

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

**BROCHURA “MELHORES PRÁTICAS PARA ESPECIFICAÇÃO DE TRANSFORMADORES DE POTÊNCIA E  
REATORES DE DERIVAÇÃO”**

**JANAINA GOMES DA COSTA(1);ROBERTO IGNACIO DA SILVA(2);GILBERTO AMORIM  
MOURA(3);ROBERTO ASANO JUNIOR;HAMILTON BATISTA DE OLIVEIRA;TIAGO BANDEIRA  
MARCHESAN;FIEL RIBEIRO MATOLA FILHO;PAULO ROBERTO COSTA DA SILVA  
CEMIG GERACAO E TRANSMISSAO S.A(1);CARGILL AGRÍCOLA S.A.(2);TREETECH(3)**

**RESUMO**

Este artigo busca apresentar importantes aspectos da brochura “melhores práticas para especificação de transformadores de potência e reatores de derivação”, elaborado pelo GTA209 dentro do CEA2 do Cigrè Brasil. Esta brochura poderá ser utilizada como referência para consulta e preparação de especificações para aquisição destes equipamentos e organiza requisitos para especificação técnica tendo como base brochuras técnicas nacionais e internacionais do Cigrè, bem como incorpora o resultado da análise de diferentes aspectos presentes nas especificações técnicas de empresas tradicionais de nosso país, normas técnicas nacionais e internacionais e novas tecnologias e soluções que favorecem a conciliação entre custos competitivos, qualidade e confiabilidade a longo prazo.

**PALAVRAS-CHAVE:** Transformador, reator, especificação

**1.0 INTRODUÇÃO**

No final de 2016, com o objetivo de elaborar uma brochura técnica de referência e apoio para elaboração de especificações técnicas para aquisição de transformadores de potência e reatores de derivação, foi formado o Grupo de Trabalho GT A2 09 dentro do Comitê de Estudos A2 Transformadores do Cigrè Brasil. Este grupo de trabalho teve como objetivo estabelecer recomendações de características de qualidade e engenharia relevantes para a vida útil e para a minimização das intervenções de manutenção dos ativos de maior valor agregado em uma instalação de transmissão e distribuição.

Desta forma, o trabalho foi pautado levando-se em consideração as seguintes dimensões:

- Econômica, zelando pela modicidade tarifária;
- Qualidade, considerando as particularidades ambientais e as configurações da rede elétrica nacional;
- Confiabilidade, buscando minimizar a necessidade de intervenções de manutenção, maximizando a disponibilidade;
- Manutenibilidade, com o objetivo de facilitar a manutenção diminuindo o tempo de indisponibilidade do equipamento;
- Segurança operacional e dos usuários.

O objetivo deste artigo é apresentar a estrutura e os principais destaques da brochura, a qual contou com a participação de representantes de concessionárias, compradores, fabricantes, fornecedores de matéria prima e acessórios, instituições de pesquisa e consultores. Seguem os principais pontos que serão apresentados no artigo:

- Motivação do trabalho;
- Estruturação dos capítulos e temas gerais abordados na brochura com o destaque para as principais práticas recomendadas para a especificação técnica de transformadores e reatores;
- Estado-da-arte em relação a referências nacionais e internacionais normativas, brochuras técnicas, artigos técnicos e demais literaturas de referência;
- Desafios enfrentados ao longo do trabalho.

**2.0 MOTIVAÇÃO DO TRABALHO**

Entre as motivações para a elaboração da brochura estava a busca pela modicidade tarifária e a garantia de segurança do fornecimento de energia elétrica. Ambos os princípios são fundamentais para o setor elétrico brasileiro

e, o equilíbrio entre eles, depende do avanço na definição dos requisitos técnicos dos equipamentos e dos sistemas utilizados em nosso país. Os transformadores e reatores de potência são os equipamentos de elevado custo e responsabilidade para o sistema, e os elevados níveis de concorrência do setor elétrico, muitas vezes levam a reduções nas exigências aplicadas nas especificações técnicas destes equipamentos, buscando-se o menor custo. Entretanto, o princípio da modicidade tarifária deve ser equilibrado com a garantia de segurança operacional e confiabilidade dos equipamentos. Assim, o balanço entre tais princípios depende de aprimoramentos e aprofundamentos nas exigências das especificações técnicas preparadas pelos agentes do setor elétrico brasileiro que, por vezes, carecem de direcionamento qualificado para auxílio.

