÃO ANSI.....	72
5.6	FUNÇÕES DE TELEMONITORAMENTO E TELECOMANDO.....	74
5.7	ARQUITETURA BASEADA NO CONCEITO SMART GRID.....	74
5.8	ROBUSTEZ, PORTABILIDADE E ARQUITETURA ABERTA NO	
	CONCEITO DO HARDWARE DO DEI.....	76
5.9	CARACTERÍSTICAS DE SEGURANÇA E GRAU DE PROTEÇÃO DO	
	PROTETOR DESENVOLVIDO.....	78
5.10	CARACTERÍSTICAS ELÉTRICAS DO PROTETOR DE REDE INTELIGENTE....	79
5.11	CARACTERÍSTICAS DA COMUNICAÇÃO DO PROTETOR DE REDE	
	INTELIGENTE.....	81
5.12	APLICATIVOS E FERRAMENTAS DE MONITORAMENTO E	
	GERENCIAMENTO.....	83
5.13	DIAGRAMA FUNCIONAL DO PROTETOR DE REDE	
	INTELIGENTE.....	89
CAPÍTULO 6		91
6.1	RELAÇÃO CUSTO BENEFÍCIO.....	91
	6.1.1 OTIMIZAÇÃO DE CUSTOS PARA O MÓDULO DE POTÊNCIA DO PROTETOR DE	
	REDE INTELIGENTE.....	92
	6.1.2 OTIMIZAÇÃO DE CUSTOS NA FABRICAÇÃO DO DEI.....	96
6.2	POTENCIAL PARA APLICAÇÃO DA SOLUÇÃO NOS PARQUES	
	DE RDS EXISTENTES NO BRASIL.....	97
CAPÍTULO 7		100
7.1	CONCLUSÃO.....	100
7.2	SUGESTÃO DE TRABALHOS FUTUROS.....	104
	REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA.....	107

ANEXO A1	Ensaios realizados em laboratórios credenciados cujos relatórios técnicos constantes deste anexo referem-se a testes elétricos, durabilidade mecânica, operacional e dielétrico com base na IEEE C57.12.44/05 para o Protetor de Rede Inteligente e seu DEI, Versão Ventilada.....	111
ANEXO A2	Ensaios realizados em laboratórios credenciados cujos relatórios técnicos constantes deste anexo referem-se a testes de avaliação de projeto construtivo, durabilidade mecânica, operacional e dielétrico com base na IEEE C57.12.44/05 para o Protetor de Rede Inteligente e seu DEI, Versão Submersível.....	121
ANEXO A3	Ensaios realizados em laboratórios credenciados cujos relatórios técnicos constantes deste anexo referem-se aos testes de avaliação de projeto construtivo com base na IEEE C57.12.44/05 para o Protetor de Rede Inteligente e seu DEI, Versão Ventilada.....	132
ANEXO A4	Ensaios realizados em laboratórios credenciados cujos relatórios técnicos constantes deste anexo referem-se a testes de projeto construtivo, durabilidade mecânica, operacional e dielétrico com base na IEEE C57.12.44/05 para o Protetor de Rede Inteligente e seu DEI, Versão Submersível.....	143
ANEXO A5	Ensaios realizados em laboratórios credenciados cujos relatórios técnicos constantes deste anexo referem-se a testes elétricos com base na IEEE C57.12.44/05 para o Protetor de Rede Inteligente e seu DEI, Versão Ventilado.....	153
ANEXO A6	Ensaios realizados em laboratórios credenciados cujos relatórios técnicos constantes deste anexo referem-se a testes elétricos com base na IEEE C57.12.44/05 para o Protetor de Rede Inteligente e seu DEI, Versão submersível.....	173
ANEXO B	Ensaios realizados em laboratórios credenciados cujos relatórios técnicos constantes deste anexo referem-se a testes de Compatibilidade Eletromagnética para o Protetor de Rede Inteligente, seu DEI, Pendante (Hand Held) e Display (IHM-Interface Homem-Máquina) para as Versões Ventilada e Submersível.....	190
ANEXO C	Ensaios realizados em laboratórios credenciados cujos relatórios técnicos constantes deste anexo referem-se a testes de Estanqueidade (IP68) para o DEI do Protetor de Rede Inteligente para as Versões Ventilada e Submersível.....	223
ANEXO D	Ensaios realizados em laboratórios credenciados cujos relatórios técnicos constantes deste anexo referem-se a testes Climáticos para o DEI, Pendante (Hand Held) e Display (IHM-Interface Homem-Máquina) do Protetor de Rede Inteligente das Versões Ventilada e Submersível.....	228

ANEXO E	Ensaio realizado em laboratórios credenciados cujos relatórios técnicos constantes deste anexo referem-se a testes de Vibração Mecânica para o DEI do Protetor de Rede Inteligente das Versões Ventilada e Submersível.....	240
----------------	--	------------

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1: Concretizando *Smart Grid* a partir da automação de redes de distribuição subterrâneas dos grandes centros urbanos.
- Figura 2: Diagrama ilustrativo de centros urbanos com sistema elétrico de distribuição subterrâneo, fontes crescentes de demandas de consumo, fontes alternativas de geração distribuída em um cenário com *Smart Grid*.
- Figura 3: Integração com sistemas de gerenciamento da manutenção e operação.
- Figura 4: Ambiente corporativo das concessionárias: visão integrada da operação, manutenção e negócio.
- Figura 5: Gráfico Utilização X Disponibilidade X Qualidade para determinar OEE (*Overall Equipment Effectiveness*).
- Figura 6: Arquitetura proposta pelo CIGR È GT 12.23 para sistemas modernos de automação com gerenciamento de ativos integrando proteção, controle e monitoramento.
- Figura 7: Exemplos de fontes alternativas para geração distribuída. [Fonte: catálogos dos fabricantes, Sunmachine, Powerplus, Senertec – 2008]
- Figura 8: Diagrama esquemático unifilar, um sistema reticulado *Grid Network* (Reticulado Malha), ilustração das câmaras subterrâneas com os protetores, transformadores etc.
- Figura 9: Figuras de um sistema reticulado *Grid Network* (Reticulado Malha), ilustração das câmaras subterrâneas com os protetores, transformadores etc. (fotos de uma câmara subterrânea da AES-Eletropaulo – São Paulo/SP).
- Figura 10: Diagrama esquemático unifilar de um sistema reticulado *Spot Network* (Reticulado Exclusivo) de distribuição.
- Figura 11: Fotos do sistema reticulado *Spot Network* (Reticulado Exclusivo) de distribuição de uma Subestação BT – Brasília/DF.
- Figura 12: Protetor de Rede Inteligente modelo Ventilado e Submersível com detalhes do conceito de projeto prático e simplificado da parte ativa.
- Figura 13: Dispositivos para passagem de cabos do ambiente pressurizado do Protetor de Rede Inteligente.

- Figura 14: Protetores de rede antigos com projeto mecânico pouco flexível em relação a partes e peças de reposição, com barramentos e dispositivos especiais de acoplamento da parte de potência.
- Figura 15: DEI desenvolvido ilustrando as opções de instalação, compatíveis com modelos importados submersíveis e ventilados (MG9, CMD, CM22 etc.).
- Figura 16: Representação esquemática da RDS e Diagrama Vetorial de Fases.
- Figura 17: Exemplo, com base na norma C57.12.44-2005, de uma das características referente à abertura por potência, implementada no *firmware* do DEI do Protetor de Rede Inteligente desenvolvido.
- Figura 18: Características limites para atuação do protetor. [11].
- Figura 19: Adaptador de portabilidade do DEI desenvolvido para *retrofits* de relés eletromecânicos ou substituição de relés digitais de outros fabricantes (modelos MG9, CMD, CM22 etc.) Fonte [37].
- Figura 20: Testes de funcionalidade dos dispositivos eletrônicos inteligentes e módulos de comunicação em *retrofits* para protetores de rede reformados. Oficina do Cambuci AES-Eletropaulo.
- Figura 21: Infra-estrutura comunicação por telefonia móvel celular como uma das possibilidades para o modelo de automação híbrido nas RDS's com a solução proposta.
- Figura 22: Infra-estrutura comunicação por rádio mesh como uma das possibilidades para o modelo de automação híbrido nas RDS's com a solução proposta (caso: Light-RJ – AES Eletropaulo – fonte: AES Eletropaulo).
- Figura 23: Área piloto na AES-Eletropaulo com rede de comunicação por fibra ótica para a automação com o DEI Smart NetPro Futura em Protetores de Rede existentes.
- Figura 24: Infra-estrutura comunicação por fibra ótica com o uma das possibilidades para o modelo de automação híbrido nas RDS's com a solução proposta (caso: AES Eletropaulo – fonte: "Projeto de automação de RDS da AES Eletropaulo" Fórum Redes Subterrâneas 2010).
- Figura 25: Exemplo de dados coletados dos relés com monitoramento que poderão mostrar o comportamento da carga em um determinado ponto do reticulado (ex: Ar Condicionado do Senado – CEB/Brasília). Fonte: [37].

- Figura 26: Telas dos aplicativos de tele-monitoramento e tele-comando do Protetor de Rede Inteligente.
- Figura 27: Monitoramento dos equipamentos e das câmaras da RDS. Fonte [36, 37].
- Figura 28: Diagrama funcional do Protetor de Rede Inteligente Desenvolvido para RDS.
- Figura 29: Projeto de baixo custo do painel de potência do Protetor Inteligente desenvolvido (versão ventilada).
- Figura 30: Projeto de baixo custo do painel de potência do Protetor Inteligente desenvolvido (versão submersível).
- Figura 31: Protetores existentes de elevado custo com projeto dedicados da parte de potência, barramento e demais componentes do conjunto.
- Figura 32: Área de abrangência da RDS na AES-Eletropaulo. Fonte: [25]
- Figura 33: Área de abrangência da RDS na CEMIG-BH. Fonte: [26]
- Figura 34: Área de abrangência da RDS na Light-Rio. Fonte: [26]
- Figura 35: Área de abrangência da RDS na CEB-Brasília. Fonte: [26]

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Com paração entre diferentes topologias para sistemas de distribuição apontando os índices favoráveis da topologia reticulada exclusive e/ou malha.

ABREVIACÕES

A/D'NI	Analógico/Digital National Instruments
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
ANSI	<i>American National Standard Institute</i>
BNDS	Banco Nacional de Desenvolvimento
CI	Circuito Integrado
CIGRE	<i>Conseil International Des Grands Réseaux Électriques</i>
CEB	Companhia de Distribuição de Energia Elétrica de Brasília
CEPEL	Centro de Pesquisa de Energia Elétrica
CEM	Compatibilidade Eletromagnética
CO ₂	Dióxido de Carbono
CPqD	Centro de Pesquisa e Desenvolvimento
DEI	Dispositivo Eletrônico Inteligente
DIC	Duração Individual de Continuidade
DEC	Duração Equivalente de Continuidade
EMC	<i>Electromagnetic Compatibility</i>
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
ERP	<i>Enterprise Resource Planning</i>
EEPROM	Electronic erasable programable read-only memory
FIC	Frequência Individual de Continuidade
FEC	Frequência Equivalente de Continuidade
GD	Geração Distribuída
GC	Geração Centralizada
IEEE	<i>Institute of Electrical and Electronics Engineers</i>

IEE-USP	Instituto de Eletrotécnica e Energia da Universidade de São Paulo
IPT	Instituto de Pesquisas Tecnológicas
IP	<i>Internet Protocol</i>
KPI	<i>Key Performance Indicator</i>
LIMS	<i>Laboratory Information Management System</i>
MTBF	<i>Mean Time Between Failures</i>
MME	Ministério das Minas e Energia
MTTR	<i>Mean Time to Repair</i>
ONS	Operador Nacional do Sistema Elétrico
O&M	Operação e Manutenção
OEE	<i>Overall Equipment Effectiveness</i>
PAM	<i>Plan Asset Management</i>
PNEF	Plano Nacional de Eficiência Energética
P&D	<i>Pesquisa e Desenvolvimento</i>
RDS	Rede de Distribuição Subterrânea
SAP	<i>Systems, Applications & Products in Data Processing</i>
SCADA	<i>Supervisory Control and Data Acquisition</i>
TC, TP	Transformador de Corrente, Transformadores de Potencial
TI	Tecnologia da Informação
TA	Tecnologia da Automação

CAPÍTULO 1

1.1 INTRODUÇÃO

As mudanças que o setor elétrico nacional vem sofrendo nestes últimos anos têm causado um forte impacto na indústria e nas concessionárias sob os aspectos organizacionais, econômicos, ambientais e tecnológicos. Observa-se que os investimentos no setor elétrico estão sendo freados e quando feitos, por motivação de obter revisão tarifária, são muito mal empregados os recursos que poderiam parar na melhoria efetiva dos ativos. Adicionando-se a isto as restrições econômicas, ficou muito mais difícil investir na modernização do setor elétrico, tanto na geração, na transmissão e subestações de transformação, resultando que as instalações com seus equipamentos estão sendo utilizados perto de seus limites de operação, e em muitos casos, além deste limite. Imagina-se então que, para amenizar este cenário, é necessário lançar mão de sofisticados sistemas de monitoramento, controle e de gerenciamento [28].

Por outro lado, a continuada evolução tecnológica no campo da tecnologia de informação e computação disponibiliza sistemas sempre com melhores capacidades de processamento, armazenagem e comunicação, que com arquiteturas abertas e distribuídas podem ser instalados nas subestações a um custo cada vez menor devido à economia de escala inerente. Isto, aliado à estratégia de soluções nacionais de alta tecnologia e desempenho, permite racionalizar os custos de operação pela implantação de sistemas de monitoramento, supervisão e controle. A solução apresentada neste trabalho está alinhada com estas premissas as quais apresentam resultados diretos na otimização da manutenção e controle dos equipamentos pelo uso de ferramentas confiáveis e de baixo custo, um maior conhecimento da condição operativa dos ativos existentes e, consequentemente, um melhor uso dos equipamentos do sistema [28].

Com um maior conhecimento dos processos produtivos, através de soluções integradas como a proposta, é possível transferir o conhecimento dos especialistas para os sistemas computacionais autônomos e inteligentes. A capacidade de inteligência de um sistema pode ser medida através do nível de desempenho e da capacidade de alcançar os seus

próprios objetivos dentro do escopo de proteção, controle e monitoramento para o qual foram projetados [46]. Por outro lado, ferramentas computacionais podem assumir tarefas cada vez mais descentralizadas e complexas, desde o nível mais inferior, onde ocorrem os processos produtivos, até os mais altos, em nível corporativo, propiciando grandes perspectivas de se redefinirem paradigmas e procedimentos conservadores nas diversas áreas das concessionárias como: planejamento, operação, engenharia e manutenção. O desafio de buscar uma solução que possibilite conciliar os aspectos Mercadológicos, Tecnológicos e os interesses das Empresas passam a ser menores com solução como a apresentada neste trabalho. Esta apresenta uma alternativa técnica e econômica viável para as distribuidoras ao otimizar os atuais critérios de investimento na expansão, modernização e operação das Plantas e do Sistema de Distribuição da Rede Subterrânea (RDS) das grandes metrópoles. Isto porque, o Protetor de Rede Inteligente, peça fundamental para a operação e proteção das RDS's, foi desenvolvido com uma estratégia de utilização de produtos do mercado nacional para baixar consideravelmente seus custos frente às opções importadas. Além disso, incorporam várias funções adicionais sem, no entanto, adicionar custos destas ferramentas como, por exemplo: telemonitoramento e telecontrole. E, por apresentarem este conceito de multifunção, possibilitam otimizar o processo de uso dos equipamentos elétricos, o processo de acompanhamento de sua vida útil e eventual prolongamento da mesma, e de sua manutenção, com consequente melhor uso da capacidade instalada. À medida que as tecnologias empregadas à solução incorporam os conceitos de redes inteligentes (*Smart Grid*) será possível ter um gerenciamento mais inteligente dos ativos da RDS [23,27].

Devido à solução desenvolvida ter sido feita em parceria dentro de projetos de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) com as distribuidoras (CEB, AES etc.), as quais são as maiores interessadas, existem externalidades que se tornam tão valiosas quanto os benefícios diretos da solução, tais como: a capacitação do seu corpo técnico de uma forma mais abrangente indo além dos detalhes tão somente da proteção da Rede de Distribuição Subterrânea (RDS); o gerenciamento efetivo dos ativos da RDS; segurança patrimonial e segurança pessoal; expansão e modernização com vistas aos conceitos de redes inteligentes. Esta interação demonstrou a existência de uma lacuna de conhecimento com este enfoque abrangente e integrado para a RDS. Isto gerou uma internalização deste conhecimento e servirá de motivação para abrir frentes para uma

capacitação continuada multitemática envolvendo as concessionárias e todos os demais parceiros desenvolvedores de *hardware e software* utilizados para verticalização da solução.

1.2 OBJETIVO GERAL

O objetivo principal do trabalho apresentado nesta tese é o desenvolvimento de um sistema que integra teleproteção, telecomando, comunicação e monitoramento remoto usando tecnologia nacional e de baixo custo na construção de Protetores de Redes Subterrâneas para sistemas secundários de distribuição trifásicos. Os Protetores de Rede são a espinha dorsal dos sistemas de distribuição de alto desempenho e confiabilidade, cuja topologia é usada nas redes subterrâneas das grandes metrópoles no Brasil (São Paulo, Rio de Janeiro, Belo Horizonte, Brasília, Curitiba etc.). Não obstante ao fato de possibilitar consideráveis reduções de custos diretos e indiretos na concepção deste elemento, buscou-se garantir um elevado nível tecnológico para todos os componentes no conjunto do Protetor de Rede Inteligente.

1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Garantir aos módulos de potência do Protetor de Redes um projeto simplificado e padronizado com fácil obtenção de peças de reposição no mercado nacional. Para os Dispositivos Eletrônicos Inteligentes que fazem uso de tecnologias da informação existentes incorporando adicionalmente módulos de monitoramento, controle e comunicação, uma arquitetura aberta integrando os conceitos de Redes Inteligentes (do inglês: *smart grid*), para formar o Protetor de Redes Inteligente para a RDS. Isto possibilitará um gerenciamento otimizado da informação, tornando-o mais inteligente, com coordenação da proteção para que sistemas de Geração Alternativa Distribuída sejam usados em harmonia com a configuração da proteção intrínseca das Redes de Distribuição Subterrâneas (RDS) nos grandes centros urbanos das principais metrópoles do Brasil. Desta forma outras tecnologias emergentes, como Carros Elétricos e seus Eletropostos, poderão estar presentes nestes grandes centros urbanos com impactos controlados à RDS's, através de sua coordenação pelos Protetores de Redes Inteligentes.

Favorecer os investimentos num setor que está bastante comprometido sob o aspecto de envelhecimento do seu parque instalado, propiciando uma alternativa de investimentos menos onerosos na compra de novos Protetores de Redes. Também otimizará os custos de manutenção e operação onde poderá ser utilizada mão-de-obra qualificada local, em alternativa aos custos elevados de importação e logística de reparo e reposição de partes e peças importadas.

1.4 METODOLOGIA

Para alcançar os objetivos deste trabalho a metodologia contemplou os seguintes procedimentos:

- ✓ Obtenção dos requisitos técnicos, das peculiaridades de cada sistema de distribuição subterrâneo das concessionárias, das principais necessidades e lacunas técnicas do parque instalado, das expectativas de custo final da solução, testes em campo e testes funcionais em laboratórios do IEE, através das atividades dentro dos projetos de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) do programa ANEEL com as concessionárias de distribuição;
- ✓ Para chegar à solução desenvolvida foi necessário realizar uma extensa e detalhada elaboração dos requisitos técnicos para a verticalização dos módulos de *hardware*, *firmware* e triagem no mercado nacional de parceiros capacitados. Para alguns casos de necessidade específica foi necessário capacitar os parceiros em relação à aplicação e demandas específicas da solução concebida e idealizada para a RDS;
- ✓ Revisão dos procedimentos de ensaios com base nas normas específicas e complementares, bem como testes em campo e em laboratório;
- ✓ Avaliação da solução com unidades instaladas em áreas piloto das concessionárias de distribuição, e também em testes em situações reais nos laboratórios credenciados;

- ✓ Levantamento do potencial de expansão e renovação do parque instalado nas grandes metrópoles com RDS utilizando o Protetor de Rede Inteligente para apresentar as necessidades, vantagens e oportunidades diante do cenário atual;
- ✓ Disseminação junto ao corpo técnico das concessionárias dos novos conceitos embarcados na solução diferenciada em relação aos procedimentos e soluções tradicionais para quebrar os paradigmas existentes como, por exemplo, integrar monitoramento e proteção.

1.5 ESTADO DA ARTE E JUSTIFICATIVA DO TRABALHO

As Redes de Distribuição Subterrâneas no Brasil são carentes de um sistema moderno e automatizado. Existem ainda muitos equipamentos de proteção eletromecânicos obsoletos e em fim de vida útil. Os equipamentos importados têm a inconveniência técnica de possuírem arquiteturas fechadas, custos elevados que podem ser ainda maiores se adicionadas opções como: monitoramento, telecomando, comunicação etc.; tendo este cenário sido, ao longo dos anos, inviáveis para a realidade brasileira. Isto tem impedido a substituição, renovação e expansão das RDS's no Brasil. Para agravar esta falta de opção com uma relação custo-benefício viável, as falhas parciais e catastróficas vêm aumentando e dando um alerta de um cenário muito preocupante, como veremos nos capítulos a seguir. A existência desta lacuna no mercado brasileiro motivou o desenvolvimento de uma solução que disponibilizasse primeiramente uma alternativa técnica aos equipamentos com a função nevrálgica nas RDS's, o Protetor de Redes. Exatamente por ser um equipamento importante dentro da topologia da RDS, e por estar posicionado em um local estratégico na capilaridade do sistema de distribuição subterrâneo, inspirou as demais motivações de agregar funções adicionais que enfrentam muitas barreiras técnicas e de viabilidade econômica para o seu uso em escalas tais como: monitoramento remoto, tele-comando proporcionando os benefícios do conceito de redes com topologia *Smart Grid*, gerenciamento efetivo e moderno dos ativos da RDS. Também o uso de geração alternativa distribuída nestes centros urbanos de alta concentração de carga tem esbarrado em impedimentos técnicos sob o aspecto da coordenação de suas proteções intrínsecas, como veremos nos capítulos a seguir. Desta maneira pode-se, de uma forma indireta, propiciar um alto índice de modernização e

automação com otimização de investimentos à RDS nos grandes centros urbanos, os quais têm concentrado um alto índice de carga e consumidores importantes, localizados nas principais metrópoles do país [29].

1.6 ESTRUTURA CAPITULAR

O Capítulo 1 nos introduz a solução apresentada neste trabalho que diz respeito ao equipamento fundamental para o funcionamento e proteção de Redes Subterrâneas de Distribuição, e que, por trazer incorporadas as funções adicionais de monitoramento, supervisão e controle de baixo custo, possibilita uma alternativa técnica e econômica viável para a automação das RDS's. Com isso, pretende-se propor uma mudança nos critérios atuais de investimento na expansão e modernização das concessionárias. Neste capítulo, além do principal objetivo acima descrito, foram apresentados também os demais objetivos específicos que se desdobram em vários benefícios adicionais, aumentando a importância e abrangência da solução proposta, devido a: incorporação de Dispositivo Eletrônico Inteligente que além da função de relé digital de proteção integra outras funções com o monitoramento, telecomando e comunicação multiprotocolo; possuir opção para coordenar fontes alternativas de geração distribuída e novas tecnologias emergentes como eletropostos para carros elétricos com impacto controlado quando acopladas à RDS; incorporar no projeto do Protetor de Rede os conceitos de *Smart Grid*, pois uma vez que estas são embarcadas no protetor cuja instalação está na capilaridade da RDS, consequentemente, e sem custo adicional, ajudam na disseminação do *Smart Grid* dentro da topologia da RDS que acontecerá automaticamente; disponibilizar também automaticamente que se possa exercer um gerenciamento mais inteligente do Protetor de Rede e demais ativos da RDS com o uso das ferramentas de monitoramento e comunicação acopláveis ao Protetor de Rede Inteligente; apresentar arquitetura aberta e projeto versátil com adaptabilidade a diferentes modelos de protetores de rede dos seus dispositivos eletrônicos, projeto da parte de potência do protetor de forma a garantir baixo custo e praticidade na operação, manutenção e reposição das peças com fornecimento nacional. Ainda no Capítulo 1 está descrita a metodologia utilizada para atingir os objetivos do trabalho que esteve ligada às atividades de desenvolvimento dos projetos de P&D ANEEL entre concessionárias de distribuição e o IEE-USP, utilizando suas infra-estruturas. Ao final deste Capítulo é

descrita a motivação com base no estado da arte de soluções de automação da RDS no Brasil que justificam o desenvolvimento da solução apresentada neste doutorado.

O Capítulo 2 apresenta o cenário mundial com relação à crescente demanda de novas tecnologias de informação, automação, monitoramento e sistemas mais inteligentes, ou seja: com elevada rapidez e eficácia na obtenção dos objetivos para os quais estão projetados. Discorre sobre como essas tecnologias desempenham um papel fundamental na sociedade moderna e como elas contribuem de forma decisiva para a resolução de importantes desafios para que ela se torne mais próspera, internacionalmente competitiva, saudável, segura e sustentável. Dentro deste cenário são comentadas as várias ações para o tão falado “uso eficiente” da eletricidade e de como uma série de medidas em diversos níveis da sociedade tem sido propostas para alcançar esta busca de uma melhor aplicação das novas tecnologias de modo a favorecer: o crescimento econômico e o desenvolvimento sustentável, a diminuição do consumo de energia, o aumento da eficiência energética, a redução de emissões de gases de efeito estufa, a melhoria na qualidade de vida e o melhor aproveitamento das oportunidades geradas pela globalização. No cenário apresentado neste capítulo é contextualizada a solução desenvolvida e como ela se adequa no curto prazo com o uma opção inovadora para modernizar e automatizar a rede de distribuição de energia elétrica uma vez que, além do crescimento econômico previsto para os próximos anos no Brasil, é propulsionada pela demanda urgentemente de modernização no setor elétrico. Com vistas a estes aspectos a solução apresentada neste trabalho é colocada em de encontro a esta demanda de modernização, oferecendo alternativa técnica-econômica muito viável à realidade nacional para o sistema de distribuição subterrâneo das cidades que inclusive serão sedes da Copa e das Olimpíadas.

Os Capítulos 3 e 4 apresentam o contexto referente aos três temas adjacentes à proposta de modernização da automação nos sistemas de distribuição das grandes metrópoles, cujos benefícios estão diretamente ligados ao uso em escala da solução proposta. Um destes temas correlacionados tratados nestes capítulos referem-se a produção de energia próxima aos centros de consumo de elevada carga nas grandes metrópoles através da Geração Distribuída cujo equacionamento técnico, sob o ponto de vista da proteção da rede de distribuição vinculada à GD, pode ser delegado à solução proposta, com o por

exemplo: acompanhamento do aumento de tensão na unidade consumidora por conta do uso de GD acoplada à RDS, monitoramento da sobrecarga em alimentadores e transformadores causada pela GD, coordenação de fluxo reverso destas fontes geradoras (GD) para evitar o ilhamento não-intensional na RDS. Desta forma, como mostrado neste capítulo, será possível usufruir, de maneira segura, dos benefícios da GD na RDS, tais como: redução da necessidade de investimentos em transmissão, melhoria na estabilidade do sistema local, redução da necessidade de investimento da concessionária de distribuição, possibilidade de uso de um Gerenciamento de Ativos mais inteligente. A incorporação do conceito de *Smart Grid* na RDS facilitaria o Gerenciamento Inteligente de Ativos, uma vez que a solução propiciaria sua disseminação, pois ao embarcar tal conceito em sua arquitetura, pode disponibilizar a toda RDS as vantagens inerentes ao *Smart Grid*.

O Capítulo 5 descreve os detalhes técnicos do Protetor de Rede Inteligente e as características típicas para a RDS onde são usados os protetores de redes. Indica quais metrópoles possuem a topologia de RDS. Descreve o conceito utilizado na construção do Protetor de Rede Inteligente sob os vários aspectos: multifuncionalidade (proteção com base na norma de protetores de rede, monitoramento/comando/comunicação integrados), arquitetura baseada no conceito *Smart Grid*, características construtivas do protetor e seus módulos; demonstrando como foi possível chegar a uma solução com tecnologia nacional e de ponta e com redução de custos;

O Capítulo 6 apresenta uma dimensão estimativa dos ganhos com os custos reduzidos da solução proposta, frente às alternativas importadas com maiores custos geralmente utilizadas na RDS. Uma estratificação dos percentuais e a estratégia usada no mercado nacional do conjunto completo que forma o Protetor de Rede Inteligente é mostrada e em seguida é apresentado o potencial no parque instalado para aplicação da solução, que se for feito em escala favorecerá uma redução ainda maior dos custos, e consequentemente uma melhor otimização do investimento na estagnada RDS das principais metrópoles do Brasil.

No Capítulo 7 estão os comentários conclusivos apontando para os objetivos atingidos e benefícios proporcionados pela solução desenvolvida sob os aspectos técnicos,

econômicos, gerenciais, operativos e de manutenção, onde são sugeridos os trabalhos futuros correlacionados para garantir a continuidade deste tema tão importante para a modernização da RDS no Brasil.

CAPÍTULO 2

2.1 CENÁRIO ATUAL E A DEMANDA DE NOVAS TECNOLOGIAS

Desde os tempos de Thomas Edison, mais de 100 anos atrás, a tecnologia de distribuição e medição de energia elétrica pouco mudou. Um símbolo disso é o medidor de consumo que em tempos de internet de alta velocidade sem fio e telefones inteligentes, o equipamento eletromecânico é uma relíquia, assim como outros ativos da rede como os protetores de redes também eletromecânicos em grande parte nos parques instalados do sistema subterrâneo sem qualquer tipo de automação. E quando são encontrados tais ativos com alguma automação, os mesmos não estão integrados nem ligados às redes de comunicação das empresas. Esta onda de inovações que leva a inteligência da internet às redes de energia vem ajudar as empresas de eletricidade a entender e reduzir os desperdícios com posse de informações valiosas de seus sistemas de proteção e de consumo. O tão falado “Uso Eficiente” da eletricidade, um recurso que custa cada vez mais caro para o planeta e para seus habitantes, está às mãos. Desta forma, é possível se colocar confiante com a mudança que se delineia a partir da reformulação das redes de distribuição e num horizonte maior, da transmissão, a convergência com as telecomunicações e a inovação que se propõe às redes de distribuição que podem se estender às subestações, transformadores e até no processo de medição de consumo.

É essencial promover uma renovação a curto prazo num setor onde as decisões são mais alongadas, assim como os projetos e as suas respectivas execuções. Antecipando-se inclusive a projetos mais abrangentes do cenário da distribuição, que vem sendo impulsionado pela renovação do parque de medidores, o qual prevê ações para os próximos 20 anos, onde todos os consumidores de energia elétrica possam contar com recursos de inteligência. Objetivando ter às mãos dados que lhes permitam programar os gastos e até contribuir para uma sobrevivência maior dos sistemas elétricos, que tanto impactam o meio ambiente e os cofres das concessionárias.

O aspecto de políticas públicas também marca o cenário nacional rumo ao estabelecimento de ações de adequações das regulamentações e das normas gerais dos

serviços públicos de distribuição de energia elétrica, identificação de fontes de recursos para financiamento e incentivos à produção de equipamentos no País. Foi instituído pelo ministro de Minas e Energia, Márcio Zimmermann, por meio de portaria publicada em 16/04/2010 [3] a criação de um grupo de trabalho com o objetivo de analisar e identificar ações necessárias para subsidiar o estabelecimento de políticas públicas para a implantação de um Programa Brasileiro de Rede Elétrica Inteligente (do inglês: *Smart Grid*) [1]. A equipe conta com representantes do Ministério de Minas e Energia, da Empresa de Pesquisa Energética (EPE), do Centro de Pesquisas de Energia Elétrica (CEPEL), da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) e do Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS). Na condução das suas atividades, o grupo de trabalho poderá convidar representantes de outros órgãos que, por terem atuado em áreas afins, possam oferecer contribuições às questões inerentes às atividades.

Esta é uma sinalização concreta para um setor onde as redes elétricas estão enfrentando desafios importantes nos últimos anos, com um horizonte de liberalização do mercado, novo quadro regulamentar, novas tecnologias de geração, redes enfocadas no cliente, aumento da demanda, geração distribuída, questões ambientais, segurança de fornecimento ou envelhecimento da infra-estrutura, são fatores motivadores que exigem uma ação.

Para reforçar a idéia que a oportunidade existe e é um momento mais que oportuno para este investimento na modernização da infra-estrutura do setor de distribuição, vale ressaltar que os investimentos previstos pelo BNDES para o setor elétrico em infra-estrutura foi pouco afetado pela crise econômica de 2009, sendo que serão repassados R\$ 98 bilhões para o setor no Brasil até 2013. [2]. Este montante é superior aos recursos para o setor no triênio anterior, entre 2005 e 2008, e representa uma taxa de crescimento de 7,8% ao ano. Os números são apresentados no boletim Visão do Desenvolvimento, publicação da Área de Pesquisas Econômicas do Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES).

Aquele estudo prevê aportes do banco da ordem de R\$1,3 trilhão no período. O setor elétrico responde por 7,2% desse total, em uma conta que soma apenas projetos já com concessão ou autorização dada pelo governo. O relatório mostra uma perspectiva recorde de investimentos tanto na indústria quanto em infra-estrutura, mas ressalta que

"a infraestrutura foi pouco afetada, mesmo em seu período mais crítico", durante a crise financeira internacional de 2009. Estabilidade é essa que é explicada pelo perfil dos aportes na área, "com retornos de longo prazo, que dependem de decisões menos afetadas pela crise". Aquele documento também destaca a atuação do setor público e dos órgãos reguladores, com exigência de cumprimentos de metas de expansão que levam a maior solidez. A análise, porém, faz um alerta: "em energia elétrica, precisa haver sincronia entre estruturação dos projetos e aspecto ambiental".

A importância das novas tecnologias de informação, automação, monitoramento e sistemas eletrônicos inteligentes têm aumentado significativamente nos últimos anos. Hoje, elas estão presentes em todas as atividades da vida cotidiana. Sem estas tecnologias de forma integrada, os governos não podem funcionar corretamente, hospitais e fábricas não podem operar e salários não podem ser pagos, apenas para dar alguns exemplos. Essas tecnologias desempenham um papel fundamental na sociedade moderna e contribuem de forma decisiva para a resolução de importantes desafios para uma sociedade que quer ser mais próspera, internacionalmente competitiva, saudável, segura e sustentável. Com o eixo de "inovação", essas tecnologias são fatores importantes para todos os setores produtivos da economia. O motor destas tecnologias, entretanto, é a energia, particularmente a eletricidade. Assim, em uma sociedade cujo estilo de vida é fortemente dependente dela, desenvolver tecnologias que permitam não somente a geração, mas também a distribuição de energia de forma barata e limpa e que garantam seu fornecimento ao longo do tempo com a máxima eficiência é uma questão prioritária. Os sistemas baseados em Redes Inteligentes vêm, justamente, atender a esses requisitos, representando o que há de mais moderno no setor elétrico, com aumento e diversificação de fontes de geração distribuída na forma de pequenos geradores, maior interação consumidor-distribuidor de energia, integração de diferentes fontes de geração renováveis (ex.: solar, eólica etc.) [23,27].

O termo *Smart Grid* pode ser definido como o uso da comunicação e de modernos recursos computacionais para melhorar a eficiência e confiabilidade das redes de energia elétrica, e possibilitar a melhoria na oferta e de novos serviços aos consumidores. Esta melhoria equivale a levar o poder da tecnologia da Internet à transmissão, distribuição e uso final da energia elétrica – tem o potencial de criar

economias substanciais para os distribuidores e consumidores reduzindo as emissões de CO₂ (dióxido de carbono: gás de efeito estufa) [4].

Atualmente, Europa e América do Norte já iniciaram ações rumo a esta tendência de obterem mais e mais sistemas baseados em redes inteligentes de energia, com o objetivo de melhorar a eficiência no seu uso final e atender à desregulamentação dos mercados de baixa tensão. Esse processo inclui a implementação de geração renovável em pequena escala, como painéis solares conectados às redes, micro-geradores a gás natural e outros insumos, de forma a fazer frente às metas de reduções de emissões de gás carbônico. O congresso W CIT 2010 [5], realizado em maio/2010 na Holanda, mostra que a conscientização sobre a importância do assunto é cada vez maior em todo o mundo. Mais do que isso, seu foco tem sido ampliado para a integração com outros serviços públicos com o água, segurança, mobilidade, governo, saúde, ambiente, ocupação de espaços urbanos etc. Com o resultado daquele encontro, foi publicada a Declaração de Amsterdã [5], documento que propõe uma série de medidas em diversos níveis da sociedade na busca de uma melhor aplicação das novas tecnologias de modo a favorecer o crescimento econômico e o desenvolvimento sustentável, a diminuição do consumo de energia, o aumento da eficiência energética, a redução de emissões de gases de efeito estufa, a melhoria na qualidade de vida e o melhor aproveitamento das oportunidades geradas pela globalização, além da integração desses benefícios com outras necessidades e serviços públicos.

No Brasil, essas discussões têm avançado rapidamente, uma vez que tanto o governo como a iniciativa privada já percebem a importância de criarem capacitação tecnológica nessas novas áreas que, em breve, estarão dominando a área energética. Algumas ações já estão em curso. A Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel) tem tomado iniciativas importantes no sentido de modernização da infraestrutura de eletricidade no país, incluindo a realização de consulta pública sobre modernização eletrônica, a regulamentação do uso da comunicação pela rede elétrica e o início de um estudo sobre melhorias na metodologia de cálculo de tarifas de eletricidade. Além disso, o MME está dando ênfase ao Plano Nacional de Eficiência Energética (PNEF). O PNEF é o responsável em descrever a estratégia a ser adotada para garantir os 10% de redução de consumo elétrico por meio do aumento da eficiência energética, como previsto no Plano Nacional de Energia 2030.

Entre os agentes consumidores, os projetos desenvolvidos se concentram, de uma maneira geral, em redução de custos pelo acesso ao mercado livre e na busca de eficiência energética, seja através de substituição de equipamentos ou pela modulação da carga e monitoramento do consumo. Em alguns casos, tem havido o interesse crescente por estudos de co-geração de energia, que em nosso país, por questões tributárias, tem retorno maior em várias aplicações do que na maioria dos países do mundo [19, 20, 21].

Os sistemas elétricos ficam vulneráveis à medida que não incorporaram avanços da telecomunicação e da eletrônica, sendo ainda manuais e arcaicos. Esta realidade é ainda mais crítica para os sistemas de distribuição subterrâneos das principais metrópoles do Brasil [35].

O cenário energético nacional tem que avançar de forma mais rápida. Nas distribuidoras, o foco claramente deverá continuar sendo na redução de perdas comerciais e de custos operacionais, o que inevitavelmente, de forma forçada ou por iniciativa própria, não poderá postergar mais a modernização dos ativos com crescente instalação de dispositivos eletrônicos inteligentes nos clientes de baixa tensão (ex.: medidores eletrônicos, dispositivos eletrônicos inteligentes para monitoramento e diagnóstico, sistemas de proteção inteligentes etc.) [36,37].

2.2 TECNOLOGIAS INTELIGENTES NA RDS DAS GRANDES METRÓPOLES

Esta tese de doutorado apresenta uma solução com tecnologia nacional para Protetores de Redes, tendo em vista as premissas do conceito de *Smart Grid*, tornando estes equipamentos, que são imprescindíveis para as Redes de Distribuição Subterrânea Secundária Trifásica, um elemento importante para alavancar e disseminar a topologia de Redes Inteligentes para as RDS's.

O conceito de Rede Inteligente foi incorporado na solução de automação, controle, telemetria, monitoramento embarcada nos Protetores de Redes Inteligentes para redes de distribuição subterrâneas proposto aqui neste trabalho, viabilizando o que de mais avançado há para agregar estas tecnologias aos equipamentos centrais do subterrâneo (Protetores de Rede) e seus adjacentes. Tornando-os mais inteligentes, ou seja, capazes

de realizar a proteção do sistema subterrâneo com maior eficácia e rapidez através da incorporação de funções de monitoramento, comunicação e tele-comando.

Soluciona também um entrave técnico que impossibilitaria o uso da geração descentralizada e distribuída com o uso, por exemplo, de painéis de energia solar, geradores elétricos à gás, pequenas unidades eólicas etc., dentro destes centros urbanos das metrópoles com sistemas subterrâneos que possuem topologia de rede reticulada em malha ou reticulado exclusivo (tipo *grid* ou *spot network*). Isto porque tais geradores de fontes alternativas estando interligados com a rede com fluxo bidirecional da energia excedente, no momento que esta potência fosse injetada na malha causariam desligamento dos protetores de rede. Porém, a solução proposta, com a inteligência incorporada no módulo de controle do protetor de redes, identifica este fluxo não como uma falha por fluxo reverso de potência, possibilitando assim, a disseminação do uso de geração distribuída de qualquer fonte alternativa renovável por toda a capilaridade característica destes sistemas de distribuição subterrânea. Estas características integradas se combinam para proporcionar um Gerenciamento Inteligente de Ativos da RDS. São fortes as tendências de mudar o mix energético nos países com a entrada de novas fontes com o eólicas e solar, além de novos usos da energia com os carros elétricos. As empresas têm que ter a capacidade de manter a segurança de fornecimento e não mudar muito a carga. Arquiteturas com *Smart Grid* têm potencial de dar maior flexibilidade ao gerenciamento do mix energético e assegurar o suprimento de energia como ilustrado na Figura 1. [23,27].

Os Protetores de Redes Inteligentes (incorporados do conceito de *Smart Grid*) são necessários para a implantação de forma efetiva destas pequenas fontes geradoras distribuídas formando o mix energético nas grandes metrópoles com sistemas subterrâneos. Assim, os sistemas de distribuição podem acompanhar esta mudança da lógica para uma operação regional, tão benéfica em tornar realidade a formação de uma matriz energética mais diversificada a partir dos grandes centros consumidores, em contraste à total dependência de usinas predominantemente hidrelétricas, interligadas em grandes blocos [27].

Suprir a demanda nos horários de pico

Atendimento ao consumo dos centros comerciais e hotelaria nas metrópoles nos horários de pico, através de fontes limpas de autoprodutores, desafogando o sistema de geração hidroelétrica, como quer a ANEEL. Ao invés de correr o risco de pagar mais caro nos horários de pico.

Automação da RDS

Rede de Distribuição Subterrânea nas grandes metrópoles com Smart Grid incorporado no Protetor de Redes desenvolvido que integra teleproteção, telecontrole, telecomando e telemonitoramento.

O sonho do smart grid

Um sistema inteligente de distribuição aproveitaria informações e energia geradas em qualquer ponto da rede

Fonte [Revista Época, "O sonho do Smart Grid", 23/07/2009.]

Geração Distribuída

Figura 1: Concretizando *Smart Grid* a partir da automação de redes de distribuição subterrâneas dos grandes centros urbanos com a utilização da solução desenvolvida para os protetores de rede.

Existe uma pressão muito grande impelindo à necessidade de mudança devido à geração de energia limpa, ações de eficiência energética, microgeração, carros elétricos etc. Impulsionando as fontes alternativas com modernização dos sistemas de distribuição, coloca-se à frente dos responsáveis por atender as necessidades do mercado nos próximos anos, a grande demanda que o Brasil sofrerá com as obras e eventos relacionados à Copa de 2014 e à Olimpíada de 2016, além das demandas do consumo interno do País que espera crescer 5% ao ano em 2010¹.

Seria a situação ideal para uma rede de energia com tecnologia capaz de redirecionar ou readaptar-se em momentos de “apagões” com as fontes distribuídas alternativas de energia elétrica, onde estão conectados milhares de aparelhos de ar-condicionado dos prédios e centros comerciais, chuveiros elétricos, sistemas vitais de hospitais, aeroportos, sinais de trânsito. Imagine o próprio consumidor gerando, armazenando e injetando energia no sistema em momentos de desabastecimento. Tudo isso sem causar impacto na proteção de fluxo reverso de energia destes sistemas de distribuição.

Os sistemas de distribuição atuais, principalmente os subterrâneos de alta performance e de alta disponibilidade (reticulado exclusivo e/ou reticulado em malha), tratados no escopo deste trabalho, não possuem automação e estão em estado acentuado de fim de vida útil de seus equipamentos de proteção que têm idade acima de 20 anos. Estes parques estão presentes nos grandes centros metropolitanos com alta densidade de carga como São Paulo, Rio de Janeiro, Belo Horizonte, Brasília, Curitiba etc. [42,43].

Um sistema elétrico mais eficiente e confiável está além dos simples esforços de construção de usinas e ampliação da rede de transmissão. Nos Estados Unidos, a confiabilidade do sistema é de 99,97%. No entanto, isso não impediu que 55 milhões de americanos ficassem às escuras em 2003, quando houve um grande apagão na região Nordeste daquele país. A modernização dos sistemas para uma rede inteligente facilitará o diagnóstico de problemas, podendo também baratear tarifas por estratificar o consumo e até reduzir consideravelmente as fraudes. Esta tecnologia pode mudar todo o setor elétrico no médio prazo. O governo americano aprovou em 2009 a liberação de US\$ 3,4 bilhões para projetos de demonstração de tecnologias com base no conceito *Smart Grid*. Na Austrália, o governo ofereceu 100 milhões de dólares australianos para quem queira

¹ Fonte: BNDES

testar estas tecnologias em uma cidade modelo. O Brasil, por sua vez, que possui um sistema com menor confiabilidade, tem uma oportunidade única para se colocar à frente juntamente com estas grandes potências, modernizando sua infraestrutura. O apagão, com efeito cascata em novembro de 2009 devido a queda de três linhas de transmissão de Itaipu, levou ao colapso outras 15 e atingiu 18 estados, mostrou que uma das fragilidades do setor elétrico está justamente numa das suas principais características: a rede integrada. Uma vez mais fica claro que é necessário diversificar a matriz energética, investindo em formas alternativas e mais próximas dos grandes centros com sistemas de proteção mais adequados.

Não será suficiente simplesmente construir grandes hidrelétricas e novas linhas de transmissão, como ações alternativas no setor elétrico para um Brasil que será sede da Copa do Mundo em 2014 e Olimpíadas em 2016. O investimento deverá migrar do capital intensivo em tecnologias de geração de energia, para soluções associadas a gerações alternativas e distribuídas, como a eólica e solar, e principalmente em tecnologias de armazenamento de energia, transportes e eficiência energética. Um exemplo destas tecnologias de armazenamento está, por exemplo, nos fabricantes de bateria *lithium-ion* (que tem vida longa e pode ser recarregada diversas vezes), que uma vez aliadas as iniciativas no setor de *Smart Grid*, oferecerão uma série de possibilidades de ajuda para que distribuidoras de eletricidade operem sistemas de forma mais eficiente e confiável.

