



**XXII SNPTTE
SEMINÁRIO NACIONAL
DE PRODUÇÃO E
TRANSMISSÃO DE
ENERGIA ELÉTRICA**

BR/GTM/28
13 a 16 de Outubro de 2013
Brasília - DF

GRUPO -XIII

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

GUIA DE MANUTENÇÃO PARA TRANSFORMADORES DE POTÊNCIA E REATORES TIPO SHUNT.

**Jaime
Suñé***
ITAIPU
**Rodinei
Carraro**
CEEE

**Leonardo
Heredia**
CHESF
**Rodrigo
Evaristo**
ELETROBRÁS
ALAGOAS

**Carlos
Guilherme**
CTEEP
**Roberto
Jasinski**
COPEL

Jorge Santelli
FURNAS
João Carneiro
CPFL

Marco Marin
COPEL
**Antônio
Tadeu**
ELETROSUL

**Rômulo
Miranda**
CEMIG
**Carlos
Dupont**
CEPEL

**Cleusomir
Carvalho**
ELETRONORTE
Juliano Ricardo
ITAIPU

RESUMO

O comitê de estudos A2 do Cigré Brasil sobre transformadores, estabeleceu em abril de 2011 a criação do Grupo de Trabalho A2.05 com o objetivo de produzir um Guia de Manutenção de Transformadores e Reatores de Potência considerando os ativos com tensão igual ou acima de 69kV. Foi estabelecido como uma das premissas iniciais que os trabalhos a serem desenvolvidos seriam baseados na experiência das empresas concessionárias de energia elétrica privadas e públicas brasileiras e dos fabricantes dos equipamentos e componentes, além do estudo desenvolvido pelo WG A2.34 do Cigré Internacional denominado “*Guide for Transformer Maintenance*”.

Em todo o trabalho realizado pelo GT foi considerado o caráter didático dos fundamentos teóricos envolvendo transformadores e reatores, seus componentes e as práticas de manutenção existentes. A estrutura do guia inclui temas como o planejamento e programação de atividades, as características dos componentes, técnicas de manutenção, de reparos e de monitoramento.

A visão prática de aplicação do guia, como referência para os diversos níveis de uma empresa concessionária de energia, desde a engenharia de manutenção até as equipes de campo, é uma das características principais do guia produzido.

PALAVRAS-CHAVE

Transformador, Reator, Manutenção, Monitoramento, Reparo.

1.0 - INTRODUÇÃO

Ao longo das últimas duas décadas, as empresas do ramo de energia elétrica passaram a conviver em uma nova realidade de mercado com a implementação de diversas mudanças, como por exemplo, na forma de comercialização de energia, a criação de novos agentes (reguladores e operador) integrantes do sistema, além de um cenário que inclui a possibilidade de fiscalizações nas suas atividades de operação e manutenção com o intuito de verificar a aderência aos contratos de prestação de serviços firmados entre os agentes.

Estas mudanças refletiram diretamente na definição das práticas de engenharia de manutenção destas empresas visando um aumento na disponibilidade dos ativos e na qualidade dos serviços prestados.

Em consonância com esta realidade e visando uma uniformização das práticas de manutenção para os ativos de maior valor financeiro atribuído de uma subestação elétrica, o Cigré Brasil através do comitê de estudos A2 de transformadores, definiu em abril de 2011 a criação de um sub-grupo A2.05 com o intuito de produzir um guia de manutenção para transformadores e reatores de potência, com tensão superior a 69kV.

O trabalho foi desenvolvido ao longo dos últimos 02 anos, contando com a participação de representantes de fabricantes dos equipamentos e de seus componentes, bem como das empresas concessionárias de energia elétrica de geração, transmissão e distribuição dos setores privado e público.

O guia desenvolvido teve como premissas básicas a forma didática de abordar o princípio de funcionamento dos ativos, componentes e das técnicas de manutenção propostas, bem como a intenção de ter ampla aplicação nas áreas de manutenção das empresas, seja na engenharia de manutenção ou mesmo nas atividades de execução.

A estrutura do guia é composta de 03 capítulos relacionados ao processo da manutenção, incluindo as etapas de planejamento, programação e execução da manutenção, 01 capítulo sobre os princípios de funcionamento e características principais dos componentes dos transformadores e reatores, 01 capítulo sobre técnicas de manutenção propostas, 01 capítulo sobre reparo destes ativos e 01 capítulo sobre técnicas de monitoramento.