### 3.0 ESTRUTURAÇÃO DOS CAPÍTULOS E TEMAS GERAIS ABORDADOS NA BROCHURA

A brochura técnica conta com 8 capítulos técnicos e 5 capítulos gerais, conforme relacionado abaixo. Não pretende-se com esta brochura o estabelecimento de requisitos normativos, mas sim, oferecer informações adquiridas com a prática para somar ou mesmo esclarecer estes requisitos.

Capítulo 1: Objetivo  
 Capítulo 2: Histórico  
 Capítulo 3: Terminologia e definições  
 Capítulo 4: Escopo e normas técnicas  
 Capítulo 5: Características da instalação e considerações ambientais  
 Capítulo 6: Condições operativas do sistema  
 Capítulo 7: Requisitos construtivos  
 Capítulo 8: Documentação contratual  
 Capítulo 9: Design reviews  
 Capítulo 10: Gerenciamento da qualidade  
 Capítulo 11: Transporte, montagem e comissionamento  
 Capítulo 12: Conclusão  
 Capítulo 13: Bibliografia

Nos próximos tópicos serão destacadas as principais práticas recomendadas para a especificação técnica de transformadores e reatores de potência constantes nos capítulos técnicos.

#### 3.1 - Escopo e normas técnicas

Neste capítulo as normas técnicas aplicáveis à transformadores são relacionadas. É recomendado que a especificação contenha requisitos padronizados previstos nas normas nacionais e internacionais. Sugere-se considerar a adequação de normas específicas ou até mesmo a revisão aplicável de uma norma para uma aplicação específica.

Um ponto a se avaliar é o caso de na especificação técnica haver requisitos técnicos superiores aos normalizados, de forma que assim prevaleçam os especificados. Já caso a especificação técnica apresente requisitos inferiores aos normalizados, seja para redução de custo ou otimização, esta condição deve ser tecnicamente fundamentada e claramente explicitada uma vez que esta ação poderá ter implicações no desempenho do equipamento e retira o amparo jurídico da norma.

#### 3.2 – Características da Instalação e Condições Ambientais

Alguns aspectos característicos dos transformadores podem causar impactos ao meio ambiente onde serão instalados. O alcance destes impactos varia com as características construtivas do equipamento e das particularidades do ambiente, e deve ser considerado na Especificação Técnica. Portanto, neste capítulo serão tratadas as principais condições que podem impactar o meio ambiente. É importantíssimo que o comprador exija o cumprimento das normas nacionais e estrangeiras e principalmente das leis ambientais no âmbito federal, estadual e municipal, bem como as normas internas da empresa contratante, em todas as etapas do fornecimento.

#### 3.3 – Condições operativas do sistema

Neste capítulo são apresentadas as condições operativas do sistema impostas aos transformadores as quais devem constar da sua especificação de aquisição. São abordadas as considerações sobre os seguintes itens:

- Descrição geral da rede;
- Coordenação de isolamento e solicitações dielétricas impostas pelo sistema;
- Métodos de ligação e proteção do terciário;
- Exigências para a suportabilidade a curto-circuitos;
- Sobre-excitação;

- Magnetização;
- Harmônicos;
- Condições de carregamento e sobrecarga;
- Intercambiabilidade;
- Perdas e eficiência energética

A descrição geral do sistema, indicando a função do transformador, ou seja, se irá operar no sistema de distribuição, transmissão ou geração deve constar da especificação, bem como o sentido do fluxo de potência o qual o transformador irá operar.