Além de investimentos em transportes, estádios, aeroportos visando estes eventos altamente intensivos em energia e infraestrutura, serão igualmente necessários realizar investimentos na rede de distribuição de energia elétrica. Deixar de investir no momento certo poderá causar consequências cujos problemas surgirão somente dois ou três anos depois, uma vez que as distribuidoras atuam no varejo da energia.

2.3 SOLUÇÃO DE MODERNIZAÇÃO PARA A AUTOMAÇÃO NA RDS

A solução apresentada neste trabalho vai ao encontro desta demanda de modernização, oferecendo alternativa técnico-econômica viável à realidade nacional para o sistema de distribuição subterrâneo das cidades que inclusive serão sedes da Copa e das Olimpíadas. A figura 2 ilustra uma infraestrutura para as grandes metrópoles com RDS

que demandariam soluções integradas de automação, monitoramento com proteção e controle propiciando geração distribuída e mobilidade de carga num cenário de redes elétricas inteligentes.

Figura 2: Diagrama ilustrativo de centros urbanos com sistema elétrico de distribuição subterrâneo, fontes crescentes de demandas de consumo, fontes alternativas de geração distribuída em um cenário com *Smart Grid*.

Como a regra é invariavelmente a mesma desde sempre: sem viabilidade econômica e retorno financeiro para as empresas, as tecnologias não se aplicam; a solução desenvolvida com tecnologia nacional é de menor custo e possibilitará no curto prazo a troca dos equipamentos similares da Rede de Distribuição Subterrânea (RDS) que estão com equipamentos de tecnologias ultrapassadas, ou seja, os protetores eletromecânicos, os quais formam um parque extremamente antigo e com alto risco de falha. Também com relação à aquisição de novos Protetores de Redes, a solução desenvolvida reduz os investimentos que as concessionárias deveriam fazer, e que por sinal não vinham fazendo devido aos altos custos da única solução existente, a importada. Esta situação tem estagnado a renovação do parque. A dependência da solução importada também onera o investimento em manter o parque instalado. Tais soluções mantêm um monopólio no fornecimento das partes, peças de reposição, acessórios, ferramentas, etc.

uma vez que os projetos eletromecânicos são dedicados, exclusivos, não são modulares tem arquitetura fechada, não permitindo qualquer tipo de integrabilidade e interoperabilidade com outras soluções [29, 36, 37].

Outro aspecto preocupante da falta de uma automação mais inteligente são os incidentes que vêm ocorrendo de forma cada vez mais frequentes, inclusive com acidentes graves no subterrâneo como no Rio de Janeiro [Fonte: Jornal O Globo, 29/06/10, “Tam pa de câmara subterrânea explode e fere com queimaduras turistas americanos no centro do Rio de Janeiro”], e em Brasília [Fonte: Jornal o Estadão, 18/03/2010, “Dois apagões em uma semana no sistema de distribuição de Brasília”] e em São Paulo [Fonte: Jornal Folha de São Paulo, 11/05/2010, “Mini-apagão no centro de São Paulo devido ao rompimento do cabo no sistema subterrâneo”] [7, 8, 9].

O crescimento da demanda por conta de crescimento pós-crise de 2009 será inevitável, sendo que os economistas preveem que nos próximos 7 anos o país irá dobrar sua oferta de energia com um acréscimo de cem mil megawatts. Neste cenário, é imprescindível voltar as atenções aos parques do sistema de distribuição que estão em estado crítico e no seu limite com equipamentos muito antigos, obsoletos, em fim de vida útil, os quais se continuarem a receber aumento de carga e demanda sem serem renovados, entrarão em colapso. No início de novembro de 2009, 400 transformadores em 30 bairros no Rio de Janeiro desligaram [fonte: Jornal O Globo, capa, pg 13-14, 16/11/2010], deixando 1500 clientes sem eletricidade devido ao grande uso de ar-condicionado e ventiladores [10].

As Redes de Distribuição Subterrâneas (RDS) atuais dos grandes centros metropolitanos, embora tenham sido concebidas com topologia para terem alta confiabilidade, utilizando conexão em malha com múltiplos alimentadores para uma mesma carga, além de estarem com alto grau de degradação não possuem um sistema adequado de automação compatível com sua topologia de alto desempenho e mínimo índice de falhas. O sistema reticulado, como o de Brasília (reticulado exclusivo: *spot network*) que estrategicamente assim foi construído, pelo fato de abrigar o governo central, deve possuir alta disponibilidade e confiabilidade, pois foi projetado para suportar a perda de alimentadores de média tensão sem interrupção de eletricidade para os consumidores de baixa tensão. A cada perda de alimentador o sistema entra em

situação de contingência. Os dispositivos responsáveis por isolar a perda dos alimentadores, qualquer que seja a situação, são os chamados protetores de redes (*Network Protector*) que funcionam como chaves religadoras automáticas comandadas por relés digitais com diversas funções de proteção. Dependendo da capacidade de reserva projetada para os circuitos subterrâneos, e o efeito dominó que podem ocorrer devido a subseqüentes situações de contingência, pelo fato destes protetores existentes não possuírem módulos de detecção integrados a sistemas de telemetria com os centros de operação da distribuição. Sem estas opções de controle à distância, o defeito ocorrerá no reticulado, mesmo sendo uma topologia projetada em malha para garantir a alta disponibilidade. O sistema entrará em colapso causando a perda destes equipamentos (*Network Protector*), dos cabos de média tensão, dos transformadores, sem mencionar nas demais perdas patrimoniais e ameaças à segurança devido aos inevitáveis incêndios agravados em casos de subterrâneos com maior periculosidade pela presença de gases combustíveis (Ex.: Rio de Janeiro e São Paulo) [7, 9, 10].

A maioria das contingências do subterrâneo existe por não haver um Gerenciamento da Indisponibilidade. Isto acontece, porque a topologia está projetada para não deixar sem eletricidade o consumidor. As RDS's atuais estão desprovidas de automação, a qual teria a função de enviar alertas à manutenção e/ou operação das empresas para ações pró-ativas. Tão pouco o consumidor irá perceber tais falhas para em última instância poder informar os sistemas de emergência das concessionárias em caso de primeira contingência do sistema (para a RDS não aconteceria nem mesmo em falha de segunda ou até terceira contingência). Isto leva as falhas a perdurarem, e a partir deste ponto, a qualidade da energia que está sendo fornecida fica comprometida. Por outro lado, os equipamentos do consumidor conectados à rede ficam submetidos à má qualidade da energia em situações como estas: instabilidade causada e afundamentos de tensão, falta de fases, *flicker*, desequilíbrio de fases, curto de alta impedância etc. No sistema subterrâneo, para que haja interrupção da energia, o problema geralmente tem sua causa na perda de função de algum dos seus elementos do circuito por deterioração dos próprios protetores de redes, com defeito incipiente não detectado a tempo, ou por relés eletromecânicos que param de funcionar por estarem obsoletos. Outra causa é o progressivo agravamento de estados de defeito incipiente nos demais equipamentos do subterrâneo, que no tempo adequado, não tiveram identificados tais defeitos e levaram a

um efeito cascata de falhas destrutivas. Como exemplo ilustrativo podemos citar: um curto de alta impedância que, se não identificado, o sistema irá suportá-lo, porém, acumulando perdas por efeito Joule, e ao persistir, progredirá agravando a perda de isolamento dos cabos. Esta impedância de isolamento irá diminuindo até estabelecer curto franco para terra com inevitável perda catastrófica. O Brasil possui um dos maiores índices de perdas no seu sistema elétrico. A grande maioria deles podendo ser evitadas com um mínimo requisito de automação implementado.

Soluções que reduzam tais perdas são desejáveis, e as funções de automação embarcadas no protetor de rede inteligente podem melhorar este cenário para a RDS. O protetor de redes desenvolvido possui no seu Dispositivo Eletroeletrônico Inteligente, além das funções de proteção tradicionais regidas por norma específica para protetores de rede (IEEE C57.12.44-05) [11], toda uma arquitetura baseada no conceito de *Smart Grid*: auto-cura (detectar, analisar, responder, restaurar, expansível, integrável a equipamentos de outras topologias e outros fabricantes, arquitetura aberta, sistemas de comunicação padrão: ex. IEC 61850) [12]; acomodar diferentes opções de geração local com fluxo bidirecional; otimizar o uso do ativo e minimizar custos de O&M (operação e manutenção); garantir efetivamente confiabilidade e eficiência no fornecimento de energia elétrica. Outro impacto positivo da solução desenvolvida é a possibilidade de uma maior integração entre as equipes de Manutenção e Operação. Através de sua característica intrínseca que é a integrabilidade entre proteção, controle e monitoramento, permite uma efetiva Gestão da Indisponibilidade, possibilitando que as equipes de Manutenção e de Operação possam compartilhar a automação do sistema de forma única, até então não disponível. Tal tecnologia permitirá que cada equipe trabalhe em seu ambiente, de forma transparente à outra, ambas operando de forma colaborativa.

2.4 PROTETOR DE REDES INTELIGENTE E A RDS

Como dito anteriormente, esta tese de doutorado apresenta uma solução que disponibiliza os benefícios do *Smart Grid* através dos equipamentos mais importantes e estratégicos presentes na topologia das Redes de Distribuição Subterrânea Secundária Trifásica: os Protetores de Redes. A partir do centro nevrálgico das Redes de Distribuição Subterrâneas, cuja topologia está presente nos centros de alta concentração de carga das principais metrópoles do Brasil, a solução desenvolvida pode viabilizar

técnica e economicamente os avanços do *Smart Grid*, propiciando um salto tecnológico expressivo para as distribuidoras de energia elétrica.

Isto possibilita:

- ✓ Melhor controle do processo para uma melhor otimização da rede dando suporte a inúmeras políticas públicas, desde integração das intermitentes fontes renováveis na forma de Geração Distribuída, até uma interação mais dinâmica com os consumidores;
- ✓ Maior flexibilidade às concessionárias em relação ao uso da energia para atingir o grande objetivo social de redução do efeito estufa e otimização do consumo de energia, reduzindo perdas e desperdícios;
- ✓ No curto prazo, os benefícios diretos da melhoria do gerenciamento da indisponibilidade, gerenciamento otimizado dos ativos e do capital, melhoria no planejamento, processos e serviços de fornecimento e usos finais de energia, aumento de eficiência de manutenção, redução de perdas técnicas e comerciais, otimização do investimento na compra de novos protetores de rede.

O alto índice de confiabilidade e disponibilidade são fatores primordiais em se tratando de RDS. Por este motivo é que esta topologia de distribuição subterrânea reticulada foi escolhida para os centros urbanos das grandes metrópoles no Brasil. As altas e concentradas densidades de carga de consumidores, que devido às características urbanísticas com que estas cidades foram se desenhando, justifica o complexo sistema de distribuição reticulado. Este, por sua vez, que utiliza vários pontos de alimentação para atender uma mesma carga, os quais garantem uma maior confiabilidade no fornecimento de energia elétrica. A Tabela 1 mostra o alto índice de confiabilidade dos sistemas subterrâneos reticulados (Malha e Exclusivo), utilizados nos centros urbanos das principais metrópoles do Brasil (São Paulo, Rio de Janeiro, Belo Horizonte, Brasília, Curitiba etc.) comparando-o a diferentes topologias para sistemas de distribuição de energia elétrica.

Tabela 1: Com paração entre diferentes topologias para sistemas de distribuição apontando os índices favoráveis da topologia reticulada exclusiva e/ou malha.

Índices Topologias	Interrupções por ano	Tempo de restabelecimento (min)	Tempo de interrupção por ano (min)	Interrupção momentânea por ano (min)
Radial Simples	0.3 a 1.3	90	27 a 117	5 a 10
Auto-loop Primário	0.4 a 0.7	65	26 a 46	10 a 15
Residencial Subterrâneo	0.4 a 0.7	60	24 a 42	4 a 8
Primário Seletivo	0.1 a 0.5	180	18 a 90	4 a 8
Secundário Seletivo	0.1 a 0.5	180	18 a 90	2 a 4
Spot Network (Reticulado Exclusivo)	0.02 a 0.1	180	3.6 a 18	0 a 1
Grid Network (Reticulado Malha)	0.005 a 0.02	135	0.7 a 2.7	0

Fonte : Settembrini, R.C., Fisher, J.R., and Hudak, N.E.[22]

Podemos perceber que dos índices da tabela 1 de confiabilidade para diferentes configurações das redes de distribuição, os únicos que não são favoráveis à topologia RDS de alto desempenho (Reticulado Exclusivo e Malha), são os tempos em que os pontos em falha persistem até que seja re-estabelecida a normalidade do sistema pelo pessoal de Operação e Manutenção (O&M). Este fato ocorre, em grande parte, porque não existe automação na RDS. Os protetores de redes existentes, sequer possuem implementadas opções de sinalização remota e de telecomando à distância para rápida identificação de falha e imediata recomposição remota do sistema. Caso alguma destas opções como, telecomando, teleproteção, telemonitoramento, estivessem presentes, tais problemas poderiam ser resolvidos através de reconfiguração do protetor de redes ou

por ações corretivas nos pontos de falhas da RDS com base em informações que pudessem ser enviadas remotamente por dispositivos eletrônicos. Por falta dessas opções, a localização da falha torna-se muito mais demorada, sendo agravada por ser um ambiente subterrâneo e, conseqüentemente, torna-se tardio o restabelecimento da normalidade do fornecimento de energia elétrica [35].

CAPÍTULO 3

3.1 GERENCIAMENTO INTELIGENTE DE ATIVOS

Um gerenciamento de ativos procura antes de mais nada garantir uma maior disponibilidade dos equipamentos, reduzir variabilidade do processo e os custos de manutenção, ou seja, é obter maior tempo e qualidade de produção e reduzir as perdas. Com uma solução para gestão eficaz de ativos é possível analisar o desempenho dos equipamentos, prognosticar problemas, delimitar soluções alternativas e ações para a otimização, além de melhorar o planejamento estratégico [28].

As concessionárias possuem e utilizam inúmeros ativos industriais para produzirem seu produto/serviço que é a energia elétrica. O ativo que introduz o conceito de redes inteligentes (*Smart Grid*) às Redes de Distribuição Subterrâneas (RDS) e viabilizam um gerenciamento inteligente dela e dos demais ativos, trata-se do equipamento elétrico que é vital da topologia das redes de distribuição subterrânea: o Protetor de Rede Inteligente desenvolvido [35, 36, 37].

Desde o momento em que são instalados, os equipamentos de uma planta começam a se degradar de alguma forma. Esta degradação muitas vezes não é percebida até que algum problema ocorra.

Gerenciar ativos é garantir que todos os equipamentos que executam os processos de produção, transformação, transmissão e distribuição de energia elétrica funcionem em sua melhor condição. É reduzir a degradação para que se possa trabalhar em condição ótima o tempo todo [13], [14] e [15].

Operar a planta em uma condição “não ótima” ocasiona perdas indesejadas, tais como:

- ✓ Paradas indesejadas;
- ✓ Nível elevado de variabilidade de processo;
- ✓ Maior desgaste dos equipamentos (menor vida útil e custos elevados de manutenção):

Um programa de gerenciamento de ativos gera benefícios nos diferentes ciclos de vida de uma planta, pois são inúmeras as oportunidades para melhoria [28];

✓ Partida ou *start up* mais confiável:

Instalação ou partida inapropriada são algumas das principais causas de falhas em equipamentos, portanto se tirarmos o proveito de alguma tecnologia que nos permita registrar a assinatura destes equipamentos no momento do *start up*, além de reduzirmos o tempo de comissionamento e *start up*, estaremos armazenando informações e acompanhando o funcionamento destes ativos desde o momento de sua partida. Será possível então identificar, instantaneamente, alguma falha ou situação “não conforme”, evitando-se situações indesejadas ou reduzindo-se o tempo necessário para identificar e resolver os problemas;

✓ Maximização da operação:

O aumento de 1% de disponibilidade ou redução de variabilidade pode representar alguns milhões de reais por ano [14]. O gerenciamento apropriado dos ativos permite a implementação de programas de manutenção centrada na confiabilidade, que tem por base as práticas de manutenção preditiva e pró-ativa. Estas práticas dependem de tecnologias, procedimentos apropriados para um Gerenciamento de Ativos adequado e, quando implementadas apropriadamente, levarão ao aumento de disponibilidade da planta, menor desgaste dos ativos, menores custos de manutenção e menor variabilidade de processo;

✓ Aumento da vida útil de uma planta:

Conforme já mencionado, um programa de gerenciamento de ativos poderá efetivamente reduzir os desgastes dos ativos e aumentar sua vida útil. Além disso, quando gerenciamos ativos, acompanhamos seu funcionamento ao longo do tempo e, desta forma, podemos planejar melhor as intervenções, devido à visibilidade de como este ativo está e vem operando ao longo do tempo.

Gerenciamento de Ativos é algo fundamental para aquelas empresas que querem continuar sendo competitivas em um mercado cada vez mais forte, pois se trata de ganho (R\$) que se converte em vantagem competitiva.

Para a implementação de uma solução deste tipo, que possa integrar proteção e controle (Operação) e monitoramento (Manutenção), torna-se necessária a existência de instrumentos de campo inteligentes, ou seja, que possuam diagnósticos, teleconfiguração, telecomando, telemonitoramento, como a solução desenvolvida e

apresentada neste trabalho. Isso irá possibilitar uma questão fundamental que é o Gerenciamento da Indisponibilidade. Este é fator primordial para garantir a alta confiabilidade nas RDS das topologias Retículo Exclusivo ou Retículo em Malha [22, 32].

Além de permitir configurar e gerenciar calibração, ter rastreabilidade dos eventos associados a cada instrumento, acessar diagnósticos, interagir com outros dispositivos ou instrumentos de diferentes fabricantes, estas ferramentas devem permitir integração com softwares de gerenciamento de manutenção (SAP, Datastream, Máximo, etc.). O próprio instrumento quando identifica um problema ou situação “não conforme” do equipamento monitorado, poderá criar uma ordem de serviço no sistema de gerenciamento de manutenção e/ou sinalizar o estado destes equipamentos à gerência de operação.

Figura 3: Integração com sistemas de gerenciamento da manutenção e operação. Fonte: baseado em figura da referência [14].

A Figura 3, ilustra um diagrama onde a informação de campo pode ser disponibilizada aos sistemas de gerenciamento da manutenção, operação e vice-versa.

Gerenciar os ativos da empresa é muito mais do que fazer o levantamento contábil do que ela possui em suas instalações. Simplesmente encarar os equipamentos de forma a

constar no balanço anual e calcular suas depreciações é apenas um dos importantes aspectos deste gerenciamento [16].

Ativo é tudo o que permite o fluxo monetário para dentro da empresa. Isto posto, já é possível inferir o quanto importante é obter o máximo de rendimento possível de cada ativo da empresa e sua relevância dentro do processo [16].

Atualmente, num mundo competitivo onde cada centavo deve ser otimizado e o máximo de produção obtido dos equipamentos, saber a condição imediata de cada ponto dessa estrutura é essencial para que a empresa possa posicionar-se de forma pró-ativa no mercado e estabelecer suas estratégias.

É aí que entra o gerenciamento inteligente de ativos em sua melhor versão: saber o que existe, onde está e em que condição de funcionamento. Saúde financeira baseia-se também em fluxo de caixa. Mais importante que quanto de receita há para receber, é quando este valor estará disponível para uso da empresa. O gerenciamento dos ativos entra nesse jogo, porque é essencial saber quando serão necessárias paradas de manutenção, qual o custo de cada parada e qual o período que o fornecimento de energia poderá estar comprometida [14, 16, 28].

Apesar da grande evolução que as ferramentas de software gerencial alcançaram na análise dos dados e no melhor fluxo de informações, existe ainda um “gap” entre as situações de campo e a administração geral. Não existe ainda, o fluxo *on-line* integrado de informações do “campo” para a administração, o que permitiria saber, no instante desejado, qual o *status* dos equipamentos, histórico e previsões. Mais ainda, as informações pertinentes à manutenção dos ativos, muitas vezes, não chegam com a integridade necessária ao banco de dados. E, como todo usuário de informática já pode perceber, dados incompletos geram informações e decisões incompletas.

O maior desafio é anular (ou minimizar) o “gap” entre o “campo” e a alta gerência da empresa, o que pode ser conseguido através de equipamentos que obtenham os dados de campo (sinais digitais, analógicos, seriais) e transmitam-nos através da rede de informática TI (Tecnologia de Informação) da empresa. A solução proposta utiliza

várias alternativas de TI aproximando-as ao que de mais avançado existe em TA (Tecnologia da Automação), diminuindo de forma efetiva o enorme “*gap*” existente no sistema das RDS’s [44].

A oportunidade de se ter uma outra realidade para as concessionárias de distribuição pode ser alcançada a partir da automação com topologia *Smart Grid* de suas redes de distribuição subterrâneas com os protetores de redes que integram proteção, controle e monitoramento em tempo real.

3.1.1 INTEGRANDO MANUTENÇÃO, OPERAÇÃO E O NEGÓCIO

As empresas concessionárias dispõem de três ambientes que mais e mais tendem a ser integrados, deixando de trocar informações apenas com a periodicidade necessária ao andamento dos negócios, são eles: o Ambiente de Operação, o Ambiente de Manutenção e o Ambiente de Negócios. Os dois primeiros que estão inseridos na base do triângulo referem-se à área técnica e engenharia, ao passo que a última está na camada usualmente chamada de “escritório” (Fig. 4).

Figura 4: Ambiente corporativo das concessionárias: visão integrada da operação, manutenção e negócio [18, 28].

O ambiente de Operações é o responsável por administrar a distribuição de energia elétrica aos seus consumidores, e geralmente tem o objetivo de processar os insumos (energia elétrica recebida das geradoras) de forma a distribuir o maior volume possível como produto final e evitando ao máximo as perdas e impactos negativos ao meio

ambiente. As Operações estão ligadas aos departamentos de engenharia e têm a responsabilidade pelo manuseio e operação de equipamentos elétricos para desenvolver com plenitude seu objetivo.

No que se refere aos ativos manuseados pelo setor de Operações, podemos dividi-los em dois grandes grupos: os equipamentos elétricos e os equipamentos de automação.

Dentre os ativos mais importantes na RDS, coloca-se em primeiro lugar os Protetores de Rede, devido ao seu alto valor agregado e função estratégica na configuração da topologia para sistemas reticulados de distribuição (malha ou exclusivo) em seguida tem-se: os transformadores, as chaves primárias, os disjuntores de média tensão e os cabos de energia. Os equipamentos de automação têm o objetivo específico de extrair o máximo da utilização dos equipamentos elétricos e/ou eletromecânicos, em quantidade e qualidade, objetivando atingir a meta ideal de 100% da capacidade dentro dos limites do projeto de cada equipamento. Chama-se a isso de maximização da Utilização dos ativos de uma planta. A utilização pode ser definida como o percentual do montante de energia a ser distribuída em um dado momento, comparado à capacidade máxima possível conforme projeto dos equipamentos da planta.

E para se conseguir o adequado uso dos ativos e o benefício adicional do aumento da utilização destes ativos nas RDS's, tornam-se indispensáveis as implementações de componentes da automação. Como o item de proteção é um equipamento que necessariamente deve estar presente na RDS, e uma vez que o Protetor de Rede Inteligente desenvolvido traz agregado o Dispositivo Eletrônico Inteligente (DEI), o qual agrupa num único hardware as funções de Proteção & Controle e Monitoramento & Diagnóstico permite a automação necessária à RDS. Desta forma obtêm-se os benefícios do gerenciamento daqueles ativos do sistema reticulado e indiretamente a RDS passa a incorporar a topologia *Smart Grid*.

Para deixar a automação em um nível ainda mais adequado para o gerenciamento dos ativos, é preciso instalá-los, levando em conta a boa qualidade de medida (com precisão e repetibilidade), de forma adequada a cada tipo de aplicação, com bom dimensionamento e com instalação correta conforme as boas práticas e suas normas

específicas. Todos os sensores são conectados ao Protetor de Redes Inteligente através das entradas analógicas e digitais do módulo de monitoramento do DEI do protetor. Os altos índices de confiabilidade da topologia Reticulado Exclusivo e Reticulado Malha só podem ser validados através do adequado monitoramento propiciado pela Tecnologia da Automação, por exemplo, como a que está presente no Protetor de Redes Inteligente.

A conexão entre os dispositivos de campo e os sistemas de controle é feita por meio de redes de campo cuja seleção e implementação devem seguir normas específicas e serem utilizados materiais e serviços de instalação, de qualidade, para não comprometer a comunicação. Boas práticas de engenharia são novamente requeridas nos sistemas de controle para a seleção de estratégias de controle corretas, e para a sintonia das malhas para o seu melhor desempenho individual [15, 30, 31].

A tecnologia de software que pode ser usada para o protetor desenvolvido atua sobre o seu sistema de controle, rodando em tempo real, verificando o desempenho das malhas de controle, o desempenho dos sistemas de alarmes, as interferências mútuas entre distintas malhas de controle e requeirando, quando for o caso, uso de controles avançados para redução de variabilidade e otimizações em tempo real. Isto tudo para levar os equipamentos da RDS aos limites extremos, mas seguros, de sua capacidade de utilização.

Outro ponto importante são os meios de comunicação que dependem da infraestrutura disponível no complexo sistema subterrâneo das RDS, onde realizar uma obra para, por exemplo, lançar fibra ótica, pode inviabilizar todo o processo. Para solucionar este problema, o protetor desenvolvido possui implementado no seu DEI opções de conectividade com fibra ótica, com comunicação serial (RS-485 ou RS 232), com *modem* celular ou rádios (ex.: rádios *mesh* ou rádio em malha), permitindo o que mais comumente se necessita em projetos de comunicação em RDS, soluções híbridas.

Estas tecnologias digitais auxiliam, de forma expressiva, esse esforço de produtividade e qualidade, e o pessoal de Operações poderá usufruir de forma imediata destes benefícios com a solução proposta neste trabalho para a RDS.

Os engenheiros de desenvolvimento de processo, os engenheiros de projetos e o pessoal de Operações são hoje plenamente qualificados para especificar os requisitos que esperam dos instrumentos de campo, dos sistemas de controle e dos softwares de melhoria de utilização dos recursos da planta. Um processo de "aculturação" que seria natural de se esperar pode, então, consolidar-se no curto prazo.

O ambiente de Negócios tem também uma larga experiência no uso de tecnologias digitais em seu âmbito de trabalho. Os computadores têm sido usados na área contábil, em recursos humanos, em compras, em vendas há muitos anos. Foi nesta área da empresa que os computadores chegaram em primeiro lugar. Com o passar do tempo, muita coisa mudou em termos de tecnologia. Em vez de ilhas, os sistemas corporativos são hoje muito mais integrados com soluções, por exemplo, de ERP (*Enterprise Resource Planning*: Planejamento de Recursos da Empresa), através de redes que interligam e facilitam a tramitação de dados através de toda a área de comando da empresa, entre sede e filiais, com os clientes, com os fornecedores, com entidades reguladoras, com o fisco, etc.. A importância destes sistemas de negócios acabou por modificar a estrutura operacional das empresas, tendo sido criadas divisões de Tecnologias de Informação, conhecidas por TI, que agregam todas as fases do ciclo de vida dos equipamentos de escritório da empresa, desde sua qualificação, seleção, compra, implementação, manutenção até sua troca por novas tecnologias, quando necessário. Até recentemente esse ambiente de Negócios era totalmente isolado dos demais ambientes. Na grande maioria das empresas ainda é assim nos dias de hoje, mas empresas com visão tecnológica estão integrando o que se chama TI com TA, isto é, Tecnologia de Informação com Tecnologia de Automação. Negócios conectados às Operações [28].

O terceiro ambiente mostrado na Figura 4 é o ambiente de Manutenção. A equipe de Manutenção é um grupo de trabalho que atua exatamente sobre os mesmos equipamentos elétricos de processo e sobre o *hardware/software* de automação que o grupo das Operações, mas sob uma ótica inteiramente diversa. Cabe ao grupo de Manutenção a difícil tarefa de prevenir paradas não programadas de planta, causadas por falhas de equipamentos ou de automação. Quando a planta está operando, a equipe de Manutenção precisa intervir de forma transparente às Operações, verificando o

estado de saúde dos diversos componentes da concessionária, com o mínimo de interferências na distribuição de energia elétrica [28].

Nesta situação podem ser necessárias aplicações de técnicas sofisticadas como o trocas energizadas, sempre com enorme complexidade de planejamento, de tecnologia e com extremo cuidado, muitas vezes sob condições de grandes riscos para os eletricitistas de campo. Não são poucos os acidentes graves, como já citados no capítulo anterior. Eles não só colocam em risco a integridade física dos trabalhadores, mas também da população, encontrada em alto índice de concentração, que transita nos grandes centros das metrópoles, tendo debaixo de seus pés, no subterrâneo, ou no subsolo dos seus edifícios comerciais, *shopping centers*, hospitais, museus, um emaranhado de equipamentos de alta periculosidade de explosão ou de acidentes com eletricidade [36, 37].

Durante as Operações normais do parque instalado das RDS, a tarefa de Manutenção tem sido feita de forma preventiva e muitas vezes corretiva, ou seja, após a falha ter ocorrido. Com a solução desenvolvida, a forma preditiva e pró-ativa passa a ser priorizada. A solução desenvolvida prioriza também o aspecto segurança, pois possui em seu projeto rotinas com função específica de operação segura tanto para o telecomando, como nas ações de manutenção local nas câmaras do sistema subterrâneo, combinado com os sinais de monitoramento de grandezas críticas como: gases combustíveis, presença de umidade e produtos ácidos e corrosivos. Isto porque o ambiente das galerias subterrâneas, em algumas metrópoles, convive com tubulações de empresas de distribuição de gás, sofrem alagamentos que trazem detritos orgânicos que se deterioram produzindo biogás. Durante as paradas programadas ou as imprevistas, a pressão sobre a equipe de Manutenção torna-se imensa, com enorme exigência de que os serviços sejam feitos, com perfeição, no menor intervalo de tempo, para uma rápida retomada do fornecimento de energia. Isso exige um sofisticado planejamento de estratégias, de materiais, de ferramental e de recursos humanos, que devem ser preparados com antecedência. Esta não era uma prática usual na RDS. Com a solução desenvolvida, através dos Dispositivos Eletrônicos Inteligentes, é possível saber, por exemplo, tipo de falha em estágios antecipados indicando quais componentes deverão ser trocados através das informações monitoradas. Isto se aplica às funcionalidades do

próprio Protetor de Rede Inteligente desenvolvido, como aos demais componentes que estiverem sendo monitorados (sistemas de ventilação/exaustão, sistemas de drenagem de águas pluviais das câmaras, sistemas do transformador, outras grandezas da integridade estrutural da câmara). Um exemplo da redução do tempo de manutenção para uma câmara com falha informada de um de seus equipamentos ou subsistemas, é no caso de chuvas com alagamento das mesmas, podendo sinalizar que o nível de água está acima da cota que permite a entrada dos eletricitistas. Neste caso o protetor de rede inteligente, através de seu módulo de monitoramento com uma saída a relé ligada à uma bomba d'água, inicia a drenagem antes da chegada da equipe de manutenção até níveis seguros. Nestes casos de alagamento as equipes de manutenção, sem saber do estado da câmara, chegando no local e encontrando o nível de água alto, levavam grande parte do tempo drenando a água, para somente horas depois poder entrar para identificar o defeito e em seguida fazer os reparos [36, 37].

O objetivo das equipes de Manutenção reside em aumentar a Disponibilidade da planta. No caso da topologia da RDS, sua própria concepção já tem intrínseco um dos maiores índices de disponibilidade, suportando situações de falhas sem interrupção no fornecimento de energia ao consumidor. Este objetivo da Manutenção, para o caso da RDS que é foco deste trabalho, tem sido comprometido, acima de tudo, pela falta de uma automação mínima destes sistemas subterrâneos. Interferindo até mesmo os índices de disponibilidade característicos da RDS.

Chama-se de disponibilidade o percentual de tempo que a planta opera em normalidade, comparado à produção pelo máximo tempo possível, conforme o projeto dos equipamentos da planta, em geral 100% do tempo durante sua vida útil, deduzidas as paradas programadas previstas pelos fornecedores dos equipamentos. Quando a planta está rodando, a disponibilidade é aumentada com a prevenção de paradas não programadas. A sigla normalmente usada para medir esse tempo é MTBF - Tempo Médio Entre Falhas (*Mean Time Between Failures*). Quando a planta está parada, a disponibilidade é aumentada, pelo rápido retorno à operação. A sigla usada para medir esse tempo é MTTR – Tempo Médio Para Reparos (*Mean Time To Repair*) [13]. A disponibilidade é calculada com o $(MTBF)/(MTBF+MTTR)$. Uma planta que parasse durante 11 dias por ano teria uma disponibilidade de 97%.

3.1.2 ALTA DISPONIBILIDADE, UM FATOR CHAVE PARA O ALTO DESEMPENHO DA PLANTA

Assim, conclui-se que a produção máxima de uma planta depende da Utilização, que é de responsabilidade da equipe de Operação, enquanto que a Disponibilidade é de responsabilidade da equipe de Manutenção. Pode-se visualizar na Figura 5 que a Produção Efetiva (área) aumenta, tanto pelas técnicas de Operações (Utilização) como pelas técnicas de Manutenção (Disponibilidade). Em um terceiro eixo foi acrescentada uma outra variável importante, a Qualidade do produto final. Voltaremos a esse assunto mais adiante.

Figura 5: Gráfico Utilização X Disponibilidade X Qualidade para determinar OEE (Overall Equipment Effectiveness).

Da mesma forma como ocorreu no ambiente de Negócios, assim que os computadores se tornaram populares eles passaram a fazer parte dos equipamentos obrigatórios dos departamentos de Manutenção. Em um primeiro momento, tudo aquilo que anteriormente era feito de forma manual, em fichas manuscritas ou datilografadas, passou a ser feito por meio de computadores. As velhas fichas e formulários, uma para cada ativo, podem mudar de formato, mas mantêm a mesma conceituação.

Com o passar do tempo, os usuários de computadores nas áreas de Manutenção começaram a desenvolver programas "domésticos" para gerenciar os seus recursos materiais, humanos, ferramentais ou de outra ordem, baseando-se em planilhas e/ou bancos de dados.

Como consequência da proliferação destes conhecimentos surgiram, nos anos 90, alguns softwares de mercado que, de uma forma mais estruturada, possibilitavam o gerenciamento das atividades de Manutenção. Estes aplicativos, aos quais deu-se o nome de softwares de gestão de ativos, requeriam uma enorme quantidade de digitação de dados, para cada ação tomada no campo. Eles criaram um aumento significativo no contingente de pessoal burocrático de Manutenção, só para inserir informações que mantivessem as bases de dados atualizadas.

Mais recentemente, com a vertiginosa evolução das tecnologias de automação usando microprocessadores, abriu-se espaço para um novo conceito, com impacto enorme sobre o resultado das empresas, mas que não se encontra ainda totalmente amadurecido, tanto pelos fornecedores de equipamentos e software, como pelas empresas de engenharia de projetos, como ainda pelos usuários finais. Trata-se da gestão de ativos de produção, que vem recebendo internacionalmente a sigla PAM - *Plant Asset Management*. O assunto é relativamente novo e exige uma compreensão melhor de sua abrangência, de sua seleção, implementação e dos seus resultados. Os canais de comunicação entre os dispositivos de campo (transmissores e sensores) que eram analógicos, migraram para sinais digitais. Os sinais que por muitos anos se restringiram aos 3-15 psi pneumáticos até os anos 60 e 70, e depois aos 4-20 mA analógicos, eram capazes de enviar uma única informação, em uma única direção, e requerendo uma conexão ponto a ponto dedicada. Após os anos 80 esses sinais foram lentamente substituídos por protocolos digitais proprietários, e posteriormente, por padrões abertos de mercado. Hoje praticamente só se trabalha com protocolos padronizados *Hart* (que é uma combinação de analógico e digital), *Foundation Fieldbus* e *Profibus PA*. Cada um destes protocolos tem características próprias, mas o fato é que com o seu uso, além de se reduzirem os custos de instalação, passou a ser possível a transmissão bidirecional simultânea de uma enorme quantidade de sinais, viabilizando pela primeira vez o envio de sinais da saúde dos equipamentos, juntamente com múltiplos sinais de informações de processo.

Recentemente um esforço de cooperação internacional para unificar em torno de um protocolo único, culminou com a IEC 61850 [12], que aponta para um futuro promissor no que diz respeito à automação para o setor elétrico.

Essa capacidade de poder enviar informações da condição de saúde dos dispositivos de campo abriu caminho de novos desenvolvimentos. Por um lado, despertou nos fabricantes de dispositivos de campo o interesse em desenvolver melhores diagnósticos dos seus produtos para melhor diferenciá-los em relação aos seus concorrentes. Por outro lado, essa capacidade de receber sinais de saúde dos transmissores e sensores abriu o caminho para se poderem usar os sistemas de controle, ou mesmo softwares independentes, como porta de entrada de informações de Manutenção Preditiva. Ao possibilitar a leitura contínua dos parâmetros de saúde dos dispositivos de campo, tornou-se possível monitorar em tempo real a eventual deterioração de um dispositivo. A partir daí, criam-se estratégias que permitem prever o prazo ainda disponível antes da ocorrência de uma falha e, portanto, o momento estratégico para saná-la. Viabilizou-se a tecnologia de Manutenção Preditiva Baseada nas Condições Monitoradas em tempo real. Isso chama-se *Continuous Condition Monitoring* - Monitoramento Contínuo das Condições, que já tem dentro das atividades da IEC 61850 [12] um Grupo de Trabalho (IEC *Technical Committee* - TC57) formado para tratar especificamente deste tema.

Dentre os dispositivos de campo, os sensores, mesmo quando bem dimensionados, aplicados e instalados, têm os maiores problemas de desgaste devido à sua contínua movimentação em ambientes abrasivos, corrosivos, em pressões e temperaturas adversas. É por esse motivo que as aplicações mais modernas devem ter o conceito de uma nova tecnologia com base em desenvolvimentos de dispositivos eletrônicos inteligentes, como é o caso dos DEI's dos Protetores de Rede Inteligente desenvolvido, que são capazes de diagnósticos apurados e o envio de diversas informações sobre a saúde também dos próprios sensores, em tempo real. Os resultados econômicos desta aplicação podem ser rapidamente retornados ao investidor. Para facilitar as trocas de informações sobre a saúde de dispositivos de campo dos mais distintos tipos de variáveis dos mais diversos fabricantes que eventualmente possuam os diferentes protocolos de comunicação e acessando diversos tipos de Dispositivos Eletrônicos, já é uma realidade a opção do uso dos protocolos e linguagens de comunicação padrões IEC

61850 [12]. Para que distintos softwares de gestão de ativos possam ser usados para atender a gestão inteligente de ativos para a Manutenção e demais setores da empresa.

Embora esteja somente mencionada a viabilização da Manutenção preditiva de transmissores, sensores etc., graças às redes de campo, o conceito deve ser entendido de forma mais abrangente e ampliado, estendendo-se a outros ativos e a outras tecnologias de medição, proteção e monitoramento. Assim, podemos agregar qualquer outro tipo de medição: medição de grandezas mecânicas como vibração, posição; medições elétricas como tensão, corrente, ângulo de fase, fator de potência; sinais de termografia infravermelha; informações estatísticas como variabilidade, médias, mínimos e máximos. Medições inferidas usando lógica *fuzzy*, redes neurais, multivariáveis; modelagens simples, rigorosas, com reconciliação de dados. Enfim, é possível associar qualquer informação disponível, conectada ao sistema de controle, para auxiliar as estratégias de Manutenção preditiva. Isso também se aplica aos computadores da empresa, aos próprios sistemas de controle, aos sistemas de segurança e tudo o mais, que, em caso de falha, venha afetar a disponibilidade de produção [14, 16, 28].

A recente introdução de tecnologias de transmissão sem fios (*wireless*) viabiliza um aumento expressivo de possibilidades de medições, em equipamentos fixos e móveis, podendo-se então também considerar a importância de outros ativos além dos equipamentos de processo. Se o ar-condicionado, a iluminação ou os elevadores do edifício podem afetar a disponibilidade de produção (ex: os elevadores de prédios podem gerar fluxo reverso de potência que para a RDS pode representar um problema para a proteção com desconexão não intencional de protetores da rede), eles devem ser integrados ao sistema de gestão. Se a quebra de um caminhão da equipe de manutenção pode afetar a logística de recomposição do sistema de fornecimento de energia, ele também deve ser integrado ao sistema de gestão de ativos.

Porém, além do equacionamento técnico e sistêmico, da forma como está contemplado na solução integrada de monitoramento, proteção e controle no Protetor de Redes Inteligente desenvolvido para a RDS, também é importante para a sua efetiva implantação que haja uma ampla compreensão, na empresa, que a gestão de ativos de hoje não tem mais nada a ver com o que se chamava de gestão de ativos há dez anos. E

que, a partir de agora, as equipes de Manutenção e de Operações passarão a compartilhar os dispositivos eletrônicos, no seu trabalho. A tecnologia implementada no Protetor de Rede Inteligente já permite que cada equipe trabalhe em seu ambiente, de forma transparente à outra, ambos operando de forma colaborativa, seguindo as recomendações do CIGRÈ (GT A2.23) [18].

Este fato traz um enorme impacto positivo porque aumenta a integração entre as equipes de campo. Mas isso também implica em um novo conceito até então inexistente. A partir de agora, quando a empresa decide especificar e adquirir um novo sistema de controle, é preciso levar em conta não apenas os requisitos formulados pelo pessoal de Operações, mas também, as necessidades do pessoal de Manutenção.

É comum hoje em dia encontrar especificações de concorrência para compra de Dispositivos Eletrônicos para monitoramento, onde se encontram detalhados os requisitos do equipamento e de seu software, descritos em dezenas ou centenas de páginas e, ao final, uma menção de uma ou duas linhas indicando que ele deve executar também a função de gestão de ativos. O cliente não sabe bem o que quer comprar. A especificação não determina o que se quer fazer e o fornecedor tenta reduzir o escopo para que o preço de venda não seja sacrificado pela inclusão da gestão de ativos. Neste tipo de concorrência, o fornecedor que detalhar menos, e cobrar menos por aquilo a que deu o nome de gestão de ativos, ganha a concorrência por preço.

Para resolver definitivamente esse problema, é preciso que o pessoal de Manutenção entenda plenamente a diversidade de detalhes que os Sistemas de Gestão de Ativos podem oferecer, e que, em parceria com o pessoal de Operações, defina claramente quais as funcionalidades desejadas do sistema a ser adquirido.

Para que a gestão de ativos se torne efetivamente uma poderosa ferramenta de melhoria de disponibilidade e, portanto, de eficiência de planta, é preciso que:

- 1- Os fabricantes de dispositivos de campo informem claramente, para cada tipo de dispositivo, quais os parâmetros que eles recomendam para serem monitorados, e com que frequência, para uma melhor utilização e disponibilidade destes dispositivos. Os fabricantes devem também informar as características usuais de seleção dos

dispositivos, suas linguagens proprietárias de comunicação com descrição de todos os mapas de registros e disponibilizar a opção para o padrão IEC 61850 [12]. Deve também indicar quais parâmetros de saúde estão disponibilizados e certificados em seus produtos. Isso se aplica a transmissores e sensores, módulos de comunicação, e demais componentes do sistema de monitoramento.

2- Os fabricantes de softwares de gestão de ativos, independentes ou integrados a plataformas de automação, informem claramente, quais as linguagens de comunicação de saúde dos dispositivos de campo estão disponibilizados em seus produtos; quais as estratégias de manipulação de dados de saúde são possíveis em suas plataformas (médias, mínimos, máximos, contagem, limites, etc.): se os dados são apenas recebidos ou também armazenados em bases de dados para o traçado de curvas de tendências, estatísticas, etc.; qual a quantidade de diferentes parâmetros podem ser armazenados em determinados períodos de tempo; qual a política de liberação de espaço em memória quando do seu preenchimento; que máquinas são necessárias para rodar os programas e como são dimensionadas suas unidades de armazenamento; quais as formas de interface de apresentação às equipes de Manutenção; em quantas estações são possíveis o manuseio das operações de gestão de ativos; quais as interações possíveis entre o pessoal de Manutenção e de Operações; devem possuir interfaces de comunicação com base na IEC 61850 [12] ou disponibilizar conversores para comunicação com seus protocolos proprietários. Devem inclusive indicar quais as interfaces disponíveis para interação com os ativos eletromecânicos, com outros sistemas do parque instalado, com outros sistemas corporativos, com ativos fixos e móveis da empresa e com a gestão do próprio sistema de automação.

3- As empresas de engenharia devem certificar-se dos detalhes do que existe e em termos de produtos e de serviços de gestão de ativos, e auxiliem o cliente na seleção do que ele efetivamente precisa e vai ter estrutura para utilizar. É importante que nas especificações a empresa de engenharia ajude a definir qual será a entidade que fará a configuração dos dados dos ativos, mensurando as tarefas e os tempos necessários à sua implantação. O trabalho será feito pelo fornecedor dos dispositivos, pelo fornecedor do software de gestão de ativos, pelo usuário final ou pela empresa de engenharia? Quem irá prover o treinamento de implantação e o treinamento do uso dos recursos?

4- O usuário final entenda que a tarefa de implantação de um sistema de gestão de ativos é simples, embora trabalhosa, se os pontos descritos anteriormente estiverem

bem definidos. O mais importante é que a equipe de Manutenção tenha em mente que a especificação deste sistema não pode se restringir a uma linha de texto adicionada ao final da especificação do sistema de controle, e depois entregue à Manutenção, da forma como foi comprado. A equipe de Manutenção precisa trabalhar lado a lado com quem estiver especificando o Dispositivo Eletrônico Inteligente e o Protetor de Rede Inteligente para a RDS, desde o primeiro momento, lembrando que agora o sistema é compartilhado, caminhando-se cada vez mais para um trabalho colaborativo entre as áreas da empresa.