Além de diversos estudos e artigos técnicos, o desenvolvimento deste guia utilizou como referência o estudo concluído em 2010 pelo WG A2.34 do Cigré Internacional que resultou em um guia de manutenção aplicado para transformadores, *"Guide for Transformer Maintenance"*.

2.0 - O PROCESSO DA MANUTENÇÃO

Diante do cenário descrito na introdução deste artigo, o planejamento definido para as etapas de programação e execução do processo manutenção é de essencial importância para uma empresa concessionária de energia elétrica. O guia desenvolvido possui, em seus três capítulos iniciais, assuntos relacionados com este tema.

Uma importante contribuição do guia está na definição de um ciclo de operação e manutenção de um transformador ou reator, desde o comissionamento até o final de sua vida útil, considerando distintas estratégias de manutenção, como mostra a figura 1.

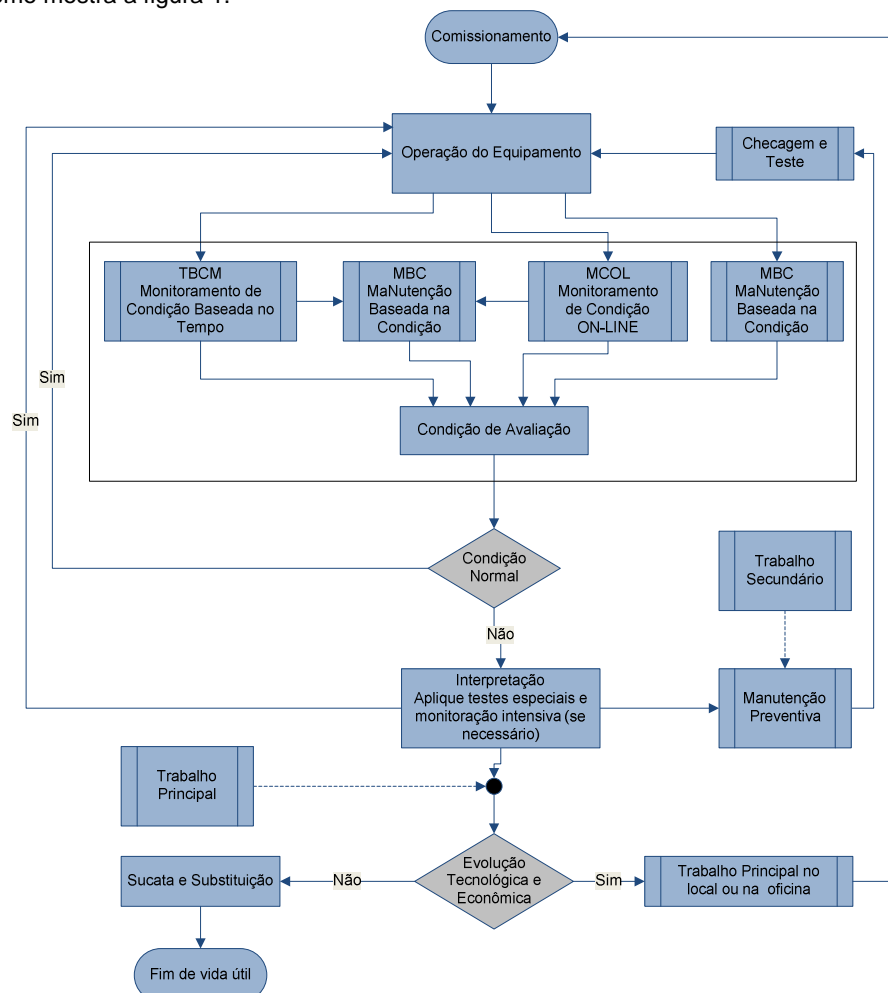


Figura 1 - Ciclo de operação e de manutenção de um transformador ou reator, desde o seu comissionamento até o fim de sua vida útil.

A avaliação sobre a vida útil de transformadores e reatores é incluída em um sub-capítulo do guia, onde são abordados os mecanismos de degradação da isolamento sólida, as ferramentas e os critérios disponíveis para estimativa de fim de vida útil considerando os diferentes tipos de papéis na fabricação.