Para a coordenação de isolamento e solicitações dielétricas impostas pelo sistema é tradicionalmente especificado os valores para as formas de onda padronizadas. Entretanto com o aumento da classe de tensão dos sistemas de transmissão de energia aliado a novas tecnologias de isolamento e interrupção, tem gerado diferentes solicitações que implicam no estudo cuidadoso da interação do transformador com o sistema elétrico de potência. Esta é uma abordagem principalmente sugerida para casos em que o transformador a ser especificado seja aplicado em subestações blindadas, novas tecnologias de disjuntores e seccionadoras e FACTs, os quais provocam diferentes transitórios no sistema, até então desconsiderados no projeto de coordenação de isolamento do equipamento. Ainda, a comutação de disjuntores a vácuo e SF6 possuem características específicas que devem ser consideradas no projeto das solicitações dielétricas do transformador. Tais solicitações, para definição da coordenação do isolamento, podem não estar abrangidas por ensaios normatizados e devem ser criteriosamente analisadas e especificadas.

Sobre os métodos de ligação e proteção do terciário, para a sua proteção contra impulsos atmosféricos e surtos de manobra, além dos surtos transferidos, utiliza-se a instalação de para-raios em seus terminais e normalmente a sua definição vem de estudos de coordenação de isolamento. Outra forma de proteção é especificar o terciário considerando um aumento no NBI do enrolamento e de suas buchas. Este enrolamento é muito utilizado para compensar as correntes de terceiro harmônico oriundas da corrente de magnetização dos enrolamentos principais, além de poder ser utilizado para alimentação de pequenas cargas ou serviços auxiliares em subestação. Sua utilização em transformadores trifásicos ou em banco de transformadores monofásicos, apresenta a desvantagem de aumentar o custo e dimensões do equipamento como também reduz a confiabilidade geral do equipamento, uma vez que construtivamente existe um enrolamento adicional, e uma eventual falha no enrolamento terciário pode tornar o transformador inoperante.

Com relação às exigências para suportabilidade à curto-circuitos, o transformador, juntamente com todos os equipamentos e acessórios, deve ser projetado e fabricado para resistir sem danos, aos efeitos mecânicos e térmicos de sobrecorrentes causadas por curto-circuito nos terminais de qualquer um de seus enrolamentos conforme previsto na ABNT NBR 5356-5. Merece atenção especial a especificação do nível de curto circuito nos terminais do enrolamento terciário e sua utilização. Para limitação da corrente de curto-circuito no terciário pode ser usado reator limitador de corrente conectado em série ao enrolamento, o que permite a redução da potência de dimensionamento deste enrolamento.

Sobre a avaliação da suportabilidade à curto-circuitos através de ensaios, por se tratar de uma solicitação especial, o ensaio de curto-circuito deve estar claramente especificado. Deve-se levar em conta o elevado custo envolvido, a logística complexa para a realização desse ensaio, bem como o histórico de ocorrências de falhas, tempos de atuação e efetividade da proteção no local de operação do equipamento.

A sobre-excitação é abordada neste capítulo uma vez que é característica importante que deve constar na especificação técnica do equipamento. Algumas das causas de sobre-excitação em transformadores são: partida e desligamento de geradores; operação indevida ou falha de geradores; operação de disjuntores e chaves; manobras de operação do sistema e mudanças no carregamento do equipamento.

O transformador pode também estar sujeito a harmônicos de tensão e corrente oriundos do sistema. Os harmônicos de tensão são determinantes no projeto do circuito magnético do equipamento, enquanto que os harmônicos de corrente são determinantes no dimensionamento térmico do equipamento. O conteúdo harmônico do sistema pode ser minimizado pela aplicação de filtros, no entanto, em casos dos níveis estipulados pela ABNT NBR 5356-1 serem excedidos, o espectro de frequências deve fazer parte da documentação técnica disponibilizada ao fabricante do transformador calculadas para as harmônicas mais significativas.