É interessante notar que no gráfico da Figura 5, Utilização X Disponibilidade, também existe um terceiro eixo. Neste eixo pode-se considerar a variável Qualidade, cuja determinação pode ser feita em laboratórios, ou por meio de analisadores em linha (outro componente da automação, conectado via LIMS - *Laboratory Information Management System*). A Qualidade pode ser estipulada com o um percentual de um valor máximo possível. Uma empresa poderia estar produzindo seu produto com 90% da qualidade máxima esperada. Note-se que a qualidade é diretamente relacionada ao custo de produção e pode ser estratégico, já determinadas empresas, não investir ou mesmo reduzir o padrão de qualidade de seus produtos para torná-los mais competitivos ou frear investimentos na melhoria da qualidade para aumentar receita. Em uma análise tradicional pode não indicar diretamente que o produto é ruim. Indicaria que ele não é tão bom quanto poderia ser, ou por outra ótica, que desempenha sua função de forma aceitável no limite do razoável. Uma nova métrica é sugerida como uma nova tendência de análise do desempenho dos ativos das empresas, desejável também para o setor elétrico, e em específico para a RDS, onde a métrica atual com avaliação do índice de DEC-FEC não é suficiente para inferir no estado dos ativos da rede. Trata-se do OEE (*Overall Equipment Effectiveness*) que nada mais é do que o produto da Utilização X Disponibilidade X Qualidade. Assim, uma planta que tivesse Utilização de 92%, com Disponibilidade de 97% e Qualidade de 90% teria um OEE de 80.3%. Um gráfico do OEE em função do tempo se torna um excelente parâmetro de medição de desempenho (KPI- *Key Performance Indicator*) de uma planta, e a Disponibilidade melhora com uma Gestão Inteligente de Ativos influenciando de forma tão relevante como a Utilização e a Qualidade. Para a RDS a Disponibilidade é um fator inerente à sua topologia. As redes de distribuição subterrâneas, sejam elas do tipo reticulada em malha (*grid*

network) ou reticulada exclusiva (*spot network*), tem seus altos padrões de Confiabilidade e Qualidade baseados na alta Disponibilidade oferecida na sua concepção, se comparada a outras topologias para redes de distribuição, como visto no Capítulo 2. No entanto, pela falta de um acompanhamento de sua Disponibilidade, devido à ausência de monitoramento, tem comprometido enormemente o desempenho destas redes subterrâneas que foram projetadas exatamente para propiciar um alto índice de desempenho e confiabilidade.

3.2 RECOMENDAÇÕES DO CIGRÈ GT A2.23

Uma das contribuições deste trabalho está no fato de que a solução proposta atende às recomendações do CIGRÈ GT A2.23, como ilustrado na Figura 6, onde é proposta para os sistemas modernos de automação uma integração entre proteção, controle e monitoramento, para se atingir um efetivo gerenciamento de ativos propiciando todas as vantagens e benefícios inerentes para as empresas de energia. Este paradigma tem sido muito difícil de ser quebrado dentro da cultura do setor elétrico brasileiro que muito pouco tem mudado o seu modelo e muito lentamente vem sendo modernizado.

Figura 6: Arquitetura proposta pelo CIGRÈ GT A2.23 para sistemas modernos de automação com gerenciamento de ativos integrando proteção, controle e monitoramento. Fonte: figura adaptada da referência [18].

3.3 SMART GRID E GERENCIAMENTO INTELIGENTE DE ATIVOS

As soluções *Smart Grid* pressupõem um processo de automação de sistemas com Dispositivos Eletrônicos Inteligentes que não somente coletam dados, mas também recebem, respondem, atuam e que principalmente, gerem informações ricas, com um formato padrão e eficiente enquanto realizam suas funções de proteção e operação. Tais soluções

inteligentes devem resultar em melhoria da proteção aliada a um aumento da confiabilidade do sistema. A solução desenvolvida está baseada neste conceito. O Protetor de Rede Inteligente possui um dispositivo eletrônico inteligente que executa as funções de proteção segundo sua norma específica para a proteção de RDS's (sistemas de distribuição subterrâneos reticulados em malha e exclusivo: *Grid Networks/Spot Networks*), integrando monitoramento e outras ferramentas que viabilizam um gerenciamento inteligente dos ativos da RDS. O conceito inovador que diferencia a solução desenvolvida dos protetores de redes tradicionais existentes possibilita um salto de modernização na automação das RDS's sem custos adicionais proporcionalmente às melhorias incorporadas, além de agregar outras potencialidades que não se limitam simplesmente à automação local. Tem um alcance ainda maior porque pode integrar outras demandas como a de soluções de geração diversificada para o setor elétrico, neste caso, o da Geração Distribuída aplicada aos centros urbanos de grande concentração de carga.

Smart Grid é um conceito tecnológico para redes elétricas que possui uma ampla arquitetura de referência baseada em sistemas abertos para as companhias de energia do futuro. Esta arquitetura possibilita a integração de equipamentos inteligentes e redes de comunicação de dados em um sistema distribuído de gerenciamento dos ativos abrangendo toda a corporação e a indústria. Ela é a base fundamental que possibilita a implantação de capacidades avançadas do sistema de energia, tais como: rede de energia auto-recuperável, comunicação integrada (entre os vários níveis da concessionária, concessionária e clientes, organismos reguladores), informação em tempo real sobre a energia (perfil de consumo e das características do uso final da energia, fluxo da geração/transmissão/distribuição etc.) e gerenciamento inteligente de ativos da forma como discutido nos capítulos anteriores. Espera-se que com este enfoque de embarcar o conceito de *smart grid* em protetores de rede sem custo adicional, ajude a motivar a disseminação deste tema nos grandes centros de carga das principais metrópoles no Brasil, a partir de sua Rede de Distribuição Subterrânea.

CAPÍTULO 4

4.1 GERAÇÃO DISTRIBUÍDA NAS GRANDES METRÓPOLES COM RDS

A geração convencional de energia elétrica caracteriza-se pela existência de usinas de grande porte, instaladas próximas às fontes energéticas. Essa configuração, aqui denominada de “geração centralizada”, é típica dos grandes aproveitamentos hidrelétricos. Normalmente instaladas em florestas onde rios com elevadas quedas d’água foram criados pela natureza, grandes barragens são construídas e imensos geradores são instalados, com potências da ordem de milhares de megawatts.

Como os grandes centros urbanos normalmente estão distantes das usinas, linhas de transmissão são utilizadas para que a energia gerada possa fluir por milhares de quilômetros até alcançar os consumidores. Para que as perdas elétricas nas linhas de transmissão sejam reduzidas, as tensões são elevadas para patamares de centenas de milhares de volts. O mesmo ocorre para usinas a carvão, por exemplo; além de se situarem próximas às minas, também devem ficar longe dos centros urbanos, para que a fumaça emitida não contamine o ar próximo das cidades. A vantagem dessa forma de geração de energia é que, devido às grandes dimensões dos equipamentos e da elevada quantidade de energia produzida, o ganho de escala é muito alto e a energia produzida é mais barata do que se fosse gerada por pequenas centrais elétricas.

A geração distribuída, por sua vez, caracteriza-se por pequenas usinas instaladas próximas às cargas. Quando são utilizadas fontes renováveis de energia, a GD apresenta importantes ganhos ambientais quando comparada com a queima de recursos fósseis da geração centralizada. A GD, por ser de pequeno porte, não apresenta o mesmo ganho de escala de uma grande usina, fazendo com que o preço da energia produzida seja maior. À medida que a utilização da GD aumenta, o domínio sobre suas características técnicas são aprimoradas e os custos são reduzidos. A utilização em larga escala da GD permite que a humanidade possa usufruir dos confortos disponibilizados pela energia elétrica de forma sustentável, sem a preocupação de agredir o meio-ambiente.

Entretanto, uma presença significativa de GD suscita vários aspectos técnicos relativos ao funcionamento da própria rede de distribuição. Nesse capítulo são discutidos os

principais impactos que a GD provoca na rede elétrica. A Geração Distribuída com Sistemas Solares Fotovoltaicos é utilizada como referência, por ser uma forma de GD já difundida em diversos países.

A geração distribuída pode ser considerada como o oposto da geração centralizada, pois é instalada de forma dispersa e próxima à carga. Essa seção apresenta a definição de GD, discute onde ela é instalada e analisa a possibilidade do fluxo de potência em redes radiais de distribuição fluir em sentido reverso, situação essa inexistente quando somente geração centralizada é utilizada.

Geração distribuída pode ser definida como a denominação genérica de um tipo de geração de energia elétrica que se diferencia da realizada pela geração centralizada (GC) por ocorrer em locais em que não seria instalada uma usina geradora convencional, contribuindo para aumentar a distribuição geográfica da geração de energia elétrica em determinada região. Adicionalmente, uma fonte de energia elétrica é considerada caso particular de GD quando ela:

1. Está conectada diretamente à rede de distribuição;
2. Está conectada do lado de um consumidor conectado a algum ponto do sistema elétrico;
3. Supre cargas elétricas de uma instalação eletricamente isolada; ou
4. Está conectado diretamente à rede de transmissão, desde que, neste caso, ela não possa ser considerada caso pertencente à geração centralizada.

Em sistemas elétricos interligados, as usinas da geração centralizada (GC) produzem grandes quantidades de energia que são injetadas no sistema de transmissão. As Distribuidoras recebem a energia das linhas de transmissão e a direcionam para os consumidores. Nota-se que, para a distribuidora, não importa qual foi a usina que gerou a energia que ela entrega aos consumidores, visto que o sistema é todo interligado e a conexão com o sistema de transmissão ocorre, de forma geral, a partir de um único ponto.

As fontes renováveis de energia normalmente não se encontram concentradas em determinados locais, como ocorre com quedas d'água ou jazidas de carvão. Tomando como exemplo a energia solar, percebe-se intuitivamente que todo o globo terrestre a possui, seja em maior ou menor intensidade. O aproveitamento desse potencial renovável pode ser visto como uma "democratização" das fontes energéticas, pois determinado país não depende de possuir riquezas naturais específicas (e.g. campos petrolíferos) para poder aproveitar a energia solar. Isso faz com que o paradigma de geração centralizada seja alterado, porque a geração com fontes renováveis de energia é mais bem aproveitada se ocorrer de forma distribuída, inclusive dentro das próprias cidades que necessitam de energia.

A geração distribuída tem como característica ser localizada já próxima das cargas, para que a energia gerada possa ser diretamente consumida. Além das vantagens ambientais da utilização de GD com fontes renováveis de energia, ela ainda reduz custos por não fazer uso do sistema de transmissão de energia. A geração distribuída (GD) com fontes renováveis é uma forma de geração de energia que visa gerar eletricidade em harmonia com o meio-ambiente.

4.2 EQUACIONANDO GD PARA A RDS DAS GRANDES METRÓPOLES

Uma preocupação importante que se apresenta de início aos desenvolvedores de soluções que integrem alternativas de Geração Distribuída (GD) aos sistemas de distribuição é o impacto na proteção de tais circuitos causados pelo fluxo de energia de fontes alheias e distribuídas que não da geração tradicional para a qual o sistema de distribuição está configurado.

Quando milhares de pequenos sistemas de GD são instalados diretamente nas unidades consumidoras e conectados à RDS, o fluxo de potência em um alimentador pode fluir em sentido reverso, situação essa prevista somente para situações de defeitos cuja proteção intrínseca dos protetores de redes atuaria indiscriminadamente, pois a rede foi concebida para geração baseada em geração centralizada. A elevada penetração de GD pode causar diversos impactos na rede de distribuição, tanto positivos quanto negativos, entre eles: redução da distorção harmônica, aumento de tensão na unidade consumidora, sobrecarga em alimentadores e transformadores e ilhamento não-intencional.

Com a solução desenvolvida no seu Dispositivo Eletrônico Inteligente (DEI) que incorpora monitoramento remoto e telecontrole e está na capilaridade da RDS, cujos locais são onde se instalariam as GD's, possibilita esta coordenação de fontes de fluxo de potência intermitentes e externas à rede evitando o ilhamento não-intencional. A questão da sobrecarga fica amenizada no curto e médio prazo, devido à capacidade de controle e monitoramento trazida pelos Protetores de Redes Inteligentes desenvolvidos, a qual contrasta com a total inexistência de automação das RDS's até então, e que por isso foram dimensionadas para suportar situações de sobrecarga até terceira contingência (transformadores, cabos etc. dimensionados para suportar carga de duas a três vezes em relação a situações normais). Isto possibilitaria operar a RDS em regime de carga normal, fazendo com que o dimensionamento para contingência seja usado como reserva técnica para acomodar a demanda de eventuais fontes de geração distribuída, eletropostos e suas cargas móveis (ex.: veículos elétricos etc.). Isto postergaria a necessidade de investimentos no curto e médio prazo, quer seja na repontencialização dos ativos de potência, quer seja nos sistemas de coordenação de entrada e saída do fluxo de energia intermitente advindo da GD. O protetor pode coordenar a inserção da fonte geradora identificando o momento em que ela entra no sistema, sinalizando ao sistema de supervisão e controle da concessionária de forma a não ser considerada um evento de defeito de fluxo reverso de potência. Com relação ao aumento de tensão no consumo provocado pela inserção de GD's, o Protetor de Redes Inteligente desenvolvido já traz tal função de controle de qualidade de energia intrínseca que trata as informações de aumento e afundamento de tensão, disponibilizando tais dados ao sistema de supervisão.

Tendo o sistema desenvolvido apresentado uma alternativa a esta preocupação técnica com a vantagem de postergação de investimentos no preparo da rede para incorporar fontes de geração distribuída, passa a viabilizar o uso de GD integrado à RDS com segurança de operação, propiciando assim no curto e médio prazo, que os benefícios inerentes à GD sejam disponibilizados nos grandes centros urbanos do Brasil.

A concentração de pessoas nas grandes metrópoles, e conseqüentemente de carga, tende a crescer ainda mais nos próximos anos. Alguns dados mundiais podem dar uma idéia do que se passará também no Brasil, pois hoje no mundo existem 6 bilhões de

habitantes e 50% desse total vive nas cidades. A projeção, segundo o Banco Mundial (BIRD) é que a concentração nas grandes cidades suba para algo em torno dos 75%. Atualmente existem 21 megacidades (com mais de 10 milhões de habitantes) e o BIRD estima que serão 27 em 2020 e 400 em 2050. As cidades deverão evoluir no sentido de se tornarem sustentáveis sob o ponto de vista da infraestrutura e a Geração Distribuída (micro-geração), como exemplificada na Figura 7, terá papel fundamental.

a) Corte de uma central de co-geração compacta com granulados da Sunmachine

b) Instalação típica de minicentral de co-geração da Powerplus em hotéis.

c) Central de co-geração compacta com motor Otto da Senertec

d) Central de co-geração compacta com acumulador integrada às instalações prediais.

Figura 7: Exemplos de fontes alternativas para geração distribuída. [Fonte: catálogos dos fabricantes, Sunmachine, Powerplus, Senertec – 2008]

Estas projeções têm ligação direta sob dois aspectos em relação à RDS no Brasil: para as RDS's existentes o aumento de carga demanda urgentemente o uso de controles

modernos e inteligentes para garantir os índices de alta confiabilidade e disponibilidade de tais sistemas de distribuição; sugere a expansão desta topologia que é uma das melhores para garantir altos índices de qualidade de energia (São Paulo, por exemplo, já tem projetos de lei na câmara que obrigariam as concessionárias a migrar toda a rede aérea para rede subterrânea). Considerando-se as vantagens ambientais proporcionadas pela GD com fontes renováveis, pode-se dizer que ela será amplamente instalada nas redes elétricas, o que dá um valor ainda maior à solução desenvolvida a qual apresenta solução à integração de GD à RDS. Além disso, podemos contar com um arcabouço legislativo, existente já há algum tempo no cenário nacional, que poderá ser usado para direcionar ações efetivas de incentivo à disseminação de novas tecnologias como a apresentada neste trabalho. A seguir, são discutidas algumas delas sob a ótica de investimento, incentivos e das perspectivas promissoras no curto prazo para GD.

4.3 PERSPECTIVAS PARA A GD NAS GRANDES METRÓPOLES

Os custos marginais da cadeia de fornecimento de energia elétrica no Brasil, sobretudo os de geração, tem subido nos últimos anos e a expectativa é que esta tendência continue à médio prazo. Isto significa que as tarifas dos consumidores de eletricidade, de uma forma geral, deverão continuar aumentando nos próximos anos [19].

Em relação aos consumidores eletrointensivos, as suas tarifas de eletricidade deverão subir ainda mais do que para a média dos consumidores, já que há subsídios cruzados beneficiando suas tarifas. Estas tarifas estão abaixo dos custos marginais que eles imputam ao sistema elétrico e outras categorias de consumidores estão pagando tarifas acima de seus custos marginais. O Decreto² nº 4.667, previam que tais subsídios fossem eliminados. Junto a alguns destes segmentos eletrointensivos, é que residem, a curto e médio prazos, boas oportunidades para a geração distribuída de energia elétrica [19].

As vantagens inerentes às soluções com GD, mais o rápido desenvolvimento de certas tecnologias, como a de geradores eólicos, têm permitido a diversas tecnologias de

² Decreto Lei nº 4.667 de 04/04/2003

geração distribuída compensar sua falta de economia de escala, se comparadas às grandes centrais geradoras onde existe economia de escala.

As principais tecnologias de geração distribuída, atualmente em uso no País, são as pequenas centrais hidrelétricas (PCH's), pequenas centrais termelétricas, em geral utilizando motores de combustão interna e consumindo óleo diesel, unidades de cogeração consumindo gás natural, óleo combustível, resíduos da biomassa, ou resíduos urbanos, geradores eólicos e painéis fotovoltaicos. Das tecnologias ainda em estágio de desenvolvimento, ou ocupando nichos de mercado, podem-se mencionar as células de combustíveis e as microturbinas a gás como as mais promissoras a longo prazo [21].

O novo modelo institucional do setor elétrico permite às empresas concessionárias distribuidoras comprar de fontes de geração distribuída, através de um processo licitatório, até 10% da energia que vendem a seus consumidores³.

A legislação vigente⁴ também beneficia os proprietários de pequenas centrais hidrelétricas, geradores eólicos, termelétricas à biomassa e cogeneradores qualificados, que, se sua capacidade instalada for menor ou igual a 1 Mega Watt, pagam só a metade ou menos, das tarifas de uso dos sistemas de transmissão e distribuição.

O estado de São Paulo possui uma grande concentração de segmentos industriais energo-intensivos que oferecem condições favoráveis à geração distribuída de eletricidade. Também podemos incluir neste cenário a concentração de carga da grande metrópole São Paulo [19].

Pode-se esperar uma abrangência maior ainda da GD com o substitutivo do Projeto de Lei 630/03⁵. As distribuidoras, também a partir de 2011, deverão adquirir toda a energia injetada na rede que seja produzida a partir de micro-centrais de geração distribuída que utilizem exclusivamente fontes renováveis alternativas com capacidade de até 50kW. Todos que produzirem sua própria energia por meio de painéis solares, mini eólicas ou

³ Decreto nº 5.163, de 30/07/2004.

⁴ Lei nº 10.762, de 11/11/2003.

⁵ Projeto de Lei 630/03 - parecer do relator aprovado na Comissão Especial de Renováveis da Câmara dos Deputados de São Paulo em 21/10/09

mini biomassa, por ex., poderão vender o excedente para a distribuidora. Outros incentivos do Projeto de Lei 630/03 também estão contemplados, como: para desenvolvimento de tecnologias de veículos elétricos (a Bandeirante Energia e a EDP já possuem projetos pilotos implementados com veículos elétricos e eletropostos, tendo já acenado nesse ano de 2011 para projetos de continuidade de desenvolvimento, em parceria com o IEE-USP, para outras implementações como, por exemplo, na região da RDS na cidade de São Paulo); incentivos fiscais para geração a partir de fontes de equipamentos de GD; incentivos no uso de Energia Solar e redução de tarifa; etc.

As políticas e programas atualmente disponíveis para fomentar a geração distribuída de eletricidade no País têm a função de propor novas políticas e medidas, por parte do governo federal, governos estaduais e empresas que têm interesses neste tipo de geração que visa aproveitar o potencial de GD nos principais estados com suas grandes metrópoles [19, 20, 21].

Já há algum tempo dados vêm revelando [20] que as principais oportunidades para a cogeração a gás natural no Estado de São Paulo estão nos segmentos industriais que mais consomem óleo combustível: indústria química, indústria de papel e celulose e indústria de alimentos e bebidas. Podem-se destacar, também, oportunidades em alguns segmentos de maior porte do setor de serviços, tais como o *shopping centers*, hospitais, supermercados e hotéis. Segundo dados de outra pesquisa, já se anunciava que existiria um potencial grande para preencher uma lacuna no complemento de geração em São Paulo [21], as microturbinas deverão se difundir entre 2011 e 2020 e as unidades de geração solar, tanto fotovoltaica quanto térmica e as células de combustível ocuparão maiores espaços na geração distribuída do Estado de São Paulo entre 2011 e 2030.

Certamente este cenário pode ser aplicado às demais metrópoles, onde a RDS está presente (ex: Belo Horizonte, Brasília, Rio de Janeiro etc.), com excelentes perspectivas de disseminação em grande escala, proporcionando todos os benefícios do uso de GD, uma vez que sua incorporação à RDS está equacionada sob o aspecto técnico de integração ao sistema de proteção, através do Protetor de Rede Inteligente desenvolvido.

CAPÍTULO 5

5.1 TOPOLOGIA TÍPICA DA RDS NAS GRANDES METRÓPOLES

O Protetor de Rede Inteligente de Distribuição Elétrica Subterrânea Secundária Trifásica é utilizado na proteção automática dos sistemas de distribuição subterrânea. Esta função de proteção visa desconectar automaticamente um transformador de um sistema reticulado em resposta a pré-determinadas condições elétricas no alimentador primário ou no transformador ao qual se encontra acoplado, ou mesmo reconectar um transformador ao sistema reticulado através de um controle automático, susceptível a condições elétricas pré-determinadas no alimentador primário e no sistema reticulado, sistemas estes que podem ser do tipo “*Spot Network*” (Reticulado Exclusivo) ou “*Grid Network*” (Reticulado Malha) (Figura 8, 9).

Sistema reticulado é definido por um conjunto de condutores e demais componentes elétricos interligados que tem por finalidade a distribuição de energia elétrica subterrânea em tensão secundária. Caracteriza-se por ter os circuitos de baixa tensão de todos os transformadores de distribuição de uma determinada área rigidamente interligados entre si, formando assim uma única e extensa rede. Destaca-se ainda que, neste sistema, vários alimentadores primários se conectam alternadamente a transformadores e estes à rede secundária. Neste trabalho tratamos especificamente de dois tipos de sistema reticulado: Reticulado Exclusivo e Reticulado em Malha. Estes sistemas reticulados tem com o maior vantagem os altos índices de confiabilidade e disponibilidade, que são fatores importantes para os centros de alta concentração de carga encontrados geralmente nos grandes centros das principais metrópoles, como mostrado na Tabela 1 do Capítulo 2.

O reticulado dedicado ou exclusivo conhecido comumente como *Spot Network*, o qual é constituído por um sistema reticulado para o atendimento a cargas pontuais. Seus transformadores e protetores são localizados num mesmo ambiente e interconectados por pequenas e específicas redes secundárias (Figura 10 e 11).

Este tipo de reticulado é encontrado, por exemplo, na rede subterrânea da AES-Eletropaulo no centro de São Paulo/SP e Light no Rio de Janeiro/RJ.

O reticulado em malha ou *Grid Network*, destaca-se por ser constituído por um sistema reticulado para o atendimento de um conjunto de cargas. Seus transformadores e protetores de um dado consumidor ou consumidores são interconectados em forma de malha na rede secundária. O Protetor de Rede Inteligente fica ligado à jusante de cada um dos transformadores do sistema reticulado e oferece: proteção por fluxo de potência reversa, religamento automático, monitoramento, localização de faltas e automação para proteção de alimentadores [35].

Figura 8: Diagrama esquemático unifilar, um sistema reticulado *Grid Network* (Reticulado Malha), ilustração das câmaras subterrâneas com os protetores, transformadores etc. Fonte: [24, 35].

Fotos de uma câmara subterrânea da AES-Eletropaulo

Ilustração de uma câmara subterrânea: mini-reticulado com 03 trafos.

Figura 9: Figuras de um sistema reticulado *Grid Network* (Reticulado Malha), ilustração das câmaras subterrâneas com os protetores, transformadores etc. (fotos de uma câmara subterrânea da AES-Eletropaulo – São Paulo/SP). Fonte: [36].

Figura 10: Diagrama esquemático unifilar de um sistema reticulado *Spot Network* (Reticulado Exclusivo) de distribuição. Fonte [24, 35].

Figura 11: Fotos do sistema reticulado *Spot Network* (Reticulado Exclusivo) de distribuição de uma Subestação BT – Brasília/DF. Fonte: [37]

O equipamento Protetor de Redes Inteligente Ventilado e o Submersível operam automaticamente ao serem conectados, tanto em um sistema reticulado exclusivo como reticulado malha. As Figuras 12 e 13 a seguir, mostram detalhes construtivos dos dois modelos de aplicação para o protetor de rede inteligente desenvolvido, juntamente com seus dispositivos.

Figura 12: Protetor de Rede Inteligente modelo Ventilado e Submersível com detalhes do conceito de projeto prático e simplificado da parte ativa.

Figura 13: Dispositivos para passagem de cabos do ambiente pressurizado do Protetor de Rede Inteligente.

A versão submersível está projetada para suportar segunda contingência, ou até terceira contingência por um período determinado de tempo, neste caso limitado somente pela curva do fusível. Os sistemas reticulados através de seus Protetores de Redes são projetados para suportar a perda de alimentadores de média tensão sem interrupção no fornecimento de energia para os consumidores ligados na rede de baixa tensão. Diz-se que o sistema está operando em contingência quando há a perda de algum dos alimentadores sem que haja a interrupção do fornecimento de energia na baixa tensão. No caso do desligamento de dois alimentadores, suportando o fornecimento sem interrupção para os consumidores de baixa tensão, o sistema entra em segunda contingência. Estes estados de contingência dão tempo mais do que suficiente para que o módulo de monitoramento do DEI do Protetor de Rede Inteligente desenvolvido informe à Manutenção o tipo de defeito para que o mesmo seja sanado em tempo hábil evitando maiores danos ao sistema e aos consumidores. Atualmente o sistema

subterrâneo das grandes metrôpoles brasileiras não dispõe de soluções de automação para notificar tais falhas, causando enormes prejuízos técnicos e comerciais, com a diminuição acentuada da vida útil dos ativos da rede, cuja maior parte de seus protetores de rede com projetos antigos já estão em fim de vida útil (Fig 14). Na grande parte dos casos, causa a perda catastrófica dos equipamentos do subterrâneo, quando as situações de contingência perduram por tempo indeterminado, pois as políticas existentes de manutenção nas empresas são baseadas simplesmente na confiabilidade intrínseca de concepção do sistema reticulado. Desta forma, acaba se tornando uma manutenção corretiva, após a falha ter ocorrido.

Figura 14: Protetores de rede antigos com projeto mecânico pouco flexível em relação a partes e peças de reposição, com barramentos e dispositivos especiais de acoplamento da parte de potência. Fonte [36]

Para garantir estes altos índices de confiabilidade e disponibilidade foram agregadas adicionalmente no protetor desenvolvido as funções de telemonitoramento, telecontrole, telecomando e manobra. Cada Protetor de Rede Inteligente fica ligado à jusante de cada um dos transformadores do sistema reticulado, propiciando proteção por fluxo de potência reversa, religamento automático, monitoramento, localização de faltas etc. O Protetor de Rede Inteligente atende à norma específica de protetores de rede IEEE 57.12.44-2005 (*Requirements for Secondary Network Protection*), para as versões com

painel ventilado e submersível, com um avanço em relação aos itens exigidos, ampliando os recursos de proteção além do descrito na norma.

O Protetor de Rede Inteligente possui implementado em seu DEI as funções de proteção, adicionalmente às funções de controle e monitoramento (grandezas elétricas e mecânicas) realizados por um dispositivo digital eletrônico microprocessado inteligente (DEI) manobrando um disjuntor a seco motorizado. Além dos benefícios inerentes ao conceito de multifunção, utilizado na concepção do projeto do DEI, também foi levado em conta para os demais componentes do protetor, o uso de produtos consolidados de mercado para facilitar e baratear as ações de reposição de partes e acessórios, em contraste às soluções existentes que são projetos dedicados.

O protetor de rede nas funções de abertura e fechamento, nada mais é do que:

- ✓ Abertura: uma chave (Disjuntor) que abre o circuito isolando o transformador da carga em situação de corrente reversa;
- ✓ Fechamento: é um religador de baixa tensão específico para paralelismo de transformadores garantindo fluxo positivo (direto) de potência no sentido do transformador para a rede (malha/carga).

Com o desenvolvimento desta solução mostrou-se ser possível, por exemplo, utilizar disjuntores de prateleira, tanto para o caso do protetor ventilado (ex.: marca ABB série Emax caixa moldada ou Tmax caixa aberta extraíveis), quanto para o protetor submersível. Esta padronização reduz custos e dá maior flexibilidade ao uso de partes de reposição. Também o painel que abriga as partes de potência do Protetor de Rede Inteligente tem um projeto prático e ao mesmo tempo robusto (barras de cobre em tamanhos e formatos padrão de mercado, buchas de passagem e isoladores robustos e de prateleira, etc.). É possível para qualquer montador de painel nacional construí-lo seguindo os padrões de construção para painéis de média e baixa tensão. No caso do submersível, devido à necessidade de um compartimento pressurizado com IP68, a caixa teve um desenvolvimento adequado a aplicação em câmaras com possibilidade de alagamento. Não obstante estas necessidades específicas foi possível também conceber um projeto de fácil execução, com o envolvimento de parceiros nacionais, os quais

executaram com extrema facilidade o projeto para a construção da caixa submersível. Também foram usados equipamentos de primeira para os demais componentes que formam a parte de potência do Protetor de Rede submersível (disjuntores, barramentos, isoladores, etc.). Para dar um caráter prático à necessidade de extração de sinais foram desenvolvidos dispositivos de passagem de cabos sem perda de pressão, facilitando a entrada e saída de sinais usados nas funções de monitoramento, comando e comunicação, cujas conectividades com o ambiente interno podem ser feitas externamente sem necessidade de desligamento do protetor ou perda da pressão interna.

Para outro componente importante, que é o fusível, estabeleceu-se uma parceria de sucesso com fabricantes nacionais, tendo sido solicitado a eles a construção de um dos modelos previsto na norma IEEE 57.12.44-2005 seguindo a curva de atuação para a coordenação do protetor com os fusíveis tipo *Silver-Sand*. Os mesmos foram testados nos laboratórios do IEE-USP, e atendem às especificações da referida norma, cujos resultados foram registrados nos relatórios técnicos dos projetos de P&D ANEEL [36, 37] e nos relatórios de ensaios que constam no Anexo A4 deste trabalho. A estratégia utilizada no conceito do projeto do protetor desenvolvido com tecnologia nacional, onde os demais componentes que formam o conjunto do protetor podem ser encontrados na sua totalidade no mercado nacional, resulta em uma enorme praticidade na reposição das partes e acessórios, manutenção ou troca, resultando diretamente na redução de custos e facilidade logística.

5.2 DISPOSITIVO ELETRÔNICO INTELIGENTE (DEI) E RELÉ DIGITAL

O dispositivo mostrado na Figura 15 é parte integrante dos modelos ventilado e/ou submersível do Protetor de Rede Inteligente desenvolvido o qual, além das funções de proteção intrínsecas para protetores de redes das RDS, que tradicionalmente eram executadas por relés eletromecânicos ou digitais, agregam também as funções de monitoramento para o gerenciamento dos ativos da RDS. Estes Dispositivos Eletrônicos são microprocessados e têm incorporado, à sua função relé, as funções de comunicação e controle juntamente com o monitoramento contínuo das tensões existentes nos lados da entrada e saída do protetor de rede aberto. Adicionalmente monitoram as correntes que fluem por um protetor fechado, de modo a atuar localmente da seguinte maneira:

- ✓ O contato de abertura do protetor deverá fechar se o fluxo de potência de sequência positiva tiver o sentido da malha para o transformador;
- ✓ O contato de fechamento deverá fechar se o fluxo de potência de sequência positiva que resultar do fechamento do protetor tiver o sentido do transformador para a malha;
- ✓ O contato de abertura deverá fechar no caso de fluxo de corrente de magnetização reversa, isto é, da malha para o transformador.

É possível também integrar estes dispositivos aos modelos mais antigos de protetores eletromecânicos através do uso de interfaces de adaptação mecânica (alguns destes modelos são identificados por seus códigos típicos, ex: MG9, CMD, CM22 etc.). Neste caso o DEI substitui três relés eletromecânicos: relé de fase, relé de corrente e relé de desenergização; trabalhando com as mesmas tensões e correntes de entrada que os relés eletromecânicos.

Figura 15: DEI do Protetor de Rede Inteligente desenvolvido ilustrando as opções de instalação, compatíveis com modelos importados (MG9, CMD, CM22 etc.)

O dispositivo extrai as componentes fundamentais das tensões e correntes que o alimentam através dos TC's e TP's instalados no barramento e no disjuntor do protetor de rede des envolvido. O uso de circuitos integrados de alta performance da família ADE 7763 da *Analogue Device* [39] para a aplicação em medidores de energia, possuem incorporados no *chip* um integrador que com a simples medição de corrente e tensão disponibilizam internamente para o dispositivo eletrônico as potências calculadas e suas fases. Com este circuito integrado que incorpora dois digitalizadores 24bits e todo o processamento digital para executar medições de potência aparente e ativa, tensão de fase com alta precisão de sincronismo de fase entre tensão e corrente, são feitos cálculos de valores RMS nos canais de tensão e corrente em tempo real. Este *chip* demonstrou ser ideal, pois já traz embarcadas funções para qualidade de energia como: SAG e SWELL. Ele possui conectores de engate rápido para entradas analógicas e digitais (opto-isoladas); contatos NA (normalmente aberto) para comando de *Trip* e *Close* e saídas à relé para comando de *Close*, saída de alimentação para dispositivos externos controlados por este dispositivo; portas de comunicação remota (Ethernet ou Serial) ou para dispositivos locais (*Hand Held* ou Displays de painel); sinalização local por *LEDs* na parte frontal do relé para indicação de disjuntor aberto e/ou fechado (*close*, *trip*), em programação (*prog*), mal funcionamento na rede ou no protetor (*erro*), em acesso remoto (*comum*), sendo que a situação *float aberto* é indicada quando todos os *leds* estão apagados. O conceito de multifunção empregado no desenvolvimento do hardware proporciona uma grande flexibilidade de utilização do Protetor de Rede, e portanto deixando de ser simplesmente um relé digital de proteção e passando a ser um Dispositivo Eletrônico Inteligente (DEI) tornando-o ainda mais estratégico na sua aplicação dentro do sistema subterrâneo de distribuição.

O DEI, com função monitoramento incorporada, propicia a coleta de dados de tensão, corrente, potência, fator de potência, tensão e fase para religamento, temperaturas, sentido da corrente etc.. Registra as ocorrências instantâneas detalhadas e guardadas internamente em arquivo (log) com autonomia de registro de 2 anos para, por exemplo, uma abertura/fechamento do protetor por dia, além de poderem ser parametrizados e operados remotamente. Os ajustes diários de parâmetros e verificação de resultados quase imediata foram testados com protocolos de comunicação ModBus e DNP3. Foram verificadas as características de hardware de forma a suportar a implementação

da IEC61850, a qual garantirá a interação entre DEI's de forma padrão. A interoperabilidade, com a adoção de forma nativa e aberta desta norma que está sendo adotada no setor elétrico, será uma realidade. Com isto será possível a coordenação dos protetores de um reticulado entre si para fazer uso racional de seus recursos e aumentar a vida útil destes equipamentos.

Além das opções de telemonitoramento e teleproteção, outra funcionalidade para a qual o DEI está preparado, atende ao fato de que uma vez coletadas as informações que indiquem o comportamento da carga de uma área específica, será possível inclusive avaliar eventuais inadequações dos parâmetros frequentemente utilizados no *set up* dos protetores com relação à potência reversa de desarme. Uma vez que para a operação de uma dada localidade de concentração de cargas o valor de proteção para potência reversa pode diferir de outras necessitando de uma configuração específica para o melhor funcionamento da proteção. Nestes casos será possível redefinir tais parâmetros remotamente (no aplicativo supervisivo) ou localmente (no firmware do DEI) de forma automática. Para que isso se tornasse possível, foi necessário implementar alguns avanços em relação à proteção típica usada tradicionalmente para os protetores. Tais avanços contribuem para a versatilidade e originalidade do sistema desenvolvido.

5.3 FUNÇÕES DE PROTEÇÃO: NORMA IEEE C57.12.44-2005 E AVANÇOS

O Protetor de Rede Inteligente desenvolvido tem implementado as proteções previstas na referida norma IEEE C57.12.44-2005. Porém, foram adicionadas várias melhorias com opção programável àqueles itens da lista de proteções da norma. Dentre as melhorias implementadas podemos citar:

- ✓ Função fechamento remoto seguro (*safe close*): possibilita o fechamento do disjuntor remotamente checando condições para realizar a manobra segura, pois do contrário poderia acarretar situações de risco, como por exemplo, fechamento com fases invertidas;
- ✓ Desbalanço de carga para proteção de cabo neutro (10% p/ correntes maiores que 500 Ampères): evita sobrecarga do cabo neutro, que pode ocorrer, por exemplo, em casos de queima de um ou até dois fusíveis do protetor;

- ✓ Potência direta com corrente instantânea programável (até 5000 Am pères): proteção *back-up* contra curto-circuito, em caso de necessidade do sistema ou a critério do operador;
- ✓ Coordenação da proteção: Fusível da malha que protege o curto-circuito no cliente coordenado com o fusível do protetor que protege o curto-circuito na interligação primário-secundário. Esse por sua vez está coordenado com a lógica de abertura por potência reversa do DE I para o curto-circuito na barra do alimentador e coordenado com o disjuntor da subestação;
- ✓ Proteção contra *pumping* programável remotamente: através da possibilidade de programar valores diferentes de corrente reversa para situações específicas como neste caso, pode-se evitar o efeito de intermitência no mecanismo de abertura/fechamento causado por uma dada situação específica na rede, o qual deve ser evitado para não danificar o protetor de rede;
- ✓ Função de fechamento pela curva paralela programável remotamente: garante a coordenação com outros relés existentes no parque instalado viabilizando a convivência do DEI inteligente com os eletromecânicos de forma transparente (interoperabilidade);
- ✓ Função de fechamento em curva circular/ *circular close curve* programável remotamente: característica de curva de fechamento diferenciado do protetor de redes que permite trabalhar em malha que contenha outro protetor de redes com curva circular (interoperabilidade);
- ✓ Função de abertura sensibilizado/*sensitive trip function* programável remotamente: função de abertura do protetor em que o DEI identifica a corrente de *trip* nos casos de potência reversa levando em conta o Fator de Potência da Potência Reversa;
- ✓ função de atraso para abertura/*time delay trip function* programável remotamente: tempo de atraso associado ao comando de *trip* do DEI, utilizado associado a correntes que não atingiram a corrente instantânea de *trip* regulada nos casos de potência reversa;
- ✓ função de abertura dessensibilizado/*insensitive trip function* programável remotamente: função em que a corrente de *trip* regulada nos casos de potência reversa não leva em conta seu fator de potência.

5.4 CARACTERÍSTICAS FUNCIONAIS AERTURA/FECHAMENTO COM BASE NA NORMA

Todas as medições no DEI são feitas com as componentes de sequência positiva e de sequência negativa das correntes e das tensões, como abaixo:

- ✓ I_1 e I_2 são as componentes de sequência positiva e negativa, respectivamente, das correntes que circulam pelo protetor;
- ✓ $V_{rede-n1}$ e $V_{rede-n2}$ são as componentes, de sequência positiva e negativa, respectivamente, das tensões de fase para neutro existente no lado da carga, lado da malha, do protetor;
- ✓ V_{trafo1} e V_{trafo2} são as componentes, de sequência positiva e negativa, respectivamente, das tensões de fase para neutro existente no lado da fonte, lado do transformador, do protetor;
- ✓ V_{f1} e V_{f2} são as componentes, de sequência positiva e negativa, respectivamente, das diferenças entre as tensões do lado do transformador e as tensões do lado da carga.

Todas as correntes e tensões acima são fasores, sendo que V_f é, por definição, o fasor de referência para todas as medições que envolvam diferenças de fase.

Figura 16: Representação esquemática da RDS e Diagrama Vetorial de Fases.

No diagrama simplificado da Figura 16, pode -se observar que V_f é a diferença entre V_{trafo} e V_{rede-n} . Evidentemente, V_f , também chamada de tensão de fase, praticamente se anula estando o protetor fechado. Nesse caso, V_{trafo} e V_{rede-n} que é a tensão de malha, se confundem.

Figura 17: Exemplo, com base na norma C57.12.44-2005, de uma das características referente à abertura por potência, implementada no *firmware* do DEI do Protetor de Rede Inteligente desenvolvido.

O DEI pode comandar a abertura do protetor em função dos sentidos dos fluxos de potência, ativa ou ativa/reativa, ou ainda, em função de tensões inadequadas. A Figura 17 ilustra o caso de abertura em função dos fluxos de potências. As convenções utilizadas em termos de fluxo de potência mostradas na Figura 17, mostram o fasor de referência $V_{rede-n1}$ (referente à tensão do lado da malha), em preto, e ainda quatro

fasores representativos de correntes de sequência positiva; cada um em uma cor diferente.

O relé pode ser ajustado para detectar fluxo de potência ativa, W_{att} , ou para uma combinação de potência ativa e potência reativa, $Watt/VAR$.

Além das condições de abertura acima citadas, igualmente a norma e a prática verificada pelos usuários indicam as condições específicas para fechamento que leva em conta as condições de tensão do lado do transformador e da malha, verificando valores adequados para V_f (Tensão de faseamento) para que o DEI feche ou não o contato de abertura como ilustrado na Figura 18. Inibem esta ação casos de rolamento de fases. Fechamento em malha morta é outra condição que o DEI avalia para tomada de decisão, sendo que ele considerará malha morta quando a tensão do lado da malha (V_{rede-n}) for menor que 0,2 por unidade. Para que possa comandar o fechamento no caso de malha morta, o DEI, após alguns ciclos de confirmação, examina o valor absoluto da tensão de faseamento (V_{f1}) é maior que 0,8 por unidade, pois se isto não for verdade caracteriza uma situação de tensão baixa do lado do transformador, não adequada para alimentar a malha. Quando isto acontece, o DEI comanda então a abertura impedindo o fechamento do protetor. Ainda neste caso, se a tensão do lado do transformador for adequada, o DEI verifica ainda se o valor absoluto V_{rede-n} (tensão lado malha) é maior que 0,06 por unidade. Se isso for verdade, o DEI entra em flutuação e não comanda o fechamento, já que existiria excessivo desbalanço do lado da malha. Na condição de flutuação não há fechamento automático do protetor. Entretanto, pode haver fechamento manual (alavanca instalada na lateral do protetor) ou tele-comandado, já que as correntes resultantes desse fechamento não serão de tal forma que produzam danos ao protetor. Se o valor absoluto de V_{rede-n} (tensão lado malha) não for maior que 0,06 por unidade, o DEI comanda o fechamento do protetor.

Diagrama A

Diagrama B

Figura 18: Características limites para atuação do protetor. Fonte: [11].

Neste item não se tem a pretensão de aprofundar muito mais em todos os detalhes de implementação da norma, porém é importante registrar que foram realizados todos os testes funcionais que atestaram o funcionamento do DEI para as funções de proteção em conformidade com a norma, documentados nos relatórios dos P&D's e relatórios de testes nos laboratórios do IEE-USP (vide Anexo A1, A2, A3, A4, A5 e A6):

- ✓ Ensaio operacional de WATT-VAR com variação de ângulo de fechamento;
- ✓ Ensaios de operação de abertura (Trip) e fechamento (Close): Corrente reversa 7,5A e 1,5V de diferença da tensão entre trafo e rede (Vf);
- ✓ Ensaios com defasagens: Fechamento e Abertura;
- ✓ Ensaio operacional de fechamento em malha morta;
- ✓ Ensaio operacional de inversão de fase (lado trafo e lado rede);
- ✓ Ensaio operacional de falta de fase alternadamente e individualmente nas três fases;
- ✓ Ensaio operacional de acionamento manual com o comando de abertura remoto acionado;
- ✓ Ensaio operacional de desbalanço da tensão entre fases;
- ✓ Ensaio operacional da corrente de tempo longo e tempo curto (sobrecorrente instantâneo e temporizado);
- ✓ Ensaio de interrupção dos fusíveis;
- ✓ Ensaio de corrente suportável de curta e longa duração;
- ✓ Bloqueio de rearme do protetor com porta aberta e/ou com botão de emergência acionado;
- ✓ Bloqueio remoto com inibição de tentativa de acionamento local;

5.5 FUNÇÕES DE PROTEÇÃO CONFORME PADRÃO ANSI

Outra forma de classificar o conceito de multifunção que demonstra a originalidade e versatilidade do Protetor de Rede Inteligente desenvolvido pode ser observada pela correspondência das funções de proteção compatíveis com o padrão ANSI (*American National Standard Institute*), como listado a seguir:

- ✓ Funções ANSI do DEI:
 - ✓ subtensão (ANSI 27);
 - ✓ direcional de potência (ANSI 32);
 - ✓ sequência de fase e tensão (ANSI 47);
 - ✓ falta de fase/sequência incompleta (ANSI 48);
 - ✓ térmico (ANSI 49);
 - ✓ sobrecorrente instantâneo/temporizado (ANSI 50 e 51);
 - ✓ fator de potência (ANSI 55);
 - ✓ sobretensão (ANSI 59);
 - ✓ desbalanço tensão/queima fusíveis (ANSI 60);
 - ✓ interrupção temporizada (ANSI 62);
 - ✓ supervisão número acionamentos (ANSI 66);
 - ✓ detecção de nível (ANSI 71);
 - ✓ alarme (ANSI 74);
 - ✓ religamento (ANSI 79);
 - ✓ receptor de sinal de telecomunicação (ANSI 85);
 - ✓ chave seccionadora (ANSI 89);
 - ✓ desligamento (ANSI 94);
 - ✓ uso para funções específicas (função 95): Fechamento do Protetor Inteligente em determinadas condições de carga específica para garantir o fechamento e função de limitação de tempo de atuação do motor do carregamento da mola que evita queima do mesmo quando houver falha em outro dispositivo do sistema de fechamento;
 - ✓ uso para funções específicas (96) : Inibe abertura do protetor em condições específicas de fluxo reverso, bloqueando o desarme do Protetor Inteligente devido ao acionamento de fontes externas de geração distribuída que inserem fluxo reverso da fonte para o reticulado.