Os impactos da indisponibilidade destes ativos e os tipos existentes de estratégias de manutenção são temas abordados nestes capítulos destinados ao processo da manutenção, inclusive com pesquisas, realizadas no Brasil e no exterior, que indicam, por exemplo, a sistemática atual de intervalos entre manutenções e as suas características.

Outra contribuição do guia está na orientação quanto a tomada de decisão, como por exemplo, a proposição de ações de manutenção quando da ocorrência de defeito, falhas ou mesmo na geração de alertas oriundos de sistemas de monitoramento implantados. A figura 2 mostra um processo de decisão proposto para uma manutenção corretiva típica.

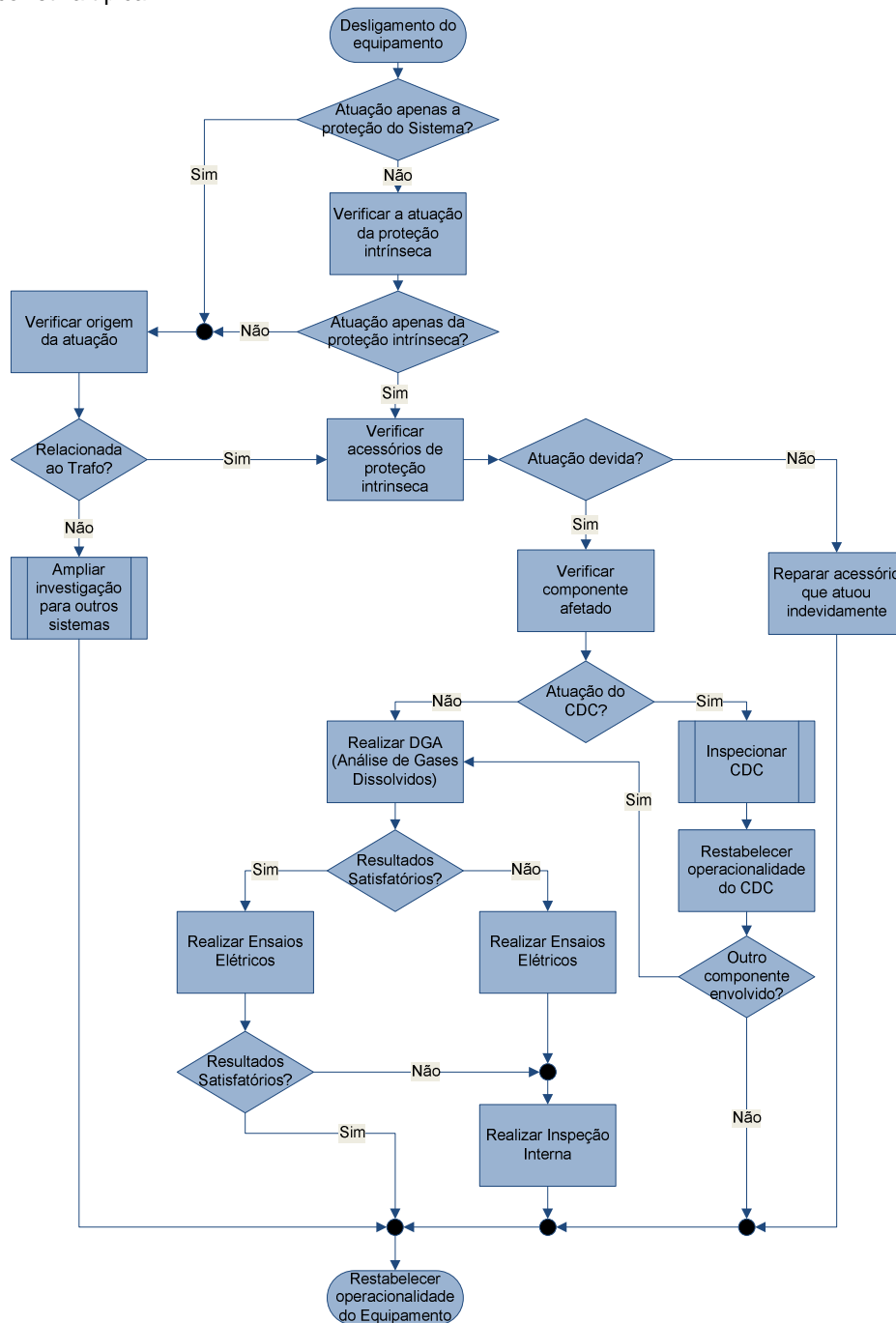


Figura 2 - Processo de decisão em uma manutenção corretiva típica.