No que diz respeito às condições de carregamento e sobrecarga, o ciclo de carregamento em condição normal de operação é aquele no qual em nenhum momento pode ser excedida a temperatura do topo do óleo ou a do ponto mais quente do enrolamento para a condição normal, mesmo que, em parte do ciclo, seja ultrapassada a potência nominal. Já no ciclo de carregamento em condição de emergência de longa duração, permite-se que sejam ultrapassados os limites de temperatura do ciclo de carregamento em condição normal de operação, uma vez que são decorrência de desligamentos prolongados de outros transformadores do sistema. A norma ABNT NBR 5356-7, a qual recentemente substituiu a ABNT NBR 5416, apresenta valores aceitáveis de temperatura para as condições de ciclo de operação normal e em condições de sobrecarga. Para os transformadores conectados ao sistema interligado nacional, deve ser especificado o ensaio de tipo de elevação de temperatura em sobrecarga para

comprovar o atendimento aos requisitos funcionais descritos nos documentos de outorga, com o regime de carregamento pretendido e com a expectativa de vida útil regulamentada. A descrição detalhada do ensaio, bem como recomendações específicas relativas à capacidade de carregamento de um transformador constam da Nota Técnica ONS NT 038 – “Ensaio de elevação de temperatura de transformadores em sobrecarga”.

Em alguns projetos deverá ser verificado se os equipamentos podem ser intercambiáveis entre si, isso significa a possibilidade de se utilizar uma unidade no lugar da outra sem necessidade de adaptações e ajustes. Um requisito essencial a ser verificado é quanto suas características elétricas: as unidades devem ter necessariamente características iguais (tensão, impedância, comutação, níveis de isolamento, etc.). As quantidades, número de enrolamentos e classes de exatidão dos transformadores de corrente das buchas e tensões auxiliares serem idênticas, também são fatores essenciais para intercambialidade.

Sobre perdas e eficiência energética, estas são parâmetros importantes na definição do projeto de um transformador, apresentando impacto direto no tamanho e peso da parte ativa, na capacidade do sistema de resfriamento, bem como no custo e eficiência do equipamento. As normas associadas a transformadores de potência, não definem valores e sim diretrizes para escolha de níveis de eficiência ou mesmo recomendações, ficando a cargo das especificações a definição clara dos valores. Exceção se faz para os transformadores aplicados à rede básica, uma vez que o procedimento de rede prevê percentuais máximos para as perdas totais de autotransformadores e transformadores monofásicos ou trifásicos de qualquer potência, com tensão nominal do enrolamento de alta tensão igual ou superior a 230 kV.

### 3.4 – Requisitos construtivos

Para o projeto de transformadores, os requisitos construtivos são de suma importância, pois essa determinação nos garante a equalização das propostas técnicas e comerciais dos proponentes, já que o valor final está associado a esses requisitos. Definições de como serão os projetos do núcleo, quais materiais isolantes serão utilizados, os requisitos para projeto mecânico (que têm interfaces com outras disciplinas como civil, proteção e controle, telecomunicações, sistema de proteção contra incêndio, montagem eletromecânica entre outras), os acessórios utilizados, as buchas escolhidas, as características dos comutadores de derivações, os componentes que serão monitorados de forma on-line e as considerações gerais sobre a especificação de peças sobressalentes, nos faz atentar para a importância de uma especificação clara e objetiva.

No capítulo Requisitos Construtivos são abordadas as considerações sobre os seguintes itens:

- Sistema de resfriamento;
- Construção do núcleo;
- Requisitos mecânicos;
- Materiais isolantes;
- Buchas;
- Comutadores de derivações;
- Monitoramento on-line contínuo;
- Acessórios e demais componentes;
- Acessibilidade e facilidades para a manutenção;
- Peças sobressalentes.

Sobre o sistema de resfriamento, neste capítulo é abordado os mais usuais e utilizados no Sistema Interligado Nacional em relação à todas as possibilidades previstas na ABNT NBR 5356-2, deixando claro a importância de determinar as condições ambientais das instalações.

No que tange à construção do núcleo, aqui são apresentados como deve ser a sua constituição, principalmente no que tange ao controle de rebarbas, os elementos de fixação, previsão para içamento e as temperaturas para quais ele deve ser especificado.