Dentre estas funções destaca-se a ANSI 96 que será usada para a geração distribuída, onde o DEI, coordenando a entrada e saída destas fontes externas de potência deverá atuar de forma a não causar o ilhamento não intencional na RDS nos grandes centros de carga das metrópoles com topologia *Spot Network* (reticulado exclusivo) e/ou *Grid Network* (reticulado em malha).

5.6 FUNÇÕES DE TELEMONTORAMENTO E TELECOMANDO

Outro diferencial de originalidade, dentro do conceito de multifunção e versatilidade para abranger o maior número de funcionalidade possível para o Protetor de Rede Inteligente desenvolvido, diz respeito à incorporação das funções de monitoramento remoto com estampa de tempo, como listado a seguir:

- ✓ Estado do protetor (aberto/fechado);
- ✓ Valores RMS de Tensão e Corrente (rede e trafo);
- ✓ Valor de Potência Aparente, Fator de Potência;
- ✓ Temperatura interna do cubículo e Temperatura do Transformador;
- ✓ SAG/SWELL, DIC/FIC, DEC/FEC (arquivo log registra o momento do *shut down* e do *boot* do DEI);
- ✓ Estado e tempo de carregamento da mola do disjuntor;
- ✓ Tempo de abertura do disjuntor (arquivo log);
- ✓ Indicador Sequência de Fase e de Rearme habilitado/desabilitado;
- ✓ Valor acumulativo da quantidade de *trips*;
- ✓ Estado da porta do cubículo do protetor (aberta/fechada);
- ✓ Estado de outros protetores (arquivo log);
- ✓ Estado e acionamento dos exaustores da subestação (on/off);
- ✓ Controle de acesso (invasão da SE, monitoramento contra furtos);
- ✓ Controle de alagamento da subestação.

Esta função é responsável por garantir os altos índices da Tabela 1 característicos da topologia reticulado nas RDS's. Sem a informação do estado dos protetores, o sistema pode escalonar os defeitos até atingir níveis de terceira contingência comprometendo os tempos de restabelecimento de falhas.

5.7 ARQUITETURA BASEADA NO CONCEITO *SMART GRID*

Como bem definido sob outra ótica em uma das referências deste trabalho [23], o *Smart Grid* “pode ser considerado uma forma de intensificação de controle dos elementos do sistema elétrico com a finalidade de maximizar os benefícios esperados pelos usuários

do serviço. Dessa forma, a cada elemento da rede elétrica poderá ser associado um novo elemento de tecnologia de informação com o qual, juntos, passarão a comportar um elemento de uma rede inteligente (*Smart Grid*)”.

O Protetor de Redes Inteligente foi desenvolvido de forma a proporcionar um avanço às opções de automação para as redes de distribuição subterrâneas. Atende hierarquicamente às funções de proteção, mas também incorpora funções de monitoramento e comunicação levando em conta as premissas que regem o conceito das topologias baseadas em *Smart Grid*, dentre as quais podemos citar:

- ✓ Autocura (detectar, analisar, responder, restaurar, ajustar);
- ✓ Ser expansível;
- ✓ Ser integrável a equipamentos de outras topologias e ou fabricantes,
- ✓ Possuir arquitetura aberta com sistemas de comunicação padronizado para aplicação em subestação de energia elétrica: MODBUS, DNP3, ETHERNET,
- ✓ Gerenciar diferentes opções de geração local com fluxo bidirecional;
- ✓ Otimizar o uso do ativo e minimizar custos de O&M (Operação e Manutenção);
- ✓ Garantir efetivamente confiabilidade e eficiência no fornecimento de energia elétrica;
- ✓ Mobilidade de carga: monitorar a variação de carga devido à eletropostos de Veículos Elétricos;

São vários os benefícios diretos e indiretos da incorporação deste conceito no projeto. Será possível, por exemplo, obter um melhor controle do processo para uma melhor otimização da rede de distribuição de energia elétrica dando suporte a inúmeras políticas públicas. Integrar de fontes renováveis com uma interação mais dinâmica com os consumidores. Oferecer uma maior flexibilidade às concessionárias em relação ao uso da energia para atingir o grande objetivo social de redução do efeito estufa e otimização do consumo de energia reduzindo perdas e desperdícios.

No curto prazo, os benefícios diretos são: melhoria do gerenciamento da indisponibilidade, gerenciamento otimizado dos ativos e do capital, melhoria no planejamento, nos processos e serviços de fornecimento, aumento da eficiência nos usos

finais de energia, aumento de eficiência de manutenção, redução de perdas técnicas e comerciais, diminuição do investimento na compra de novos Protetores de Rede etc.

5.8 ROBUSTEZ, PORTABILIDADE E ARQUITETURA ABERTA NO CONCEITO DO HARDWARE DODEI

O conceito do dispositivo eletrônico inteligente está baseado nas premissas de uma arquitetura aberta, alinhado com as exigências dos padrões para o ambiente de subestações elétricas no que diz respeito à comunicação e as demandas de interoperabilidade, intercambiabilidade, integrabilidade entre diferentes plataformas (como previsto no standard IEC 61850: data networks communication for Power Substations); robustez de hardware (Compatibilidade Eletromagnética: CISPR11, IEC 61000-4, IEEE C37.90 – Vide relatório de ensaios no Anexo B); Estanqueidade (grau de proteção submersível IP68 – Vide relatório de ensaios no Anexo C); Intempéries (Temperatura, Calor Seco/Úmido, temperatura até 120 °C: BS 2011, IEC 68-1/68-2 – Vide relatório de Ensaios no Anexo D); Robustez Mecânica (IEC 60068-3-8, 60068-2-64 – Vide relatório de ensaios no Anexo E). Tendo sido testados, tanto o DDEI separadamente quanto integrado ao Protetor de Rede Inteligente desenvolvido, seguindo estas normas nos laboratórios com o IEE-USP, IPT, NMI e CPqD. Estes relatórios também fazem parte dos documentos técnicos dos projetos de P&D ANEEL do IEE-USP [36, 37].

O DDEI, que é instalado no Protetor de Redes Inteligente modelo ventilado ou submersível, possui também total compatibilidade para *retrofit* em quaisquer protetores de rede importados tipo ventilado ou submersível, dos fabricantes Whestinghouse/General Electric e EATON modelos MG9, CMD, CM22, etc. Para tanto, foram desenvolvidos dispositivos de conectividade que possibilitam o seu acoplamento em qualquer modelo de protetor novo ou existente, inclusive os mais antigos eletromecânicos favorecendo portabilidade entre diferentes equipamentos facilitando os procedimentos de manutenção e reposição dos relés tradicionais em campo, como mostrado na Figura 19 e 20.

Figura 19: Adaptador de portabilidade do DEI desenvolvido para *retrofits* de relés eletromecânicos ou substituição de relés digitais de outros fabricantes (modelos MG9, CMD, CM22 etc.) Fonte [37]

Figura 20: Testes de funcionalidade dos dispositivos eletrônicos inteligentes e módulos de comunicação em *retrofits* para protetores de redes reformados. Oficina do Cambuci AES-Eletropaulo. Fonte [36]

5.9 CARACTERÍSTICAS DE SEGURANÇA E GRAU DE PROTEÇÃO DO PROTETOR DESENVOLVIDO

Uma das características importantes do projeto do conjunto Protetor de Redes é a preocupação com a segurança dos técnicos operadores. Em nenhum momento, seja em operação ou em testes de funcionamento do relé, haverá exposição dos mesmos a contatos energizados, quer seja do sistema reticulado ou do transformador. Tal característica de funcionamento foi proposta para tentar minimizar ao máximo a exposição dos operadores ao risco elétrico durante suas tarefas e em atendimento à legislação brasileira referente à segurança em serviços de eletricidade – NR-10.

O sistema de extração do disjuntor só é realizado com o mesmo desenergizado, com desconexão automática dos contatos de potência durante extração – são contatos do tipo tulipas. Ao mesmo tempo em que é extraído o disjuntor, ocorre um bloqueio de acesso

às tulipas por anteparo isolante, como uma cortina que se fecha para o acesso às partes energizadas. Como os Transformadores de Corrente estão dentro da parte móvel do disjuntor, todo o processo de testes pode ser executado separadamente com o conjunto formado pela chave de abertura/fechamento e o DEI sem nenhum tipo de contato com partes energizadas, oferecendo condições de segurança aos operadores responsáveis pelos testes e pela manutenção.

O grau de proteção do DEI é IP68 com suportabilidade a temperaturas de até 120 °C, sendo que a caixa submersível foi desenvolvida para o grau de proteção IP68 com sistema de vedação para suportar pressurização até 1 kgf/cm² com Nitrogênio. Isto porque para os sistemas de distribuição subterrâneos, como é o caso da AES-Eletropaulo de São Paulo-Capital e o da Light-Rio de Janeiro/Capital, existem situações de alagamento. O painel ventilado foi desenvolvido para grau de proteção IP55 uma vez que são utilizados em sistemas subterrâneos onde não existem situações de alagamento (ex: sistema distribuição de Brasília-CEB).

O Protetor de Rede Inteligente desenvolvido possui implementada uma lógica para alertar inversão de fase em processos de montagem inadequada em campo (função *safe close*). Este item é importante com relação ao fator segurança aos trabalhadores do subterrâneo, para evitar acidentes em montagens erradas das fases no Protetor de Redes, pois quando ocorre e inadvertidamente o sistema é conectado, causa acidentes graves, geralmente na presença de pessoal dentro das câmaras.

5.10 CARACTERÍSTICAS ELÉTRICAS DO PROTETOR DE REDE INTELIGENTE

As tensões são medidas diretamente nos barramentos internos do protetor. As características básicas são as seguintes:

- ✓ O padrão de tensões do protetor pode ser tanto de 216/125V ou 380/220V;
- ✓ O padrão de corrente pode ser programável de 800A a 2500A;
- ✓ A corrente de curto circuito vai de 42 kA a 65kA;
- ✓ Entrada de corrente alternada: 0,001 A até 5 A;
- ✓ Entrada de tensão alternada: até 130V fase-neutro;

- ✓ Sinalizações para medições de corrente, tensão e ângulo;
- ✓ Sinalizações de atuações dos comandos de *Trip*;
- ✓ Os Transformadores de Corrente (TC) podem ser tanto magnéticos quanto de núcleo de ar, não magnetizáveis e sem saturação, oferecendo a opção de registro de correntes de curto-circuito para estudo de falhas do sistema. Os TC's localizam-se dentro do disjuntor extraível, de onde são feitas tais medições. A extração dos TC's junto com a parte extraível do disjuntor permite testes funcionais do conjunto totalmente desacoplado do sistema elétrico.

Além dos circuitos de proteção de alto desempenho inerentes ao protetor de redes, os quais atendem todas as normas de compatibilidade eletromagnética (CEM), o DEI (Dispositivo Eletrônico Inteligente) possui também uma proteção adicional que permite suportar as sobretensões transitórias oriundas da energização dos transformadores do sistema subterrâneo da concessionária.

Podem ser monitorados continuamente 2 sistemas trifásicos independentes paralelos, sendo 6 tensões de fase para o disjuntor aberto e para o disjuntor fechado 3 tensões e 3 correntes, com as seguintes funções:

- ✓ fechamento dos contatos de potência através de bobina de fechamento do disjuntor quando garantidas as condições de que sequência positiva de potência irá fluir de um sistema trifásico (transformador) para outro (rede elétrica reticulada);
- ✓ abertura dos contatos de potência através de bobina de abertura do disjuntor quando sequência positiva de potência passar a fluir de um sistema trifásico (rede elétrica reticulada) para outro (transformador), situação de falha equilibrada ou não, inclusive se esta for a corrente de magnetização do transformador associado ao disjuntor.

5.11 CARACTERÍSTICAS DA COMUNICAÇÃO DO PROTETOR DE REDE INTELIGENTE

O Gerenciamento da Indisponibilidade passa a ser uma ferramenta importante para a concessionária com o Protetor de Rede Inteligente desenvolvido. Isto faz com que o tempo em que o sistema está indisponível seja reduzido sensivelmente uma vez que o seu Dispositivo Eletrônico Inteligente (DEI) possui integrado num mesmo hardware as funções de teleproteção, telecontrole, telecomando e telemonitoramento. Neste mesmo *hardware* estão incorporados os módulos de comunicação com opção de interconectividade à rede de TI por Fibra Ótica, Rádio *Mesh*, *Power Line Communication* etc. Com isto, é possível ter acesso à informação que fica disponível nos centros de operação e de manutenção das concessionárias de distribuição de energia elétrica, como ilustrado nas figuras 21, 22, 23 e 24.

A comunicação é feita por saídas RS 232/485 e Ethernet/TCP-IP, com protocolos como ModBus, DNP 3.0 estando já preparada para o padrão IEC 61850.

Figura 21: Infra-estrutura comunicação por telefonia móvel celular como uma das possibilidades para o modelo de automação híbrida nas RDS's com a solução proposta (caso: CEB-Distribuição Brasília) – Fonte: [36].

Figura 22: Infraestrutura comunicação por rádio *mesh* como uma das possibilidades para o modelo de automação híbrido nas RDS's com a solução proposta (caso: Light-RJ – AES Eletropaulo – fonte: AES Eletropaulo). Fonte: [37].

Figura 23: Área piloto na AES-Eletropaulo com rede de comunicação por fibra ótica para a automação com o DEISmart NetPro Futura em Protetores de Rede existentes. Fonte: [36].

Figura 24: Infra-estrutura comunicação por fibra óptica como uma das possibilidades para o modelo de automação híbrido nas RDS's com a solução proposta (caso: AES Eletropaulo – fonte: "Projeto de automação de RDS da AES Eletropaulo" Fórum Redes Subterrâneas 2010).

5.12 APLICATIVOS E FERRAMENTAS DE MONITORAMENTO E GERENCIAMENTO

Um caso típico e que pode frequentemente acontecer na rede subterrânea é quando, em situações de grande desbalanceamento de carga, com boa totalidade das cargas monofásicas alimentadas por uma mesma fase, cujo efeito aparece quando do desligamento dos equipamentos trifásicos: duas fases trabalhando em vazio proporcionam desarmes diários dos protetores de rede por potência reversa nestas fases, voltando a religar na manhã do dia seguinte. Tais correntes reversas se dão pelo efeito de um transformador se comportar como carga para o outro no sistema reticulado. Os relés com os parâmetros utilizados comumente pela Companhia irão desligar os transformadores do barramento durante a noite, assumindo a carga assim que um motor trifásico presente na rede seja acionado pela manhã (ou primeira manhã após feriados e finais de semana). Nestes casos o estudo do comportamento de cargas e redefinição dos parâmetros no DEI poderá melhorar as condições daquela localidade específica do circuito em tais situações.

Esta opção de adaptabilidade às condições específicas e dinâmicas de cada subestação, cujos benefícios agregam grande valor para a engenharia, operação e manutenção das concessionárias, podem inclusive obter as características de consumo e perfil de carga dos usuários, como ilustrado na Figura 25, aproveitando a conveniência da extensão e abrangência do reticulado. Isto porque, os pontos de coleta da informação de tais perfis de carga coincidem com os pontos de instalação dos protetores de rede que estão distribuídos em toda a capilaridade do subterrâneo.

Figura 25: Exemplo de dados coletados dos relés com monitoramento que poderão mostrar o comportamento da carga e em um determinado ponto do reticulado (ex: Ar Condicionado do Senado – CEB/Brasília). Fonte: [37]

O protetor pode ser interligado em rede através de Ethernet com protocolo TCP/IP, viabilizando o monitoramento remoto com acesso de qualquer local pela internet. Os softwares desenvolvidos para PC, como o ilustrado na Figura 26, que recebem as informações dos sensores instalados em campo (Figura 27), permitem:

- ✓ Parametrização remota;
- ✓ Telecomando com manobra;
- ✓ O monitoramento em tempo real do sistema reticulado, possuindo registros *LOG* de eventos de operação e descrição das características das falhas com estampa

de tempo com possibilidade de determinação do DIC (Duração Individual de Continuidade) e FIC (Frequência Individual de Continuidade);

- ✓ Monitoramento das principais grandezas dos transformadores e alimentadores (ex.: nível de óleo; gases; temperatura; potência ativa; fator de potência por fase, tensões e correntes trifásicas; carregamento; qualidade de energia, medição de energia etc.);
- ✓ Monitoramento das principais grandezas dos protetores de rede (ex.: pressurização, *trip* e rearme, tempo para operação do sistema de abertura e fechamento do protetor, tempo de carregamento da mola do disjuntor, indicador de sequência de fase, estado da porta do cubículo do protetor, estado de outros protetores na câmara, valor cumulativo da quantidade de *trips*);
- ✓ Segurança patrimonial (invasão de câmaras para furto de cabos e equipamentos);
- ✓ Segurança estrutural (alarmes de alarmamentos, perda de pressurização de transformadores e protetores de rede blindados, temperatura do cubículo e câmara, estado do sistema de exaustão);
- ✓ Visualização em tempo real do funcionamento do sistema reticulado e dos níveis de demanda de cada transformador fornecendo subsídios para as equipes de engenharia, projeto e de manutenção (perdas comerciais: furto de energia);
- ✓ Identificação antecipada de falhas do através de análise das curvas de tensão e corrente que se não alertadas podem levar a situações de curto-circuito;
- ✓ Identificação antecipada de perda gradativa de isolamento de cabos: esta preditiva é feita com o registro *finger print* (identidade padrão: fixar um valor de carga para a localidade sob avaliação) durante o período noturno quando a carga é baixa, com desligamento seguro do protetor, para de tempos em tempos repetir este registro e acompanhar os eventuais desvios do padrão registrado acompanhando as curvas de tendência para sinalizar valores críticos.

Com estas características do Protetor de Rede Inteligente desenvolvido é possível, por exemplo, observar equipamentos de determinada região que eventualmente fiquem subutilizados, com cargas muito abaixo de sua capacidade nominal. Após tal constatação, será possível avaliar um uso mais racional destes recursos, com a possibilidade de realocação do conjunto chave-primária/transformador/protetor-de-redes para outra subestação mais carregada e de menor capacidade de potência instalada. Desta forma, alivia-se as unidades e sua utilização acima de sua capacidade nominal, prolonga-se a sua vida útil e retarda-se investimentos para a expansão, como consequência desta ação de otimização do parque já instalado.

Outro exemplo do benefício destas ferramentas é o do ajuste diferenciado para a corrente reversa que seja adequado para cada situação específica da rede. Hoje o ajuste é único para toda a rede o que não é muito adequado, mas é uma prática que não tem mudado há décadas. Há de se convir que a rede não é mais a mesma em relação às cargas. Isto demanda uma revisão destes conceitos de proteção. Tais aplicativos que possibilitam a análise da rede através do monitoramento facilitam esta tarefa.

Figura 27: Monitoramento dos equipamentos e das câmaras da RDS. Fonte [36, 37].

O conceito de proteção e monitoramento com uma relação custo benefício mais atrativa pode viabilizar a expansão do sistema superando as dificuldades sob o aspecto técnico (função proteção integrada com monitoramento) e econômico (função monitoramento

integrada sem custos adicionais). Além disso, propiciará intervenções antecipadas que aperfeiçoarão as ações pro-ativas de manutenção de protetores de rede, de transformadores; diminuição do número de paradas intempestivas; redução de perdas técnicas.

Outros aspectos que um sistema com tais ferramentas de monitoramento e análise pode propiciar são as reduções de perdas comerciais por diminuição da indisponibilidade destes circuitos de distribuição evitando multas e perda de faturamento; melhoria dos índices de qualidade de energia da empresa através da diminuição da duração total do tempo de indisponibilidade da energia; economia de energia elétrica dissipada nas falhas de baixa impedância, geralmente não detectadas antes de uma falha catastrófica, que em muitos casos, ocorrem somente após longos períodos com perdas por dissipação contínua; economia com material, visto que uma manutenção antes de uma perda completa de protetores, chaves, transformadores e cabos etc. são menos onerosas. A infraestrutura para coleta de parâmetros elétricos serve também para monitoramento da qualidade da energia distribuída ao consumidor.

Adicionalmente aos benefícios do monitoramento, também é possível a operação remota dos Protetores de Redes Inteligentes. Uma situação que pode ilustrar este benefício é o do religamento de cargas após falha de alimentadores primários que geram desarme em toda a rede de média tensão, normalmente abrangendo áreas maiores e várias outras subestações no entorno. Em determinadas situações, não é possível o religamento do sistema de uma só vez e se faz necessário o desligamento de boa parte das subestações para em seguida re-estabelecer de maneira escalonada cada uma delas, aumentando a carga do sistema de forma controlada. Estas ocorrências, em geral são diurnas, quando as cargas são maiores e nestes horários as condições de tráfego nas ruas de acesso são um complicador a mais. Isto aumenta a responsabilidade decorrente da interrupção de energia e os prejuízos inerentes à perda de arrecadação e uma piora dos índices de qualidade da energia fornecida. A dificuldade na capacidade de reação é inerente, já que as equipes têm que ir a vários locais da rede subterrânea, desconectando-as dos barramentos de média tensão e, depois de restabelecida e estabilizada a alimentação de média tensão, ir novamente àqueles locais da rede subterrânea para religá-los. Este procedimento pode demorar horas dependendo do

número de equipes, condições de tráfego e quantidade de subestações envolvidas. Com a possibilidade de telecontrole, o tempo de se efetuar este procedimento poderia ser reduzido para a ordem de minutos e realizado com muito menos riscos para os eletricitistas, com melhorias inclusive em relação aos procedimentos de diminuição de exposição ao risco. Implementações em nível de base de dados, a partir da plataforma formada pelos Protetores de Redes Inteligentes e DEI's instalados nos protetores eletromecânicos existentes, possibilitarão uma automatização daquele processo por um Sistema Especialista que avaliaria a carga na medida em que são ligadas as Subestações, evitando-se que o sistema entre em colapso e o processo tenha que recomençar do princípio.

Através do acúmulo de dados históricos, de carregamento, temperatura, contagem de operações, cruzamento destas informações de vida útil dos equipamentos, será possível avaliar matematicamente as probabilidades de falhas e permitir ou recomendar ações de manutenção preditivas e pró-ativas, evitando-se falhas catastróficas, reduzindo-se custos e melhorando sensivelmente os indicadores de continuidade de serviço. Podendo ou não ser automático após executar as análises e testes.

Estas características do sistema desenvolvido dão subsídios ao gerenciamento inteligente de ativos da RD S, colocando-se como um diferencial no cenário atual da operação dos sistemas de distribuição subterrâneos.

5.13 DIAGRAMA FUNCIONAL DO PROTETOR DE REDE INTELIGENTE

No diagrama a seguir da Figura 28, estão ilustradas todas as funcionalidades implementadas no Protetor de Rede Inteligente para operação autônoma em redes subterrâneas de distribuição elétrica secundária trifásica.

Figura 28: Diagrama funcional do Protetor de Rede Inteligente Desenvolvido para RDS.

CAPÍTULO 6

6.1 RELAÇÃO CUSTO-BENEFÍCIO

A estratégia para baixar custo do conjunto Protetor de Rede e seus sub-sistemas é uma demanda do mercado nacional há vários anos [24, 38], tendo sido inclusive motivo de P&D's ANEEL importantes dentro do grupo de pesquisa do IEE-USP (ex.: P&D CEB-IEE-USP e P&D AES-IEE-USP), e tem sido uma premissa desde o início dos trabalhos de desenvolvimento desta solução. A estratégia de oferecer uma solução com a melhor relação custo-benefício está fortemente baseada no baixo custo assegurado, tanto para os componentes que formam o DEI, quanto para o conjunto final do Protetor Inteligente. As demais partes de potência do Protetor Inteligente teve contemplada em seu projeto a premissa de baixo custo e com o uso de tecnologia nacional. Isto foi possível através da busca de componentes de “prateleira” que atendessem os altos padrões de qualidade e robustez, que por estarem presentes no mercado local pudessem garantir também uma fácil reposição e menor custo de logística. Nos itens que tiveram que ser fabricadas, foi usado um projeto simplificado sempre dentro de dimensões e características padrões para as seguintes partes do protetor: módulos de potência que inclui disjuntor (modelo escolhido é robusto e faz parte da linha de produtos de fornecedores nacionais como ABB, GE, Schneider etc.); painel e barramentos com projetos simplificados (as dimensões padrões de chaparia garantem que qualquer montador nacional possa construí-lo, sendo que existência de vários fornecedores proporciona a concorrência e consequentemente melhores preços); fusível com fornecimento nacional (com base na especificação técnica das curvas de coordenação da proteção para o fusível foi possível obter várias opções de fabricantes locais, em substituição à única opção que era importada e de alto custo).

A configuração completa do Protetor Inteligente desenvolvido pode ser descrita como sendo formada por um módulo DEI de proteção, telemonitoramento, telecomando e diagnóstico que é embarcado em um módulo de potência. Este módulo de potência possui uma chave para abertura em carga dos circuitos do sistema de distribuição reticulados. Esta função de chave é exercida por um disjuntor padrão de mercado operado pelo DEI desenvolvido que possui as várias funções de proteção

implementadas no seu firm ware, sendo a principal delas, para circuitos reticulados de distribuição, a proteção de potência reversa (com base na IEEE C57.12.44-05).

O conjunto formado pelo DEI juntamente com a parte de potência com todos os demais componentes têm a seguinte composição percentual no preço final do Protetor Inteligente [36, 37]: DEI representa até 20% do valor global e a parte de potência os outros 80%. Portanto, os esforços na redução do valor pela simplificação do projeto da parte de potência do Protetor Inteligente e de Rede desenvolvido oferecem uma redução significativa no conjunto de uma forma geral. Esta redução pode chegar a 50% na parte de potência ou 40% do valor global do protetor, se comparada às soluções importadas, e dependendo da escala de produção, uma redução ainda maior. A concessionária, de posse de um projeto simplificado como o que foi proposto, pode ainda se favorecer dos benefícios de uma concorrência pelo menor preço, colocando o pedido a vários montadores de painéis disponíveis no mercado nacional, no caso da versão ventilada.

Para ambas as versões do Protetor Inteligente, ventilado e submersível, os componentes sobressalentes e acessórios seguem a mesma filosofia de barateamento e redução de custo para reposição/troca e manutenção, além da facilidade da logística uma vez que os fornecedores estão no Brasil. Este ponto também é uma grande vantagem para redução de custos de O&M relação aos equivalentes importados. As Figuras 28, 29 e 30 ilustram as diferenças de conceito nos projetos.

6.1.1 OTIMIZAÇÃO DE CUSTOS PARA O MÓDULO DE POTÊNCIA DO PROTETOR DE REDE INTELIGENTE

O módulo de potência consiste em um disjuntor de potência (ex.: 1600 A / 380 V) montado em um painel de baixa tensão, com dimensões que podem ser adequadas à necessidade específicas dos clientes potenciais para o modelo ventilado: a Figura 28 a seguir ilustra o projeto que se adequa à concessionária de distribuição de energia elétrica de Brasília – CEB (Companhia Energética de Brasília) que tem tal modelo instalado em uma área piloto do projeto de P&D ANEEL. Para o caso de aplicação na AES-Eletropaulo, Light-Rio e CEMIG-BH as versões do Protetor Inteligente devem ser do tipo submersível: 1600A, 1875A, 2500A, 3200A – 220V) cujo projeto construtivo

está ilustrado na Figura 29 a seguir, o qual possui uma unidade em vias de instalação na área piloto na AES-Eletropaulo, dentro do projeto de P&D ANEEL.

Figura 29: Projeto de baixo custo do painel de potência do Protetor Inteligente desenvolvido (versão ventilada).

Figura 30: Projeto de baixo custo do painel de potência do Protetor Inteligente desenvolvido (versão submersível).

Os modelos desenvolvidos, mostrados nas Figuras 29 e 30, se comparados aos existentes (Fig. 31) que representam a grande maioria no parque instalado, apresentam diferenças importantes nas características construtivas da parte ativa de potência, o que dá à solução desenvolvida um caráter inovador e prático. Isto reflete diretamente na redução considerável dos custos de produção, que devido ao conceito construtivo possibilita sua montagem no mercado nacional com custos muito competitivos, e proporciona uma relação custo-benefício vantajosa.

Figura 31: Protótipos existentes de elevador customizado com projeto dedicado da parte de potência, barramento e demais componentes do conjunto. Fonte [37]

6.1.2 OTIMIZAÇÃO DE CUSTOS NA FABRICAÇÃO DO DEI

A estratégia de construção do módulo DEI caracterizou-se pela busca de materiais e equipamentos que permitissem o menor custo com a máxima performance dentro da concepção de plataforma integrada de trabalho: proteção, monitoramento, diagnóstico e *Smart Grid*.

Para tanto, a utilização de circuitos integrados de baixo custo com o da família de medidores de energia ADE7763 (60 mm² por unidade) da *Analogue Device* [39] permitiu uma grande otimização e miniaturização das placas de CI do módulo DEI para a quantidade de funções a que se propôs realizar, pois são usados três destes ADE's para medição de tensão e três para medição de corrente. Além disso, este CI realiza todos os cálculos somente com a medição da tensão e corrente diretamente dos TC's e TP's, disponibilizando automaticamente as potências, frequências etc. necessários para as rotinas de proteção, monitoramento e comunicação, além de alto grau de controle sobre suas variáveis internas, inclusive com calibração, o que permite alta precisão nos resultados.

O uso de um microcontrolador de alto desempenho (Maxim), faz com que se tenha alto rendimento na comunicação com os seis ADE's usados, obtendo-se dados neles processados pela porta serial que cada um apresenta, com consequente grande velocidade na coleta de dados com liberação do processamento lógico para tratamento das rotinas de proteção (prioritária) e monitoramento (que rodam em *background*).

Com este funcionamento distribuído (a parte de coleta e processamento de sinais estando no ADE7763), consegue-se desempenho fazendo que as funções complexas de monitoramento da rede e comunicação sejam possíveis de se realizar sem afetar o processo prioritário que executa as funções de proteção. O DEI apresenta ainda um módulo de memória EEPROM (*electronic erasable programmable read-only memory*) com grande capacidade de armazenamento para registros de operações (com registro do tipo e do momento em que ocorreram). Permite aos operadores do sistema elétrico identificar causas de falhas recorrentes, bem como uma otimização no uso dos equipamentos.

6.2 POTENCIAL PARA APLICAÇÃO DA SOLUÇÃO NOS PARQUES DE RDS EXISTENTES NO BRASIL

Existe um grande potencial para a aplicação imediata da solução proposta, visto que os ativos do parque instalado das RDS estão na sua grande maioria em fim de sua vida útil [36, 37] e o número dos eventos não forçados de interrupção de energia elétrica nas grandes metrópoles vem crescendo de forma preocupante. Enquanto na maioria dos casos para as distribuidoras de energia, *Smart Grid* significa ter que investir antes para obter seus benefícios, para a RDS com a solução proposta, a qual já incorpora, além das funções mais importantes para viabilizar o *Smart Grid*, também os ativos de redes no Protetor de Rede Inteligente sem custo adicional (*switches*, rádio *mesh* etc). Isto resulta em ganho com custos evitados na infraestruturação com ativos de TI que formam a base para o *Smart Grid*. As Figuras 32 a 35 a seguir descrevem as características e áreas de abrangência das RDS's nas principais metrópoles no Brasil.

Figura 32: Área de abrangência da RDS na AES-Eletropaulo. Fonte: [25]

Figura 33: Área de abrangência da RDS na CEMIG-BH. Fonte: [26]

Figura 34: Área de abrangência da RDS na Light-Rio. Fonte: [26]

Figura 35: Área de abrangência da RDS na CEB-Brasília. Fonte: [26]

Neste capítulo foi apresentada uma dimensão estimativa dos ganhos imediatos proporcionado pelos custos reduzidos da solução proposta, frente às alternativas importadas. Estas possuem maiores custos e por conta disto têm freado os investimentos na renovação e modernização das RDS's. Estes valores, frente ao potencial de renovação e expansão existentes no parque instalado para uso da solução, favoreceriam o uso em escala proporcionando uma redução ainda maior dos custos, e consequentemente uma melhor otimização de investimento na tão estagnada RDS das principais metrópoles do Brasil.

CAPÍTULO 7

7.1 CONCLUSÃO

Esta tese de doutorado teve como objetivo desenvolver um Protetor de Rede Inteligente como solução de modernização da automação da proteção para redes de distribuição subterrâneas secundárias trifásicas, cuja originalidade está na integração de funções adicionais como: comunicação, telemonitoramento e telecomando.

Apresenta ainda, apesar desta multifuncionalidade, uma redução sensível dos custos diretos e indiretos, principalmente devido ao projeto simplificado para os módulos de potência do Protetor de Rede Inteligente compatível com a realidade das RDS e das concessionárias brasileiras. Os pontos mais importantes que determinam uma atrativa relação custo-benefício para as concessionárias foram alcançados, dando à solução desenvolvida originalidade também sob este aspecto econômico.

Além disso, incorpora arquitetura aberta para o Dispositivo Eletrônico (DEI) que executa as funções de proteção, de acordo com a norma de protetores [11], monitoramento, comunicação e tele-comando.

Tal desenvolvimento potencializa a implantação do *Smart Grid* nas redes de distribuição subterrâneas disponibilizando seus benefícios através do Protetor de Rede Inteligente nas suas várias funcionalidades, incorporadas com arquitetura aberta no Dispositivo Eletrônico (DEI) que, além das funções de proteção, de acordo com a norma de protetores [11] possui: monitoramento, tele-controle, operação, tele-proteção, viabilização de geração distribuída através de fontes alternativas, suporte aos veículos elétricos etc.. A partir do centro nevrálgico das Redes de Distribuição Subterrâneas, cuja topologia está presente nos centros de alta concentração de carga das principais metrópoles do Brasil, a solução desenvolvida pode viabilizar técnica e economicamente os avanços do *Smart Grid*, propiciando um salto tecnológico expressivo para as distribuidoras de energia elétrica.

Isto possibilita:

- ✓ Melhor controle do processo para uma melhor otimização da rede dando suporte a inúmeras políticas públicas, desde integração das intermitentes fontes renováveis

na forma de Geração Distribuída, até uma interação mais dinâmica com os consumidores;

- ✓ Maior flexibilidade às concessionárias em relação ao uso da energia para atingir o grande objetivo social de redução do efeito estufa e otimização do consumo de energia para reduzir perdas e desperdícios;
- ✓ No curto prazo, os benefícios diretos da melhoria do gerenciamento da indisponibilidade, gerenciamento otimizado dos ativos e do capital, melhoria no planejamento, processos e serviços de fornecimento e usos finais de energia, aumento de eficiência de manutenção, redução de perdas técnicas e comerciais, otimização do investimento na compra de novos protetores de rede. Com o trabalho apresentado nesta tese de doutorado, foi possível chegar a uma alternativa de baixo custo para Protetores de Rede, com tecnologia nacional, para disponibilizar às concessionárias de distribuição das principais metrópoles do Brasil, as quais possuem sistemas subterrâneos tipo Reticulado Exclusivo ou em Malha.

Além destes objetivos que conduziram às metas do trabalho, outras funções foram agregadas à solução, cuja função principal é a proteção dos sistemas reticulados que podem gerar muitos benefícios às RDS's. As funções adicionadas e arquiteturas utilizadas nos demais componentes que formaram o conjunto de proteção foram feitas mantendo-se a premissa de não onerar o valor final da solução para protetor de rede. Com isto, será possível uma modernização da RDS com uma atrativa relação custo-benefício, especialmente face à única existente de alto valor e importada, otimizando assim as necessidades de investimento na RDS, cujas ações de renovação dos ativos e expansão da rede estão estagnadas há anos. As funções adicionais de telemonitoramento, telecomando, etc. incorporadas que formam o Protetor de Rede Inteligente, agregam valor às ações de automação da RDS. Desta forma o monitoramento, com os protetores distribuídos na capilaridade da rede, torna a RDS mais inteligente viabilizando:

- ✓ Intervenções antecipadas que aperfeiçoam as ações pro-ativas de manutenção dos ativos da RDS: protetores de rede e de transformadores;
- ✓ Diminuição do número de paradas intempestivas;

- ✓ Redução das perdas técnicas, parciais e catastróficas, economizando gastos com material, visto que uma manutenção antes de uma perda completa de protetores, chaves, transformadores e cabos etc. são menos onerosas;
- ✓ Diminuição das perdas em vazio dos transformadores (I^2R que pode chegar a 1% da potência nominal dos trafos);
- ✓ Redução das perdas comerciais por diminuição da indisponibilidade destes circuitos de distribuição evitando multas e perda de faturamento;
- ✓ Melhoramento dos índices de qualidade de energia da empresa através da diminuição da duração total do tempo de indisponibilidade da energia;
- ✓ Identificação de falhas de alta impedância, geralmente não detectadas antes de uma falha catastrófica, que em muitos casos, ocorrem somente após longos períodos com perdas por dissipação contínua;
- ✓ Maior conhecimento pela concessionária dos níveis de qualidade da energia distribuída ao consumidor através da infra-estrutura para coleta de parâmetros elétricos do protetor;
- ✓ Criação de bases de dados com aquisições periódicas para formação de base de conhecimento histórica para estudos de carga, gerenciamento de ativos, manutenção periódica e pró-ativa, equilíbrio de cargas entre fases, estatística de reclamações de clientes, etc.
- ✓ Possibilidade de georeferenciamento das câmaras subterrâneas e seus estados em tempo real com criação de Sistemas Especialistas: estabelecimento de tendências com reconhecimento de situações de risco futuro e disparo automático de ações de manutenção (preditiva com monitoramento da condição do ativo);

Outros aspectos importantes estão associados à solução desenvolvida, cujos benefícios irão se transferir automaticamente à RDS. Um destes temas correlacionados trata-se da produção de energia próxima aos centros de consumo de elevada carga nas grandes metrópoles através da Geração Distribuída cujo equacionamento técnico, sob o ponto de vista da proteção da rede de distribuição vinculada à GD, pode ser delegado à solução proposta, como por exemplo: acompanhamento do aumento de tensão na unidade consumidora por conta do uso de GD acoplada à RDS, monitoramento da sobrecarga em alimentadores e transformadores causada pela GD, coordenação de fluxo reverso destas fontes geradoras (GD) para evitar o ilhamento não-intensional na RDS. Desta

forma, será possível usufruir de maneira segura dos benefícios da GD na RDS, tais como: a redução da necessidade de investimentos em transmissão, melhoria na estabilidade do sistema local, redução da necessidade de investimento da concessionária de distribuição.

Com as funções de tele-monitoramento incorporadas será possível que a RDS opere em regime de carga normal na maior parte do tempo. Fazendo com que o dimensionamento para contingência seja usado como reserva técnica para acomodar a demanda de eventuais fontes de geração distribuída, eletropostos e suas cargas móveis como os veículos elétricos etc. (RDS foi dimensionada para suportar carga de duas a três vezes em relação a situações normais, devido à falta de automação dos seus ativos). Isto postergaria a necessidade de investimentos no curto e médio prazo, quer seja na repontencialização dos ativos de potência, quer seja nos sistemas de coordenação de entrada e saída do fluxo de energia intermitente advindo da GD.

Outro tema que está intimamente ligado aos benefícios adicionais que a solução pode facilitar é a efetiva implementação de um Gerenciamento de Ativo mais inteligente com a incorporação do conceito de *Smart Grid* à RDS.

Esta opção de gerenciamento dos ativos através das funções de monitoramento integradas ao Protetor de Rede Inteligente passa a ter um papel fundamental para a RDS, pois, na sua concepção estão intrínsecos altos índices de confiabilidade e disponibilidade na distribuição de energia elétrica apresentados na Tabela 1 no Capítulo 2.

Como nos parques instalados no Brasil há uma grande lacuna de automação na RDS, tais índices ficam comprometidos quando não há uma forma sistemática de monitoramento do estado dos protetores de rede na RDS. As situações de falhas têm sido frequentes e mesmo a rede tendo sido dimensionada para trabalhar em regime de segunda e até terceira contingência, que acontece quando um transformador deve assumir a carga de outro transformador cujo protetor de rede abriu por uma situação de proteção (podendo escalonar uma situação de assumir a carga de mais de um transformador). E não raramente tem acontecido a interrupção no fornecimento onde o

consumidor é que passa a ser o elemento sinalizador da falha. Com a possibilidade de poder retomar os investimentos com soluções mais viáveis economicamente à realidade nacional, poderemos ao invés de administrar as emergências em regimes de contingência e mesmo falhas no fornecimento, passar a gerenciar a indisponibilidade de posse da informação do estado dos ativos da RDS, garantindo os índices típicos destas redes de distribuição de energia elétrica.

Fica evidente a necessidade de uma urgente modernização das redes de distribuição. Isto já devia ter comecado há vários anos, e agora o cenário é ainda mais urgente sinalizado com as inúmeras paradas de fornecimento de energia por falhas na RDS nos grandes centros urbanos (casos relatados na mídia escrita e televisiva na RDS de São Paulo, Rio de Janeiro, Brasília). Adicionalmente, temos à frente um desafio em atender o crescimento previsto para a próxima década no Brasil, isso se junta à pressão por melhorias de infra-estrutura para atender aos aumentos de carga, para a realização da Copa de 2014 e Olimpíadas de 2016. Torna-se cada vez mais imediato e imprescindível o uso de soluções inteligentes e multifunção, como a que está apresentada neste trabalho, que reduzam custos e viabilizem a retomada efetiva de investimentos na modernização das redes.

7.2 SUGESTÃO DE TRABALHOS FUTUROS

As opções adicionais, listadas a seguir, estão sendo acompanhadas em campo e merecem uma avaliação mais aprofundada. Por outro lado, o equipamento desenvolvido tem intrínseco em sua arquitetura a característica de expansão, podendo agregar novas funções sem ter que fazer mudanças drásticas no hardware. Desta forma, o uso da IEC 61850 e de conceitos de proteção adaptativa estão sendo aprimorados e são objetos de temas de trabalhos futuros.

- ✓ Avaliar a melhor opção entre proteção adaptativa local ou distribuída com o uso de algoritmos de inteligência artificial (ex.: redes neurais);
- ✓ Expandir as informações de qualidade de energia que incluem : SAG; SWELL (V); SWELL (I); DEC; FEC; DIC; FIC; para outras aplicações na empresa e fomentar estudos junto à AN EEL de melhoria do sistema, com o possível uso de outra métrica além do DEC/FEC para sistemas subterrâneos;

- ✓ Avaliar o uso de novas métricas para os índices de disponibilidade dos ativos da RDS como o que foi sugerido neste trabalho: OEE (*Overall Equipment Effectiveness*);
- ✓ Disseminar em escala abrangente na empresa o protocolo padrão IEC 61850 e validar os benefícios da interoperabilidade;
- ✓ Utilizar a opção de oscilografia, que tem como objetivo possibilitar o desenvolvimento de estudos sobre comportamento de falhas dinâmicas do sistema. Inclui-se aqui análise das oscilografias de curto-circuito, que podem permitir a otimização do tempo de localização deste tipo de falha (atualmente toma grande parte do tempo na manutenção de um sistema, por ser subterrâneo);
- ✓ Operacionalizar as comunicações remotas, tornando-a de fácil acesso aos operadores do sistema, e às agências reguladoras, para uma visualização em tempo real, integrando-o com supervisórios com registro de eventos via base sincronizada de eventos;
- ✓ Desenvolver aplicativos de análise de dados coletados nos DEI's para dinamizar e difundir seu uso com a alternativa tecnologicamente viável para uso em larga escala pelas concessionárias.

Sugere-se a inclusão da plataforma piloto instalada na CEB para estudo de caso de um projeto de demonstração da viabilidade do conceito *Smart Grid* em projetos conveniados incluindo outras distribuidoras ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica). A plataforma com os equipamentos desenvolvidos instalados servirão de malha de desenvolvimento para alavancar o conceito de *Smart Grid* e aplicações com Geração Distribuída de forma prática e efetiva.

A infraestrutura de comunicação quer seja por fibra, rádio *mesh* ou PLC (*Power Line Communication*), é uma atividade que vinha freando investimentos devido ao custo adicional causado pelas dificuldades inerentes a obras no subterrâneo. A redução de custo causada pelo barateamento do equipamento mais importante da RDS, resultante

deste trabalho, deve fomentar iniciativas de melhoria da infra-estrutura de comunicação, e esta prática deve ser disseminada com maior intensidade nas concessionárias.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

- [01] BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Portaria nº 440, de 15 de abril de 2010. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/mme/galerias/arquivos/noticias/2010/Port_440_REDE_INTELIGENTE.pdf>. Acesso em: 10 jul.2010.
- [02] Boletim ”**Visão do Desenvolvimento Econômico e Social**”, 2010.
- [03] Diário Oficial da União (DOU), 16/04/2010, pg 72, Seção 1.
- [04] SMART GRID. In: WIKIPÉDIA: A enciclopédia livre. Disponível em : <http://pt.wikipedia.org/wiki/Smart_grid>. Acesso em: 14 jul.2010.
- [05] WORLD CONGRESS ON INFORMATION TECHNOLOGY, 17.,2010, Netherlands. Proceedings...Vienna: WITSA., 2010. Disponível em: <http://www.wcit2010.com/WCIT%202010>.
- [06] BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL. **Demanda de consumo interno no Brasil**, Rio de Janeiro: BNDES, 2010.
- [07] MEROLA , Ediane, LIMA , Ludmilla; CRUZ, Melissa . **Bueiro explode em Copacabana e fere casal de turistas americanos**. O Globo, Rio de Janeiro, 29 jun. 2010. Disponível em : Jornal O Globo, 29/06/ 10, “Tampa de câmara subterrânea explode e fere com queimaduras turistas americanos no centro do Rio de Janeiro
- [08] Jornal o Estadão, 18/03/2010, “ **Dois apagões em uma semana no sistema de distribuição de Brasília**”.
- [09] Jornal Folha de São Paulo, 11/05/2010, “ **Mini-apagão no centro de São Paulo devido ao rompimento do cabo no sistema subterrâneo**”.
- [10] Jornal O Globo, capa, pg 13-14, 16/11/2010.
- [11] INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS. IEEE C57.12.44: **Requirements for Secondary Network Protection**. New York, 2005.
- [12] INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. IEC 61850-SER. All parts. **Communication networks and systems in substations**. Geneva, 2005.
- [13] SIQUEIRA, I. P. **Manutenção centrada na confiabilidade: manual de implementação**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2005, 408p.
- [14] CASTRO, W., et al. **Gerenciamento de Ativos**. Controle e Instrumentação, v.10, n.100, p.41-54, jan. 2005.
- [15] CASSIOLATO, C. et al. **Diagnósticos e manutenção em Fieldbus via Web Controle e Instrumentação**, v.7, n.71, p. 78-83, jul. 2002.

