



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

CB/GTM/27

22 a 25 de outubro de 2017
Curitiba - PR

**GRUPO - XIII
GRUPO DE ESTUDO TRANSFORMADORES, REATORES, MATERIAIS E TECNOLOGIAS EMERGENTES- GTM**

Integração de Monitoração On-line nas Rotinas da Engenharia de Manutenção

Augustinho J. M. Simões
Celeo Redes

Marcos E. G. Alves (*)
Radice Tecnologia

Maria Rita V. C. Alves
Celeo Redes

Marcio da Costa
Treetech Sistemas Digitais

José B. F. Neto
Celeo Redes

RESUMO

Desde o ano 2000 a Celeo Redes atua no mercado de transmissão de energia elétrica e hoje possui 12 Concessionárias, estando uma em construção, espalhadas por 11 Estados e totalizando mais de 3900 km de linhas de transmissão em 500 kV e 230 kV e doze subestações com capacidade instalada de transformação de 4875 MVA.

Na busca constante pela excelência nas práticas de manutenção e aumento da confiabilidade, simultaneamente à redução das indisponibilidades no sistema de transmissão e redução dos custos de manutenção, a Celeo procura aplicar em sua engenharia de manutenção as ferramentas e tecnologias mais modernas e efetivas disponíveis. Seguindo este princípio, em 2011 foi iniciada a implantação da monitoração on-line dos autotransformadores e reatores das concessões do grupo, que atualmente abrange praticamente todos os ativos destas famílias, num total de 38 equipamentos, além de alguns equipamentos de menor porte, porém de grande importância para as funções transmissão, como transformadores de aterramento.

O artigo apresentará a solução de sistema corporativo adotada para atingir este objetivo, fazendo uso da estrutura de Tecnologia de Informação da empresa para garantir a correta manutenção do sistema e com isso garantir sua continuidade, com excelentes resultados, de forma similar ao que já é efetuado como praxe para outros sistemas corporativos como o ERP, o SAGE e outros.

Será apresentada também a seleção de subsistemas a monitorar e, conseqüentemente, os sensores adotados, a arquitetura de rede de comunicação que permitiu a integração de subestações localizadas em cinco Estados de quatro regiões do país.

Por fim, o artigo relatará como o sistema de monitoramento corporativo foi integrado às rotinas da engenharia de manutenção da Celeo, contribuindo para que fossem alcançados importantes resultados para a redução do risco de falhas de equipamentos, redução de desligamentos para manutenções, redução de custos de manutenção e, conseqüentemente, melhora dos resultados operacionais. Para tal serão apresentados casos reais de detecção de condições de risco para os reatores, que operam em regiões de elevadas temperaturas ambientes, e as medidas de mitigação em curso.

Portanto, o artigo demonstrará a utilidade das informações disponibilizadas pelo sistema de monitoração e a viabilidade de uso destas para influenciar positivamente as rotinas de manutenção em concessionárias de transmissão.

PALAVRAS-CHAVE

Transformadores de potência, Reatores shunt, Gestão de manutenção, Gestão de ativos, Monitoração on-line, Diagnóstico de estado, Prognóstico de estado, Sensores inteligentes, Smart sensors, Dispositivos eletrônicos inteligentes.

1.0 - INTRODUÇÃO

Desde o ano 2000 a Celeo Redes atua no mercado de transmissão de energia elétrica e hoje possui 12 Concessionárias, estando uma em construção, espalhadas por 11 Estados e totalizando mais de 3900 km de linhas de transmissão em 500 kV e 230 kV e doze subestações com capacidade instalada de transformação de 4875 MVA.

Na busca constante pela excelência nas práticas de manutenção e aumento da confiabilidade, simultaneamente à redução das indisponibilidades no sistema de transmissão e redução dos custos de manutenção, a Celeo procura aplicar em sua engenharia de manutenção as ferramentas e tecnologias mais modernas e efetivas disponíveis. Seguindo este princípio, em 2011 foi iniciada a implantação da monitoração on-line dos autotransformadores e reatores das concessões do grupo, que atualmente abrange praticamente todos os ativos destas famílias, num total de 38 equipamentos, além de alguns equipamentos de menor porte, porém de grande importância para as funções transmissão, como transformadores de aterramento.