Estabelecer os requisitos mecânicos mínimos aplicáveis ao projeto e fabricação é o objetivo do item requisitos mecânicos dentro deste capítulo, dando clareza a importância das etapas de um projeto, que são: requisitos técnicos para o projeto estrutural de partes pressurizadas, projeto de componentes mecânicos (suportes, apoios para macaco, olhais de içamento, entre outros), fabricação e processos e disposição dos acessórios e facilidades de manutenção mecânica.

Em referência aos materiais isolantes são apontados os principais requisitos para os isolantes sólidos como: isolamento dos condutores dos enrolamentos, calços radiais e axiais e barreiras sólidas. Apresenta-se os tipos de papéis comumente utilizados, além de pontuar os isolantes líquidos mais usuais e a utilização dos isolantes líquidos a base de óleos vegetais.

No item buchas é pontuado que ela é um dos componentes mais críticos a ser instalado nos transformadores de potência. Embora suas características principais, tensão de operação e corrente, sejam diretamente extraídas das características nominais do transformador, os detalhes pertinentes ao próprio equipamento são muito específicos e requerem especial atenção do responsável por sua definição e encomenda. São apontados os pontos em que o comprador deve se atentar na hora de sua especificação.

Sobre os comutadores de derivações, são apresentadas características que devem ser consideradas na determinação destes, desde os dados principais como número de posições até a tecnologia para extinção do arco elétrico durante a comutação empregada. Ressalta-se ainda uma parte especial sobre o acionamento motorizado e sistema de transmissão.

Com relação ao monitoramento on-line contínuo, que é uma ferramenta essencial nos sistemas elétricos, a aquisição deste em conjunto com o transformador é justificada nesse tópico relacionando os benefícios reconhecidos nas áreas de Manutenção, Engenharia, Operação e do Negócio. A apresentação em tabelas Subsistemas x Funções de monitoramento e Subsistemas x Sensor/IEDs x Grandeza/Parâmetro auxilia na definição dos componentes do sistema. Também são descritos os requisitos de preparação do transformador para posterior implantação de um sistema de monitoramento, sem intervenções invasivas para instalar sensores.

Não menos importante no capítulo, o tópico dos acessórios aplicáveis à transformadores relaciona e apresenta requisitos de especificação necessários a estes. São exemplos de acessórios presentes no capítulo: sistema de preservação do óleo, sistema externo ao conservador, sistemas internos ao conservador, tanque principal selado, respiração livre, radiador, trocador de calor, bombas para circulação de óleo, ventiladores, vedações, medidores, indicadores e relés, indicadores de nível de óleo, relé detector de gás tipo buchholz, dispositivo de alívio de pressão, indicador de fluxo, armário de controle e transformadores de corrente.

Quanto à Acessibilidade e Facilidades para a Manutenção, o trabalho recomenda características construtivas para os transformadores e alguns dispositivos para facilitar a acessibilidade, ergonomia e a segurança durante as intervenções de manutenção, indicando que tais cuidados ajudam a reduzir o MTTR (Mean Time to Repair), aumenta a disponibilidade do equipamento e colaboram com a saúde do trabalhador.

Para finalizar o capítulo é colocado que a aquisição de acessórios sobressalentes é estratégica e deve ser preferencialmente prevista no fornecimento do equipamento, além disso é feita considerações gerais sobre a especificação dessas peças.

### 3.5 – Documentação contratual

A documentação de um transformador é essencial para a comprovação de requisitos de especificação, para permitir o adequado desenvolvimento do projeto executivo da subestação e para a adequada manutenção do equipamento e seus acessórios ao longo de sua vida útil.

Neste capítulo foram relacionados os desenhos construtivos, relatórios de ensaio de acessórios, certificados de matéria-prima os quais são importantes durante o processo de fornecimento em suas diferentes etapas e devem constar da especificação técnica.

### 3.6 – Design Review

O Design Review (revisão de projeto), é etapa de fundamental importância, frente as diferentes necessidades impostas pelo Sistema Elétrico de Potência, para que fabricante e comprador possam tratar de assuntos importantes ao projeto e fabricação do transformador.