- [16] DAVID MONTGOMERY. **Company wide Asset Management**. Technical article, Solutia Inc., Decatur-Alabama USA, March, 2001.
- [17] **User guide for the application of monitoring and diagnostic techniques for switching equipment for rated voltages of 72,5kV and above**. CIGRÉ 2000.
- [18] DUPONT, C. J. et al. **Gerenciamento de Dados para Monitoramento e Avaliação da Condição Operacional de Transformadores**. CIGRE GT A2.23, Relatório Final, CIGRÉ, Brasil, 2005.
- [19] BAJAY, S. V. **A Matriz Energética do Estado de São Paulo: evolução e perspectivas**. In: FÓRUM LEGISLATIVO DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO SUSTENTADO Relatório 2003/2004: uma contribuição à reflexão sobre o desenvolvimento. São Paulo: Assembleia Legislativa do Estado de São Paulo, p. 109-26, 2005.
- [20] PEREIRA, M. G. **Análise da entrada do gás natural na matriz energética: um panorama das transformações do setor energético paulista**. Departamento de Energia/FEM, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, 2004.
- [21] JANNUZZI, G. M. **Prospecção tecnológica para o projeto de projeção de mercado da CPFL (Longo Prazo)**. Relatório do Projeto PD209 entre NIPE/Unicamp e CPFL, Campinas, SP, 2006.
- [22] SETTEMBRINI, R.C., FISHER, J.R.; HUDAK, N. E. **Reliability and Quality Comparisons of Electrical Power Distribution Systems**. In: IEEE POWER ENGINEERING SOCIETY TRANSMISSION AND DISTRIBUTION CONFERENCE, 1991, Dallas. Proceedings.... Piscataway: IEEE, 1991. p. 704-712.
- [23] MARTINI, J.S.C. **O Smart Grid na visão das Universidades e Centros de P&D**. In: FÓRUM LATINO –AMERICANO DE SMART GRID, São Paulo, 2010.
- [24] GARCIA, DOUGLAS A. A. **Monitoring and Control System of Low-Voltage Secondary Network Systems: economic feasibility**. In: IEEE/PES T&D 2004 Latin America, 2004, São Paulo. Anais... IEEE/PES T&D , 2004. v. 1.
- [25] ENCONTRO TÉCNICO DE REDES SUBTERRÂNEAS DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA, 2., 2004, São Paulo. **Anais...** 2004.
- [26] EXPO e Fórum de Redes Subterrâneas de Energia Elétrica. In: Fórum de Redes Subterrâneas de Energia Elétrica. **Anais...** São Paulo, 2010.
- [27] YEAGER, K., GALVIN, R. **Perfect Power: how the microgrid revolution will unleash cleaner, greener, end more abundant energy**. , New York: McGraw-Hill, 2009.
- [28] SILVA, HUMBERTO .A.P. **Gerenciamento dos ativos de potência utilizando sistemas de monitoramento e diagnóstico**. 2005. 229p. Dissertação (Mestrado em Energia) – Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia. Universidade de São Paulo, 2005.

- [29] SILVA, HUMBERTO A.P., et al. **Sistema de proteção de redes (network protector) com monitoramento, comando e controle para circuitos de distribuição em sistemas subterrâneos reticulados.** In: CONGRESSO E EXPOSIÇÃO INTERNACIONAL DE DISTRIBUIÇÃO ELÉTRICA, 2006, Buenos Aires. CIDEL.Anais.... 2006.
- [30] DUNCAN, R.P. **Protection, metering, monitoring and control of medium-voltage power systems.** IEEE Transactions on Industry Applications, v. 40, n.1, Jan/Feb, 2004.
- [31] FANNING, R. P. **Implementation of Networked Primary and Secondary Distribution Systems for US Utilities.** In: IEEE POWER ENGINEERING SOCIETY GENERAL MEETING, 2003, v. 4, p. 2429.
- [32] BROWN, R.E., **Electric Power Distribution Reliability.** New York: Marcel Dekker, 2002.
- [33] BRUNHEROTO, P. A., GOLVÊ A, M. R., ROBB A, E. J. **Distribuição Subterrânea: é viável?** In: ENCONTRO TÉCNICO DE REDES SUBTERRÂNEAS DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA, 2., 2004, São Paulo. Anais... 2004
- [34] BURKE, J.J. **Power distribution engineering: fundamentals and applications.** New York: Marcel Dekker, 1994.
- [35] GARCIA, D. A. A. **Metodologia de diagnóstico automático de falhas de curto circuito em alimentadores primários de sistemas de distribuição reticulados tipo Spot.** São Paulo, 2006, 177p, Tese (Doutorado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia de Energia e Automação Elétricas.
- [36] SILVA, HUMBERTO. A. P., et al. **Sistema de monitoramento e diagnóstico de equipamentos do sistema de distribuição subterrânea da Eletropaulo, com identificação de falhas para redução de perdas técnicas e comerciais.** São Paulo, 2010. Relatório Técnico, Projeto de P&D ANEEL 017/2008, AES Eletropaulo/IEE-USP.
- [37] SILVA, HUMBERTO. A. P., GARCIA, D. A. A., GRIMONI, J. A. B., BURANI, G. F. **Sistema automatizado para a rede subterrânea reticulada tipo Spot Network da CEB com função monitoramento e relé eletrônico para os Protetores de Rede Eletromecânicos.** Brasília, 2009, Relatório Técnico, Projeto de P&D ANEEL 0606, CEB-Distribuição/IEE-USP.
- [38] BARRETO, G. A. **Estudo de viabilidade de um sistema de monitoramento de baixo custo para os sistemas de distribuição reticulados subterrâneos.** São Paulo, 2010, 105p, Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Energia EP/FEA/IEE/IF da Universidade de São Paulo.
- [39] ANALOGUE Devices: data Sheet Rev B. **ADE7763 Single Phase Active and Apparent Energy Metering,** 2009.

- [40] INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS. IEEE Std 141: **IEEE recommended practices for electric for power distribution for industrial plants**. New York, 1991.
- [41] INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS. IEEE Std C37.108: **IEEE guide for the protection of network transformers**. New York, 2002.
- [42] ENCONTRO TÉCNICO DE REDES SUBTERRÂNEAS DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA, 2., 2004, São Paulo. **Anais...** 2004.
- [43] ENCONTRO TÉCNICO DE REDES SUBTERRÂNEAS DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA, 3., 2005, São Paulo. **Anais...** 2005.
- [44] KUADA, J.H.; **Gestão de Operação de Redes Subterrâneas: a experiência da AES Eletropaulo**. In: ENCONTRO TÉCNICO DE REDES SUBTERRÂNEAS DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA, 2., 2004, São Paulo. **Anais...** 2004.
- [45] LEE, W.J.; CULTRERA, J.; MAFFETONE, T. **Application and Testing of a Microcomputer-Based Network Protector**. IEEE Transactions on Industry Applications, v.36, n.2, Mar./Apr., 2000.
- [46] FRITZ, W alter. **Intelligent systems and their societies**. Disponível em : <<http://intelligent-systems.com.ar/intsys/whaisint.htm>... Acesso em 16 jul. 2010.

ANEXO A1

Ensaio realizado em laboratórios credenciados cujos relatórios técnicos constantes deste anexo referem-se a testes elétricos, durabilidade mecânica, operacional e dielétrico com base na IEEE C57.12.44/05 para o Protetor de Rede Inteligente e seu DEI, Versão Ventilada.

Itens da norma: 5.3 *Mechanical Endurance Tests*, 6.0 *Operational Tests*: 6.1 *Electrical Operations*, 6.2 *Dielectric Tests*, 6.3 *Insulation Resistance Tests*, 6.4 *Current Path Resistance Tests*, 6.5 *Mechanical Tests*

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE ELETROTÉCNICA E ENERGIA

Av. Prof. Luciano Gualberto, 1289 - Cidade Universitária
 CEP 05508-010 - São Paulo - SP
 Tels.: (11) 3091-2527 / 3091-2528 - Fax: (11) 3032-7750

RELATÓRIO DE ENSAIO Nº:

66.112

Folha

1 de 9

DESCRIÇÃO DO CORPO DE PROVA: Conjunto Protetor de Redes 1600A - Classe 2500V com projeto de acordo com a norma IEEE C57.12.44/2005 composto por: painel eletromecânico; disjuntor marca ABB modelo caixa moldada; Relé Micro-processado com IHM do Protetor de Redes com Monitoramento modelo NetPro e projeto de acordo com a norma IEEE C57.12.44/2005, itens 6.1, 6.3, 6.4 e 6.5.

OBJETIVO:

- 1) Ensaios operacionais. (6.1)
- 2) Ensaio de resistência de isolamento. (6.3)
- 3) Ensaio de resistência do caminho da corrente. (6.4)
- 4) Ensaio mecânico. (6.5) e (5.3)
- Anexo1) Ensaio de dielétrico (Relatório Oficial N°65770) (6.2)

OBSERVAÇÕES:

- a) Registrado sob a OS 66.112;
- b) Data de realização do ensaio: 06/10/2008;
- c) Este relatório foi emitido em duas vias de igual teor.

1. Ensaios Operacionais

1.1 Ensaios realizados:

Os ensaios foram realizados de acordo com o item 6.1 da norma IEEE C57.12.44/2005:

- a) Ensaio de Tensão Normal (6.1.1.1);
- b) Ensaio de Tensão Mínima (6.1.1.2);
- c) Ensaio de Relés (6.1.1.3);
- d) Ensaio de Trip livre (6.1.1.4);
- e) Ensaio de Operação Manual (6.1.1.5);
- f) Ensaio de Operacional da Alavanca (6.1.1.6).

• A reprodução deste relatório só poderá ser total e depende da aprovação por escrito do laboratório.
 • Os resultados apresentados neste relatório referem-se exclusivamente ao corpo de prova submetido a(os) ensaio(s), nas condições especificadas, não sendo extensivos a quaisquer lotes.
 • O IEE/USP manterá o original deste relatório arquivado por um período mínimo de cinco anos.

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE ELETROTÉCNICA E ENERGIA

RELATÓRIO DE ENSAIO Nº:

66.112

Folha
2 de 9

Tabela 1- Sumário de testes operacionais

Subcláusula de teste	Disjuntor Extraível	Relés Utilizados	Nível de Tensão	Número de operações *
1.1.1	Fora do gabinete	Não	Nominal	50
1.1.2	Fora do gabinete	Não	Mínimo	5
1.1.3	Fora do gabinete	Sim	Nominal	25
1.1.4	Fora do gabinete	Não	Nominal	5
1.1.5	Fora do gabinete	Não	Nenhum	5
1.1.6	Fora do gabinete	Não	Nominal	5

(*) Operação é definida como sendo uma abertura e um fechamento

Os critérios de desempenho para aprovação estão de acordo com o item 6.1.2 da norma IEEE C57.12.44/2005.

1.1.1 Ensaio de Tensão Normal

Com o relé removido, foram ligados à bobina de abertura e à bobina de fechamento contatos para permitir operações remotas de OPEN e CLOSE do disjuntor. O disjuntor foi testado com 50 ciclos completos de abertura e fechamento, de acordo com a Tabela 1, sendo que ficou fechado por um mínimo de 1 segundo antes da sequência de abertura se iniciar. Foram utilizadas tensões nominais fase-neutro de 125 V, 220 V e 254 V.

1.1.1.1 Resultado

Não houve qualquer tipo de anomalia nos 50 ciclos de abertura-fechamento ensaiados.

1.1.2 Ensaio de Tensão Mínima

A) Com o relé removido, foram feitos ensaios de fechamento do motor com tensão de 73% da tensão nominal. Nesta percentagem de tensão nominal, houve torque suficiente do motor para completar o ciclo de carregamento de mola e posterior fechamento do disjuntor. Foi aplicado um trip manual no disjuntor e ocorreu abertura normal do mesmo.

B) Foi aplicado 80% da tensão nominal para completar-se o ciclo de fechamento dos contatos do disjuntor; posteriormente foi rebaixada a tensão para 7,5% da tensão nominal e iniciada uma sequência de abertura do disjuntor. Houve abertura normal do mesmo. Recarregando-se manualmente o disjuntor havia energia armazenada no protetor (módulo capacitivo de 880 microfaradays) suficiente para 2 aberturas em 125V, 6 aberturas em 220V e 8 aberturas em 254 V. Usando-se módulo capacitivo com o dobro da capacitância apresentado pelo fabricante

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE ELETROTÉCNICA E ENERGIA

RELATÓRIO DE ENSAIO Nº:

66.112

Folha
3 de 9

obteve-se proporcionalmente o dobro de número de aberturas nas tensões indicadas.

C) Os ciclos A) e B) (seqüência A-B) foram repetidos seqüencialmente por 5 vezes para as tensões nominais fase-neutro de 125 V, 220 V e 254 V, de acordo com a Tabela 1.

1.1.2.1 Resultado

Para os procedimentos A, B e C não houve qualquer tipo de anomalia.

1.1.3 Ensaio de Relés

Os terminais de teste trifásicos foram conectados no barramento de ligação do lado do transformador e no barramento de ligação do lado da rede. O terminal do lado de terra foi conectado ao disjuntor extraível. Os relés de rede calibrados foram instalados, e a tensão de entrada foi ajustada à tensão nominal. Fechou-se eletricamente o disjuntor extraível aumentando-se a tensão de fase no circuito de teste. O disjuntor extraível fechou seus contatos em um valor de tensão pré-determinado igual a 1,5 V.

O disjuntor foi eletricamente colocado em TRIP aplicando-se uma corrente reversa no circuito de teste igual à 3,0 A. O disjuntor extraível abriu seus contatos completamente em um nível pré-determinado de trip igual à 3,0 A.

Esta seqüência foi aplicada 25 vezes, de acordo com a tabela 1.

Figura 1 – Equipamento Protetor de Redes Ensaio e seus acessórios.

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE ELETROTÉCNICA E ENERGIA

RELATÓRIO DE ENSAIO Nº:

66.112

Folha

4 de 9

1.1.3.1 Resultado

Não foi verificada nenhuma anomalia ou mal funcionamento durante esta sequência de testes.

1.1.4 Ensaio de Trip Livre

Com a porta do painel do protetor de redes aberta, sem relé e com tensão nominal aplicada fase-neutro de 125, 220 e 254 V, foram feitos 5 seqüências de fechamento para cada uma das tensões acima, de acordo com a Tabela 1, mantendo-se o circuito de trip aberto. Não houve fechamento em qualquer das 5 tentativas.

1.1.4.1 Resultado

Não houve qualquer tipo de anomalia nas seqüências ensaiadas.

1.1.5 Ensaio de Operação Manual

Com a porta do painel do protetor de redes fechada, sem relé e sem tensão nominal aplicada, foram feitos 5 seqüências de fechamento e abertura de forma manual, de acordo com a Tabela 1.

1.1.5.1 Resultado

Não houve qualquer tipo de anomalia nas seqüências ensaiadas.

1.1.6 Ensaio de Operação pela Manopla

Com a porta do painel do protetor de redes fechada, sem relé e com tensão nominal aplicada fase-neutro de 125, 220 e 254 V, foram feitos 5 seqüências de fechamento e abertura através da manopla externa, conforme indicado na Tabela 1, nas três tensões acima indicadas.

A função de abertura funcionou normalmente. Não havia seqüência de fechamento pela manopla de forma a acionar o circuito de close. O que o protetor apresentou foi uma função de fechamento com o relé instalado chamada *SAFE CLOSE* pelo fabricante, de modo que não havia possibilidade de fechamento inadvertido com fases trocadas nem na possibilidade de estabelecimento de fluxo reverso de corrente. Nas

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE ELETROTÉCNICA E ENERGIA

RELATÓRIO DE ENSAIO Nº:

66.112

Folha

5 de 9

condições de fases corretas e fluxo direto de potência, houve fechamento pela manopla na condição de tensão de fase maior que 0,1 volt. Foi completado o teste realizando-se o teste de fechamento através de acionamento diretamente no disjuntor, operando-o normalmente.

1.1.6.1 Resultados obtidos

Não houve qualquer tipo de anomalia ou mal funcionamento durante esta sequência de testes.

2. Ensaio de Resistência de Isolamento

2.1 Condições de Ensaio:

O ensaio foi realizado de acordo com o item 6.3 da norma IEEE C57.12.44/2005.

2.2 Procedimentos Adotados:

Procedimentos de acordo com o item 6.3.1 da norma IEEE C57.12.44/2005. O ensaio foi realizado removendo-se o(s) relé(s) da rede, e desconectando-se a alimentação do motor e todos os pontos de aterramento dos circuitos. Todos os fios desconectados do sistema foram eletricamente unidos e isolados do ponto de terra. Dispositivos de estado sólido como diodos e retificadores foram removidos ou curto-circuitados do circuito.

Após esse procedimento ter sido realizado, com o disjuntor na posição FECHADO, a resistência foi medida nas seguintes situações utilizando a corrente direta de um instrumento configurado para fornecer 2500 V:

- a) Entre os barramentos principais: da esquerda para o central, do central para a direita e da direita para a esquerda.
- b) Entre os barramentos e o ponto de aterramento: esquerda, centro e direita.

2.3 Critério de comprovação do desempenho do objeto sob teste

Os valores de resistência medidas nas configurações descritas no item 2.2 deverão ser superiores a 25 M Ω em tensão constante de 2.500 V. De acordo com o previsto no item 6.3.2 da norma IEEE C57.12.44/2005.

2.4 Resultados obtidos

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE ELETROTÉCNICA E ENERGIA

RELATÓRIO DE ENSAIO N°:

66.112

Folha
6 de 9

Todos os valores de resistência medidos nas configurações descritas no item 2.2 foram superiores a $50\text{M}\Omega$ (figura 2), utilizando-se equipamento em tensão constante de 2.500V. Os valores registrados estão dentro do critério de comprovação de desempenho (item 2.3).

Figura 2 - Leitura do Instrumento MEGGER, escala interna.

2.5 Instrumento de Medição Utilizado

Marca: MEGGER

Fabricante: EVERSLED & VIGNOLES LIMITED - LONDON

Figura 3 - Instrumento MEGGER usado no ensaio com detalhe do selo de Calibração

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE ELETROTÉCNICA E ENERGIA

RELATÓRIO DE ENSAIO Nº:

66.112

Folha
7 de 9

3. Ensaio de Resistência do Caminho da Corrente

3.1 Condições de Ensaio:

O ensaio foi realizado de acordo com o item 6.4 da norma IEEE C57.12.44/2005.

3.2 Procedimentos Adotados:

Procedimentos de acordo com o item 6.4.1 da norma IEEE C57.12.44/2005. Neste ensaio, com o disjuntor inserido e com todos os fusíveis e pontos de conexão instalados, foi medida a resistência de cada fase do protetor de redes utilizando-se instrumentação de testes de corrente.

3.3 Critério para comprovação do desempenho do objeto de teste

Todas as leituras devem estar dentro das especificações do fabricante, tanto para o disjuntor quanto para o protetor de redes. Tais valores são valores de referência para ensaios de rotina, visto que a configuração ensaiada foi a mesma utilizada para ensaio de aquecimento, segundo o item 5.1.4 da norma IEEE C57.12.44/2005.

Os valores de referência apresentados pelo fabricante foram:

- resistência de contato em cada fase do disjuntor: 50 $\mu\Omega$;
- resistência de interna do fusível: 40 $\mu\Omega$.

3.4 Resultados obtidos

- resistência de contato do disjuntor:
 - fase A: 49,0 $\mu\Omega$;
 - fase B: 48,6 $\mu\Omega$;
 - fase C: 48,9 $\mu\Omega$.
- resistência interna do fusível:
 - fase A: 35,5 $\mu\Omega$;
 - fase B: 35,6 $\mu\Omega$;
 - fase C: 38,0 $\mu\Omega$.
- resistência do conjunto Protetor de Redes:
 - fase A: 96,8 $\mu\Omega$;
 - fase B: 95,1 $\mu\Omega$;
 - fase C: 101,1 $\mu\Omega$.

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE ELETROTÉCNICA E ENERGIA

RELATÓRIO DE ENSAIO Nº:

66.112

Folha

8 de 9

As medições estão de acordo com o critério de comprovação de desempenho (item 3.3).

Figura 4 - Medição da resistência de caminho de corrente

4. Ensaio Mecânico

4.1 Condições de Ensaio (6.5):

O ensaio foi realizado de acordo com o item 6.5 da norma IEEE C57.12.44/2005, para invólucro não submersível.

4.1.1 Procedimentos Adotados:

Procedimentos de acordo com o item 6.5.1 da norma IEEE C57.12.44/2005. Para este ensaio, o intuito é demonstrar o acoplamento mecânico entre o disjuntor extraível e seu gabinete de inserção. Para comprovação desta característica, com o disjuntor extraível fora do gabinete, mas sobre seus trilhos de montagem, ele deve ser inserido respeitando as seguintes condições:

- A movimentação sobre os trilhos deve ser suave e em momento algum deve ser notada uma tendência de descarrilamento.
- O disjuntor deve se alinhar perfeitamente com os trilhos ou dispositivos de suporte.
- Assegurar que o dispositivo se alinhe corretamente até posição final.

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE ELETROTÉCNICA E ENERGIA

RELATÓRIO DE ENSAIO Nº:

66.112

Folha
9 de 9

d) Nesta situação, assegurar que os contatos estão alinhados e nas posições designadas, promovendo um perfeito contato entre as estruturas.

4.2 Condições de Ensaio (5.3):

O ensaio foi realizado de acordo com o item 5.3 da norma IEEE C57.12.44/2005, para invólucro não submersível.

4.2.1 Procedimentos Adotados:

Procedimentos Foram efetuados 10.000 ciclos de operação (*Operating Duty*) com taxa de operação (*Rate of Operation*) de aproximadamente 2 minutos permanecendo fechado por não menos de 1 segundo, com verificação de desempenho e durabilidade (*Performance*).

4.3 Resultados obtidos

Para todas as condições descritas no item 4.2 e 4.3 não houve qualquer mal-funcionamento, considerando-se o conjunto protetor de redes em conformidade com os critérios de desempenho deste ensaio.

5. Observações Gerais:

Estiveram presentes aos ensaios descritos os Srs.

- Douglas A. A. Garcia (IEE)
- Valter Juliani (VTECC)

* * * * *

São Paulo, 30 de Outubro de 2008

Instituto de Eletrotécnica e Energia - USP
Monitoramento de Equipamento de Subestação:
Engº Humberto A. P. Silva

ANEXO A2

Ensaio realizado em laboratórios credenciados cujos relatórios técnicos constantes deste anexo referem-se a testes de avaliação de projeto construtivo, durabilidade mecânica, operacional e dielétrico com base na IEEE C57.12.44/05 para o Protetor de Rede Inteligente e seu DEI, Versão Submersível.

Itens da norma: 5.0 Design Tests: 5.1 Continuous Current Thermal Tests, 6.0 Operational Tests: 6.1 Electrical Operations, 6.2 Dielectric Tests, 6.3 Insulation Resistance Tests, 6.4 Current Path Resistance Tests, 6.5 Mechanical Tests

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE ELETROTÉCNICA E ENERGIA
Seção Técnica de Máquinas Elétricas - PM

RELATÓRIO DE ENSAIO Nº 70106

Folha

2 de 11

1. ENSAIO DE ELEVAÇÃO DE TEMPERATURA, EM 60HZ

1.1 Condições de ensaio

Os ensaios foram realizados de acordo com o item 5.1 da norma IEEE C57.12.44-2005.

1.2 Procedimentos adotados

O ensaio foi realizado fazendo-se circular nas três fases do circuito de derivação do corpo de prova, conectadas em estrela, a corrente trifásica de ensaio de 1875 A, em 60Hz, até ocorrer a estabilização das elevações de temperatura nos pontos de medição.

1.3 Pontos de medição

Conforme desenho abaixo e descritos pelo Interessado como:

Figura 1: Localização dos pontos de medição de temperatura

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE ELETROTÉCNICA E ENERGIA
Seção Técnica de Máquinas Elétricas - PM

RELATÓRIO DE ENSAIO Nº 70106

Folha

3 de 11

P1 - Ambiente interno superior;
P2 - Ambiente interno médio;
P3 - Ambiente interno inferior;
P4 - Fechamento superior;
P5 - Fechamento lateral direito superior;
P6 - Porta frontal superior;
P7 - Porta frontal médio;
P8 - Porta frontal inferior;
P9 - Fase R contato superior do fusível limitador;
P10 - Fase S contato superior do fusível limitador;
P11 - Fase T contato superior do fusível limitador;
P12 - Fase R fusível limitador;
P13 - Fase S fusível limitador;
P14 - Fase T fusível limitador;
P15 - Fase R contato inferior do fusível limitador;
P16 - Fase S contato inferior do fusível limitador;
P17 - Fase T contato inferior do fusível limitador;
P18 - Fase R conexão nº2 à jusante do disjuntor geral;
P19 - Fase S conexão nº2 à jusante do disjuntor geral;
P20 - Fase T conexão nº2 à jusante do disjuntor geral;
P21 - Fase R conexão nº1 à jusante do disjuntor geral;
P22 - Fase T conexão nº1 à jusante do disjuntor geral;
P23 - Fase R contato superior do disjuntor geral;
P24 - Fase S contato superior do disjuntor geral;
P25 - Fase T contato superior do disjuntor geral;
P26 - Fase R contato inferior do disjuntor geral;
P27 - Fase S contato inferior do disjuntor geral;
P28 - Fase T contato inferior do disjuntor geral;
P29 - Fase R conexão nº1 à montante do disjuntor geral;
P30 - Fase T conexão nº1 à montante do disjuntor geral;
P31 - Fase R à montante nº1 do disjuntor geral;
P32 - Fase S à montante nº1 do disjuntor geral;
P33 - Fase T à montante nº1 do disjuntor geral;
P34 - Fase R à jusante nº1 do fusível limitador;
P35 - Fase S à jusante nº1 do fusível limitador;
P36 - Fase T à jusante nº1 do fusível limitador;
P37 - Fase R à jusante nº2 do fusível limitador;
P38 - Fase S à jusante nº2 do fusível limitador;
P39 - Fase T à jusante nº2 do fusível limitador;
P40 - Fase R à jusante nº3 do fusível limitador;
P41 - Fase S à jusante nº3 do fusível limitador;
P42 - Fase T à jusante nº3 do fusível limitador;
P43 - Fase R à jusante nº4 do fusível limitador;
P44 - Fase S à jusante nº4 do fusível limitador;

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE ELETROTÉCNICA E ENERGIA
Seção Técnica de Máquinas Elétricas - PM

RELATÓRIO DE ENSAIO Nº 70106

Folha

4 de 11

- P45 - Fase T à jusante nº4 do fusível limitador;
- P46 - Fase R à montante nº2 do disjuntor geral;
- P47 - Fase S à montante nº2 do disjuntor geral;
- P48 - Fase T à montante nº2 do disjuntor geral;
- P49 - Fase R à montante nº3 do disjuntor geral;
- P50 - Fase S à montante nº3 do disjuntor geral;
- P51 - Fase T à montante nº3 do disjuntor geral;
- P52 - Fase R à montante nº4 do disjuntor geral;
- P53 - Fase S à montante nº4 do disjuntor geral;
- P54 - Fase T à montante nº4 do disjuntor geral;
- P55 - Face superior do invólucro IP68 do relé NetPro;
- P56(Ta) - Temperatura ambiente;
- P57 - Face superior-Caixa Inox IP68 dos módulos de comunicação.

Figura 2- Preparação do ensaio no Laboratório de Máquinas – IEE/USP

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE ELETROTÉCNICA E ENERGIA
Seção Técnica de Máquinas Elétricas - PM

RELATÓRIO DE ENSAIO Nº 70106

Folha

5 de 11

Figura 3- Ensaio no Laboratório de Máquinas – IEE/USP.

1.4 Resultados obtidos

- Início do ensaio: 16:30h.
- Corrente trifásica de ensaio: 1875 A.
- Temperatura ambiente média P56 (Ta): 22°C.
- Temperaturas (T) e máximas elevações de temperatura (T15-Ta):

PONTOS DE MEDIÇÃO	T0 (°C)	T1 (°C)	T2 (°C)	T3 (°C)	T4 (°C)	T5 (°C)	T6 (°C)	T7 (°C)	T8 (°C)	T9 (°C)	T10 (°C)	T11 (°C)	T12 (°C)	T13 (°C)	T14 (°C)	T15 (°C)	T15-Ta (°C)
Horário	16:00	16:30	17:00	17:30	18:00	18:30	19:00	19:30	20:00	20:30	21:00	21:30	22:00	22:30	23:00	23:30	-
P1	25	26	30	32	34	36	37	38	39	39	39	40	41	42	43	44	24
P2	25	27	33	36	39	41	44	46	48	48	48	51	53	55	56	57	37
P3	25	23	23	23	24	25	25	26	26	26	26	26	27	27	27	27	7
P4	25	27	32	35	38	40	42	44	45	45	45	48	49	50	51	52	32
P5	25	26	29	31	33	34	35	36	36	36	36	38	39	39	40	41	21
P6	25	26	29	31	33	34	36	36	37	37	37	39	40	41	41	42	22
P7	25	26	29	30	32	33	34	35	36	36	36	37	38	39	39	40	20
P8	25	24	24	25	25	26	27	27	28	28	28	28	29	29	29	30	10
P9	25	48	62	67	72	74	75	76	77	77	82	86	88	90	91	91	71
P10	25	51	68	74	78	81	83	84	84	84	91	95	97	99	101	101	81
P11	25	51	65	69	73	75	76	77	78	78	85	89	91	93	94	94	74
P12	25	46	60	65	70	74	76	77	79	79	84	88	90	92	94	95	75
P13	25	50	67	74	79	83	85	86	87	87	94	98	101	103	105	105	86
P14	25	47	60	65	70	74	76	78	79	79	86	90	93	95	97	98	78
P15	25	53	69	76	83	87	91	93	95	95	102	107	110	113	115	116	96
P16	25	69	90	98	103	107	110	112	114	114	123	129	133	137	138	138	118

Continua/

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE ELETROTÉCNICA E ENERGIA
Seção Técnica de Máquinas Elétricas - PM

RELATÓRIO DE ENSAIO Nº 70106

Folha

6 de 11

P17	25	46	60	68	76	80	84	86	88	88	97	101	104	107	110	111	91
P18	25	53	68	75	81	85	89	91	93	94	100	103	106	109	111	112	92
P19	25	65	84	91	97	101	104	106	107	107	116	120	123	125	127	128	108
P20	25	41	56	64	72	77	81	83	86	86	92	97	100	103	106	107	87
P21	25	50	66	74	81	85	89	91	93	94	100	104	107	109	112	113	93
P22	25	40	54	62	69	74	79	82	84	85	90	94	98	101	104	105	85
P23	25	49	66	74	80	85	89	92	94	94	101	105	108	111	114	115	95
P24	25	53	73	82	89	93	98	100	102	103	110	114	118	121	123	124	104
P25	25	42	55	64	71	76	80	84	86	87	93	98	101	104	107	108	88
P26	25	41	52	58	63	67	70	73	75	75	81	84	87	89	91	92	72
P27	25	44	57	64	70	74	77	80	82	82	89	93	96	98	100	101	81
P28	25	42	53	59	63	67	70	73	75	75	81	84	87	89	91	92	72
P29	25	50	66	74	81	85	89	92	94	94	101	106	109	111	114	115	95
P30	25	39	52	60	66	72	76	79	81	82	87	92	95	98	100	101	81
P31	25	39	50	56	60	63	66	68	69	69	75	78	80	82	84	85	65
P32	25	42	54	60	65	69	71	73	75	75	81	85	87	88	90	91	71
P33	25	40	50	56	59	63	65	67	68	68	74	78	80	82	83	84	64
P34	25	47	56	61	63	65	66	67	67	67	71	75	77	78	78	78	58
P35	25	47	58	63	66	68	69	70	70	70	75	78	80	81	82	82	62
P36	25	49	58	62	64	66	66	67	67	67	73	77	78	79	80	80	60
P37	25	46	53	57	58	59	59	60	59	59	63	67	68	68	68	68	48
P38	25	47	54	58	59	60	61	61	61	61	65	69	70	71	71	71	51
P39	25	47	54	58	59	60	61	61	61	61	66	69	70	71	71	71	51
P40	25	47	52	55	56	56	58	56	56	56	60	62	63	64	64	64	44
P41	25	48	55	58	59	59	60	60	60	60	64	67	68	68	68	68	48
P42	25	48	54	57	57	58	58	58	58	58	63	65	66	67	67	67	47
P43	25	49	54	56	56	57	57	56	56	56	60	63	64	64	64	64	44
P44	25	49	55	58	59	59	59	59	59	59	63	66	67	68	68	68	48
P45	25	49	55	58	58	59	59	58	58	58	63	66	67	67	67	67	47
P46	25	43	50	53	55	57	58	59	60	60	65	68	69	70	71	71	51
P47	25	48	55	59	60	62	63	64	65	65	71	74	75	76	77	77	57
P48	25	42	48	52	53	55	56	57	57	58	63	65	66	67	68	68	48
P49	25	44	49	51	52	53	54	55	55	55	59	61	62	62	62	62	42
P50	25	49	54	57	58	58	59	59	60	60	66	68	69	69	69	69	49
P51	25	44	48	51	53	52	52	52	53	53	58	59	60	60	60	60	40
P52	25	45	49	51	52	52	52	52	53	53	57	59	60	60	60	60	40
P53	25	48	53	55	55	56	55	55	56	56	61	63	64	64	64	63	43
P54	25	44	48	51	51	51	50	50	50	50	55	57	57	57	57	57	37
P55	25	23	23	23	24	25	25	26	26	26	26	28	28	28	28	29	9
P56 (Ta)	25	25	25	24	23	22	22	21	22	22	22	21	21	21	21	20	-
P57	25	25	24	24	24	24	24	24	25	25	25	25	25	24	24	24	4

Tabela 1 – Resultados obtidos no ensaio.

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE ELETROTÉCNICA E ENERGIA
Seção Técnica de Máquinas Elétricas - PM

RELATÓRIO DE ENSAIO Nº 70106

Folha

7 de 11

2. ENSAIO DE TENSÃO APLICADA, EM 60 HZ (ENSAIO DIELÉTRICO)

2.1 Condições de ensaio

O ensaio foi realizado de acordo com o item 6.2 da norma IEEE C57.12.44-2005.

2.2 Procedimentos adotados

Ensaio realizado no circuito de potência

O ensaio foi realizado aplicando-se uma tensão alternada de ensaio de 2.500 V_{AC}, em 60 Hz, com duração de 1 minuto, de acordo com subitens 6.2.1.1 e 6.2.1.2 da norma de referência, nas seguintes posições:

- a) Fase A e carcaça;
- b) Fase B e carcaça;
- c) Fase C e carcaça;
- d) Entre fase A e fase B;
- e) Entre fase B e fase C;
- f) Entre fase A e fase C.

2.3 Resultados obtidos

Durante a aplicação das tensões de ensaio descritas no subitem 2.2 não foi observada a ocorrência de descarga disruptiva.

2.4 Instrumento de Medição Utilizado

Modelo: Hi-Pot VGHP-001

Fabricante: MEGABRAS

Figura 4 – Equipamento *Hi-Pot* utilizado no ensaio.

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE ELETROTÉCNICA E ENERGIA
Seção Técnica de Máquinas Elétricas - PM

RELATÓRIO DE ENSAIO Nº 70106

Folha

8 de 11

3. ENSAIO DE RESISTÊNCIA DE ISOLAMENTO.

3.1 Condições de Ensaio

O ensaio foi realizado de acordo com o item 6.3 da norma IEEE C57.12.44/2005.

3.2 Procedimentos Adotados

Procedimentos de acordo com o item 6.3.1 da norma IEEE C57.12.44/2005.

O ensaio foi realizado removendo-se o(s) relé(s) da rede e desconectando-se a alimentação do motor e todos os pontos de aterramento dos circuitos. Todos os fios desconectados do sistema foram eletricamente unidos e isolados do ponto de terra. Dispositivos de estado sólido como diodos e retificadores foram removidos do circuito ou curto-circuitados.

Após esse procedimento ter sido realizado, com o disjuntor na posição FECHADO, a resistência foi medida nas seguintes situações utilizando a corrente direta de um instrumento configurado para fornecer 2500 V_{cc}:

- a) Entre os barramentos principais: da esquerda para o central, do central para a direita e da direita para a esquerda.
- b) Entre os barramentos e o ponto de aterramento: esquerda, centro e direita.

3.3 Critério de comprovação do desempenho do objeto sob teste

Os valores de resistência medidas nas configurações descritas no item 3.2 deverão ser superiores a 25 MΩ em tensão constante de 2500 V_{cc}. De acordo com o previsto no item 6.3.2 da norma IEEE C57.12.44/2005.

3.4 Resultados obtidos

Todos os valores de resistência medidas nas configurações descritas no item 3.2 encontram-se na tabela abaixo (tabela 2), utilizando-se equipamento em tensão constante de 2.500V. Os valores registrados estão dentro do critério de comprovação de desempenho (item 3.3).

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE ELETROTÉCNICA E ENERGIA
Seção Técnica de Máquinas Elétricas - PM

RELATÓRIO DE ENSAIO Nº 70106

Folha

9 de 11

Fases	Resistência entre as fases
A e C	280 MΩ
B e C	190 MΩ
A e B	230 MΩ
A e Terra	2,7 GΩ
B e Terra	1,9 GΩ
C e Terra	2,3 GΩ

Tabela 2 – Resultados obtidos

3.5 Instrumento de Medição Utilizado

Modelo: Megôhmetro Mi 5500E

Fabricante: MEGABRAS

Figura 5 - Instrumento megôhmetro usado no ensaio.

4. ENSAIO DE RESISTÊNCIA DO CAMINHO DA CORRENTE

4.1 Condições de Ensaio

O ensaio foi realizado de acordo com o item 6.4 da norma IEEE C57.12.44/2005.

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE ELETROTÉCNICA E ENERGIA
Seção Técnica de Máquinas Elétricas - PM

RELATÓRIO DE ENSAIO Nº 70106

Folha

10 de 11

4.2 Procedimentos Adotados

Procedimentos de acordo com o item 6.4.1 da norma IEEE C57.12.44/2005.

Neste ensaio, com o disjuntor inserido e com todos os fusíveis e pontos de conexão instalados, foi medida a resistência de cada fase do protetor de redes utilizando-se instrumentação de testes com corrente de 100A.

4.3 Critério para comprovação do desempenho do objeto de teste

Todas as leituras devem estar dentro das especificações do fabricante, tanto para o disjuntor quanto para o protetor de redes. Tais valores são valores de referência para ensaios de rotina, visto que a configuração ensaiada foi a mesma utilizada para ensaio de aquecimento, segundo o item 5.1.4 da norma IEEE C57.12.44/2005.

Os valores de referência apresentados pelo fabricante foram:

- resistência de contato em cada fase do disjuntor: $\sim 20 \mu\Omega$;
- resistência de interna do fusível: $\sim 15 \mu\Omega$.

4.4 Resultados obtidos

- resistência de contato do disjuntor:

fase A: $19,2 \mu\Omega$;
fase B: $19,8 \mu\Omega$;
fase C: $20,0 \mu\Omega$.

- resistência interna do fusível:

fase A: $15,4 \mu\Omega$;
fase B: $15,3 \mu\Omega$;
fase C: $15,6 \mu\Omega$.

- resistência do conjunto Protetor de Redes:

fase A: $41,6 \mu\Omega$;
fase B: $44,0 \mu\Omega$;
fase C: $45,2 \mu\Omega$.

As medições estão de acordo com o critério de comprovação de desempenho (item 4.3).

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE ELETROTÉCNICA E ENERGIA
Seção Técnica de Máquinas Elétricas - PM

RELATÓRIO DE ENSAIO Nº 70106

Folha
11 de 11

4.5 Instrumento de Medição Utilizado

Modelo: Microhmímetro MPK 240

Fabricante: MEGABRAS

Figura 6- Instrumento *microhmímetro* usado no ensaio.

* * * * *

São Paulo, 06 de outubro de 2010

Mec. Francisco Antonio Marino Salotti
Seção Técnica de Máquinas Elétricas - IEE/USP
Chefe

Eng. Fernando Gava
Seção Técnica de Máquinas Elétricas - IEE/USP
Responsável pelo Ensaio

ANEXO A3

Ensaio realizado em laboratórios credenciados cujos relatórios técnicos constantes deste anexo referem-se aos testes de avaliação de projeto construtivo com base na IEEE C57.12.44/05 para o Protetor de Rede Inteligente e seu DEI, Versão Ventilada.

Itens da norma: 5.1 Design Tests: 5.1 Continuous Current Thermal Test, 6.0 Operational Tests: 6.1 Electrical Operations, 6.2 Dielectric Tests, 6.3 Insulation Resistance Tests, 6.4 Current Path Resistance Tests, 6.5 Mechanical Tests

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE ELETROTÉCNICA E ENERGIA
Seção Técnica de Máquinas Elétricas - PM

RELATÓRIO DE ENSAIO Nº 70105

Folha

2 de 11

1. ENSAIO DE ELEVÇÃO DE TEMPERATURA, EM 60HZ

1.1 Condições de ensaio

Os ensaios foram realizados de acordo com o item 5.1 da norma IEEE C57.12.44-2005.

1.2 Procedimentos adotados

O ensaio foi realizado fazendo-se circular nas três fases do circuito de derivação do corpo de prova, conectadas em estrela, a corrente trifásica de ensaio de 1600 A, em 60Hz, até ocorrer a estabilização das elevações de temperatura nos pontos de medição, durante 3 (três) horas e 30 (trinta) minutos.

1.3 Pontos de medição

Conforme desenho abaixo e descritos pelo Interessado como:

Figura 1: Localização dos pontos de medição de temperatura

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE ELETROTÉCNICA E ENERGIA
Seção Técnica de Máquinas Elétricas - PM

RELATÓRIO DE ENSAIO Nº 70105

Folha

3 de 11

Pontos de medição segundo Figura 1:

- P1 - Ambiente interno superior;
- P2 - Ambiente interno médio;
- P3 - Ambiente interno inferior;
- P4 - Fechamento superior;
- P5 - Fechamento lateral direito superior;
- P6 - Porta frontal superior;
- P7 - Porta frontal médio;
- P8 - Porta frontal inferior;
- P9 - Fase R contato superior do fusível limitador;
- P10 - Fase S contato superior do fusível limitador;
- P11 - Fase T contato superior do fusível limitador;
- P12 - Fase R fusível limitador;
- P13 - Fase S fusível limitador;
- P14 - Fase T fusível limitador;
- P15 - Fase R contato inferior do fusível limitador;
- P16 - Fase S contato inferior do fusível limitador;
- P17 - Fase T contato inferior do fusível limitador;
- P18 - Fase R conexão nº2 à jusante do disjuntor geral;
- P19 - Fase S conexão nº2 à jusante do disjuntor geral;
- P20 - Fase T conexão nº2 à jusante do disjuntor geral;
- P21 - Fase R conexão nº1 à jusante do disjuntor geral;
- P22 - Fase T conexão nº1 à jusante do disjuntor geral;
- P23 - Fase R contato superior do disjuntor geral;
- P24 - Fase S contato superior do disjuntor geral;
- P25 - Fase T contato superior do disjuntor geral;
- P26 - Fase R contato inferior do disjuntor geral;
- P27 - Fase S contato inferior do disjuntor geral;
- P28 - Fase T contato inferior do disjuntor geral;
- P29 - Fase R conexão nº1 à montante do disjuntor geral;
- P30 - Fase T conexão nº1 à montante do disjuntor geral;
- P31 - Fase R à montante nº1 do disjuntor geral;
- P32 - Fase S à montante nº1 do disjuntor geral;
- P33 - Fase T à montante nº1 do disjuntor geral;
- P34 - Fase R à jusante nº1 do fusível limitador;
- P35 - Fase S à jusante nº1 do fusível limitador;
- P36 - Fase T à jusante nº1 do fusível limitador;
- P37 - Fase R à jusante nº2 do fusível limitador;
- P38 - Fase S à jusante nº2 do fusível limitador;
- P39 - Fase T à jusante nº2 do fusível limitador;
- P40 - Fase R à jusante nº3 do fusível limitador;
- P41 - Fase S à jusante nº3 do fusível limitador;
- P42 - Fase T à jusante nº3 do fusível limitador;

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE ELETROTÉCNICA E ENERGIA
Seção Técnica de Máquinas Elétricas - PM

RELATÓRIO DE ENSAIO Nº 70105

Folha

4 de 11

P43 - Fase R à jusante nº4 do fusível limitador;
P44 - Fase S à jusante nº4 do fusível limitador;
P45 - Fase T à jusante nº4 do fusível limitador;
P46 - Fase R à montante nº2 do disjuntor geral;
P47 - Fase S à montante nº2 do disjuntor geral;
P48 - Fase T à montante nº2 do disjuntor geral;
P49 - Fase R à montante nº3 do disjuntor geral;
P50 - Fase S à montante nº3 do disjuntor geral;
P51 - Fase T à montante nº3 do disjuntor geral;
P52 - Fase R à montante nº4 do disjuntor geral;
P53 - Fase S à montante nº4 do disjuntor geral;
P54 - Fase T à montante nº4 do disjuntor geral;
P55 - Face superior do invólucro do relé;
P56(Ta) - Temperatura ambiente;

Figura 2- Ensaio de Elevação de temperatura no Laboratório de Máquinas - IEE/USP.

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE ELETROTÉCNICA E ENERGIA
Seção Técnica de Máquinas Elétricas - PM

RELATÓRIO DE ENSAIO Nº 70105

Folha

5 de 11

Figura 3- Ensaio no Laboratório de Máquinas – IEE/USP: correntes aplicadas.

1.4 Resultados obtidos

- Início do ensaio: 18:37h.
- Corrente trifásica de ensaio: 1600 A.
- Temperatura ambiente média P56 (Ta): 22°C.
- Temperaturas (T) e máximas elevações de temperatura (T7-Ta).