Os objetivos que se busca alcançar nesse processo são:

- Migração da manutenção preventiva para a preditiva
- Aumento de confiabilidade e redução de riscos de falhas
- Redução de paradas para manutenção e de Parcelas Variáveis
- Gestão de manutenção aderente à filosofia de manutenção preditiva
- Sistema de gestão aderente aos regulamentos do setor (ANEEL/ONS)
- Sistema de gestão de manutenção aderente às práticas do setor elétrico
- Arquitetura modular e expansível
- Plataforma preparada para crescimento gradual de funções (App's)

Estes objetivos mostram-se aderentes às evoluções das técnicas de manutenção e expectativas correspondentes apontadas por Moubray (1), como ilustram as figuras 1 e 2.

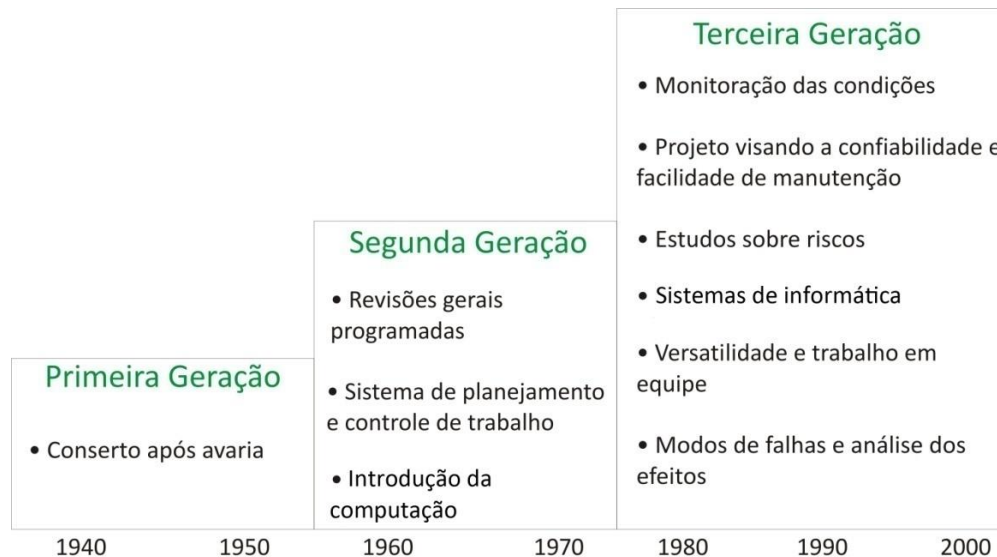


FIGURA 1 - Evolução das técnicas de manutenção (1)

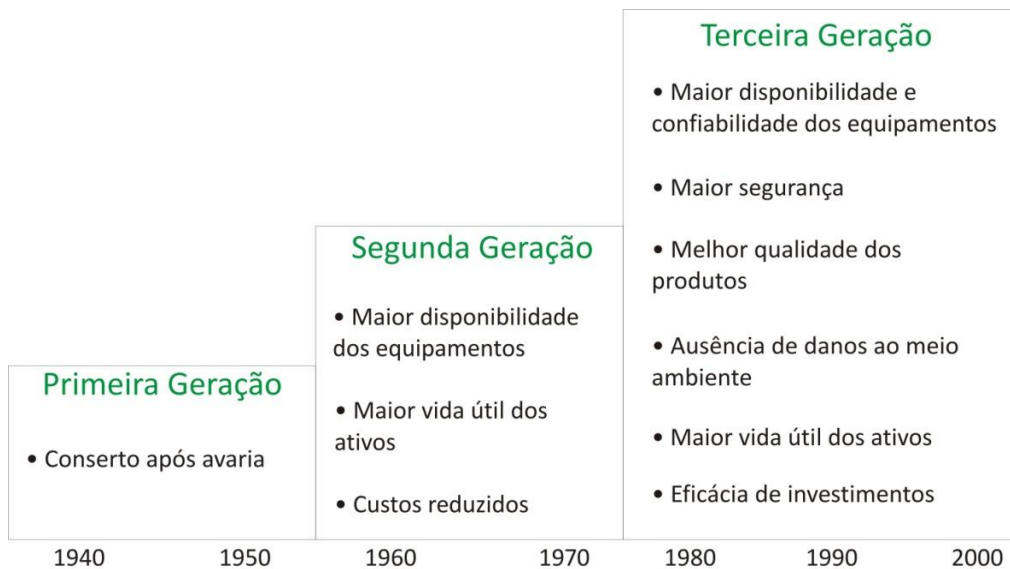


FIGURA 2 - Crescimento das expectativas de manutenção (1)