Integra o guia desenvolvido, um capítulo destinado inteiramente ao processo da manutenção, incluindo as fases de planejamento, programação, execução, otimização e até mesmo o registro dos dados. Temas como segurança do trabalho e proposição de formação / capacitação de equipes a depender da complexidade das atividades também fazem parte deste capítulo.

3.0 - COMPONENTES: PRINCÍPIOS DE FUNCIONAMENTO E CARACTERÍSTICAS.

O capítulo 04 do guia de manutenção é destinado a descrição dos componentes de um transformador ou reator, suas características principais e os princípios de funcionamento. Todas as seções são ilustradas de forma que o texto tenha uma abordagem didática e sirva com referência bibliográfica para os profissionais da área de engenharia de manutenção deste segmento. Como exemplo a figura 3 mostra um exemplo de uma figura incluída no guia, na seção referente a buchas condensivas.

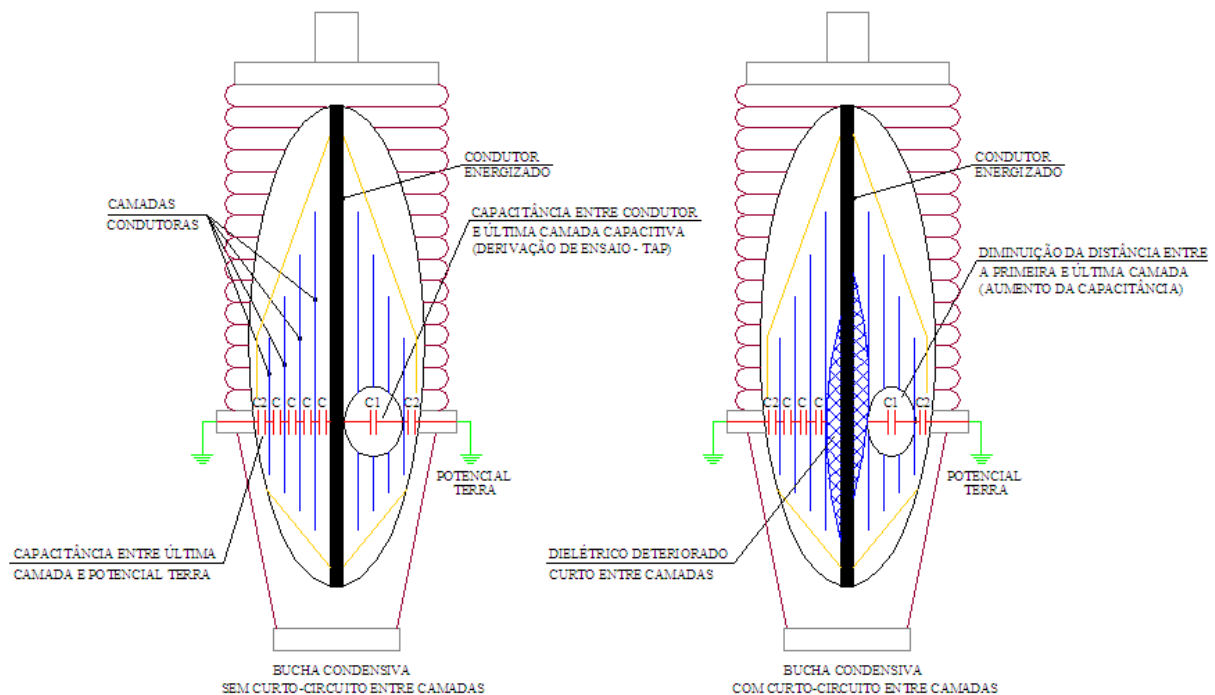


Figura 3 – Exemplo de uma figura utilizada no capítulo referente a componentes dos transformadores e reatores, uma bucha condensiva.