PONTOS DE MEDIÇÃO	T0 (°C)	T1 (°C)	T2 (°C)	T3 (°C)	T4 (°C)	T5 (°C)	T6 (°C)	T7 (°C)	T7-Ta (°C)
Horário	18:37	19:07	19:37	20:07	20:37	7:07	21:37	22:07	-
P1	37	45	49	52	55	56	57	57	37
P2	29	33	34	36	36	37	37	37	17
P3	28	30	31	31	31	31	31	31	11
P4	28	37	40	42	43	44	44	44	24
P5	32	37	40	42	43	43	44	44	24
P6	29	31	33	34	35	36	36	37	17
P7	25	26	27	27	28	29	30	30	10
P8	27	28	29	29	29	29	30	30	10
P9	70	82	89	92	93	94	94	94	74
P10	74	86	92	96	97	97	98	98	78
P11	71	83	89	92	93	93	94	95	75
P12	71	83	91	94	96	97	97	98	78

Continua/

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE ELETROTÉCNICA E ENERGIA
Seção Técnica de Máquinas Elétricas - PM

RELATÓRIO DE ENSAIO Nº 70105

Folha

6 de 11

P13	69	82	89	93	95	96	97	98	78
P14	70	83	90	94	96	96	97	98	78
P15	76	93	104	110	113	115	116	117	97
P16	79	96	106	112	115	117	118	119	99
P17	74	89	99	104	107	109	110	111	91
P18	70	86	97	103	106	107	109	110	90
P19	76	92	103	109	112	114	116	117	97
P20	69	85	95	101	104	105	106	106	86
P21	57	71	81	86	89	91	92	92	72
P22	57	72	82	87	91	92	93	93	73
P23	59	74	85	91	94	96	97	98	78
P24	70	85	88	95	98	100	101	102	82
P25	59	73	83	89	93	95	96	96	76
P26	54	64	72	76	78	79	80	80	60
P27	60	72	80	84	86	87	88	88	68
P28	54	64	71	75	77	79	79	80	60
P29	51	60	67	71	72	74	74	75	55
P30	50	59	66	69	71	73	73	74	54
P31	45	52	57	58	59	60	60	60	40
P32	51	58	63	65	66	66	66	66	46
P33	45	52	56	58	59	59	59	60	40
P34	66	78	84	86	87	87	88	88	68
P35	70	81	87	89	90	90	90	90	70
P36	67	77	82	84	85	85	85	86	66
P37	52	60	64	65	66	66	65	66	46
P38	54	61	65	67	67	67	67	68	48
P39	51	59	63	65	65	66	66	66	46
P40	46	53	57	58	58	58	58	58	38
P41	48	54	57	58	59	59	58	59	39
P42	46	52	55	57	57	57	56	56	36
P43	45	51	54	56	55	56	55	56	36
P44	45	52	55	56	56	56	56	56	36
P45	45	51	54	55	55	55	55	55	35
P46	42	46	48	48	48	48	48	48	28
P47	45	50	52	53	53	53	53	53	33
P48	42	45	47	48	48	49	48	49	29
P49	41	45	46	47	46	46	46	47	27
P50	44	47	49	50	49	49	49	50	30
P51	41	44	46	47	46	46	46	47	27
P52	41	44	45	46	45	45	45	45	25
P53	43	44	48	49	48	48	48	48	28
P54	43	47	46	46	46	46	46	46	26
P55	24	28	28	29	29	29	30	30	10
P56 (Ta)	23	27	22	21	21	21	20	20	-

Tabela I – Resultados obtidos no ensaio.

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE ELETROTÉCNICA E ENERGIA
Seção Técnica de Máquinas Elétricas - PM

RELATÓRIO DE ENSAIO Nº 70105

Folha

7 de 11

2. ENSAIO DE TENSÃO APLICADA, EM 60 HZ (ENSAIO DIELÉTRICO)

2.1 Condições de ensaio

O ensaio foi realizado de acordo com o item 6.2 da norma IEEE C57.12.44-2005.

2.2 Procedimentos adotados

Ensaio realizado no circuito de potência

O ensaio foi realizado aplicando-se uma tensão alternada de ensaio de 2.500 V_{AC}, em 60 Hz, com duração de 1 minuto, de acordo com subitens 6.2.1.1 e 6.2.1.2 da norma de referência, nas seguintes posições:

- a) Fase A e carcaça;
- b) Fase B e carcaça;
- c) Fase C e carcaça;
- d) Entre fase A e fase B;
- e) Entre fase B e fase C;
- f) Entre fase A e fase C.

2.3 Resultados obtidos

Durante a aplicação das tensões de ensaio descritas no subitem 2.2 não foi observada a ocorrência de descarga disruptiva.

2.4 Instrumento de Medição Utilizado

Modelo: Hi-Pot VGHP-001

Fabricante: MEGABRAS

Figura 4 – Equipamento *Hi-Pot* utilizado no ensaio.

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE ELETROTÉCNICA E ENERGIA
Seção Técnica de Máquinas Elétricas - PM

RELATÓRIO DE ENSAIO Nº 70105

Folha

8 de 11

3. ENSAIO DE RESISTÊNCIA DE ISOLAMENTO.

3.1 Condições de Ensaio

O ensaio foi realizado de acordo com o item 6.3 da norma IEEE C57.12.44/2005.

3.2 Procedimentos Adotados

Procedimentos de acordo com o item 6.3.1 da norma IEEE C57.12.44/2005.

O ensaio foi realizado removendo-se o(s) relé(s) da rede e desconectando-se a alimentação do motor e todos os pontos de aterramento dos circuitos. Todos os fios desconectados do sistema foram eletricamente unidos e isolados do ponto de terra. Dispositivos de estado sólido como diodos e retificadores foram removidos do circuito ou curto-circuitados.

Após esse procedimento ter sido realizado, com o disjuntor na posição FECHADO, a resistência foi medida nas seguintes situações utilizando a corrente direta de um instrumento configurado para fornecer 2500 V_{cc}:

- a) Entre os barramentos principais: da esquerda para o central, do central para a direita e da direita para a esquerda.
- b) Entre os barramentos e o ponto de aterramento: esquerda, centro e direita.

3.3 Critério de comprovação do desempenho do objeto sob teste

Os valores de resistência medidas nas configurações descritas no item 3.2 deverão ser superiores a 25 MΩ em tensão constante de 2500 V_{cc}. De acordo com o previsto no item 6.3.2 da norma IEEE C57.12.44/2005.

3.4 Resultados obtidos

Todos os valores de resistência medidas nas configurações descritas no item 3.2 encontram-se na tabela abaixo (tabela 2), utilizando-se equipamento em tensão constante de 2.500V. Os valores registrados estão dentro do critério de comprovação de desempenho (item 3.3).

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE ELETROTÉCNICA E ENERGIA
Seção Técnica de Máquinas Elétricas - PM

RELATÓRIO DE ENSAIO Nº 70105

Folha

9 de 11

Fases	Resistência entre as fases
A e C	160 MΩ
B e C	100 MΩ
A e B	120 MΩ
A e Terra	800 MΩ
B e Terra	750 MΩ
C e Terra	870 MΩ

Tabela 2 – Resultados obtidos

3.5 Instrumento de Medição Utilizado

Modelo: Megôhmetro Mi 5500E

Fabricante: MEGABRAS

Figura 5 - Instrumento Megôhmetro usado no ensaio.

4. ENSAIO DE RESISTÊNCIA DO CAMINHO DA CORRENTE

4.1 Condições de Ensaio

O ensaio foi realizado de acordo com o item 6.4 da norma IEEE C57.12.44/2005.

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE ELETROTÉCNICA E ENERGIA
Seção Técnica de Máquinas Elétricas - PM

RELATÓRIO DE ENSAIO Nº 70105

Folha

10 de 11

4.2 Procedimentos Adotados

Procedimentos de acordo com o item 6.4.1 da norma IEEE C57.12.44/2005.

Neste ensaio, com o disjuntor inserido e com todos os fusíveis e pontos de conexão instalados, foi medida a resistência de cada fase do protetor de redes utilizando-se instrumentação de testes de corrente de 100 A.

4.3 Critério para comprovação do desempenho do objeto de teste

Todas as leituras devem estar dentro das especificações do fabricante, tanto para o disjuntor quanto para o protetor de redes. Tais valores são valores de referência para ensaios de rotina, visto que a configuração ensaiada foi a mesma utilizada para ensaio de aquecimento, segundo o item 5.1.4 da norma IEEE C57.12.44/2005.

Os valores de referência apresentados pelo fabricante foram:

- resistência de contato em cada fase do disjuntor: $\sim 50 \mu\Omega$;
- resistência interna do fusível: $\sim 15 \mu\Omega$.

Figura 6 – Ensaio de medição da resistência de caminho de corrente.

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE ELETROTÉCNICA E ENERGIA
Seção Técnica de Máquinas Elétricas - PM

RELATÓRIO DE ENSAIO Nº 70105

Folha

11 de 11

4.4 Resultados obtidos

- resistência do conjunto Protetor de Redes sem o fusível:

fase A: 43,0 $\mu\Omega$;

fase B: 41,5 $\mu\Omega$;

fase C: 41,9 $\mu\Omega$.

- resistência interna dos fusíveis: 15,6 $\mu\Omega$;

- resistência do conjunto Protetor de Redes:

fase A: 77,5 $\mu\Omega$;

fase B: 75,9 $\mu\Omega$;

fase C: 76,7 $\mu\Omega$.

As medições estão de acordo com o critério de comprovação de desempenho (item 4.3).

4.5 Instrumento de Medição Utilizado

Modelo: Microhmímetro MPK 240

Fabricante: MEGABRAS

Figura 7- Instrumento *microhmímetro* usado no ensaio.

* * * * *

São Paulo, 06 de outubro de 2010

Msc. Francisco Antonio Marino Salotti
Seção Técnica de Máquinas Elétricas - IEE/USP
Chefe

Eng. Fernando Gava
Seção Técnica de Máquinas Elétricas - IEE/USP
Responsável pelo Ensaio

ANEXO A4

Ensaio realizado em laboratórios credenciados cujos relatórios técnicos constantes deste anexo referem-se a testes de projeto construtivo, durabilidade mecânica, operacional e dielétrico com base na IEEE C57.12.44/05 para o Protetor de Rede Inteligente e seu DEI, Versão Submersível.

Itens da norma: 5.2 *Electrical Test*.; 5.2.6 *Fuse Interruption Tests for Silver-Sand Fuses*

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE ELETROTÉCNICA E ENERGIA
Seção Técnica de Altas Correntes - PC

Av. Luciano Gualberto, 1289 • Cidade Universitária • Butantã
CEP 05508-010 • São Paulo • SP • BRASIL • www.iee.usp.br
Telefones: 11 3091-2501 • Fax 11 3032-7750 / 3812-3352
CNPJ: 63.025.530/0042-82 • Inscrição Estadual: isento

RELATÓRIO DE ENSAIO Nº 70231

Folha

1 de 9

A. Laboratório Responsável: Seção Técnica de Altas Correntes - PC

B. Ordem de Serviço nº: 20101123

C. Descrição do Corpo de Prova: Nº: 1-Protetor de rede de Baixa Tensão Protetor de Rede de Distribuição Subterrânea Secundária Trifásica 1600A-1875A/220V Submersível-Pressurizável

F. Objetivo: Ensaio de interrupção do fusível

G. Norma e/ou Procedimento: Item 5.2.6 da norma IEC C57.12.44/2005

H. Observações:

- O Corpo de Prova foi recebido em: 10/04/2010
- Ensaio realizado no período de: 16/08/2010
- em arquivo eletrônico:
 - é cópia integral e fiel do original impresso e assinado que estará à disposição no IEE/USP.
- Forma de apresentação:
 - ☐ Arquivo Eletrônico de igual teor ao original impresso;
 - ☒ Impresso em 2 via(s).

• A reprodução deste documento não pode ser parcial e depende da aprovação por escrito do laboratório;
• Os resultados apresentados neste documento referem-se exclusivamente ao corpo de prova submetido ao(s) ensaio(s) nas condições especificadas, não sendo extensivos a quaisquer lotes;
• O IEE-USP manterá o original deste documento arquivado por um período de cinco anos, no mínimo.

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE ELETROTÉCNICA E ENERGIA
Seção Técnica de Altas Correntes - PC

RELATÓRIO DE ENSAIO Nº 70231

Folha

2 de 9

Um protetor de rede conforme fotografias em anexo e os seguintes dados fornecidos pelo interessado: Protetor de Rede de Distribuição Subterrânea Secundária Trifásica 1600A-1875A/220V Submersível-Pressurizável com projeto de acordo com a norma IEEE C57.12.44/2005 composto por: caixa submersível pressurizada IP68; Relé Micro-processado com Monitoramento integrado modelo Smart NetPro e projeto de acordo com a norma IEEE C57.12.44/2005, caixa de TP, disparador capacitivo modelo DispCap SE, de fabricação Futura Soluções em Automação e Engenharia Ltda., disjuntor extraível marca ABB modelo E2B/20-R16 caixa aberta, transformador de corrente relação 2000:5 A fabricante Kron, Fusível modelo 1800

OBJETIVO: Ensaio de Interrupção do Fusível.

OBSERVAÇÕES: Registrado sob OS 20101123-3.

Data da realização do ensaio: 16/08/2010.

ENSAIO DE INTERRUPTÃO DO FUSÍVEL

1. Local:

O ensaio foi realizado no Laboratório da Seção Técnica de Altas Correntes deste Instituto.

2. Equipamentos de ensaio:

2.1. Fonte de alimentação:

Transformador de 3 MVA, 13800/760-440-380-220 V, ajustável no primário em derivações de $\pm 18\%$, com degraus de 6%, 60 Hz, trifásico.

2.2. Sistema de Medição:

DL716 Registrador/Analisador, modelo 701830, 16 canais (YOKOGAWA).

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE ELETROTÉCNICA E ENERGIA
Seção Técnica de Altas Correntes - PC

RELATÓRIO DE ENSAIO Nº 70231

Folha

3 de 9

3. Condições e procedimento de ensaio:

O ensaio foi realizado seguindo o item 5.2.6. da norma IEC C57.12.44/2005, com os valores especificados pelo interessado.

Inicialmente foram calibrados os valores de tensão, corrente de ensaio e fator de potência com o corpo de prova desconectado do circuito de ensaio.

O corpo de prova foi alimentado com tensão trifásica, à frequência de 60 Hz, conforme mostrado na fotografia 1 em anexo, até a interrupção da corrente de ensaio pelos fusíveis.

Durante as aplicações foram obtidos oscilogramas de corrente de ensaio e tensão entre os barramentos de alimentação do laboratório e o ponto de curto-circuito após os fusíveis do corpo de prova.

A primeira aplicação foi realizada alimentando-se o corpo de prova pelos terminais do lado da rede estando curto-circuitados os terminais do lado do transformador.

A segunda aplicação foi realizada alimentando-se o corpo de prova pelos terminais do lado do transformador estando curto-circuitados os terminais do lado da rede.

Após as aplicações de corrente o corpo de prova foi manobrado, inspecionado visualmente a olho nu e fotografado para fins de registro.

4. Valores especificados pelo interessado:

4.1. Corrente suportável de curta duração (valor eficaz) 30 kA

4.2. Duração 1 s

4.3. Valor crista nominal da corrente suportável 69 kA

4.4. Tensão de ensaio 220 V

4.5. Fator de potência 0,125 a 0,150

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE ELETROTÉCNICA E ENERGIA
Seção Técnica de Altas Correntes - PC

RELATÓRIO DE ENSAIO Nº 70231

Folha

4 de 9

5. Valores calibrados:

TENSÃO DA FONTE EM VAZIO ENTRE FASES (V)	FASE 1		FASE 2		FASE 3		VALOR MÉDIO	
	CORRENTE SIMÉTRICA VALOR EFICAZ	CORRENTE DE CRISTA	CORRENTE SIMÉTRICA VALOR EFICAZ	CORRENTE DE CRISTA	CORRENTE SIMÉTRICA VALOR EFICAZ	CORRENTE DE CRISTA	CORRENTE SIMÉTRICA VALOR EFICAZ	FATOR DE POTÊNCIA
	(kA)	(kA)	(kA)	(kA)	(kA)	(kA)	(kA)	
232	32,15	83,66	32,10	70,50	31,09	56,24	31,78	0,122

6. Resultados obtidos:

APLICAÇÃO	FASE 1			FASE 2			FASE 3		
	CORRENTE SIMÉTRICA VALOR EFICAZ	CORRENTE DE CRISTA	DURAÇÃO (ms)	CORRENTE SIMÉTRICA VALOR EFICAZ	CORRENTE DE CRISTA	DURAÇÃO (ms)	CORRENTE SIMÉTRICA VALOR EFICAZ	CORRENTE DE CRISTA	DURAÇÃO (ms)
	(kA)	(kA)		(kA)	(kA)		(kA)	(kA)	
1ª APLICAÇÃO	29,64	52,83	12,70	40,32	56,91	7,30	33,22	54,17	12,70
2ª APLICAÇÃO	31,36	49,37	16,52	33,19	47,60	113,79	33,76	58,47	11,96

6. Condições do corpo de prova durante os ensaios:

Após cada aplicação o corpo prova foi examinado por inspeção visual a olho nu, não sendo constatados sinais de avarias significativas visíveis a olho nu nem a ruptura do fusível de falta a terra.

Após a primeira aplicação foi constatado que o fusível da fase 1 não atuou.

Após a segunda aplicação foi constatado que o fusível da fase 2 não atuou.

Após o ensaio o disjuntor do corpo de prova foi capaz de operar normalmente em vazio sem nenhum ajuste ou manutenção.

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE ELETROTÉCNICA E ENERGIA
Seção Técnica de Altas Correntes - PC

RELATÓRIO DE ENSAIO Nº 70231

Folha

5 de 9

7. Observações:

7.1. Em anexo, cópias dos registros oscilográficos adquiridos durante as aplicações de corrente e fotografias obtidas no ensaio. Não foi obtido o oscilograma referente a tensão na fase 3 durante a primeira aplicação de corrente.

7.2. Estiveram presentes ao ensaio os Srs.:

- Humberto A P Silva (IEE-USP)
- Douglas A A Garcia (IEE-USP)
- Wilson Luis Alves (FUTURA)

* * * * *

São Paulo, 18 de Outubro de 2010.

Eng.º Luis Eduardo Caires
Seção Técnica de Altas Correntes - IEE/USP
Chefe

Eng.º Sergio Tsutsumi
Seção Técnica de Altas Correntes - IEE/USP
Responsável pelo Ensaio

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE ELETROTÉCNICA E ENERGIA
Seção Técnica de Altas Correntes - PC

RELATÓRIO DE ENSAIO Nº 70231

Folha

6 de 9

OSCILOGRAMAS REFERENTES À PRIMEIRA APLICAÇÃO DA CORRENTE DE ENSAIO

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE ELETROTÉCNICA E ENERGIA
Seção Técnica de Altas Correntes - PC

RELATÓRIO DE ENSAIO Nº 70231

Folha

7 de 9

OSCILOGRAMAS REFERENTES À SEGUNDA APLICAÇÃO DA CORRENTE DE ENSAIO

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE ELETROTÉCNICA E ENERGIA
Seção Técnica de Altas Correntes - PC

RELATÓRIO DE ENSAIO Nº 70231

Folha

8 de 9

FOTOGRAFIAS OBTIDAS NO ENSAIO

Fotografia 1: Detalhe do fusível utilizado no ensaio antes das aplicações de corrente.

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE ELETROTÉCNICA E ENERGIA
Seção Técnica de Altas Correntes - PC

RELATÓRIO DE ENSAIO Nº 70231

Folha

9 de 9

Fotografia 2: Corpo de prova após as aplicações de corrente.

ANEXO A5

Ensaio realizado em laboratórios credenciados cujos relatórios técnicos constantes deste anexo referem-se a testes elétricos com base na IEEE C57.12.44/05 para o Protetor de Rede Inteligente e seu DEI, Versão Ventilado.

Itens da norma: 5.2 *Electrical Tests*: 5.2.1 *Interrupting Rating Tests*, 5.2.3 *Short-Time Current Tests*, 5.2.4 *Fault Close Tests*, 5.2.6 *Fuse Interruption Test for Silver-Sand Fuse*

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE ELETROTÉCNICA E ENERGIA

Av. Prof. Luciano Gualberto, 1289 - Cidade Universitária
CEP 05508-010 - São Paulo - SP
Tels.: (11) 3091-2527 / 3091-2528 - Fax: (11) 3032-7750

SEÇÃO TÉCNICA DE ALTAS CORRENTES

RELATÓRIO DE ENSAIO Nº: 66.456

Folha

1 de 19

Um conjunto protetor de redes conforme dados fornecidos pelo interessado: Conjunto Protetor de Redes 1600A - Classe 2500V com projeto de acordo com a norma IEEE C57.12.44/2005 composto por: painel eletromecânico; disjuntor marca ABB modelo caixa moldada 1600A; Relé Micro-processado com IHM do Protetor de Redes com Monitoramento modelo NetPro e projeto de acordo com a norma IEEE C57.12.44/2005.

OBJETIVOS: Ensaio de corrente suportável nominal de curta duração e do valor de crista nominal da corrente suportável, ensaio de interrupção do disjuntor e ensaio de interrupção de fusível.

OBSERVAÇÕES: Registrado sob OS 20081301-1.
Os ensaios foram realizados em 24/11/2008.

ENSAIOS ELÉTRICOS

1. Local:

Os ensaios foram realizados no Laboratório da Seção Técnica de Altas Correntes deste Instituto.

2. Equipamentos de ensaio:

2.1. Fonte de alimentação:

Transformador de 3 MVA, 13800/760-440-380-220 V, ajustável no primário em derivações de $\pm 18\%$, com degraus de 6%, 60 Hz, trifásico.

- A reprodução deste relatório só poderá ser total e depende da aprovação por escrito do laboratório.
- Os resultados apresentados neste relatório referem-se exclusivamente ao corpo de prova submetido a(o)s ensaio(s), nas condições especificadas, não sendo extensivos a quaisquer lotes.
- O IEE/USP manterá o original deste relatório arquivado por um período mínimo de cinco anos.

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE ELETROTÉCNICA E ENERGIA
SEÇÃO TÉCNICA DE ALTAS CORRENTES

RELATÓRIO DE ENSAIO Nº: 66.456

Folha

2 de 19

2.2. Sistema de Medição:

DL716 Registrador/Analisador, modelo 701830, 16 canais (YOKOGAWA).

3. Condições e procedimentos de ensaio:

Os ensaios foram realizados para o corpo de prova e valores especificados pelo interessado, conforme os ensaios a seguir:

- Ensaio da corrente suportável nominal de curta duração e do valor de crista nominal da corrente suportável;
- Ensaio de interrupção do disjuntor;
- Ensaio de interrupção de fusível.

Todos os ensaios foram realizados com a tensão aproximada de 220 V e alternada em 60 Hz.

4. Ensaio da corrente suportável nominal de curta duração e do valor de crista nominal da corrente suportável:

4.1. Condições e procedimento de ensaio:

O ensaio foi realizado conforme a solicitação do interessado.

O corpo de prova estava desprovido dos fusíveis de proteção, com o disjuntor inoperante e foi alimentado com tensão trifásica através dos terminais superiores, estando os terminais inferiores curto-circuitados, conforme ilustra a Figura em anexo. Foi conectado ao barramento de terra do corpo de prova um fusível para verificação de eventual corrente de fuga para terra durante a aplicação das correntes de ensaio.

Os valores de corrente suportável nominal de curta duração e do valor de crista nominal da corrente suportável (especificados pelo interessado) foram inicialmente calibrados no corpo de prova com tempo reduzido e posteriormente aplicados pelo tempo especificado.

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE ELETROTÉCNICA E ENERGIA
SEÇÃO TÉCNICA DE ALTAS CORRENTES

RELATÓRIO DE ENSAIO Nº: 66.456

Folha

3 de 19

4.2. Valores especificados pelo interessado:

4.2.1. Corrente suportável nominal de curta duração (valor eficaz) 30 kA

4.2.2. Tempo de aplicação 1 s

4.2.3. Valor de crista nominal da corrente suportável 69 kA

4.3. Resultados obtidos:

APLICAÇÃO	DURAÇÃO (ms)	FASE R		FASE S		FASE T	
		CORRENTE SIMÉTRICA VALOR EFICAZ (kA)	CORRENTE DE CRISTA (kA)	CORRENTE SIMÉTRICA VALOR EFICAZ (kA)	CORRENTE DE CRISTA (kA)	CORRENTE SIMÉTRICA VALOR EFICAZ (kA)	CORRENTE DE CRISTA (kA)
1ª CALIBRAÇÃO	126	27,1	60,6	31,0	47,8	27,1	57,1
2ª CALIBRAÇÃO	126	25,9	56,9	26,6	42,2	26,3	56,4
VALOR DE CRISTA NOMINAL DA CORRENTE SUPORTÁVEL	146	33,7	71,7	33,6	53,3	33,8	70,9
VALOR DA CORRENTE SUPORTÁVEL NOMINAL DE CURTA DURAÇÃO	1071	32,3	68,3	31,9	49,4	32,4	68,7

4.4. Condições do corpo de prova após o ensaio:

Após as aplicações das correntes de ensaio, o corpo de prova foi examinado por inspeção visual, não sendo constatados sinais de danos visíveis a olho nu. O disjuntor inserido no corpo de prova foi capaz de operar sem carga, normalmente e sem nenhum ajuste ou manutenção. Foi constatado que não houve ruptura do fusível de falta a terra.

5. Ensaio de interrupção do disjuntor:

5.1. Condições e procedimento de ensaio:

O ensaio foi realizado conforme a solicitação do interessado.

Inicialmente, o corpo de prova estava desprovido dos fusíveis de proteção e foi alimentado com tensão trifásica através dos terminais superiores, estando os terminais inferiores curto-circuitados, conforme ilustra a Figura em anexo. Foi conectado ao barramento de terra do corpo de prova um fusível de falta a terra para verificar a corrente de fuga.

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE ELETROTÉCNICA E ENERGIA
SEÇÃO TÉCNICA DE ALTAS CORRENTES

RELATÓRIO DE ENSAIO Nº: 66.456

Folha

4 de 19

5.1. Condições e procedimento de ensaio (continuação):

Com a mesma calibração da corrente suportável nominal de curta duração e do valor de crista nominal da corrente suportável, foi realizado o ensaio de interrupção no disjuntor que estava inicialmente na posição fechada. O relé de proteção próprio do disjuntor estava desligado.

A interrupção da corrente foi acionada por um sinal externo, que foi introduzido em uma entrada auxiliar do relé de comando do disjuntor.

As operações "O1" e "O2" de abertura foram realizadas energizando o corpo de prova e fazendo-se atuar o relé de proteção com um sinal externo. Nesse intervalo, o corpo de prova conduziu e interrompeu a corrente de ensaio.

Após as aplicações da corrente de ensaio foi realizada uma verificação visual e foram feitas algumas operações de fechamento e abertura sem carga.

5.2. Valores especificados pelo interessado:

5.2.1. Corrente de ensaio (valor eficaz) 30 kA

5.2.2. Número de operações de abertura 2

5.2.3. Intervalo entre operações 2 min

5.3. Resultados obtidos:

OPERAÇÃO	FASE R			FASE S			FASE T		
	CORRENTE SIMÉTRICA VALOR EFICAZ (kA)	CORRENTE DE CRISTA (kA)	DURAÇÃO (ms)	CORRENTE SIMÉTRICA VALOR EFICAZ (kA)	CORRENTE DE CRISTA (kA)	DURAÇÃO (ms)	CORRENTE SIMÉTRICA VALOR EFICAZ (kA)	CORRENTE DE CRISTA (kA)	DURAÇÃO (ms)
"O1"	31,9	69,5	1320	31,8	51,3	1320	32,3	67,4	1320
"O2"	31,6	71,0	1327	31,2	49,2	1327	32,3	70,3	1327

5.4. Condições do corpo de prova durante e após o ensaio:

Após cada operação de abertura, foi realizada uma inspeção visual, não sendo constatados sinais de danos visíveis a olho nu. Não foi constatado a ruptura do fusível de falta a terra e o disjuntor do corpo de prova foi capaz de operar normalmente em vazio sem nenhum ajuste ou manutenção.

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE ELETROTÉCNICA E ENERGIA
SEÇÃO TÉCNICA DE ALTAS CORRENTES

RELATÓRIO DE ENSAIO Nº: 66.456

Folha

5 de 19

6. Ensaio de interrupção de fusíveis:

6.1. Condições e procedimento de ensaio:

O ensaio foi realizado conforme a solicitação do interessado.

O corpo de prova foi alimentado com tensão trifásica através dos terminais superiores, estando os terminais inferiores curto-circuitados, conforme ilustrado na Figura em anexo.

Antes da aplicação da corrente de ensaio, os fusíveis foram introduzidos nos respectivos compartimentos de cada fase. Os fusíveis utilizados continham em seu corpo as seguintes inscrições: MON-TER, ultra-rápido, F 3630-1800, 1800 A - 500 V, conforme mostra a Fotografia 7 em anexo.

Durante a aplicação, o corpo de prova foi mantido energizado até que a corrente de ensaio fosse interrompida por pelo menos 2 fusíveis.

6.2. Valores especificados pelo interessado:

Os valores especificados correspondem aos valores do ensaio da corrente suportável nominal de curta duração e do valor de crista nominal da corrente suportável.

6.3. Valores calibrados:

A calibração utilizada corresponde aos valores do ensaio da corrente suportável nominal de curta duração e do valor de crista nominal da corrente suportável.

6.4. Resultados obtidos:

FASE R			FASE S			FASE T		
CORRENTE SIMÉTRICA VALOR EFICAZ (kA)	CORRENTE DE CRISTA (kA)	DURAÇÃO (ms)	CORRENTE SIMÉTRICA VALOR EFICAZ (kA)	CORRENTE DE CRISTA (kA)	DURAÇÃO (ms)	CORRENTE SIMÉTRICA VALOR EFICAZ (kA)	CORRENTE DE CRISTA (kA)	DURAÇÃO (ms)
48,1	71,6	10	33,4	58,1	68	31,4	55,5	64

6.5. Condições do corpo de prova após o ensaio:

Após a aplicação foi realizada uma inspeção visual, não sendo constatados sinais de danos visíveis a olho nu no corpo de prova.

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE ELETROTÉCNICA E ENERGIA
SEÇÃO TÉCNICA DE ALTAS CORRENTES

RELATÓRIO DE ENSAIO Nº: 66.456

Folha

6 de 19

6.5. Condições do corpo de prova após o ensaio (continuação):

Foi verificado, por continuidade elétrica, que ocorreu a fusão dos fusíveis correspondentes às fases R e S, não houve a fusão do fusível da fase T. Não foi constatada a fusão do fusível de falta a terra.

7. Observações:

7.1. Foram levantados os seguintes registros oscilográficos durante cada aplicação:

- a) Canal 1 - Corrente nos terminais da Fase R.
- b) Canal 2 - Corrente nos terminais da Fase S.
- c) Canal 3 - Corrente nos terminais da Fase T.

7.2. Em anexo, cópias dos registros oscilográficos adquiridos durante as aplicações, fotografias obtidas no ensaio e desenho ilustrativo do corpo de prova.

7.3. Estiveram presentes aos ensaios os Srs.:

- Hailton de Paula (CEB)

7.4. Este Relatório de Ensaio foi redigido em duas vias de igual teor. Uma via foi emitida para o interessado e uma via permanece arquivada neste Instituto.

* * * * *

São Paulo, 4 de Dezembro de 2008.

 Eng.º Luís Eduardo Caires
 Seção Técnica de Altas Correntes - IEE/USP
 Chefe

 Eng. Milton Shigihara
 Seção Técnica de Altas Correntes - IEE/USP

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE ELETROTÉCNICA E ENERGIA
SEÇÃO TÉCNICA DE ALTAS CORRENTES

RELATÓRIO DE ENSAIO Nº: 66.456

Folha

7 de 19

OSCILOGRAMAS REFERENTES À PRIMEIRA CALIBRAÇÃO DA CORRENTE
(Ensaio da corrente suportável nominal de curta duração e do valor
de crista nominal da corrente suportável)

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE ELETROTÉCNICA E ENERGIA
SEÇÃO TÉCNICA DE ALTAS CORRENTES

RELATÓRIO DE ENSAIO N°: 66.456

Folha

8 de 19

OSCILOGRAMAS REFERENTES À SEGUNDA CALIBRAÇÃO DA CORRENTE
(Ensaio da corrente suportável nominal de curta duração e do valor
de crista nominal da corrente suportável)

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE ELETROTÉCNICA E ENERGIA
SEÇÃO TÉCNICA DE ALTAS CORRENTES

RELATÓRIO DE ENSAIO Nº: 66.456

Folha

9 de 19

OSCILOGRAMAS REFERENTES AO VALOR DE CRISTA NOMINAL DA CORRENTE SUPORTÁVEL (Ensaio da corrente suportável nominal de curta duração e do valor de crista nominal da corrente suportável)

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE ELETROTÉCNICA E ENERGIA
SEÇÃO TÉCNICA DE ALTAS CORRENTES

RELATÓRIO DE ENSAIO N°: 66.456

Folha

10 de 19

OSCILOGRAMAS REFERENTES AO VALOR DA CORRENTE SUPORTÁVEL NOMINAL DE CURTA DURAÇÃO (Ensaio da corrente suportável nominal de curta duração e do valor de crista nominal da corrente suportável)

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE ELETROTÉCNICA E ENERGIA
SEÇÃO TÉCNICA DE ALTAS CORRENTES

RELATÓRIO DE ENSAIO Nº: 66.456

Folha

11 de 19

OSCILOGRAMAS REFERENTES À OPERAÇÃO "01" DO DISJUNTOR
(Ensaio de interrupção do disjuntor)

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE ELETROTÉCNICA E ENERGIA
SEÇÃO TÉCNICA DE ALTAS CORRENTES

RELATÓRIO DE ENSAIO Nº: 66.456

Folha

12 de 19

OSCILOGRAMAS REFERENTES À OPERAÇÃO "O2" DO DISJUNTOR
(Ensaio de interrupção do disjuntor)

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE ELETROTÉCNICA E ENERGIA
SEÇÃO TÉCNICA DE ALTAS CORRENTES

RELATÓRIO DE ENSAIO Nº: 66.456

Folha

13 de 19

OSCILOGRAMAS REFERENTES AO ENSAIO DE INTERRUPÇÃO DOS FUSÍVEIS
(Ensaio de interrupção dos fusíveis)

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE ELETROTÉCNICA E ENERGIA
SEÇÃO TÉCNICA DE ALTAS CORRENTES

RELATÓRIO DE ENSAIO N°: 66.456

Folha

14 de 19

DESENHO ILUSTRATIVO DA MONTAGEM UTILIZADA NOS ENSAIOS

VISTA FRONTAL DO CORPO DE PROVA

Corpo de prova alimentado pela parte superior através das fases R, S e T e com ponto de curto-circuito realizado na parte inferior.

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE ELETROTÉCNICA E ENERGIA
SEÇÃO TÉCNICA DE ALTAS CORRENTES

RELATÓRIO DE ENSAIO Nº: 66.456

Folha

15 de 19

FOTOGRAFIAS OBTIDAS NOS ENSAIOS

Fotografia 1 - Vista geral do corpo de prova alimentado na parte superior e com curto-circuito realizado na parte inferior.

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE ELETROTÉCNICA E ENERGIA
SEÇÃO TÉCNICA DE ALTAS CORRENTES

RELATÓRIO DE ENSAIO Nº: 66.456

Folha

16 de 19

FOTOGRAFIAS OBTIDAS NOS ENSAIOS (CONTINUAÇÃO)

Fotografia 2 - Detalhe do ponto de alimentação realizado na parte superior do corpo de prova.

Fotografia 3 - Detalhe do ponto de curto-circuito realizado na parte inferior do corpo de prova.

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE ELETROTÉCNICA E ENERGIA

SEÇÃO TÉCNICA DE ALTAS CORRENTES

RELATÓRIO DE ENSAIO Nº: 66.456

Folha

17 de 19

FOTOGRAFIAS OBTIDAS NOS ENSAIOS (CONTINUAÇÃO)

Fotografia 4 - Ilustração da vista interna frontal do corpo de prova.

Fotografia 5 - Ilustração da vista interna posterior do corpo de prova.

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE ELETROTÉCNICA E ENERGIA
SEÇÃO TÉCNICA DE ALTAS CORRENTES

RELATÓRIO DE ENSAIO Nº: 66.456

Folha

18 de 19

FOTOGRAFIAS OBTIDAS NOS ENSAIOS (CONTINUAÇÃO)

Fotografia 6 - Ilustração do disjuntor acoplado ao corpo de prova.

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE ELETROTÉCNICA E ENERGIA
SEÇÃO TÉCNICA DE ALTAS CORRENTES

RELATÓRIO DE ENSAIO Nº: 66.456

Folha

19 de 19

FOTOGRAFIAS OBTIDAS NOS ENSAIOS (CONTINUAÇÃO)

Fotografia 7 - Ilustração de um dos fusíveis utilizados no ensaio.

Fotografia 8 - Detalhe dos compartimentos utilizados para separar os fusíveis.

ANEXO A6

Ensaio realizado em laboratórios credenciados cujos relatórios técnicos constantes deste anexo referem-se a testes elétricos com base na IEEE C57.12.44/05 para o Protetor de Rede Inteligente e seu DEI, Versão Submersível.

Itens da norma: 5.2 *Electrical Tests*: 5.2.1 *Interrupting Rating Tests*, 5.2.3 *Short-Time Current Tests*, 5.2.4 *Fault Close Tests*, 5.2.6 *Fuse Interruption Test for Silver-Sand Fuse*

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE ELETROTÉCNICA E ENERGIA
Seção Técnica de Altas Correntes - PC

Av. Luciano Gualberto, 1289 • Cidade Universitária • Butantã
CEP 05508-010 • São Paulo • SP • BRASIL • www.iee.usp.br
Telefones: 11 3091-2501 • Fax 11 3032-7750 / 3812-3352
CNPJ: 63.025.530/0042-82 • Inscrição Estadual: isento

RELATÓRIO DE ENSAIO Nº 70224

Folha

1 de 16

A. **Laboratório Responsável:** Seção Técnica de Altas Correntes - PC

B. **Ordem de Serviço nº:** 20101123

C. **Descrição do Corpo de Prova:** Nº: 1-Protetor de rede de Baixa Tensão Protetor de Rede de Distribuição Subterrânea Secundária Trifásica 1600A-1875A/220V Submersível-Pressurizável

F. **Objetivo:** Serviço nº: 1/1 - Ensaio de Corrente suportável de curta duração e do Valor de crista da corrente suportável

G. **Norma e/ou Procedimento:** Item 5.2.3 da norma IEC C57.12.44/2005

H. **Observações:**

- O Corpo de Prova foi recebido em: 10/04/2010
- Ensaio realizado no período de: 09/08/2010 e 17/08/2010
- em arquivo eletrônico:
 - é cópia integral e fiel do original impresso e assinado que estará à disposição no IEE/USP.
- Forma de apresentação:
 - ☐ Arquivo Eletrônico de igual teor ao original impresso;
 - ☒ Impresso em 2 via(s).

• A reprodução deste documento não pode ser parcial e depende da aprovação por escrito do laboratório;
• Os resultados apresentados neste documento referem-se exclusivamente ao corpo de prova submetido ao(s) ensaio(s) nas condições especificadas, não sendo extensivos a quaisquer lotes;
• O IEE-USP manterá o original deste documento arquivado por um período de cinco anos, no mínimo.

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE ELETROTÉCNICA E ENERGIA
Seção Técnica de Altas Correntes - PC

RELATÓRIO DE ENSAIO Nº 70224

Folha

2 de 16

Um protetor de rede conforme fotografias em anexo e os seguintes dados fornecidos pelo interessado: Protetor de Rede de Distribuição Subterrânea Secundária Trifásica 1600A-1875A/220V Submersível-Pressurizável com projeto de acordo com a norma IEEE C57.12.44/2005 composto por: caixa submersível pressurizada IP68; Relé Micro-processado com Monitoramento integrado modelo Smart NetPro e projeto de acordo com a norma IEEE C57.12.44/2005, caixa de TP, disparador capacitivo modelo DispCap SE, de fabricação Futura Soluções em Automação e Engenharia Ltda., disjuntor extraível marca ABB modelo E2B/20-R16 caixa aberta, transformador de corrente relação 2000:5 A fabricante Kron, Fusível modelo 1800 A

OBJETIVO: Ensaio de Corrente Suportável Nominal de Curta Duração e do Valor de Crista Nominal da Corrente Suportável.

OBSERVAÇÕES: Registrado sob OS 20101123-1.

Data da realização do ensaio: 09 e 17/08/2010.

ENSAIO DE CORRENTE SUPORTÁVEL NOMINAL DE CURTA DURAÇÃO E DO VALOR DE CRISTA NOMINAL DA CORRENTE SUPORTÁVEL

1. Local:

O ensaio foi realizado no Laboratório da Seção Técnica de Altas Correntes deste Instituto.

2. Equipamentos de ensaio:

2.1. Fonte de alimentação:

Transformador de 3 MVA, 13800/760-440-380-220 V, ajustável no primário em derivações de $\pm 18\%$, com degraus de 6%, 60 Hz, trifásico.

2.2. Sistema de Medição:

DL716 Registrador/Analisador, modelo 701830, 16 canais (YOKOGAWA).

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE ELETROTÉCNICA E ENERGIA
Seção Técnica de Altas Correntes - PC

RELATÓRIO DE ENSAIO Nº 70224

Folha

3 de 16

3. Condições e procedimento de ensaio:

O ensaio foi realizado seguindo o item 5.2.3. da norma IEC C57.12.44/2005.

Todas as aplicações foram realizadas com o corpo de prova alimentado com tensão trifásica à frequência de 60 Hz, conforme mostrado na fotografia 1 em anexo.

A primeira aplicação de calibração e a primeira aplicação da corrente suportável de curta duração e do valor de crista da corrente suportável foram realizadas no dia 09/08/2010. As demais aplicações foram realizadas no dia 17/08/2010, após os ensaios de operação de abertura do disjuntor e interrupção do fusível.

Após as aplicações de corrente o corpo de prova foi manobrado, inspecionado visualmente a olho nu e fotografado para fins de registro.

4. Valores especificados pelo interessado:

4.1. Corrente suportável de curta duração (valor eficaz) 30 kA

4.2. Duração 1 s

4.3. Valor crista nominal da corrente suportável 69 kA

4.4. I^2t 9,00E+08 A²s

5. Valores aplicados:

APLICAÇÃO	DURAÇÃO (ms)	FASE 1		FASE 2		FASE 3	
		CORRENTE SIMÉTRICA	CORRENTE DE CRISTA	CORRENTE SIMÉTRICA	CORRENTE DE CRISTA	CORRENTE SIMÉTRICA	CORRENTE DE CRISTA
		VALOR EFICAZ (kA)	(kA)	VALOR EFICAZ (kA)	(kA)	VALOR EFICAZ (kA)	(kA)
1ª CALIBRAÇÃO	113	30,12	79,96	27,77	61,58	26,76	46,24
1ª APLICAÇÃO DA CORRENTE SUPORTÁVEL DE CURTA DURAÇÃO E VALOR DE CRISTA DA CORRENTE SUPORTÁVEL	1046	33,72	86,32	31,26	67,66	30,92	47,91
2ª CALIBRAÇÃO	1043	28,43	74,68	28,61	65,00	27,82	41,34
2ª APLICAÇÃO DA CORRENTE SUPORTÁVEL DE CURTA DURAÇÃO E VALOR DE CRISTA DA CORRENTE SUPORTÁVEL	1043	31,93	83,83	32,14	72,46	31,26	46,06

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE ELETROTÉCNICA E ENERGIA
Seção Técnica de Altas Correntes - PC

RELATÓRIO DE ENSAIO Nº 70224

Folha

4 de 16

5. Valores aplicados (continuação):

APLICAÇÃO	DURAÇÃO (ms)	FASE 1		FASE 2		FASE 3	
		CORRENTE SIMÉTRICA VALOR EFICAZ (kA)	CORRENTE DE CRISTA (kA)	CORRENTE SIMÉTRICA VALOR EFICAZ (kA)	CORRENTE DE CRISTA (kA)	CORRENTE SIMÉTRICA VALOR EFICAZ (kA)	CORRENTE DE CRISTA (kA)
3ª APLICAÇÃO DA CORRENTE SUPORTÁVEL DE CURTA DURAÇÃO E VALOR DE CRISTA DA CORRENTE SUPORTÁVEL	1044	31,82	81,38	32,14	72,06	31,29	66,20
4ª APLICAÇÃO DA CORRENTE SUPORTÁVEL DE CURTA DURAÇÃO E VALOR DE CRISTA DA CORRENTE SUPORTÁVEL	1044	32,01	95,39	32,23	73,32	31,39	82,63
5ª APLICAÇÃO DA CORRENTE SUPORTÁVEL DE CURTA DURAÇÃO E VALOR DE CRISTA DA CORRENTE SUPORTÁVEL	1037	31,86	82,66	32,10	75,52	31,43	47,91
6ª APLICAÇÃO DA CORRENTE SUPORTÁVEL DE CURTA DURAÇÃO E VALOR DE CRISTA DA CORRENTE SUPORTÁVEL	1044	31,91	82,07	32,17	74,47	31,34	45,61

APLICAÇÃO	T _{st} (A ² s)		
	FASE 1	FASE 2	FASE 3
1ª CALIBRAÇÃO	1,03E+08	8,71E+07	8,09E+07
1ª APLICAÇÃO DA CORRENTE SUPORTÁVEL DE CURTA DURAÇÃO E VALOR DE CRISTA DA CORRENTE SUPORTÁVEL	1,19E+09	1,02E+09	9,41E+08
2ª CALIBRAÇÃO	8,43E+08	8,54E+08	8,07E+08
2ª APLICAÇÃO DA CORRENTE SUPORTÁVEL DE CURTA DURAÇÃO E VALOR DE CRISTA DA CORRENTE SUPORTÁVEL	1,06E+09	1,08E+09	1,02E+09
3ª APLICAÇÃO DA CORRENTE SUPORTÁVEL DE CURTA DURAÇÃO E VALOR DE CRISTA DA CORRENTE SUPORTÁVEL	1,06E+09	1,08E+09	1,02E+09
4ª APLICAÇÃO DA CORRENTE SUPORTÁVEL DE CURTA DURAÇÃO E VALOR DE CRISTA DA CORRENTE SUPORTÁVEL	1,07E+09	1,08E+09	1,03E+09
5ª APLICAÇÃO DA CORRENTE SUPORTÁVEL DE CURTA DURAÇÃO E VALOR DE CRISTA DA CORRENTE SUPORTÁVEL	1,06E+09	1,07E+09	1,02E+09
6ª APLICAÇÃO DA CORRENTE SUPORTÁVEL DE CURTA DURAÇÃO E VALOR DE CRISTA DA CORRENTE SUPORTÁVEL	1,06E+09	1,08E+09	1,03E+09

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE ELETROTÉCNICA E ENERGIA
Seção Técnica de Altas Correntes - PC

RELATÓRIO DE ENSAIO Nº 70224

Folha

5 de 16

6. Condições do corpo de prova após os ensaios:

O corpo de prova foi examinado por inspeção visual a olho nu, não sendo constatados sinais de avarias significativas conforme mostram as fotografias em anexo, nem a ruptura do fusível de falta a terra. O disjuntor do corpo de prova foi capaz de realizar algumas operações manuais sem ajustes ou manutenção.