2.0 - IMPLANTAÇÃO DA SOLUÇÃO

A implantação da monitoração on-line e modernização dos processos de manutenção na Celeo foi efetuada numa sequência hierárquica de etapas, seguindo a arquitetura ilustrada na figura 3. A pirâmide mostrada nesta figura permite intuir que o processo de implantação buscou construir uma arquitetura sólida, na qual a correta implantação de uma etapa lança as bases que permitem avançar para a próxima fase de forma consistente, garantindo assim a obtenção dos resultados finais almejados.

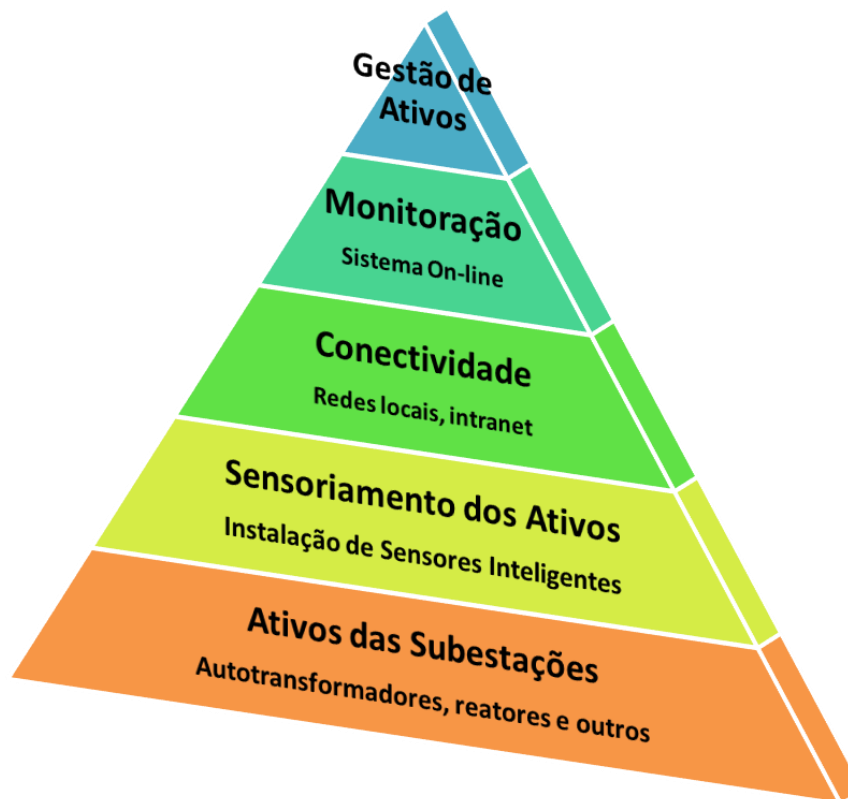


FIGURA 3 – Arquitetura de implantação da Monitoração On-line na Celeo Redes

As etapas cumpridas para a implantação da monitoração on-line na Celeo Redes são detalhadas nos tópicos a seguir.

2.1 - Etapa 1 - Sensoriamento dos Ativos

O sensoriamento dos ativos é considerado uma etapa fundamental para a construção de um sistema de monitoração on-line funcional e confiável. Por este motivo, esta foi a primeira etapa realizada no processo de implantação deste sistema na Celeo.

A figura 4 ilustra os principais módulos de sensoriamento disponíveis para transformadores de potência, autotransformadores e reatores, que foram os equipamentos escolhidos para a implantação inicial do sistema, por serem os de maior valor nas subestações da Celeo.