São abordados neste capítulo do guia, os componentes: bucha, sistemas de preservação de óleo, sistemas de resfriamento (radiadores, trocadores de calor, ventiladores e bombas de circulação de óleo), vedações, medidores, indicadores, relés, armário de controle, transformadores de corrente, comutadores e parte ativa (núcleo, ferragens, enrolamentos, papel e óleo isolante).

Devido a sua importância para o transformador e impacto para o ativo quando de falhas relacionadas, foi desenvolvido no guia uma árvore de falha específica para o componente comutador de derivação em carga, CDC.

4.0 - CATÁLOGO DE AÇÕES DE MANUTENÇÃO

O capítulo 05 do guia desenvolvido mostra as ferramentas de manutenção disponíveis para aplicação em transformadores e reatores.

Dada a sua importância como técnica de manutenção preditiva, uma seção específica trata apenas da análise de gases dissolvidos no óleo, abordando desde a formação dos gases, incluindo as normas existentes e suas interpretações, até mesmo a tarefa de retirada de amostra de óleo isolante. Da mesma forma é dedicada uma seção para os ensaios físico-químicos do óleo isolante, divididos em 03 grupos: G1) Ensaios mínimos para monitorar a condição do óleo; G2) Ensaios adicionais para obter informações específicas sobre a condição do óleo; G3) Ensaios para determinar a conformidade do óleo, assegurando o cumprimento de requisitos especificados das normas e especificações técnicas.

Como exemplo dos estudos relacionados com óleo mineral isolante, a tabela 1 mostra uma relação entre problemas no transformador ou reator, classificando a influência dos problemas no parâmetro medido do óleo.

Tabela 1 - Relação entre problemas no Transformador ou Reator e parâmetros do óleo.

PARAMETROS DO ÓLEO	PROBLEMAS NO TRANSFORMADOR OU REATOR								
	SUPERAQUECIMENTO			DESCARGA PARCIAL			SISTEMA DE PRESERVAÇÃO DO ÓLEO / VEDAÇÃO		
	Núcleo	Conexão	Enrolamento / Refrigeração	Óleo	Papel	Óleo/Papel	Ruptura	Vazamento de óleo	Entrada de água
Acidez/TIF	A	A	A	B	B	B	B	B	A
	1, 2	1, 2	1, 2						2
Cor	A	A	A	B	B	B	B	B	B
	1,2	1,2	1,2				2		
Teor de Água	B	B	A	B	A	A	B - M	M	A
			5,6		5,6	5,6	6		8
Rigidez	B	M	A	A	M	A	M	M	A
		3,12	4,6,12	11		5,6,12	6	7	8
Fator de Dissipação	A	A	A	B	B	B	B	B	A
	1,2	1,2	1,2				2		9
Teor de Gás	A	A	A	A	A	A	A	M	B
	1,10	1,10	1,10	1,10	1,4,10	1,4,10	7	10	7

LEGENDA			
INFLUÊNCIA DO PROBLEMA NO PARÂMETRO DO ÓLEO	PROBLEMA NO TRANSFORMADOR		
A – Alta	1 – Degradação do óleo	5 – Envelhecimento do papel	9 – Água, Sedimentos, Emulsões
M – Média	2 – Envelhecimento do óleo	6 – Produção de água	10 – Produção de gás
B – Baixa	3 – Carbonização do óleo	7 – Ar dissolvido	11 – Bolhas
	4 – Degeneração do papel	8 – Água	12 – Partículas

As diversas técnicas de ensaios elétricos básicos (por exemplo, resistência do enrolamento, capacitância e fator de potência, resistência do isolamento, medição da relação de transformação) e avançados (por exemplo, medição de descargas parciais por 03 métodos, ensaio de tensão induzida no campo, método de tensão de retorno) são abordados no guia de manutenção de forma didática e ilustrada. Como anexo, o guia propõe a adoção de formulários para a execução das atividades de ensaios básicos pelas equipes de manutenção.

A experiência das empresas concessionárias que participaram do desenvolvimento do guia é traduzida na produção de um sub-capítulo que indica as tarefas de manutenção a serem realizadas nos equipamentos de forma energizada e desenergizada.