7. Observações:

7.1. Em anexo, cópias dos registros oscilográficos adquiridos durante as aplicações de corrente e fotografias obtidas no ensaio.

7.2. Estiveram presentes ao ensaio os Srs.:

- Humberto A P Silva (IEE-USP)
- Douglas A A Garcia (IEE-USP)
- Wilson Luis Alves (FUTURA)

* * * * *

São Paulo, 06 de Outubro de 2010.

Luis Eduardo Caires
Eng.º Luís Eduardo Caires
Seção Técnica de Altas Correntes - IEE/USP
Chefe

Sergio Tsutsumi
Eng.º Sérgio Tsutsumi
Seção Técnica de Altas Correntes - IEE/USP
Responsável pelo Ensaio

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE ELETROTÉCNICA E ENERGIA
Seção Técnica de Altas Correntes - PC

RELATÓRIO DE ENSAIO Nº 70224

Folha

6 de 16

OSCILOGRAMAS REFERENTES À PRIMEIRA CALIBRAÇÃO DA CORRENTE DE ENSAIO

FASE 1

FASE 2

FASE 3

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE ELETROTÉCNICA E ENERGIA
Seção Técnica de Altas Correntes - PC

RELATÓRIO DE ENSAIO Nº 70224

Folha

7 de 16

OSCILOGRAMAS REFERENTES À PRIMEIRA APLICAÇÃO DA CORRENTE SUPORTÁVEL
NOMINAL DE CURTA DURAÇÃO E DO VALOR DE CRISTA NOMINAL DA CORRENTE
SUPORTÁVEL

FASE 1

FASE 2

FASE 3

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE ELETROTÉCNICA E ENERGIA
Seção Técnica de Altas Correntes - PC

RELATÓRIO DE ENSAIO Nº 70224

Folha

8 de 16

OSCILOGRAMAS REFERENTES À SEGUNDA CALIBRAÇÃO DA CORRENTE DE ENSAIO

FASE 1

FASE 2

FASE 3

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE ELETROTÉCNICA E ENERGIA
Seção Técnica de Altas Correntes - PC

RELATÓRIO DE ENSAIO Nº 70224

Folha

9 de 16

OSCILOGRAMAS REFERENTES À SEGUNDA APLICAÇÃO DA CORRENTE SUPORTÁVEL
NOMINAL DE CURTA DURAÇÃO E DO VALOR DE CRISTA NOMINAL DA CORRENTE
SUPORTÁVEL

FASE 1

FASE 2

FASE 3

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE ELETROTÉCNICA E ENERGIA
Seção Técnica de Altas Correntes - PC

RELATÓRIO DE ENSAIO Nº 70224

Folha

10 de 16

OSCILOGRAMAS REFERENTES À TERCEIRA APLICAÇÃO DA CORRENTE SUPORTÁVEL
NOMINAL DE CURTA DURAÇÃO E DO VALOR DE CRISTA NOMINAL DA CORRENTE
SUPORTÁVEL

FASE 1

FASE 2

FASE 3

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE ELETROTÉCNICA E ENERGIA
Seção Técnica de Altas Correntes - PC

RELATÓRIO DE ENSAIO Nº 70224

Folha

11 de 16

OSCILOGRAMAS REFERENTES À QUARTA APLICAÇÃO DA CORRENTE SUPORTÁVEL
NOMINAL DE CURTA DURAÇÃO E DO VALOR DE CRISTA NOMINAL DA CORRENTE
SUPORTÁVEL

FASE 1

FASE 2

FASE 3

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE ELETROTÉCNICA E ENERGIA
Seção Técnica de Altas Correntes - PC

RELATÓRIO DE ENSAIO Nº 70224

Folha

12 de 16

OSCILOGRAMAS REFERENTES À QUINTA APLICAÇÃO DA CORRENTE SUPORTÁVEL
NOMINAL DE CURTA DURAÇÃO E DO VALOR DE CRISTA NOMINAL DA CORRENTE
SUPORTÁVEL

FASE 1

FASE 2

FASE 3

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE ELETROTÉCNICA E ENERGIA
Seção Técnica de Altas Correntes - PC

RELATÓRIO DE ENSAIO Nº 70224

Folha

13 de 16

OSCILOGRAMAS REFERENTES À SEXTA APLICAÇÃO DA CORRENTE SUPORTÁVEL
NOMINAL DE CURTA DURAÇÃO E DO VALOR DE CRISTA NOMINAL DA CORRENTE
SUPORTÁVEL

FASE 1

FASE 2

FASE 3

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE ELETROTÉCNICA E ENERGIA
Seção Técnica de Altas Correntes - PC

RELATÓRIO DE ENSAIO Nº 70224

Folha

14 de 16

FOTOGRAFIAS OBTIDAS NO ENSAIO

Fotografia 1: Detalhe da alimentação antes das aplicações de corrente no dia 09/08/2010.

Fotografia 2: Vista geral da montagem antes das aplicações de corrente no dia 09/08/2010.

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE ELETROTÉCNICA E ENERGIA
Seção Técnica de Altas Correntes - PC

RELATÓRIO DE ENSAIO Nº 70224

Folha

15 de 16

Fotografia 3: Vista interna após as aplicações de corrente no dia 09/08/2010.

Fotografia 4: Detalhe dos isoladores após as aplicações de corrente no dia 09/08/2010.

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE ELETROTÉCNICA E ENERGIA
Seção Técnica de Altas Correntes - PC

RELATÓRIO DE ENSAIO Nº 70224

Folha

16 de 16

Fotografia 5: Vista geral da montagem antes das aplicações de corrente no dia 17/08/2010.

Fotografia 6: Detalhe dos porta fusíveis após as aplicações de corrente no dia 17/08/2010.

ANEXO B

Ensaio realizado em laboratórios credenciados cujos relatórios técnicos constantes deste anexo referem-se a testes de Compatibilidade Eletromagnética para o Protetor de Rede Inteligente, seu DEI, Pendante (*Hand Held*) e Display (IHM-Interface Homem-Máquina) para as Versões Ventilada e Submersível.

Itens da norma: *EN 61326 (CISPR 11, IEC 61000-4-2 à 61000-4-6 e 61000-4-11); IEEE C37.90.2-1995; IEEE C37.1-2002*

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE ELETROTÉCNICA E ENERGIA

Av. Prof. Luciano Gualberto, 1289 - Cidade Universitária - Butantã
CEP 05508-010 - São Paulo - SP
Tels.: (11) 3091-2527 / 3091-2528 - Fax: (11) 3032-7750

FOLHA

1 de 16

RELATÓRIO OFICIAL Nº: 66013

ENSAIOS DE COMPATIBILIDADE ELETROMAGNÉTICA NO RELÉ DO
PROTETOR DE REDES COM MONITORAMENTO MODELO NetPro.

INTERESSADO: Seção Técnica de Monitoramento de Equipamentos de Subestação.
Av. Professor Luciano Gualberto, 1289.
CEP: 05508 - 010 - São Paulo - SP.

OBJETIVOS: Determinar o nível de emissão conduzida bem como a imunidade do corpo de prova a descargas eletrostáticas, quedas de tensão, interrupções de tensão, "Burst", e "Surge".

OBSERVAÇÕES:

- Registrado sob Ordem de Serviço nº 2008546;
- Data da execução do ensaio: 13/06/2008 a 18/06/2008;
- Local de ensaio Laboratório de Compatibilidade Eletromagnética do IEE/USP;
- Número de vias emitidas deste relatório: 2 (duas);
- A temperatura ambiente permaneceu entre 21°C de 24° C durante os ensaios;
- A umidade relativa permaneceu entre 50% a 56% durante os ensaios;
- A sigla N/A significa não aplicável;
- A pedido do solicitante, os métodos de ensaios e a avaliação dos resultados foram baseados na norma IEC61326-1/2005-12 "Electrical equipment for measurement, control and laboratory use – EMC requirements – Part 1 - General Requirements.

1. Aparelhos de medição:

- Gerador de Impulsos marca Schaffner Instruments modelo BEST EMC;
- Gerador de Descargas Eletrostáticas marca Schaffner Instruments modelo NSG 432 .
- Receptor marca Rohde Schwarz modelo ESI-7;
- Câmara blindada Lindgren;
- Rede artificial marca Electrometrics modelo AN. 2512;
- Fonte de Tensão marca Califórnia Instruments modelo 5001ix;
- Wattímetro marca Yokogawa modelo WT 2030.

- A reprodução deste documento só poderá ser total e depende da aprovação por escrito do laboratório.
- Os resultados apresentados neste documento referem-se exclusivamente ao corpo de prova submetido ao ensaio ou calibração, nas condições especificadas, não sendo extensivos a quaisquer lotes.
- O IEE/USP manterá o original deste certificado arquivado por um período mínimo de cinco anos.

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE ELETROTÉCNICA E ENERGIA

Av. Prof. Luciano Gualberto, 1289 - Cidade Universitária - Butantã
CEP 05508-010 - São Paulo - SP
Tels.: (11) 3091-2527 / 3091-2528 - Fax: (11) 3032-7750

FOLHA

2 de 16

RELATÓRIO OFICIAL Nº: 66013

2. Descrição do Corpo de Prova:

Relé do Protetor de Redes com Monitoramento modelo NetPro com projeto de acordo com norma IEEE 57.12.44/2005.

3. Metodologia:

Foram realizados os seguintes ensaios de acordo com a norma IEC 61326-1/2005-12, sendo que para cada ensaio utilizou-se as metodologias e especificações da norma geral:

- Ensaio de imunidade a "Burst" IEC 61000-4-4/2004-07;
- Ensaio de imunidade a "Surge" IEC 61000-4-5 / 2005-11;
- Ensaio de imunidade a quedas de tensão IEC 61000 4-11/1994 Am. 1/2000-11;
- Ensaio de imunidade a interrupções de tensão IEC 61000 4-11/1994 Am. 1/2000-11;
- Ensaio de imunidade a descargas eletrostáticas IEC 61000-4-2/1995-01;
- Ensaio de distorção Harmônica IEC 61000-3-2/1998-04;
- Ensaio de Flicker IEC 61000-3-3/1994-12;
- Ensaios de interferência conduzida CISPR 11/2003-03.

3.1- Ensaio de imunidade a "Burst":

O ensaio de imunidade a transientes elétricos rápidos – "Burst" foi realizado de acordo com a norma IEC 61000-4-4 / 2004-07 e com tensão de alimentação de 220V. Os impulsos foram aplicados em ambas as fases e no terra da linha de alimentação do corpo de prova. A tensão aplicada nas polaridades positiva e negativa foi de 1kV com uma taxa de repetição de 5,0 kHz durante 1 minuto sendo verificado o comportamento do corpo de prova durante o ensaio. A configuração do ensaio de "Burst" na linha de alimentação do corpo de prova é apresentada na foto 1.

O ensaio de transientes elétricos rápidos – "Burst" foi realizado também nos cabos de comunicação do corpo de prova, via acoplamento capacitivo (vide foto 2) segundo a norma IEC 61000-4-4 / 2004-07. O nível de tensão aplicado foi de 0,5kV em ambas as polaridades durante 1 minuto.

- A reprodução deste documento só poderá ser total e depende da aprovação por escrito do laboratório.
- Os resultados apresentados neste documento referem-se exclusivamente ao corpo de prova submetido ao ensaio ou calibração, nas condições especificadas, não sendo extensivos a quaisquer lotes.
- O IEE/USP manterá o original deste certificado arquivado por um período mínimo de cinco anos.

MARGENS EM AMARELO, DIZERES E LOGOTIPO DO IEE/USP EM PRETO. FORMULÁRIO Nº 2001GQ00FR008, "ED. 1/1", PAG. 1/1

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE ELETROTÉCNICA E ENERGIA

Av. Prof. Luciano Gualberto, 1289 - Cidade Universitária - Butantã
CEP 05508-010 - São Paulo - SP
Tels.: (11) 3091-2527 / 3091-2528 - Fax: (11) 3032-7750

FOLHA

3 de 16

RELATÓRIO OFICIAL Nº: 66013

Foto 1 – Ensaio de “Burst” na linha de alimentação do corpo de prova.

Foto 2 – Ensaio de “Burst” na linha de comunicação do corpo de prova.

- A reprodução deste documento só poderá ser total e depende da aprovação por escrito do laboratório.
- Os resultados apresentados neste documento referem-se exclusivamente ao corpo de prova submetido ao ensaio ou calibração, nas condições especificadas, não sendo extensivos a quaisquer lotes.
- O IEE/USP manterá o original deste certificado arquivado por um período mínimo de cinco anos.

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE ELETROTÉCNICA E ENERGIA

Av. Prof. Luciano Gualberto, 1289 - Cidade Universitária - Butantã
CEP 05508-010 - São Paulo - SP
Tels.: (11) 3091-2527 / 3091-2528 - Fax: (11) 3032-7750

FOLHA

4 de 16

RELATÓRIO OFICIAL Nº: 66013

3.2 - Ensaio de imunidade a "Surge":

O ensaio de imunidade a "Surge" foi realizado de acordo a norma IEC 61000-4-5 / 2005-11 com tensão de alimentação de 220V frequência de 60Hz nas polaridades positiva e negativa. O nível de tensão do pulso aplicado na linha de alimentação do corpo de prova foi de 0,5kV entre fases e 1,0kV entre cada fase e o terra, sendo pulso aplicado sincronizado com a tensão de alimentação nos ângulos de 0°, 90° e 270°. A configuração do ensaio de "Surge" é apresentada na foto 3.

Foto 3 – Ensaio de "Surge" na linha de alimentação do corpo de prova.

3.3- Ensaio de imunidade a queda de tensão:

O ensaio de imunidade a queda de tensão foi realizado de acordo com a norma IEC 61000 4-11 / 1994 Amendement 1 2000-11 (vide foto 4).

O ensaio foi realizado com tensão nominal de alimentação de 220V. A duração e a porcentagem da queda de tensão aplicada na linha de alimentação estão conforme a norma IEC 61326-1/ 2005-12, tabela 1, pagina 13 que são 0% da tensão nominal com duração de 0,5 ciclo, 0% da tensão nominal com duração de 1 ciclo e 70% da tensão nominal com duração de 30 ciclos para frequência de 60Hz e 25 ciclos para a frequência de 50Hz.

- A reprodução deste documento só poderá ser total e depende da aprovação por escrito do laboratório.
- Os resultados apresentados neste documento referem-se exclusivamente ao corpo de prova submetido ao ensaio ou calibração, nas condições especificadas, não sendo extensivos a quaisquer lotes.
- O IEE/USP manterá o original deste certificado arquivado por um período mínimo de cinco anos.

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE ELETROTÉCNICA E ENERGIA

Av. Prof. Luciano Gualberto, 1289 - Cidade Universitária - Butantã
CEP 05508-010 - São Paulo - SP
Tels.: (11) 3091-2527 / 3091-2528 - Fax: (11) 3032-7750

FOLHA

5 de 16

RELATÓRIO OFICIAL Nº: 66013

3.4- Ensaio de imunidade a interrupção de tensão:

O ensaio de imunidade a queda de tensão foi realizado de acordo com a IEC 61000 4-11 / 1994 Amendement 1 2000-11, sendo os níveis de severidade definidos pela norma IEC 61326-1 / 2005-12.

O ensaio foi realizado com tensão nominal de alimentação de 220V. A duração das interrupções de tensão aplicadas na linha de alimentação estão conforme a norma IEC 61326-1/ 2005-12 tabela 1 pagina 13 que especifica 0% da tensão nominal com duração de 300 ciclos para a frequência de 60Hz e 250 ciclos para a frequência de 50Hz.

Foto 4 – Ensaio de queda e interrupção de tensão na linha de alimentação do corpo de prova.

3.5 – Ensaio de descarga eletrostática:

O ensaio de imunidade à descarga eletrostática foi realizado de acordo com a norma IEC 61000-4-2 / 1995-01 sendo os níveis de tensões das descargas definidas pela IEC 61326-1/ 2005-12, tabela 1, pagina 13. O corpo de prova foi ligado em sua condição normal de uso. Foram escolhidos diversos pontos no relé e no painel. Os pontos escolhidos foram distribuídos em partes metálicas acessíveis, onde foram aplicadas 10 descargas de contato direto com nível de tensão de 4kV nas polaridades positiva e negativa, e em partes isolantes, onde foram aplicadas 10 descargas pelo ar com nível de tensão de 4kV nas polaridades positiva e negativa, por último foram aplicadas 10 descargas de contato indireto no plano

- A reprodução deste documento só poderá ser total e depende da aprovação por escrito do laboratório.
- Os resultados apresentados neste documento referem-se exclusivamente ao corpo de prova submetido ao ensaio ou calibração, nas condições especificadas, não sendo extensivos a quaisquer lotes.
- O IEE/USP manterá o original deste certificado arquivado por um período mínimo de cinco anos.

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE ELETROTÉCNICA E ENERGIA

Av. Prof. Luciano Gualberto, 1289 - Cidade Universitária - Butantã
CEP 05508-010 - São Paulo - SP
Tels.: (11) 3091-2527 / 3091-2528 - Fax: (11) 3032-7750

FOLHA

6 de 16

RELATÓRIO OFICIAL Nº: 66013

vertical em cada uma das quatro faces do painel conforme descrito na norma 61000-4-2/1995-01. A configuração do ensaio de descargas eletrostáticas é apresentada na foto 5.

Foto 5 – Descarga eletrostática de contato direto no painel.

3.6- Ensaio de distorção harmônica:

O ensaio de distorção harmônica foi realizado de acordo com a IEC 61000-3-2 / 1998-04. Verificando-se a medição da potência ativa na linha de alimentação do corpo de prova constatou-se um valor inferior a 50W, sendo assim a realização deste ensaio não é aplicável segundo o item 7.4 da norma IEC 61000-3-2/1998-04.

3.7 - Ensaio de "flicker":

O ensaio de "flicker" foi realizado de acordo com a IEC 61000-3-3/1994-12, sendo executado na tensão de alimentação de 220V e frequência de 50Hz. A configuração do ensaio é apresentada na foto 6.

- A reprodução deste documento só poderá ser total e depende da aprovação por escrito do laboratório.
- Os resultados apresentados neste documento referem-se exclusivamente ao corpo de prova submetido ao ensaio ou calibração, nas condições especificadas, não sendo extensivos a quaisquer lotes.
- O IEE/USP manterá o original deste certificado arquivado por um período mínimo de cinco anos.

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE ELETROTÉCNICA E ENERGIA

Av. Prof. Luciano Gualberto, 1289 - Cidade Universitária - Butantã
CEP 05508-010 - São Paulo - SP
Tels.: (11) 3091-2527 / 3091-2528 - Fax: (11) 3032-7750

FOLHA

J

7 de 16

RELATÓRIO OFICIAL Nº:

66013

Foto 6 – Configuração para o ensaio de “flicker”.

3.8- Ensaio de interferência conduzida:

O corpo de prova, foi conectado ao sistema de medição através da rede artificial AN 2512, primeiro através dos barramentos (entrada do painel) em seguida pelo relé como apresentado nas fotos 7 e 8 respectivamente.

O ensaio foi realizado com o receptor ESI-7 ajustado para medição com o detector de “PEAK” e “AVERAGE” na faixa de frequência de 9kHz a 30MHz, de modo a verificar se o sinal mensurado ultrapassa o limite de “QUASI – PEAK” e “AVERAGE” estabelecidos pela norma CISPR 11/2003-03 citada na norma IEC 61326-1/2005-12.

Na frequência onde a varredura com o detector “PEAK” esteve perto do limite foi realizada uma nova varredura com o detector de “QUASI-PEAK”.

- A reprodução deste documento só poderá ser total e depende da aprovação por escrito do laboratório.
- Os resultados apresentados neste documento referem-se exclusivamente ao corpo de prova submetido ao ensaio ou calibração, nas condições especificadas, não sendo extensivos a quaisquer lotes.
- O IEE/USP manterá o original deste certificado arquivado por um período mínimo de cinco anos.

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE ELETROTÉCNICA E ENERGIA

Av. Prof. Luciano Gualberto, 1289 - Cidade Universitária - Butantã
CEP 05508-010 - São Paulo - SP
Tels.: (11) 3091-2527 / 3091-2528 - Fax: (11) 3032-7750

FOLHA

8 de 16

RELATÓRIO OFICIAL Nº: 66013

Foto 7 – Ensaio de interferência conduzida
Na entrada do painel.

Foto 8 – Ensaio de interferência conduzida
Na entrada do relé.

- A reprodução deste documento só poderá ser total e depende da aprovação por escrito do laboratório.
- Os resultados apresentados neste documento referem-se exclusivamente ao corpo de prova submetido ao ensaio ou calibração, nas condições especificadas, não sendo extensivos a quaisquer lotes.
- O IEE/USP manterá o original deste certificado arquivado por um período mínimo de cinco anos.

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE ELETROTÉCNICA E ENERGIA

Av. Prof. Luciano Gualberto, 1289 - Cidade Universitária - Butantã
CEP 05508-010 - São Paulo - SP
Tels.: (11) 3091-2527 / 3091-2528 - Fax: (11) 3032-7750

FOLHA

9 de 16

RELATÓRIO OFICIAL Nº: 66013

3. Resultados:

Os gráficos 1,2,3 e 4 representam respectivamente:

- **Gráfico 1** – Ensaio de Interferência conduzida na entrada do painel, ou seja no barramento, onde em azul observa-se uma linha representando o limite estabelecido pela norma para o detector de “quasi-peak” e a varredura do detector de “peak”, da mesma forma que na cor vermelha observa-se uma linha representando o limite estabelecido pela norma para o detector de “average” e a varredura deste detector.
- **Gráfico 2** – Ensaio de Interferência conduzida na entrada do painel ou seja no barramento, onde se observa uma linha representando o limite estabelecido pela norma para detector de “quasi-peak” e abaixo desta linha a varredura obtida por este detector.
- **Gráfico 3** – Ensaio de Interferência conduzida na entrada do relé, onde em azul observa-se uma linha representando o limite estabelecido pela norma para o detector de “quasi-peak” e a varredura do detector de “peak”, da mesma forma que na cor vermelha observa-se uma linha representando o limite estabelecido pela norma para o detector de “average” e a varredura deste detector.
- **Gráfico 4** – Ensaio de Interferência conduzida na entrada do relé, onde se observa uma linha representando o limite estabelecido pela norma para o detector de “quasi-peak” e abaixo desta linha a varredura do detector de “quasi-peak”.

A tabela 1 apresenta os resultados do ensaio de “flicker” de forma mais detalhada, ou seja, a cada intervalo de 10 minutos.

A tabela 2 apresenta os resultados de todos os ensaios realizados, bem como os critérios de aprovação, os níveis máximos para o ensaio de “flicker” e a avaliação de conformidade de cada ensaio realizado. Os critérios de aprovação descritos na tabela 2 são os seguintes:

- **Critério de aprovação A** – Neste critério o corpo de prova deve apresentar performance normal durante os ensaios sem a presença de nenhum tipo de degradação ou anomalia no funcionamento;

- A reprodução deste documento só poderá ser total e depende da aprovação por escrito do laboratório.
- Os resultados apresentados neste documento referem-se exclusivamente ao corpo de prova submetido ao ensaio ou calibração, nas condições especificadas, não sendo extensivos a quaisquer lotes.
- O IEE/USP manterá o original deste certificado arquivado por um período mínimo de cinco anos.

MARGENS EM AMARELO, DIZERES E LOGOTIPO DO IEE/USP EM PRETO. FORMULÁRIO Nº 2001GQ00FR008, “ED.1/1”, PAG.1/1

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE ELETROTÉCNICA E ENERGIA

Av. Prof. Luciano Gualberto, 1289 - Cidade Universitária - Butantã
CEP 05508-010 - São Paulo - SP
Tels.: (11) 3091-2527 / 3091-2528 - Fax: (11) 3032-7750

FOLHA

10 de 16

RELATÓRIO OFICIAL Nº: 66013

- **Critério de aprovação B** – Neste critério o corpo de prova pode apresentar degradação ou perda de função temporárias, mas deve voltar a performance normal de funcionamento sem a intervenção do operador;
- **Critério de aprovação C** – Neste critério o corpo de prova pode apresentar degradação ou perda de função temporárias, que requerem a intervenção do operador para voltar a performance normal de funcionamento.

Gráfico 1 – Medição na entrada do painel.

- A reprodução deste documento só poderá ser total e depende da aprovação por escrito do laboratório.
- Os resultados apresentados neste documento referem-se exclusivamente ao corpo de prova submetido ao ensaio ou calibração, nas condições especificadas, não sendo extensivos a quaisquer lotes.
- O IEE/USP manterá o original deste certificado arquivado por um período mínimo de cinco anos.

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE ELETROTÉCNICA E ENERGIA

Av. Prof. Luciano Gualberto, 1289 - Cidade Universitária - Butantã
CEP 05508-010 - São Paulo - SP
Tels.: (11) 3091-2527 / 3091-2528 - Fax: (11) 3032-7750

FOLHA

11 de 16

RELATÓRIO OFICIAL Nº: 66013

Gráfico 2 – Medição na entrada do painel detector “quasi-peak”.

- A reprodução deste documento só poderá ser total e depende da aprovação por escrito do laboratório.
- Os resultados apresentados neste documento referem-se exclusivamente ao corpo de prova submetido ao ensaio ou calibração, nas condições especificadas, não sendo extensivos a quaisquer lotes.
- O IEE/USP manterá o original deste certificado arquivado por um período mínimo de cinco anos.

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE ELETROTÉCNICA E ENERGIA

Av. Prof. Luciano Gualberto, 1289 - Cidade Universitária - Butantã
CEP 05508-010 - São Paulo - SP
Tels.: (11) 3091-2527 / 3091-2528 - Fax: (11) 3032-7750

FOLHA

[Handwritten signature]

12 de 16

RELATÓRIO OFICIAL Nº: 66013

Gráfico 3 – Medição na entrada do relé.

- A reprodução deste documento só poderá ser total e depende da aprovação por escrito do laboratório.
- Os resultados apresentados neste documento referem-se exclusivamente ao corpo de prova submetido ao ensaio ou calibração, nas condições especificadas, não sendo extensivos a quaisquer lotes.
- O IEE/USP manterá o original deste certificado arquivado por um período mínimo de cinco anos.

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE ELETROTÉCNICA E ENERGIA

Av. Prof. Luciano Gualberto, 1289 - Cidade Universitária - Butantã
CEP 05508-010 - São Paulo - SP
Tels.: (11) 3091-2527 / 3091-2528 - Fax: (11) 3032-7750

FOLHA

13 de 16

RELATÓRIO OFICIAL Nº: 66013

Gráfico 4 – Medição na entrada do relé detector “quasi-peak”.

- A reprodução deste documento só poderá ser total e depende da aprovação por escrito do laboratório.
- Os resultados apresentados neste documento referem-se exclusivamente ao corpo de prova submetido ao ensaio ou calibração, nas condições especificadas, não sendo extensivos a quaisquer lotes.
- O IEE/USP manterá o original deste certificado arquivado por um período mínimo de cinco anos.

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE ELETROTÉCNICA E ENERGIA

Av. Prof. Luciano Gualberto, 1289 - Cidade Universitária - Butantã
CEP 05508-010 - São Paulo - SP
Tels.: (11) 3091-2527 / 3091-2528 - Fax: (11) 3032-7750

FOLHA

14 de 16

RELATÓRIO OFICIAL Nº:

66013

Intervalo de Pst	Dc (%)	Dmax (%)	D(t) (ms)	Pst
1	0,00	0,45	0	0,15
2	0,00	0,45	0	0,15
3	0,00	0,45	0	0,15
4	0,00	0,45	0	0,15
5	0,00	0,45	0	0,15
6	0,00	0,45	0	0,15
7	0,00	0,45	0	0,15
8	0,00	0,45	0	0,15
9	0,00	0,45	0	0,15
10	0,00	0,45	0	0,16
11	0,00	0,45	0	0,16
12	0,00	0,45	0	0,16
Plt = 0,15				

Tabela 1 – Resultados dos ensaios de “flicker”.

Pst – short –term flicker indicator;
Dc – relative steady-state voltage change;
Dmax – maximum relative voltage change;
D(t) – relative voltage characteristic;
Plt – long-term flicker indicator.

Versão original da norma em inglês.

- A reprodução deste documento só poderá ser total e depende da aprovação por escrito do laboratório.
- Os resultados apresentados neste documento referem-se exclusivamente ao corpo de prova submetido ao ensaio ou calibração, nas condições especificadas, não sendo extensivos a quaisquer lotes.
- O IEE/USP manterá o original deste certificado arquivado por um período mínimo de cinco anos.

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE ELETROTÉCNICA E ENERGIA

Av. Prof. Luciano Gualberto, 1289 - Cidade Universitária - Butantã
CEP 05508-010 - São Paulo - SP
Tels.: (11) 3091-2527 / 3091-2528 - Fax: (11) 3032-7750

FOLHA

15 de 16

RELATÓRIO OFICIAL Nº: 66013

ENSAIO/ NORMA	ACOPLAMENTO/ APLICAÇÃO						AVALIAÇÃO DE CONFORMIDADE
	GABINETE		LINHA DE ALIMENTAÇÃO		PORTAS DE COMUNICAÇÃO CONTROLE		
	Nível	Crit. Aprov	Nível	Crit. Aprov	Nível	Crit. Aprov	
ENSAIOS DE IMUNIDADE							
ESD 61000-4-2	4kV contato/ ar	B	N/A	N/A	N/A	N/A	conforme
Queda de Tensão 61000-4-11	N/A	N/A	0% ½ Ciclo	B	N/A	N/A	conforme
			0% 1 ciclo	B			conforme
			70% 25 ciclos	C			conforme
			70% 30ciclos	C			conforme
Interrupção 61000-4-11	N/A	N/A	0% 250 ciclos	C	N/A	N/A	conforme
			0% 300 ciclos	C			conforme
“BURST” 61000-4-4	N/A	N/A	1kV	B	0,5kV	B	conforme
“SURGE” 61000-4-5	N/A	N/A	0,5kV (f-t)	B	N/A	N/A	conforme
			1,0kV (f-f)	B			conforme
ENSAIOS DE EMISSIVIDADE CONDUZIDA							
Interferência conduzida CISPR 11	N/A	N/A	“quasi- peak”	gráfico	N/A	N/A	Conforme
			“average”	gráfico			Conforme
Harmônica 61000-3-2	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
“FLICKER” 61000-3-3	N/A	N/A	Dc (%)	3,00 %	N/A	N/A	Conforme
			Dmax (%)	4,00 %			
			D(t) (ms)	200 ms			
			PST	1,00			
			Plt	0,65			

Tabela 2- resultados dos ensaios.

- A reprodução deste documento só poderá ser total e depende da aprovação por escrito do laboratório.
- Os resultados apresentados neste documento referem-se exclusivamente ao corpo de prova submetido ao ensaio ou calibração, nas condições especificadas, não sendo extensivos a quaisquer lotes.
- O IEE/USP manterá o original deste certificado arquivado por um período mínimo de cinco anos.

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE ELETROTÉCNICA E ENERGIA

Av. Prof. Luciano Gualberto, 1289 - Cidade Universitária - Butantã
CEP 05508-010 - São Paulo - SP
Tels.: (11) 3091-2527 / 3091-2528 - Fax: (11) 3032-7750

FOLHA

16 de 16

RELATÓRIO OFICIAL Nº: 66013

5. Considerações Finais:

O corpo de prova ensaiado demonstrou-se em conformidade com todos os ensaios realizados e apresentados neste relatório. Os critérios de conformidade adotados são aqueles estabelecidos pela norma IEC 61326-1/2005-12, onde para os ensaios de imunidade conduzida adotou-se os requerimentos básicos descritos na tabela 1, página 13 da referida norma.

São Paulo, 23 de setembro de 2008.

Guido Rodrigues da Silva
Técnico de Laboratório da
Seção Técnica de Compatibilidade
Eletromagnética.

Eng. Kleiber T. Soletto (Dr.)
Chefe da Seção Técnica de
Compatibilidade Eletromagnética.

- A reprodução deste documento só poderá ser total e depende da aprovação por escrito do laboratório.
- Os resultados apresentados neste documento referem-se exclusivamente ao corpo de prova submetido ao ensaio ou calibração, nas condições especificadas, não sendo extensivos a quaisquer lotes.
- O IEE/USP manterá o original deste certificado arquivado por um período mínimo de cinco anos.

Relatório de Ensaio
PD.33.GS.E1A.2177A/RE-01-AA

**ENSAIOS DE COMPATIBILIDADE
ELETROMAGNÉTICA EM PROTETOR DE
REDES SUBTERRÂNEAS**

Modelo: NETPRO

Cotação: 21869/08 OS: 29713

Sumário

1	Objetivo.....	3
2	Identificação do produto testado.....	3
3	Informações gerais.....	4
4	Documentação técnica apresentada.....	4
5	Referências e métodos de ensaios.....	4
6	Laboratório de ensaio.....	4
7	Sumário dos Ensaio Realizados.....	5
8	Terminologia.....	5
9	Condições de Operação do Equipamento Sob Ensaio.....	5
10	Condições Ambientais.....	5
11	Emissão de Perturbação Radiada.....	5
11.1	Instrumental utilizado.....	5
11.2	Procedimento de ensaio.....	6
11.3	Resultados.....	6
12	Fotos das Montagens dos Ensaio.....	7
13	Comentários.....	7
14	Histórico de versões deste documento.....	8
15	Execução e aprovação	8

Não válido como certificado de conformidade.
Este relatório só deve ser reproduzido por inteiro.

CPqD – Todos os direitos reservados.

Este relatório atende aos requisitos de acreditação da Cgcre/Inmetro,
que avaliou a competência do laboratório

1 Objetivo

Este relatório tem por objetivo apresentar os resultados dos ensaios de compatibilidade eletromagnética no equipamento identificado no item 2 a seguir.

2 Identificação do produto testado

Equipamento identificado conforme as fotos de 1 à 6:

Fotos 1 e 2 – Equipamento Sob Ensaio (ESE)

Fotos 3 e 4 – Equipamento Sob Ensaio (ESE)

Não válido como certificado de conformidade.
Este relatório só deve ser reproduzido por inteiro.

CPQD – Todos os direitos reservados.

Este relatório atende aos requisitos de acreditação da Cgcre/Inmetro,
que avaliou a competência do laboratório

Fotos 5 e 6 – Equipamento Sob Ensaio (ESE)

3 Informações gerais

Recebimento do ESE: 28/08/2008
Início dos ensaios: 28/08/2008
Término dos ensaios: 28/08/2008

4 Documentação técnica apresentada

Não houve documentação técnica apresentada.

5 Referências e métodos de ensaios

a) CISPR 11 (2003) – Electromagnetic disturbance characteristics – Limits and methods of measurement

6 Laboratório de ensaio

CPqD – Centro de Pesquisa e Desenvolvimento em Telecomunicações
Rod. Campinas–Mogi-Mirim, km 118,5 – SP340 Caixa Postal 6070
13086-902 – Campinas – SP
Diretoria de Laboratórios e Infra-Estrutura de Redes
Gerência de Tecnologia e Infra-Estrutura de Redes
Área de Compatibilidade Eletromagnética
Victor Vellano Neto e-mail: vellano@cpqd.com.br
tel.: (19) 3705-7097 fax: (19) 3705-6699

Não válido como certificado de conformidade.
Este relatório só deve ser reproduzido por inteiro.

CPqD – Todos os direitos reservados.

Este relatório atende aos requisitos de acreditação da Cgcre/Inmetro,
que avaliou a competência do laboratório

7 Sumário dos Ensaios Realizados

Ensaio	Norma de Referência	Especificação
Emissão de Perturbação Radiada	CISPR 11 (2003)	Classe A

8 Terminologia

Os termos e definições utilizados neste documento são os seguintes:

EA – Equipamento Auxiliar

ESE – Equipamento Sob Ensaio

LISN – Rede Fictícia (*Line Impedance Stabilization Network*)

EMC – Compatibilidade Eletromagnética (*Electromagnetic Compatibility*)

EMI – Interferência Eletromagnética (*Electromagnetic Interference*)

CC – Corrente Contínua

9 Condições de Operação do Equipamento Sob Ensaio

Durante a realização dos ensaios, o equipamento foi configurado em condições típicas, sendo este procedimento de responsabilidade do fabricante:

Um computador foi conectado ao ESE através de um cabo de dados blindado e através do software "CEBsup" foi monitorado o funcionamento e comportamento do ESE.

10 Condições Ambientais

Todos os ensaios foram realizados em ambiente controlado, conforme especificado pelos documentos de referência especificados do item 5.

Temperatura	(21 ± 5) °C
Umidade relativa do ar	(45 ± 15) %

11 Emissão de Perturbação Radiada

11.1 Instrumental utilizado

EQUIPAMENTO	FABRICANTE	MODELO	IDENTIFICAÇÃO	Validade da Calibração/Verificação - Rastreabilidade
Câmara Semi-Anecóica	ETS	3m	RCE000073	Site Attenuation: Setembro/2010 – CPqD
EMI TEST RECEIVER	R&S	ESI26	s/n 835336/007	Outubro/2008 – CPqD
RELAY SWITCH UNIT	R&S	331.1601.31	s/n 338969/001	Não requer calibração
MULTI-DEVICE CONTROLLER	ETS	2090	s/n 0005-1517	Não requer calibração
MICROCOMPUTADOR	COMPAQ	PENTIUM III	—	Não requer calibração

Não válido como certificado de conformidade.
Este relatório só deve ser reproduzido por inteiro.

CPqD – Todos os direitos reservados.

Este relatório atende aos requisitos de acreditação da Cgcre/Inmetro, que avaliou a competência do laboratório

EQUIPAMENTO	FABRICANTE	MODELO	IDENTIFICAÇÃO	Validade da Calibração/Verificação - Rastreabilidade
ELECTRIC TURNTABLE SYSTEM	ETS	2087	—	Não requer calibração
MINI MAST	ETS	2075	—	Não requer calibração
BICONILOG ANTENNA	ETS	3142B	s/n 1685	Novembro/2008 – ETS

11.2 Procedimento de ensaio

Os procedimentos adotados para a medição estão baseados na Publicação 11 do CISPR, sendo utilizado como referência os limites de valor quase pico da intensidade de campo para equipamento Classe A, e para exercício do ESE, o procedimento e montagem descritos no item 9.

11.3 Resultados

Tabela 1 – Resultados do ensaio de Emissão de Perturbação Radiada

Valores Quase-Pico (Gráfico 1) – Alimentação 127V @ 60 Hz						
Frequência (MHz)	Nível (dBµV/m)	Limite (dBµV/m)	Margem (dB)	Altura (cm)	Azimute (°)	Polarização
44,22	43,6	50,5	6,9	100	202	VERTICAL
52,86	31,9	50,5	18,6	100	248	VERTICAL
55,26	40,9	50,5	9,6	100	146	VERTICAL
88,50	38,2	50,5	12,3	100	337	VERTICAL

Legenda:
 Frequência: Frequência sintonizada
 Nível: Nível medido (já corrigido pelos respectivos fatores) utilizando o detector de quase-pico
 Limite: Limite de quase pico da respectiva norma (CISPR11), já aplicando o fator de correção para a distância de 3 metros ($[\text{Limite } 10\text{m}] + 20 \cdot \log [10\text{m}/3\text{m}]$)
 Margem: Diferença entre o respectivo limite e o nível medido (**positivo: não excede o limite / negativo: excede o limite**)
 Altura: Altura da antena receptora
 Azimute: Ângulo da base giratória
 Polarização: Polarização da antena receptora

Não válido como certificado de conformidade.
Este relatório só deve ser reproduzido por inteiro.

CPQD – Todos os direitos reservados.

Este relatório atende aos requisitos de acreditação da Cgcre/Inmetro, que avaliou a competência do laboratório

Gráfico 1 - Resultados do Ensaio de Emissão de Perturbação Radiada - Alimentação 127V @ 60 Hz

12 Fotos das Montagens dos Ensaios

Foto 7 – Emissão de perturbação radiada

13 Comentários

Os resultados dos ensaios referem-se somente à amostra apresentada e aos resultados constantes do Relatório de Ensaio.

Não válido como certificado de conformidade.
Este relatório só deve ser reproduzido por inteiro.

CPqD – Todos os direitos reservados.

Este relatório atende aos requisitos de acreditação da Cgcre/Inmetro, que avaliou a competência do laboratório

14 Histórico de versões deste documento

Data de emissão	Versão	Descrições das alterações realizadas
01/Set/08	AA	Versão inicial

15 Execução e aprovação

Executado por:

Givanildo Pereira de Paula

Aprovado por:

Este documento foi assinado digitalmente por:

Leandro Fernandes
Responsável Técnico Substituto pela Área de Compatibilidade Eletromagnética
Gerência de Tecnologia de Infra-estrutura de Redes

Para fins legais, é válida apenas a versão eletrônica assinada digitalmente.

Data da emissão: 01/Set/08

Não válido como certificado de conformidade.
Este relatório só deve ser reproduzido por inteiro.

CPQD – Todos os direitos reservados.

Este relatório atende aos requisitos de acreditação da Cgcre/Inmetro,
que avaliou a competência do laboratório

Este relatório atende aos requisitos de
acreditação da Cgcre/Inmetro,
que avaliou a competência
do laboratório.

Relatório de Ensaio

PD.33.GS.E1A.2129A/RE-01-AB

Ensaio de Compatibilidade Eletromagnética em Protetor de Redes Subterrâneas

Modelo: NETPRO

Cotação: 21430/08 OS: 29340

Sumário

1	Objetivo.....	3
2	Identificação do Produto Testado.....	3
2.1	Modificações na Amostra.....	3
3	Informações Gerais.....	4
4	Documentação Técnica Apresentada.....	4
5	Referências e Métodos de Ensaios.....	4
6	Laboratório de Ensaio.....	4
7	Sumário dos Ensaios Realizados.....	4
8	Terminologia.....	5
9	Condições de Operação do Equipamento sob Ensaio.....	5
10	Condições Ambientais.....	5
11	Imunidade a Perturbação de Radiofrequência Irradiada.....	5
11.1	Instrumental Utilizado.....	5
11.2	Procedimento de Ensaio.....	6
11.3	Resultados.....	6
12	Imunidade a Perturbações de Radiofrequência Conduzidas em Terminais de Energia Elétrica	6
12.1	Instrumental Utilizado.....	6
12.2	Procedimento de Ensaio.....	6
12.3	Resultados.....	7
13	Fotos das Montagens dos Ensaios.....	7
14	Comentários.....	7
15	Histórico de Versões deste Documento.....	7
16	Execução e Aprovação	8

Não válido como certificado de conformidade.
Este relatório só deve ser reproduzido por inteiro.

CPQD – Todos os direitos reservados.

Este relatório atende aos requisitos de acreditação da Cgcre/Inmetro,
que avaliou a competência do laboratório

1 Objetivo

Este relatório tem por objetivo apresentar os resultados dos ensaios de compatibilidade eletromagnética no equipamento identificado no item 2 a seguir, baseada nas prescrições contidas no Anexo da Resolução 442 – Regulamento para Certificação de Equipamentos de Telecomunicações Quanto aos Aspectos de Compatibilidade Eletromagnética e nos Requisitos Técnicos e Procedimentos de Ensaio Aplicáveis à Certificação de Produtos para Telecomunicação da Categoria I.

2 Identificação do Produto Testado

Equipamento identificado conforme as fotos de 1 à 6:

Fotos 1 e 2 – Equipamento Sob Ensaio (ESE)

Fotos 3 e 4 – Equipamento Sob Ensaio (ESE)

2.1 Modificações na Amostra

O fabricante realizou modificações na amostra, sendo estas de responsabilidade do mesmo. Segue abaixo um resumo delas conforme as informações fornecidas:

O cabo que conecta o módulo ao display foi substituído por um cabo blindado.

Não válido como certificado de conformidade.
Este relatório só deve ser reproduzido por inteiro.

CPQD – Todos os direitos reservados.

Este relatório atende aos requisitos de acreditação da Cgcre/Inmetro,
que avaliou a competência do laboratório

3 Informações Gerais

Recebimento do ESE: 31/07/2008
Início dos ensaios: 31/07/2008
Término dos ensaios: 01/08/2008

4 Documentação Técnica Apresentada

Não houve documentação técnica apresentada.

5 Referências e Métodos de Ensaios

- a) Anexo a Resolução 442 – Regulamento para a Certificação de Equipamentos de Telecomunicações Quanto aos Aspectos de Compatibilidade Eletromagnética.
- b) Requisitos Técnicos e Procedimentos de Ensaios Aplicáveis à Certificação de Produtos para Telecomunicações da Categoria I.
- c) IEC 61000-4-3 (2002) - Electromagnetic Compatibility (EMC) - Part 4: Testing and Measurement Techniques. Section 3: Radiated electromagnetic field requirements;
- d) IEC 61000-4-6 (2004) - Electromagnetic Compatibility (EMC) - Part 4: Testing and Measurement Techniques. Section 6: Immunity to conducted disturbances induced by radio-frequency fields;

6 Laboratório de Ensaio

CPQD – Centro de Pesquisa e Desenvolvimento em Telecomunicações
Rod. Campinas–Mogi-Mirim, km 118,5 – SP340 Caixa Postal 6070
13086-902 – Campinas – SP

Diretoria de Laboratórios e Infra-Estrutura de Redes

Gerência de Tecnologia e Infra-Estrutura de Redes

Área de Compatibilidade Eletromagnética

Victor Vellano Neto

e-mail: vellano@cpqd.com.br

tel.: (19) 3705-7097

fax: (19) 3705-6699

7 Sumário dos Ensaios Realizados

Ensaio	Amostra	Norma de Referência	Especificação	Referência Resolução 442 ANATEL
Imunidade a Perturbações de Radiofrequência Irradiadas	Amostra Inicial	IEC 61000-4-3 (2002)	3 V/m, de 80 MHz a 1 GHz e de 1,4 GHz a 2 GHz	Artigo 9º, Parágrafo 3º
Imunidade a Perturbações de Radiofrequência Conduzidas em Terminais de Energia Elétrica	Amostra Modificada	IEC 61000-4-6 (2004)	3 V de 150 kHz a 80 MHz	Artigo 9º, Parágrafo 2º

Não válido como certificado de conformidade.
Este relatório só deve ser reproduzido por inteiro.

CPQD – Todos os direitos reservados.