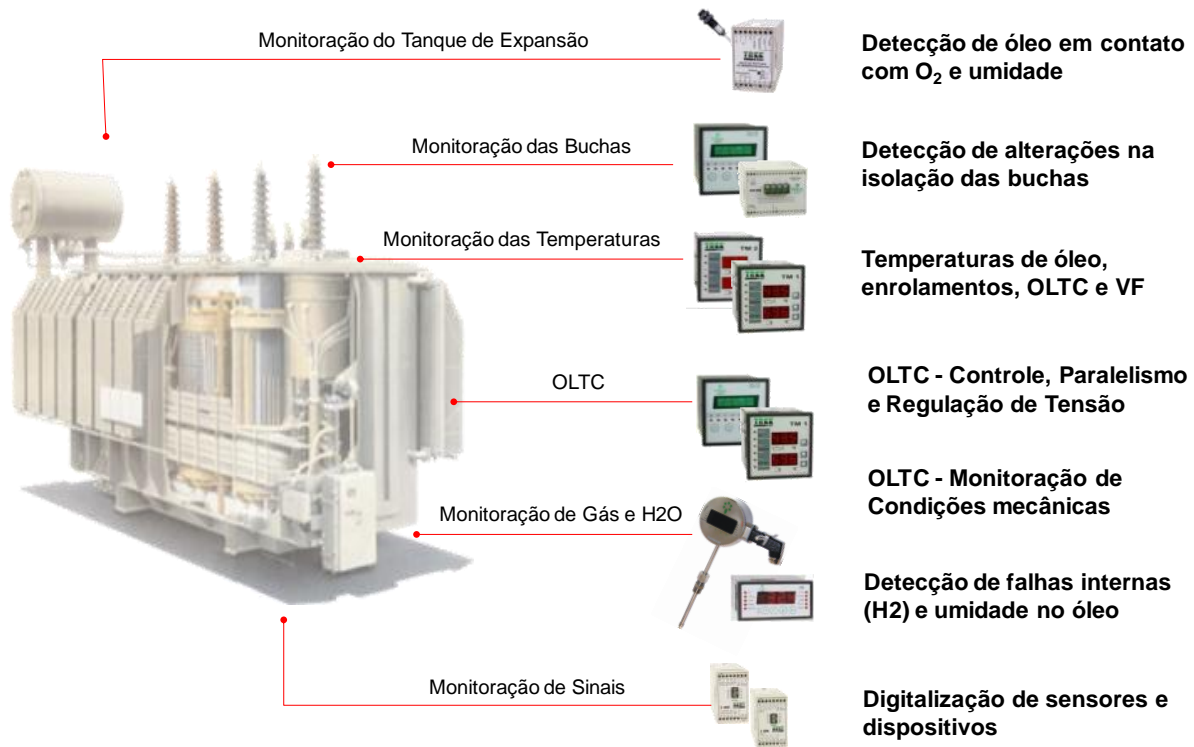


FIGURA 4 – Sensoriamento de autotransformadores de potência e reatores, conforme aplicável

A arquitetura descentralizada e modular (2) adotada pela Celeo para o sensoriamento dos ativos permitiu que, num primeiro momento, fossem selecionados os sensores considerados prioritários para a empresa, permitindo assim que todos os ativos destas famílias fossem monitorados, num total de 38 equipamentos, além de alguns equipamentos de menor porte, porém de grande importância para as funções transmissão, como transformadores de aterramento.

A Tabela 1 lista os Sensores Inteligentes selecionados para instalação nesta etapa da implantação, além das variáveis medidas e calculadas por cada um destes módulos.

Conforme mencionado, a arquitetura descentralizada e modular empregada permitirá que, em futuras etapas de expansão do sistema, a base de sensores instalados nos autotransformadores e reatores seja ampliada com outros tipos de sensores, como os mostrados na figura 4.

Esta arquitetura permitirá também que a cobertura do sistema de monitoração on-line seja ampliada para outros ativos das subestações, como disjuntores, chaves seccionadoras e outros.