5.0 - REPARO DE TRANSFORMADORES E REATORES

O capítulo 06 do guia aborda as atividades relacionadas com as diversas etapas com o reparo de equipamentos em campo, na oficina da contratante e na oficina da empresa contratada.

Foram abordadas as etapas de infraestrutura, segurança e meio ambiente, treinamento e gestão de conhecimento, garantia, transporte, além de toda a abordagem técnica inerente as mesmas.

Para uma melhor definição sobre a tomada de decisão mais adequada a depender da complexidade do reparo, foi definida uma tabela com uma classificação dos reparos dividindo-os em cinco grupos, como mostra a tabela 2.

Tabela 2 – Grau de complexidade dos reparos

Grau de complexidade	Serviços
1	Reparos sem necessidade de retirar a tampa principal do tanque. Todo trabalho é possível ser realizado externamente, ou através de janelas de inspeção ou internamente com entrada de pessoal de manutenção no equipamento. Exemplo: Correção de contatos inadequados, falha envolvendo cabos para massa, substituição de buchas, substituição de CDC, trincas em soldas no tanque, etc.
2	Reparos com necessidade de retirar a tampa principal do tanque do transformador / reator, sem retirar a parte ativa. Exemplo: Reparo de vazamentos na tampa principal, etc.
3	Reparos com necessidade de retirar a tampa principal do tanque do transformador / reator, com necessidade de retirar a parte ativa do tanque. Exemplo: Reparo em alguns tipos de comutadores, correção de aterramentos na parte inferior do núcleo, cabos e conexões de difícil acesso, etc.
4	Reparos envolvendo bobinas com necessidade de desmontagem do jugo superior do núcleo e retirada / substituição de uma ou mais bobinas. Exemplo: Falha envolvendo bobinas.
5	Reparos onde seja necessário posicionar o núcleo na horizontal para reparos / reaperto / reembalamento de chapas de aço silício ou troca dos canais de refrigeração do núcleo. Exemplo: Falha envolvendo bobinas e núcleo.

Concluindo este capítulo, é realizada uma avaliação comparativa entre as possibilidades de reparo na própria empresa contratante e na empresa contratada.

6.0 - MONITORAMENTO ON-LINE CONTÍNUO

O último capítulo do guia é destinado especificamente ao monitoramento *on-line* contínuo de transformadores e reatores, onde são abordadas a estrutura básica de um monitoramento, os subsistemas que são monitorados (por exemplo, buchas, parte ativa e outros), as funções do monitoramento disponíveis (por exemplo, estado de isolamento das buchas, envelhecimento da isolamento e outros), as grandezas monitoradas (capacitancias, corrente de fuga, temperatura, ...), arquiteturas e protocolos de comunicação.

Os modos de falhas dos sistemas de monitoramento levantados pelas empresas fornecedoras e as empresas concessionárias, assim como a seção sobre a manutenção do próprio sistema de monitoramento, mostram a experiência acumulada ao longo dos últimos anos com o considerável aumento no número de ativos monitorados no sistema elétrico.

7.0 - CONCLUSÃO

O trabalho desenvolvido pelo GT A2.05 do Cigré Brasil possibilitou a confecção de um guia de manutenção para transformadores e reatores que reunisse a experiência técnica das principais empresas concessionárias do setor elétrico brasileiro, em conjunto com os principais fornecedores de ativos e seus componentes no Brasil, resultando em um trabalho prático, didático e abrangente.

As contribuições do guia tem aplicação tanto para profissionais de engenharia de manutenção como para as equipes de execução da manutenção. Exemplos destas são: a orientação quanto a formação de equipes e suas capacitações adequadas, indicação quanto as tarefas de manutenção a serem realizadas com os equipamentos energizados e desenergizados, orientações quanto a tomada de decisões relacionadas com manutenção corretiva, reparo de equipamentos e mesmo adoção de sistema de monitoramento, dentre outras.

Além das contribuições, o guia resultou em uma referência bibliográfica indicada para a formação de profissionais da área de manutenção ou ainda como apoio para a definição de estratégias de manutenção aplicada em transformadores e reatores.

8.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) Guia de Manutenção para Transformadores e Reatores Shunt; GT A2.05 – CIGRÉ Brasil, 2013;
- (2) Guide for Transformer Maintenance; WG A2.34 – CIGRÉ Internacional, 2010;