Este relatório atende aos requisitos de acreditação da Cgcre/Inmetro, que avaliou a competência do laboratório

8 Terminologia

Os termos e definições utilizados neste documento são os seguintes:

EA – Equipamento Auxiliar

ESE – Equipamento Sob Ensaio

LISN – Rede Fictícia (*Line Impedance Stabilization Network*)

EMC – Compatibilidade Eletromagnética (*Electromagnetic Compatibility*)

EMI – Interferência Eletromagnética (*Electromagnetic Interference*)

ESD – Descarga Eletrostática (*Electrostatic Discharge*)

CC – Corrente Contínua

9 Condições de Operação do Equipamento sob Ensaio

O equipamento foi configurado em condições típicas, sendo este procedimento de responsabilidade do fabricante:

Durante a realização dos ensaios o ESE foi conectado à rede elétrica tendo seu comportamento monitorado e analisado através do display.

10 Condições Ambientais

Todos os ensaios foram realizados em ambiente controlado, conforme especificado pelos documentos de referência especificados do item 5.

Temperatura	(21 ± 5) °C
Umidade relativa do ar	(45 ± 15) %

11 Imunidade a Perturbação de Radiofrequência Irradiada

11.1 Instrumental Utilizado

EQUIPAMENTO	FABRICANTE	MODELO	IDENTIFICAÇÃO	Validade da Calibração/ Verificação – Rastreabilidade
Câmara Semi-Anecóica	ETS	3m	RCE000073	Ajuste de uniformidade de campo: Maio/2009 – CPqD
MICROCOMPUTADOR	COMPAQ	PENTIUM III	—	Não requer calibração
SIGNAL GENERATOR	ROHDE & SCHWARZ	SMT03	s/n 837552/040	Dezembro/2008 – CPqD
POWER METER	ROHDE & SCHWARZ	857.8008.02	s/n 835430/032	Abril/2009 – CPqD
10V INSERTION UNIT 50 OHMS	ROHDE & SCHWARZ	0395.1019.02	s/n 835101/029	Abril/2009 – CPqD
10V INSERTION UNIT 50 OHMS	ROHDE & SCHWARZ	0395.1019.02	s/n 835101/030	Abril/2009 – CPqD
SYSTEM CONTROL INTERFACE UNIT	ROHDE & SCHWARZ	1076.1240.03	s/n 338586/007	Não requer calibração

Não válido como certificado de conformidade.
Este relatório só deve ser reproduzido por inteiro.

CPqD – Todos os direitos reservados.

Este relatório atende aos requisitos de acreditação da Cgcre/Inmetro, que avaliou a competência do laboratório.

Relatório de Ensaio
PD.33.GS.E1A.2129A/RE-01-AB

6 / 8

EQUIPAMENTO	FABRICANTE	MODELO	IDENTIFICAÇÃO	Validade da Calibração/ Verificação – Rastreabilidade
DIRECTIONAL COUPLER UNIT	ROHDE & SCHWARZ	3000.0351.40	s/n 338965/001	Não requer calibração
POWER AMPLIFIER 250 W	(AR) AMPLIFIER RESEARCH	250W1000	s/n 28517	Não requer calibração
POWER AMPLIFIER 30 W	(AR) AMPLIFIER RESEARCH	30S1G3	s/n 28457	Não requer calibração
BICONILOG ANTENNA	ETS	3141	s/n 0002-1179	Não requer calibração

11.2 Procedimento de Ensaio

Os procedimentos adotados estão conforme as prescrições da IEC 61000-4-3, sendo adotado o limite de severidade prescrito no Anexo a Resolução 442, ou seja, 3 V/m, de 80 MHz a 1 GHz e de 1,4 GHz a 2 GHz.

11.3 Resultados

Baseado no critério de desempenho A prescrito no Anexo a Resolução 442, foi monitorado o desempenho do ESE durante o ensaio, não sendo constatado nenhum problema no funcionamento normal do mesmo.

12 Imunidade a Perturbações de Radiofrequência Conduzidas em Terminais de Energia Elétrica

12.1 Instrumental Utilizado

EQUIPAMENTO	FABRICANTE	MODELO	IDENTIFICAÇÃO	Validade da Calibração/ Verificação – Rastreabilidade
CÂMARA BLINDADA	CPqD	—	RCE000084	Não requer calibração
GERADOR DE SINAL	HP	8642	CPqD 008466	Agosto/2008 – CPqD
AMPLIFICADOR DE RF	AR	150L	CPqD 020392	Não requer calibração
ATENUADOR 6 dB	JBM	J2006-06	RCE000079	Não requer calibração
CURRENT PROBE	ELECTRO-METRICS	PCL-25	CPqD 008177	Outubro/2009 – CPqD
ATENUADOR 20 dB	NARDA	766-20	SN8801	Setembro/2009 – CPqD
SPECTRUM ANALYZER	HP	8568B	CPqD 008500	Outubro/2008 – CPqD
CDN	LUTHI	801-M2	CPqD 008173	Ajuste de tensão: Abril/2009 – CPqD

12.2 Procedimento de Ensaio

Os procedimentos adotados estão conforme as prescrições da IEC 61000-4-6, sendo adotado o limite de severidade prescrito no Anexo a Resolução 442, ou seja, 3 V de 0,15 MHz a 80 MHz.

Não válido como certificado de conformidade.
Este relatório só deve ser reproduzido por inteiro.

CPqD – Todos os direitos reservados.

Este relatório atende aos requisitos de acreditação da Cgcre/Inmetro,
que avaliou a competência do laboratório

12.3 Resultados

Baseado no critério de desempenho A prescrito no Anexo a Resolução 442, foi monitorado o desempenho do ESE durante o ensaio, não sendo constatado nenhum problema no funcionamento normal do mesmo.

13 Fotos das Montagens dos Ensaios

Fotos 7 e 8 – Imunidade a radiofrequência irradiada e Imunidade a radiofrequência conduzida

14 Comentários

Os resultados dos ensaios referem-se somente à amostra apresentada e aos resultados constantes do Relatório de Ensaio.

15 Histórico de Versões deste Documento

Data de emissão	Versão	Descrições das alterações realizadas
11/Ago/08	AA	Versão inicial
20/Ago/08	AB	Conforme solicitação do fabricante, a capa de rosto foi corrigida, e foi atualizado o histórico de ensaios do ESE.

Não válido como certificado de conformidade.
Este relatório só deve ser reproduzido por inteiro.

CPQD – Todos os direitos reservados.

Este relatório atende aos requisitos de acreditação da Cgcre/Inmetro, que avaliou a competência do laboratório

Relatório de Ensaio
PD.33.GS.E1A.2129A/RE-01-AB

8 / 8

16 Execução e Aprovação

Executado por:

Carlos Eric de Souza Ferraz
Leandro Tomaz de Souza

Aprovado por:

Este documento foi assinado digitalmente por:

Leandro Fernandes
Responsável Técnico Substituto pela Área de Compatibilidade Eletromagnética
Gerência de Tecnologia de Infra-estrutura de Redes

Para fins legais, é válida apenas a versão eletrônica assinada digitalmente.

Data da emissão: 19/Ago/08

Não válido como certificado de conformidade.
Este relatório só deve ser reproduzido por inteiro.

CPQD – Todos os direitos reservados.

Este relatório atende aos requisitos de acreditação da Cbcr/Inmetro,
que avaliou a competência do laboratório

ANEXO C

Ensaio realizado em laboratórios credenciados cujos relatórios técnicos constantes deste anexo referem-se a testes de Estanqueidade (IP68) para o DEI do Protetor de Rede Inteligente para as Versões Ventilada e Submersível.

Itens da norma: *IEC 60529-2001*

Instituto de Pesquisas Tecnológicas

Laboratório de Equipamentos Elétricos e Ópticos

Relatório de Ensaio Nº 982 913 - 203

1/4

MATERIAL: Relé Microprocessado para Protetores de Rede de Distribuição Subterrânea com caixa de alumínio fundido

NATUREZA DO TRABALHO: Ensaio de comprovação dos graus de proteção IP 68

REFERÊNCIA: Documento de aceite do orçamento do IPT nº 8953/08

1. MATERIAL

1.1. Material declarado pelo cliente: Relé Microprocessado - Protetor de Rede de Distribuição Subterrânea com caixa de alumínio fundido

1.2. Características construtivas:

A seguir oito figuras ilustrativas da amostra ensaiada e em anexo desenhos carimbados e assinados pelo executante deste relatório.

Figuras 1 e 2 – Relé Microprocessado

Os resultados apresentados neste documento têm significação restrita e se aplicam somente ao item ensaiado ou calibrado. Este documento não dá direito ao uso do nome ou da marca IPT, para quaisquer fins, sob pena de indenização. A reprodução deste documento só poderá ser feita integralmente, sem nenhuma alteração.

IPT

Instituto de Pesquisas Tecnológicas
Laboratório de Equipamentos Elétricos e Ópticos

Relatório de Ensaio Nº 982 913 - 203

2/4

Figuras 3 e 4 – Tampa com junta de vedação

Figuras 5 e 6 – Detalhe da junta de vedação e vista interna

Figuras 7 e 8 – Detalhe da resina para vedação

Os resultados apresentados neste documento têm significação restrita e se aplicam somente ao item ensaiado ou calibrado. Este documento não dá direito ao uso do nome ou da marca IPT, para quaisquer fins, sob pena de indenização. A reprodução deste documento só poderá ser feita integralmente, sem nenhuma alteração.

Instituto de Pesquisas Tecnológicas
Laboratório de Equipamentos Elétricos e Ópticos

Relatório de Ensaio Nº 982 913 - 203

3/4

2. MÉTODO DE ENSAIO

Procedimentos de ensaios nºs CINTEQ-LEO-PE-306, CINTEQ-LEO-PE-314 em conjunto com as normas NBR-IEC - 60529/2005 e IEC-60529/2001.

Tempo de exposição em poeira = 8 horas

Profundidade máxima do equipamento = 2,20 metros

Profundidade mínima do equipamento = 2,07 metros

Tempo de imersão em água = 24 horas

Temperatura da água = $21 \pm 5^\circ \text{C}$

3. EQUIPAMENTOS UTILIZADOS

- Câmara de circulação de poeira, registro LEO nº 11;
- cronômetro digital, marca Mondaine, registro LEO nº 36, calibração válida até 16.03.2009;
- paquímetro digital, marca Mitutoyo, registro LEO nº 50, calibração válida até 26.03.2009;
- escala de aço, marca Starret, registro LEO nº 426, calibração válida até 06.09.2009;
- termohigrômetro digital, marca Icel, registro LEO nº 423, calibração válida até 26.06.2009;
- cuba com água registro LEO nº 276;
- termômetro de mercúrio, marca Labor, registro LEO nº 231, calibração válida até 17.01.2009.

4. RESULTADOS OBTIDOS

A amostra ensaiada confere proteção satisfatória contra a penetração de poeira, primeiro numeral igual a 6, e confere proteção satisfatória contra imersão em água, segundo numeral igual a 8.

Os resultados apresentados neste documento têm significação restrita e se aplicam somente ao item ensaiado ou calibrado. Este documento não dá direito ao uso do nome ou da marca IPT, para quaisquer fins, sob pena de indenização. A reprodução deste documento só poderá ser feita integralmente, sem nenhuma alteração.

Instituto de Pesquisas Tecnológicas
Laboratório de Equipamentos Elétricos e Ópticos

Relatório de Ensaio Nº 982 913 - 203

4/4

5. NOTAS

5.1. O material ensaiado está disponível para o cliente por trinta dias, contados a partir da data deste Relatório de Ensaio.

5.2 O ensaio foi realizado à temperatura ambiente de $(26 \pm 2)^\circ\text{C}$ e umidade relativa do ar de $(58 \pm 5)\%$.

5.3. Data de realização dos ensaios: 02 a 07.10.08.

Executado por: Eng.º Luiz Eduardo Joaquim – RE 4436.2

Tec. Adriano César Manoel - RA 1753.

São Paulo, 13 de outubro de 2008

Centro de Integridade de Estruturas e Equipamentos
Laboratório de Equipamentos Elétricos e Ópticos

Eng.º Eletricista MSc. Luiz Eduardo Joaquim

Supervisor do Ensaio

CREA Nº 0600766718 - RE Nº 4436.2

Centro de Integridade de Estruturas e Equipamentos
Laboratório de Equipamentos Elétricos e Ópticos

Eng.º Eletricista Dr. Mário Leite Pereira Filho

Responsável pelo Laboratório

CREA Nº 0601141576 - RE Nº 8230-5

Os resultados apresentados neste documento têm significação restrita e se aplicam somente ao item ensaiado ou calibrado. Este documento não dá direito ao uso do nome ou da marca IPT, para quaisquer fins, sob pena de indenização. A reprodução deste documento só poderá ser feita integralmente, sem nenhuma alteração.

ANEXO D

Ensaio realizado em laboratórios credenciados cujos relatórios técnicos constantes deste anexo referem-se a testes Climáticos para o DEI, Pendant (*Hand Held*) e Display (IHM-Interface Homem-Máquina) do Protetor de Rede Inteligente das Versões Ventilada e Submersível.

Itens da norma: *BS 2011 (IEC 68-1, 68-2-1, 68-2-2, 68-2-3)*

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE ELETROTÉCNICA E ENERGIA

Av. Prof. Luciano Gualberto, 1289 - Cidade Universitária
 CEP 05508-010 - São Paulo - SP
 Tels.: (11) 3091-2527 / 3091-2528 - Fax: (11) 3032-7750

RELATÓRIO DE ENSAIO Nº:

66.007-b

Folha

1 de 11 *PM*

CORPO DE PROVA: Relé Micro Processado SMART NETPRO para Protetores de Rede de Distribuição Subterrânea tipo MG8/MG9/CMD/CM22

OBJETIVO: Observar a resistência e a manutenção das características técnicas do corpo de prova perante possíveis variações climáticas no ambiente no qual este se encontrará em funcionamento, por meio dos ensaios de severidade climática.

NORMAS: BS 2011 Environmental Testing – Part 1.1 - General and Guidance;
 IEC 60068-1 Environmental Testing - Part 1 - General and Guidance;
 IEC 60068-2-2 Environmental Testing - Part 2-2 Test B: Dry Heat.

OBSERVAÇÕES: a) Data de realização do ensaio: 08/03/2010;
 b) Este relatório foi emitido em duas vias de igual teor.

- A reprodução deste relatório só poderá ser total e depende da aprovação por escrito do laboratório.
- Os resultados apresentados neste relatório referem-se exclusivamente ao corpo de prova submetido a(o)s ensaio(s), nas condições especificadas, não sendo extensivos a quaisquer lotes.
- O IEE/USP manterá o original deste relatório arquivado por um período mínimo de cinco anos.

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE ELETROTÉCNICA E ENERGIA

Av. Prof. Luciano Gualberto, 1289 - Cidade Universitária
 CEP 05508-010 - São Paulo - SP
 Tels.: (11) 3091-2527 / 3091-2528 - Fax: (11) 3032-7750

RELATÓRIO DE ENSAIO Nº:

66.007-b

Folha

2 de 11

1. CARACTERIZAÇÃO DO CORPO DE PROVA

1.1 DENOMINAÇÃO FORNECIDA PELO FABRICANTE: Relé Micro Processado SMART NETPRO para Protetores de Rede de Distribuição Subterrânea tipo MG8/MG9/CMD/CM22, com projeto de acordo com norma IEEE 57.12.44/2005

1.2 FABRICANTE: Futura Soluções em Automação e Inf. Ltda.

1.3 IDENTIFICAÇÃO: Os corpos de prova que foram submetidos aos ensaios climáticos estão indicados na foto abaixo e se trata de um Relé Micro-processado para Protetores de Rede de Distribuição Subterrânea tipo MG8/MG9/CMD/CM22, com projeto de acordo com norma IEEE 57.12.44/2005

Fotos dos corpos de prova submetidos aos ensaios:

- (1) – Relé com adaptação para protetores tipo MG8/MG9
- (2) – Relé com adaptação para protetores tipo CMD/CM22

• A reprodução deste relatório só poderá ser total e depende da aprovação por escrito do laboratório.
 • Os resultados apresentados neste relatório referem-se exclusivamente ao corpo de prova submetido a(o)s ensaio(s), nas condições especificadas, não sendo extensivos a quaisquer lotes.
 • O IEE/USP manterá o original deste relatório arquivado por um período mínimo de cinco anos.

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE ELETROTÉCNICA E ENERGIA

Av. Prof. Luciano Gualberto, 1289 - Cidade Universitária
 CEP 05508-010 - São Paulo - SP
 Tels.: (11) 3091-2527 / 3091-2528 - Fax: (11) 3032-7750

RELATÓRIO DE ENSAIO Nº:

66.007-b

Folha

3 de 11 *RM*

2. INTRODUÇÃO

Para atender as especificações técnicas requeridas em relação à severidade solicitada pelo interessado, é necessário submeter os corpos de prova ao ensaio de Calor Seco (Dry Heat), conforme procedimento especificado pelas normas, elevando o nível superior de temperatura à 110°C.

Os procedimentos realizados foram baseados com referências nas seguintes normas:

- BS 2011 : Environmental Testing - Part 1.1 : General and Guidance
- IEC 60068-1 : Environmental Testing : Part 1 : General and Guidance
- IEC 60068-2-2 : Environmental Testing - Part 2-2 : Test B : Dry heat

A ordem escolhida para a aplicação destes testes está baseada nas seções 6.4.1 e 6.4.2 do Anexo B da norma BS 2011, as quais descrevem respectivamente a escolha da sequência de testes e a sequência geral de testes que promoverão os efeitos mais significativos.

Para a aplicação das severidades relacionadas, a câmara climática utilizada é mostrada na Figura 1, e seu painel de operação e descrição técnica se encontram nas Figuras 2 e 3 respectivamente.

Figura 1 - Câmara de Condicionamento Climático Utilizada na Aplicação das Severidades Climáticas Especificadas.

- A reprodução deste relatório só poderá ser total e depende da aprovação por escrito do laboratório.
- Os resultados apresentados neste relatório referem-se exclusivamente ao corpo de prova submetido a(o)s ensaio(s), nas condições especificadas, não sendo extensivos a quaisquer lotes.
- O IEE/USP manterá o original deste relatório arquivado por um período mínimo de cinco anos.

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE ELETROTÉCNICA E ENERGIA

Av. Prof. Luciano Gualberto, 1289 - Cidade Universitária
 CEP 05508-010 - São Paulo - SP
 Tels.: (11) 3091-2527 / 3091-2528 - Fax: (11) 3032-7750

RELATÓRIO DE ENSAIO Nº:

66.007-b

Folha

4 de 11 *JHA*

Figura 2 – Painel de Controle da Câmara de Condicionamento Climático.

Figura 3 – Painel de Especificações Técnicas da Câmara Térmica.

As certificações de calibração da câmara se encontram anexadas no fim deste documento.

- A reprodução deste relatório só poderá ser total e depende da aprovação por escrito do laboratório.
- Os resultados apresentados neste relatório referem-se exclusivamente ao corpo de prova submetido a(o)s ensaio(s), nas condições especificadas, não sendo extensivos a quaisquer lotes.
- O IEE/USP manterá o original deste relatório arquivado por um período mínimo de cinco anos.

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE ELETROTÉCNICA E ENERGIA

Av. Prof. Luciano Gualberto, 1289 - Cidade Universitária
CEP 05508-010 - São Paulo - SP
Tels.: (11) 3091-2527 / 3091-2528 - Fax: (11) 3032-7750

RELATÓRIO DE ENSAIO Nº:

66.007-b

Folha

5 de 11 *DM*

Os corpos de prova que foram submetidos aos testes climáticos tratam-se de Relé Micro-processado para Protetores de Rede de Distribuição Subterrânea tipo MG8/MG9/CMD/CM22, com projeto de acordo com norma IEEE 57.12.44/2005 de Fabricação Futura Soluções em Automação e Inf. LTDA, e são apresentados na Figura 4.

Figura 4 – Corpos de Prova Ensaiaados:

- (1) – Relé com adaptação para protetores tipo MG8/MG9
- (2) – Relé com adaptação para protetores tipo CMD/CM22

Para aferir as medições intermediárias permitidas pela norma, utilizaram-se dispositivos auxiliares de interação com o Relé, visando garantir que nas determinadas condições climáticas, o dispositivo mantém o comportamento previsto. Os dispositivos de interação são classificados como HandHeld mostrado na Figura 5.

Figura 5 – Dispositivo de interação tipo Handheld

- A reprodução deste relatório só poderá ser total e depende da aprovação por escrito do laboratório.
- Os resultados apresentados neste relatório referem-se exclusivamente ao corpo de prova submetido a(o)s ensaio(s), nas condições especificadas, não sendo extensivos a quaisquer lotes.
- O IEE/USP manterá o original deste relatório arquivado por um período mínimo de cinco anos.

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE ELETROTÉCNICA E ENERGIA

Av. Prof. Luciano Gualberto, 1289 - Cidade Universitária
 CEP 05508-010 - São Paulo - SP
 Tels.: (11) 3091-2527 / 3091-2528 - Fax: (11) 3032-7750

RELATÓRIO DE ENSAIO Nº:

66.007-b

Folha

6 de 11

O Handheld não é considerado parte anexa ou dispositivo de montagem do corpo de prova, sendo apenas dispositivo auxiliar utilizado na demonstração do corpo de prova e interação com o mesmo.

Assim como explicitado anteriormente, tal dispositivo é utilizado apenas para aferir o funcionamento do corpo de prova durante as situações de ensaio. Justifica-se a não inserção destes dispositivos na câmara climática, baseado nas premissas garantidas pela norma IEC 60068-1.

3. ENSAIOS

Em todos os testes especificados pelas normas, há uma clara distinção entre dispositivos emissores de calor e dispositivos não-emissores de calor. O corpo de prova submetido a esta seqüência de testes classifica-se como dispositivo não-emissor de calor, dado que, durante seu funcionamento e após a estabilidade térmica ter sido alcançada, o ponto mais quente de sua superfície não está a uma temperatura maior que 5K em relação à temperatura da atmosfera onde ele se encontra inserido.

Para todos os testes, o objetivo é determinar a adaptabilidade do equipamento não-emissor de calor e seus componentes a condições de temperatura similares àquelas que o corpo de prova poderá enfrentar enquanto em funcionamento, armazenamento ou em transporte.

A. Calor Seco

- Descrição geral

Nesse ensaio, o corpo de prova e a câmara encontram-se inicialmente a temperatura ambiente do laboratório. O corpo de prova é então inserido dentro da câmara, e esta por sua vez é aquecida gradativamente respeitando as limitações impostas pela norma, até a temperatura requerida pelas especificações técnicas. Durante o aquecimento, a umidade absoluta da câmara não ultrapassou 20g de vapor de água por metro cúbico de ar. Depois da referida temperatura e umidade relativa terem sido alcançadas e a estabilidade térmica ter sido estabelecida, o corpo de prova é exposto à severidade climática pela duração relacionada na especificação técnica.

- A reprodução deste relatório só poderá ser total e depende da aprovação por escrito do laboratório.
- Os resultados apresentados neste relatório referem-se exclusivamente ao corpo de prova submetido a(as) ensaio(s), nas condições especificadas, não sendo extensivos a quaisquer lotes.
- O IEE/USP manterá o original deste relatório arquivado por um período mínimo de cinco anos.

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE ELETROTÉCNICA E ENERGIA

Av. Prof. Luciano Gualberto, 1289 - Cidade Universitária
 CEP 05508-010 - São Paulo - SP
 Tels.: (11) 3091-2527 / 3091-2528 - Fax: (11) 3032-7750

RELATÓRIO DE ENSAIO Nº:

66.007-b

Folha

7 de 11

DKM

- Severidade

Para o teste de calor seco para equipamentos não-dissipadores de calor com variação gradual de temperatura, a severidade escolhida foi superior às opções oferecidas pela norma:

- **Temperatura:** $+110 \pm 2$ °C;
- **Umidade Relativa:** ≤ 20 g de vapor d'água por metro cúbico de ar;
- **Duração:** 96 horas.

A Figura 6 representa a configuração que foi passada à câmara para que a severidade fosse aplicada corretamente.

ETAPAS DO PROCESSO									
		RAMPA			TEMP. PAT		U.R.		PATAMAR
1	2	H	0	M	110.0	°C	50	%	96
2	0	H	0	M	0.0	°C	0	%	0
3	0	H	0	M	0.0	°C	0	%	0
4	0	H	0	M	0.0	°C	0	%	0
N. CICLOS: 0

Figura 6. Configuração da câmara para o ensaio de Calor Seco.

- A reprodução deste relatório só poderá ser total e depende da aprovação por escrito do laboratório.
- Os resultados apresentados neste relatório referem-se exclusivamente ao corpo de prova submetido a(o)s ensaio(s), nas condições especificadas, não sendo extensivos a quaisquer lotes.
- O IEE/USP manterá o original deste relatório arquivado por um período mínimo de cinco anos.

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE ELETROTÉCNICA E ENERGIA

Av. Prof. Luciano Gualberto, 1289 - Cidade Universitária
 CEP 05508-010 - São Paulo - SP
 Tels.: (11) 3091-2527 / 3091-2528 - Fax: (11) 3032-7750

RELATÓRIO DE ENSAIO Nº:

66.007-b

Folha

8 de 11

JAM

- Pré-Condicionamento e Medições Iniciais

O corpo de prova foi submetido à inspeção elétrica e mecânica para assegurar seu correto funcionamento previamente à sua exposição às condições de ensaio. Com isso, assegura-se que possíveis defeitos apresentados nas avaliações finais sejam causados exclusivamente pela severidade climática aplicada.

- Condicionamento e Medições Intermediárias

Durante a etapa de Condicionamento, o corpo de prova foi inserido na câmara climática em seu estado comum de funcionamento, porém desligado, como mostra a Figura 7. A temperatura no interior da câmara foi então elevada gradativamente respeitando a limitação imposta pela norma, que determina que a variação média de temperatura não deva ultrapassar 1K/minuto, medida sobre um espaço de tempo menor que 5 minutos.

Figura 7. Relé inserido na câmara climática para início da etapa de condicionamento.

- A reprodução deste relatório só poderá ser total e depende da aprovação por escrito do laboratório.
- Os resultados apresentados neste relatório referem-se exclusivamente ao corpo de prova submetido a(o)s ensaio(s), nas condições especificadas, não sendo extensivos a quaisquer lotes.
- O IEE/USP manterá o original deste relatório arquivado por um período mínimo de cinco anos.

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE ELETROTÉCNICA E ENERGIA

Av. Prof. Luciano Gualberto, 1289 - Cidade Universitária
 CEP 05508-010 - São Paulo - SP
 Tels.: (11) 3091-2527 / 3091-2528 - Fax: (11) 3032-7750

RELATÓRIO DE ENSAIO Nº:

66.007-b

Folha

10 de 11

- Comentários e Resultados

Embora a temperatura de 110 °C não seja diretamente especificada pela norma, encontrando-se acima da faixa de valores de temperatura indicados pela mesma, significa que é um valor mais crítico para condições mais severas solicitadas pelo interessado. A utilização desta temperatura foi requisitada para atender possíveis cenários climáticos que o corpo de prova possa enfrentar quando se encontrar em uma situação de funcionamento típica de sua aplicação em campo.

Aplicada a severidade climática especificada, foi possível notar, tanto em medições intermediárias quanto após a etapa de recuperação do condicionamento e medições finais, que o corpo de prova manteve suas características técnicas, elétricas e mecânicas, tornando possível assegurar sua capacidade de trabalhar em condições climáticas semelhantes às especificadas neste ensaio.

Tabela I – Resumo das severidades aplicadas ao corpo de prova

Ensaio	Normas de Referência	Especificação	Resultado	Observações
Calor Seco	IEC 60068-1 IEC 60068-2-2	Temperatura: $(+110 \pm 2)$ °C; Umidade Relativa: $\leq 20g$ de vapor de água por metro cúbico de ar; Duração: 96 horas.	Aprovado	Nenhuma

- A reprodução deste relatório só poderá ser total e depende da aprovação por escrito do laboratório.
- Os resultados apresentados neste relatório referem-se exclusivamente ao corpo de prova submetido a(os) ensaio(s), nas condições especificadas, não sendo extensivos a quaisquer lotes.
- O IEE/USP manterá o original deste relatório arquivado por um período mínimo de cinco anos.

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE ELETROTÉCNICA E ENERGIA

Av. Prof. Luciano Gualberto, 1289 - Cidade Universitária
 CEP 05508-010 - São Paulo - SP
 Tels.: (11) 3091-2527 / 3091-2528 - Fax: (11) 3032-7750

RELATÓRIO DE ENSAIO Nº:

66.007-b

Folha

11 de 11

São Paulo, 18 de Março de 2010.

Eng. Humberto A. P. Silva

Denis K. Miyahira

Instituto de Eletrotécnica e Energia - USP
 Av. Prof. Luciano Gualberto, 1289
 Cidade Universitária - Butantã
 CEP 05508-010 - São Paulo
 CNPJ: 63.025.530/0042-82
 Inscr. Est.: Isento

- A reprodução deste relatório só poderá ser total e depende da aprovação por escrito do laboratório.
- Os resultados apresentados neste relatório referem-se exclusivamente ao corpo de prova submetido a(os) ensaio(s), nas condições especificadas, não sendo extensivos a quaisquer lotes.
- O IEE/USP manterá o original deste relatório arquivado por um período mínimo de cinco anos.

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE ELETROTÉCNICA E ENERGIA

Av. Prof. Luciano Gualberto, 1289 - Cidade Universitária
CEP 05508-010 - São Paulo - SP
Tels.: (11) 3091-2527 / 3091-2528 - Fax: (11) 3032-7750

RELATÓRIO DE ENSAIO Nº:

66.007-b

Folha

ANEXO I

LABORATÓRIO DE TERMOMETRIA DA CONSISTEC
Laboratório de Calibração Acreditado pela CGRE/INMETRO sob o nº 128

CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO

Número: CR-4625/05 Rev - 00

Nome do Contratante: MECALOR INDÚSTRIA E COMÉRCIO DE REFRIGERAÇÃO LTDA

Endereço: Rua Francisco Fanganiello, n.º 366 São Paulo - SP

Nome do Solicitante: O mesmo

Pedido Número: 7849/05

IDENTIFICAÇÕES E CARACTERÍSTICAS DO INSTRUMENTO

Tipo: TERMÔMETRO DE RESISTÊNCIA

Modelo: Termoresistência "PT 100 Ω " 4 fios, simples, Classe 1/10

Fabricante: Consistec

Escala: N/A

Valor de uma divisão: N/A

Tipo de isolamento: convencional

Diâmetro da haste: 4,0 mm

Comprimento da haste: 3000 mm

Número de Série: N/C

Norma de Referência: NBR-13773

Identificação: PECA N.º 02

Condições de Calibração: Calibração por comparação

Observações: Este certificado contém em anexo 2 páginas referentes às equações de interpolação e constantes além de 3 páginas referentes a sua tabela de resistência x temperatura.

INFORMAÇÕES ADMINISTRATIVAS

Número da OSC: 1520/05

Data da Calibração: 21 DE SETEMBRO DE 2005

Data da Emissão: 22 DE SETEMBRO DE 2005

PROCEDIMENTO/MÉTODO DE CALIBRAÇÃO

A calibração foi feita por comparação contra sensor padrão de temperatura, em meio termostático homogêneo, segundo

Instrução de Trabalho ITL 002 REV.06

CONDIÇÕES AMBIENTAIS:

Temperatura: $(23 \pm 3) ^\circ\text{C}$

Umidade Relativa: $(50 \pm 20) \%$

PAULO SÉRGIO SINCKEVICIUS
Supervisor Técnico

Este certificado atesta os resultados de aferição do INMETRO, o qual atesta a competência do laboratório e compromete sua confiabilidade e validade nacional de modo. Os resultados descritos neste certificado, referem-se exclusivamente ao instrumento submetido à calibração, nas condições especificadas, sob condições ambientais e quaisquer lotes. Este certificado de calibração somente pode ser reproduzido em sua forma integral. Reproduções parciais dependem de autorização formal desta Laboratório.

(Pág. 1/2)

Consistec Controles e Sistemas de Automação Ltda.
R. Jurupari, 434 - Jabaquara - 04348-070 - São Paulo - SP - Fone: (11) 5031-6200 - Fax: 5031-6262
www.consistec.com.br - consistec@consistec.com.br

- A reprodução deste relatório só poderá ser total e depende da aprovação por escrito do laboratório.
- Os resultados apresentados neste relatório referem-se exclusivamente ao corpo de prova submetido a(o)s ensaio(s), nas condições especificadas, não sendo extensivos a quaisquer lotes.
- O IEE/USP manterá o original deste relatório arquivado por um período mínimo de cinco anos.

ANEXO E

Ensaio realizado em laboratórios credenciados cujos relatórios técnicos constantes deste anexo referem-se a testes de Vibração Mecânica para o DEI do Protetor de Rede Inteligente das Versões Ventilada e Submersível.

Itens da norma: *IEC 60068-3-8* e *IEC 60068-2-64*

**Confidencial NMI /
Futura**

Laboratório de ensaio acreditado pela CGCRE/INMETRO de acordo com a NBR/ISO IEC 17025 sob o número CRL 0143

Relé Microprocessado-Protetor de Redes Subterrâneas modelo NETPRO

Relatório de Ensaios de Vibração

Fernando Graziani Barbarini
Gerente Técnico

☎ (+19) 3845-5965 / 📠 (+19) 3845-5964

NMi Brasil Ltda.

Rod. SP 101 (Campinas Monte-Mór), km 09
13187-000 – Hortolândia – SP – Brasil

Relatório N° NMI 083075

Hortolândia, 06 de outubro de 2008

A CGCRE/INMETRO é signatária do Acordo de Reconhecimento Mútuo da ILAC (*International Laboratory Accreditation Cooperation*) e da IAAC (*Interamerican Accreditation Cooperation*), e do Acordo Bilateral de Reconhecimento Mútuo com a EA (*European Cooperation for Accreditation*).

Este relatório atende aos requisitos de acreditação da CGCRE/INMETRO, que avaliou a competência do laboratório.

Este documento contém informações de propriedade da Futura Soluções em Automação Engenharia Ltda. **A NMI Brasil não divulgará estas informações salvo por pedido formal da mesma.**

Solicitamos nos consultar previamente em caso de divulgação do nome NMI Brasil para propaganda ou divulgações de qualquer natureza. Este documento contém **11 páginas** e só pode ser reproduzido na sua totalidade (reprodução de partes deverão ser precedidas de autorização formal previa da NMI Brasil Ltda.).

Z:\PLANOS_RELAT\PROJETOS_2008\FUSP\NMI 083075\R083075.DOC

Confidencial NMI / Futura
Relé Microprocessado-Protetor de Redes
Subterrâneas modelo NETPRO
Relatório de Ensaios de Vibração

Autores:

Ramon Silva

Técnico, NMI Brasil – Responsável pelo ensaio

Geovane Alves Batista

Técnico, NMI Brasil – Responsável pelo relatório

Aprovações:

Fernando Graziani Barbarini

Gerente Técnico – NMI Brasil Ltda.

Confidencial NMI / Futura
 Relé Microprocessado-Protetor de Redes
 Subterrâneas modelo NETPRO
 Relatório de Ensaios de Vibração

1. INTRODUÇÃO	4
1.1. LOCAL E DATA DOS ENSAIOS	4
1.2. TERMO DE RESPONSABILIDADE	4
1.3. TÉCNICO RESPONSÁVEL	5
1.4. TESTEMUNHAS	5
2. DESCRIÇÃO DO EQUIPAMENTO	5
2.1. EQUIPAMENTOS SOB ENSAIO (ESE)	5
2.2. CONFIGURAÇÃO DO ENSAIO	6
2.3. EXECUÇÃO DOS ENSAIOS E ANÁLISE DOS RESULTADOS	6
2.4. CRITÉRIOS DE AVALIAÇÃO	6
3. ENSAIOS DE VIBRAÇÃO	7
3.1. EQUIPAMENTOS UTILIZADOS	7
3.2. PROCEDIMENTO DE ENSAIO	7
3.3. RESULTADOS DOS ENSAIOS	10
4. CONCLUSÃO	11

Confidencial NMI / Futura
Relé Microprocessado-Protetor de Redes
Subterrâneas modelo NETPRO
Relatório de Ensaios de Vibração

Relatório de Ensaio de Vibração em Relé Microprocessado-Protetor de Redes Subterrâneas modelo NETPRO

1. INTRODUÇÃO

A finalidade deste documento é descrever os ensaios de vibração, realizados nos equipamentos descritos no item 2.1, conforme normas/especificações descritas na tabela abaixo.

Ensaio de vibração	
Seq. *1	Normas *2 \ Ensaio pertinentes:
1	Ensaio de vibração senoidal (transporte) conforme IEC 60068-2-6
2	Ensaio de vibração senoidal (operação) conforme IEC 60068-2-6
*1 Ordem de execução dos ensaios.	
*2 O laboratório de vibração não é acreditado para uma norma/especificação/resolução em específico, sendo a referência destas apenas de caráter orientativo e indicação de níveis de severidade, uma vez que a metodologia dos ensaios de vibração seguida pelo NMI Brasil é dada por procedimentos internos, conforme consta no escopo de acreditação da NMI.	

Tabela 1 – Normas utilizadas e ensaios realizados

1.1. Local e Data dos Ensaios

- Laboratório de Vibração da NMI Brasil Ltda.
- Data: 03 de outubro de 2008

1.2. Termo de Responsabilidade

A NMI Brasil se responsabiliza pelos dados aqui apresentados para a(s) amostra(s) do equipamento descrito em 2.1, não se responsabilizando pelos produtos semelhantes produzidos pelo(s) fabricante(s) do ESE, por diferenças devidas ao processo de fabricação ou por alterações de projeto que por ventura venham a ser implementadas.

A análise dos resultados obtidos durante os ensaios, declarando conformidade ou não aos requisitos aplicáveis é de responsabilidade dos organismos de certificação, homologação ou aprovação de equipamentos.

Confidencial NMI / Futura
Relé Microprocessado-Protetor de Redes
Subterrâneas modelo NETPRO
Relatório de Ensaios de Vibração

1.3. Técnico Responsável

O técnico Ramon Silva foi o responsável pela execução dos ensaios e o técnico Geovane Alves Batista, pela elaboração do relatório de ensaio, ambos da NMI Brasil, sob a supervisão de Fernando Graziani Barbarini (Gerente Técnico da NMI Brasil).

1.4. Testemunhas

Os ensaios foram acompanhados por Humberto Alencar P. Silva do IEE-USP.

2. DESCRIÇÃO DO EQUIPAMENTO

A Futura Soluções em Automação Engenharia Ltda. forneceu e é responsável pelos dados a seguir, tendo declarado serem suficientes para caracterizar completamente o equipamento ensaiado.

2.1. Equipamentos sob Ensaio (ESE)

A Tabela 2 descreve o equipamento sob ensaio.

Equipamento	Modelo	Fabricante	s/n	Amostra n.º
Relé Microprocessado-Protetor de Redes Subterrâneas	NETPRO	FUTURA	N/C	#01

Tabela 2 – Descrição dos equipamentos sob ensaio

Foto 1 – Relé Microprocessado-Protetor de Redes Subterrâneas modelo NETPRO

Confidencial NMI / Futura
Relé Microprocessado-Protetor de Redes
Subterrâneas modelo NETPRO
Relatório de Ensaios de Vibração

Foto 2 – Relé Microprocessado-Protetor de Redes Subterrâneas modelo NETPRO

Foto 3 – Relé Microprocessado-Protetor de Redes Subterrâneas modelo NETPRO

2.2. Configuração do Ensaio

Durante o ensaio, o equipamento permaneceu na posição normal de operação e de transporte.

Após o Ensaio, foi feita uma verificação funcional do equipamento.

2.3. Execução dos Ensaios e Análise dos Resultados

A NMI Brasil ficou responsável por:

- Exercitar as amostras (ESE) adequadamente;
- Executar os ensaios obedecendo a todas as especificações determinadas pelo cliente;
- Monitorar as amostras sob as condições de ensaio especificadas no item 3.2, a partir de critérios definidos pelo cliente;
- Avaliar o ESE usando informações fornecidas pela Futura Soluções em Automação Engenharia Ltda.;
- Anotar os resultados e demais dados relevantes obtidos durante a execução dos ensaios.

Ficou sob responsabilidade da Futura Soluções em Automação Engenharia Ltda. a análise dos resultados obtidos, bem como a avaliação final das amostras ensaiadas.

2.4. Critérios de Avaliação

Durante e no final do ensaio, a amostra é avaliada sob os aspectos físicos-mecânicos e funcionais. Não são aceitos nenhum tipo de deterioração mecânica, tais como, quebra, rachaduras, fissuras, etc.

Confidencial NMI / Futura
Relé Microprocessado-Protetor de Redes
Subterrâneas modelo NETPRO
Relatório de Ensaios de Vibração

3. ENSAIOS DE VIBRAÇÃO

3.1. Equipamentos Utilizados

Os equipamentos utilizados estão listados na Tabela 3.

Descrição	Cód. NMI	Descrição	Cód. NMI
Excitador de vibração – UD	133	Controlador de vibração – Data Physics	1725
Amplificador de carga – UD	102	Termohigrômetro	1522
Acelerômetro	199	Barômetro	1404
Acelerômetro	200		

Tabela 3 – Equipamentos para ensaio de vibração

3.2. Procedimento de Ensaio

A tabela a seguir apresenta as especificações dos ensaios realizados.

Ensaio de vibração senoidal	
Vibração senoidal (Transporte) conforme especificação abaixo:	
➤ Faixa de frequência:	5 Hz a 500 Hz
➤ Amplitude:	5 Hz a 8 Hz deslocamento de 7,5 mm 8 Hz a 500 Hz aceleração de 2g
➤ Taxa de varredura:	4,5 minutos
➤ N.º varredura:	5 ciclos (por eixo)
➤ Eixos:	X, Y e Z
Vibração senoidal (Operação) conforme especificação abaixo:	
➤ Faixa de frequência:	5 Hz a 500 Hz
➤ Amplitude:	10 Hz a 60 Hz deslocamento de 0,35 mm 60 Hz a 500 Hz aceleração de 0,5g
➤ Taxa de varredura:	4,5 minutos
➤ N.º varredura:	5 ciclos (por eixo)
➤ Eixos:	X, Y e Z

Tabela 4 – Características do ensaio de vibração senoidal

Confidencial NMI / Futura
 Relé Microprocessado-Protetor de Redes
 Subterrâneas modelo NETPRO
 Relatório de Ensaio de Vibração

Antes do ensaio, a amostra foi inspecionada, quanto as condições físico/mecânica e funcionais iniciais, de forma a se ter uma referência das condições do ESE para uma verificação após o término do ensaio.

Neste ensaio, basicamente a montagem consiste em fixar o equipamento sobre a mesa vibratória que o "excitará". A fixação foi realizada através de dispositivo de fixação fornecido pelo cliente ou métodos apropriados. Vide Foto 4 a Foto 9.

O ESE foi fixado sobre a mesa de acordo com a orientação a ser ensaiada. A Figura 1 mostra a descrição usual dos eixos de ensaio.

Figura 1 – Orientação usual dos eixos de ensaio

Após a instalação do ESE, o acelerômetro de controle foi instalado na mesa de vibração. O sinal do acelerômetro é enviado ao condicionador que o amplifica e envia para o controlador. Com base no sinal recebido, o controlador corrige o sinal enviado ao amplificador de potência, para que a vibração da mesa fique conforme especificado.

O ensaio de vibração é "programado" no controlador de vibração, conforme especificado na Tabela 4.

Foto 4 – Setup do eixo X

Foto 5 – Setup do eixo Y

Confidencial NMI / Futura
Relé Microprocessado-Protetor de Redes
Subterrâneas modelo NETPRO
Relatório de Ensaios de Vibração

Foto 6 – Setup do eixo Y

Foto 7 – Setup do eixo Y

Foto 8 – Setup do eixo Z

Foto 9 – Setup do eixo Z

Confidencial NMI / Futura
 Relé Microprocessado-Protetor de Redes
 Subterrâneas modelo NETPRO
 Relatório de Ensaios de Vibração

3.3. Resultados dos Ensaios

Resultados do ensaio				
Procedimento de ensaio: PEV002				
Especificação do ensaio: Fornecida pelo cliente e descrito no item 3.2 deste relatório				
Condições ambientais	Data	Temperatura	Umidade	Pressão atmosférica
	03/10/2008	19,9°C ~ 21,0°C	53% ~ 60%	702mmHg
Ensaio de vibração senoidal (Transporte)				
Amostra	Eixo	Notas / Ocorrências		
#01	Eixo X	Após o ensaio, nenhuma ocorrência foi verificada quanto aos aspectos físicos-mecânicos e funcionais.		
	Eixo Y	Após o ensaio, nenhuma ocorrência foi verificada quanto aos aspectos físicos-mecânicos e funcionais.		
	Eixo Z	Após o ensaio, nenhuma ocorrência foi verificada quanto aos aspectos físicos-mecânicos e funcionais.		

Tabela 5 – Resultados do ensaio de vibração senoidal

Resultados do ensaio				
Procedimento de ensaio: PEV002				
Especificação do ensaio: Fornecida pelo cliente e descrito no item 3.2 deste relatório				
Condições ambientais	Data	Temperatura	Umidade	Pressão atmosférica
	03/10/2008	19,9°C ~ 21,0°C	53% ~ 60%	702mmHg
Ensaio de vibração senoidal (Operação)				
Amostra	Eixo	Notas / Ocorrências		
#01	Eixo X	Após o ensaio, nenhuma ocorrência foi verificada quanto aos aspectos físicos-mecânicos e funcionais.		
	Eixo Y	Após o ensaio, nenhuma ocorrência foi verificada quanto aos aspectos físicos-mecânicos e funcionais.		
	Eixo Z	Após o ensaio, nenhuma ocorrência foi verificada quanto aos aspectos físicos-mecânicos e funcionais.		

Tabela 6 – Resultados do ensaio de vibração senoidal

Confidencial NMI / Futura
Relé Microprocessado-Protetor de Redes
Subterrâneas modelo NETPRO
Relatório de Ensaios de Vibração

Foto 10 – Após Ensaio

Foto 11 – Após Ensaio

Foto 12 – Após Ensaio

Foto 13 – Após Ensaio

4. CONCLUSÃO

A análise final dos resultados dos ensaios de vibração e possíveis extrapolações destes resultados para outras unidades são de responsabilidade da Futura Soluções em Automação Engenharia Ltda.

Conforme indicado em 1.2, a NMI Brasil garante os resultados e observações aqui apresentados, para as amostras e condições descritas neste relatório.