Tabela 1 – Sensores Inteligentes instalados na primeira etapa de implantação da Monitoração On-line

Sensor inteligente	Variáveis aquisitadas e processadas
Monitor de Temperaturas	Temperatura do topo do óleo
	Temperaturas dos enrolamentos (ponto mais quente)
	Temperatura ambiente
	Correntes de carga
	Percentuais de carregamento
	Gradientes finais de temperatura entre enrolamento e óleo
	Temperaturas máximas atingidas
	Status dos grupos de resfriamento forçado
	Status de alarmes e trips por temperaturas de óleo e enrolamentos
Monitor de Buchas	Capacitância da isolação
	Tangente delta (FP) da isolação
	Tendência de evolução da Capacitância
	Tendência de evolução da Tangente Delta
	Tempos previstos para alcançar valores críticos de Capacitância
	Tempos previstos para alcançar valores críticos de Tangente Delta
	Correntes de fuga das buchas

2.2 - Etapa 2 - Conectividade de Sensores

Na etapa de Sensoriamento dos ativos foi adotada uma arquitetura modular descentralizada, com o uso de Sensores Inteligentes do tipo IED (*Intelligent Electronic Device*) dotados de conectividade nativa, isto é, com portas de comunicação e protocolos de comunicação abertos.

Esta arquitetura possibilitou que os sensores fossem facilmente integrados a uma rede de comunicação local, que leva as variáveis neles aquisitadas e processadas à rede intranet corporativa da empresa, já disponível na sala de controle de todas as subestações.

Com isso, os dados dos sensores inteligentes foram disponibilizados para a próxima etapa de implantação do sistema de monitoração on-line, descrita a seguir.

É importante ressaltar que a arquitetura empregada permite de forma simples a expansão do sensoriamento dos ativos, visto que novos sensores inteligentes que sejam instalados poderão ser facilmente conectados à rede de comunicação já existente.

2.3 - Etapa 3 - Software de Monitoração On-line

Uma vez que os Sensores Inteligentes instalados nos autotransformadores e reatores estão conectados à rede intranet corporativa, um único software de monitoração on-line foi implantado na Celeo Redes para o diagnóstico e prognóstico de estado de todos os seus ativos, constituindo assim um sistema corporativo, como ilustrado na figura 5.

A adoção da filosofia de adoção de um único sistema de monitoração corporativo proporcionou diversos benefícios, sendo os principais:

- Definição clara de responsabilidade pela manutenção do software de monitoração pelo setor de TI da empresa, que garante a integridade dos dados e a disponibilidade do ambiente computacional e do sistema
- Evitar a instalação de um grande número de computadores nas diversas subestações
- Redução de custos de implantação e de manutenção
- Impedir a proliferação de múltiplas versões e modelos de softwares de monitoração on-line
- Facilidade de treinamento de usuários e administradores do sistema
- Consolidação dos dados de todos os ativos em um banco de dados e plataforma únicos, facilitando a correlação de informações e a geração de relatórios.

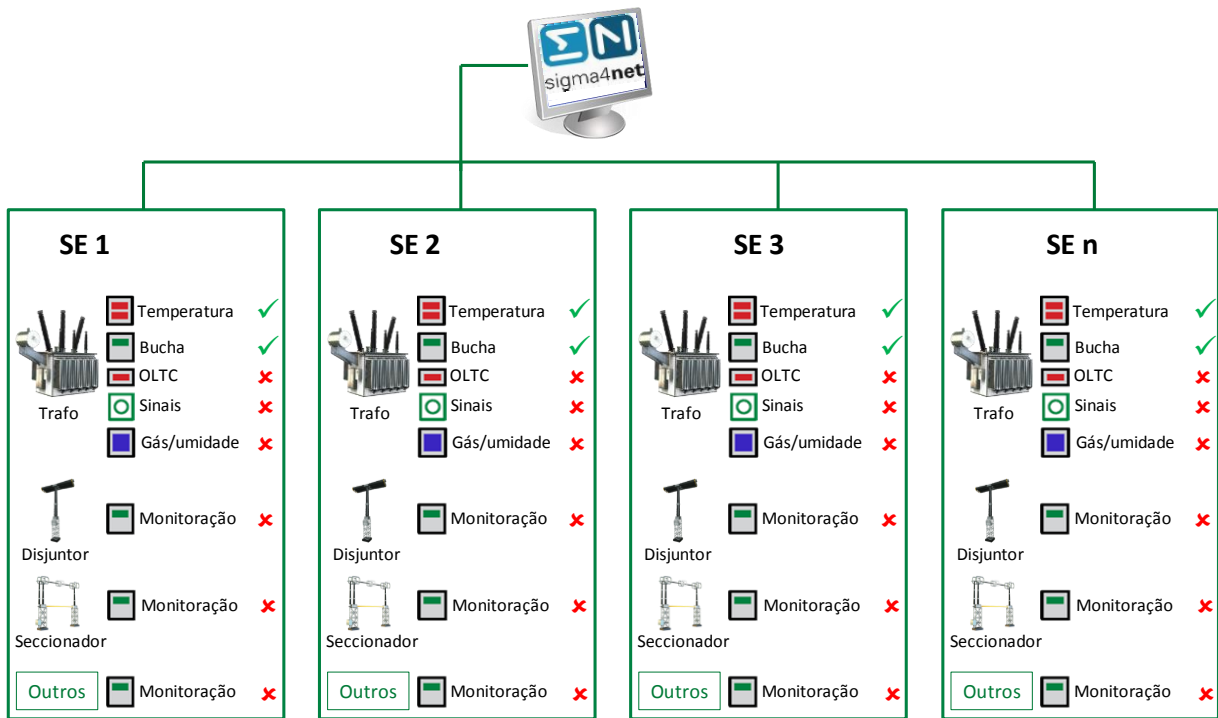


FIGURA 5 – Conexão dos Sensores Inteligentes nas subestações ao Software corporativo de Monitoração On-line

Para que os objetivos finais do sistema de monitoração on-line sejam atingidos no que se refere à efetiva gestão dos ativos da Celeo Redes, o software corporativo implantado possui algoritmos de diagnóstico e prognóstico, denominados Módulos de Engenharia, que podem também ser expandidas na medida em que novos Sensores Inteligentes sejam instalados (3) (4). Baseado nos sensores inteligentes atualmente implantados nos autotransformadores e reatores da Celeo, o sistema de monitoramento foi inicialmente dotado dos Módulos de Engenharia listados na Tabela 2.

Tabela 2 – Módulos de Engenharia inicialmente implantados no sistema corporativo de Monitoração On-line

Módulo de Engenharia	Funções de Diagnóstico e Prognóstico
Envelhecimento da Isolação	Envelhecimento da isolação
	Tempo de vida restante da isolação
	Taxa de perda de vida
Previsão de temperaturas	Previsão de temperaturas futuras
	Tempo restante para alcançar temperaturas de alarme e trip
Eficiência do resfriamento	Temperatura teórica calculada
	Diferença entre temperatura real e calculada
Assistente de manutenção do resfriamento	Tempo de operação de grupos de resfriamento
	Tempo médio diário de operação
	Tempo restante até a próxima manutenção
	Avisos de Manutenção com antecedência
Diagnóstico de Buchas	Capacitância das buchas
	Tangente Delta das buchas
	Tendências de Evolução de Capacitância e Tangente Delta
	Evolução rápida de defeito nas buchas
Simulações de carregamento	Simulação com base nas condições de carga e temperatura atuais
	Simulação de ciclo de carga hipotético
Gás-cromatografia (off-line)	Taxas de evolução de gases no óleo
	Relações entre gases
	Diagnóstico com base na IEC 60599
Físico-químico (off-line)	Diagnóstico com base no triângulo de Duval da IEC 60599
	Diagnósticos com base na NBR 10576

3.0 - INTEGRAÇÃO ÀS ROTINAS DA ENGENHARIA DE MANUTENÇÃO

A integração do sistema de monitoração on-line corporativo às rotinas da engenharia de manutenção da Celeo contribuiu para que fossem alcançados importantes resultados para a redução do risco de falhas de equipamentos, redução de desligamentos para manutenções, redução de custos de manutenção e, conseqüentemente, melhora dos resultados operacionais.

Dentre os procedimentos adotados para a implementação desta integração está a geração mensal de um relatório de anormalidades nos equipamentos monitorados, que é apresentado à diretoria técnica da empresa em reunião mensal de discussão da engenharia de manutenção.

Um exemplo real de resultados obtidos a partir desta integração foi a detecção de condições de risco para os reatores de derivação, que operam em regiões de elevadas temperaturas ambientes, permitindo a adoção de medidas de mitigação de riscos.

Sendo assim, a implementação da monitoração on-line dos autotransformadores e reatores das concessões da Celeo Redes tem atingido os objetivos inicialmente propostos, o que levou a empresa a avançar para a próxima etapa ilustrada na Figura 3, que é a implantação de um sistema corporativo de gestão de ativos e gestão da manutenção, descrita a seguir como a evolução vertical da solução.

Paralelamente a esta evolução vertical, encontra-se também em andamento na empresa a evolução orgânica e natural da solução já implementada, que consiste na adição de novos sensores e novos módulos de engenharia para os autotransformadores e reatores, assim como a extensão do sistema para outros ativos estratégicos das subestações.

4.0 - EVOLUÇÃO VERTICAL DA SOLUÇÃO

As etapas de implementação da monitoração on-line de ativos citadas neste artigo já se encontram implementadas e consolidadas na Celeo Redes, inclusive já se colhendo os benefícios dela esperados.

Com isso, já se encontram em andamento as etapas subsequentes de evolução da solução, que incluem a implementação de um sistema corporativo de gestão de ativos e gestão da manutenção com integração nativa ao sistema de monitoração on-line, de forma a consolidar o caminho rumo à adoção definitiva da manutenção preditiva, e com ferramentas tecnológicas de produtividade, tais como aplicativos móveis para as equipes de campo.

Estas etapas de evolução do sistema serão oportunamente apresentadas em trabalhos posteriores.

5.0 - CONCLUSÃO

O artigo demonstrou, com um caso prático, a viabilidade de integração dos sistemas de monitoração on-line de ativos às rotinas da engenharia de manutenção, bem como os benefícios advindos desta integração.

Foi demonstrado também que o sucesso desta integração depende fortemente da seleção de uma arquitetura de sensoriamento adequada para a realidade das concessionárias de energia elétrica e do estabelecimento de um processo de construção do sistema baseado em etapas lógicas e sequencias.

Foram indicadas também as etapas seguintes de evolução da solução, que já se encontram em implementação na empresa, que potencializarão em grande escala os benefícios advindos da evolução tecnológica da manutenção adotada estrategicamente pela Celeo Redes.

6.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

(1) MOUBRAY, J., "Reliability-centered maintenance". 2 ed. New York: Industrial Press Inc., 1997.

(2) Lavieri Jr., A., Hering, R., "Novos Conceitos em Sistemas de Energia de Alta Confiabilidade", Encarte Especial Siemens Energia, <http://mediaibox.siemens.com.br/upfiles/232.pdf>, Janeiro/2001.

(3) Peres, E., Duso, W., Latenek, J., Alves, M., "Monitoração On-Line de Transformadores Conversores do Sistema de Transmissão HVDC na SE Ibiúna", XIII ERIAC, Puerto Iguazu, Argentina, Maio/2009.

(4) Pinto, F., Alves, M., "Aplicação de Sistemas de Monitoração On-Line na Visão da Engenharia de Manutenção", XXII SNPTEE, Brasília, Outubro/2013.

7.0 - DADOS BIOGRÁFICOS



Marcos E. G. Alves: Doutor em Ciências (2013) e Mestre em Engenharia Elétrica (2005) pela USP e Engenheiro Eletricista pela USJT (2001). Diretor de P&D na Radice Consultoria, onde supervisiona projetos de PD&I, e Gestor Técnico na Treetech Sistemas Digitais, onde atua desde 1992 e coordenou o departamento de PD&I. Especializado em sistemas de controle, proteção, monitoramento, diagnóstico e gestão de ativos de alta tensão, como transformadores, reatores, disjuntores, seccionadores e TIs. Colaborador do COBEI/ABNT (Comitê Brasileiro de Eletricidade, Eletrônica, Iluminação e Telecomunicações), onde contribui com a elaboração das normas técnicas brasileiras, e membro do IEEE/PES (Power and Energy Society) desde 2007 e do Cigré desde 2001, onde tem participado de diversos Grupos de Trabalho. Natural do Rio de Janeiro, 1975.