É durante esta etapa de interação, a qual sugere-se que ocorra tão logo o fabricante tenha concluído o cálculo e projeto do transformador, antes de liberá-lo para fabricação e antes da aquisição dos principais insumos, que as discussões permitem o entendimento completo de todos os requisitos para correta e confiável operação do transformador quando instalado em campo.

Tipicamente, nesta etapa do projeto, o comprador envia um questionário técnico a ser respondido pelo fabricante com antecedência suficiente para que suas respostas sejam analisadas em preparação à reunião de design review. Cabe ao comprador designar representante(s) que possua(m) a expertise necessária ao entendimento e à avaliação do projeto apresentado, das ferramentas e metodologias de cálculo, dos materiais utilizados e da experiência do fabricante.

Ainda, deve-se prever uma duração considerável para o design review, sendo esta e a data de realização acordadas previamente entre fabricante e comprador. Deverá preceder a reunião de design review a apresentação de documentos essenciais que possam ser analisados previamente pelo comprador, tais como: desenhos preliminares, do plano de inspeção e teste, do cronograma de fabricação e da documentação técnica do design review.

Cabe ao fabricante disponibilizar modelos e estudos desenvolvidos durante a fase de revisão de projeto, para que o comprador possa realizar estudos futuros se necessário. A disponibilização de modelos e estudos podem acarretar em informações confidenciais, onde a assinatura de termos de confidencialidade entre as partes podem ser necessários. Porém, tal fato não pode ser impedimento a disponibilização de informações que garantam o melhor conhecimento do equipamento pelo comprador, com vistas a realização de estudos complementares, que propiciem, inclusive, futuras expansões sistêmicas com maior confiabilidade.

A documentação técnica do design review deverá compreender, no mínimo, as recomendações integrantes do “Guidelines for Conducting Design Reviews for Power Transformers 100MVA and 123kV and above” do CIGRÉ, onde as características fundamentais de projeto devem ser consideradas e discutidas, tais como: circuito magnético, características dos enrolamentos, isolamento, esforços de curto-circuito, análises de alta frequência (memorial de cálculo do isolamento) e aspectos gerais bem como estudos específicos que possam ser necessários.

### 3.7 – Gerenciamento da qualidade

Com o objetivo de atender a todos os requisitos técnicos exigidos pelas normas nacionais e internacionais (ABNT, IEC, IEEE, etc), direcionadas a fabricação de transformadores de potência e reatores, torna-se imprescindível que o responsável técnico pela elaboração da especificação técnica, atente-se plenamente com a qualidade do processo de fabricação destes equipamentos.

Desta forma, o capítulo sobre “Gerenciamento da Qualidade” da brochura técnica, abordará os principais aspectos necessários, para que engenheiros e engenheiras possam avaliar corretamente, os “Planos de Inspeção e Controle de Qualidade”, elaborados pelos fabricantes de transformadores e reatores, de tal forma que a especificação dos materiais, componentes, processos e equipamentos periféricos, utilizados na fabricação dos transformadores de potência e reatores possam atender às necessidades mínimas de projeto e atingir a “Vida Útil Regulatória”.

Neste capítulo também são abordados basicamente, todos os ensaios de rotina, tipo e especiais indicados para reatores e transformadores de potência. Para cada ensaio foi feita uma explanação básica, sempre referenciada a norma ABNT 5356 e quando aplicável, as práticas e experiências do grupo foram incluídas, a fim de que o responsável técnico pela especificação possa avaliar melhor o custo x benefício, principalmente com relação a especificação dos ensaios de tipo e/ou especiais. São abordados também, as particularidades sobre “Ensaio Especiais Não Normatizados”, aplicados a transformadores submetidos a “Transientes de Manobra não Convencionais” ou “Transientes de Frente Rápida” (Very Fast Transients – VFT).

### 3.8 – Transporte, montagem e comissionamento

O capítulo referente a transporte, montagem e comissionamento, visa apresentar de forma sumária, os principais itens e condições técnicas-administrativas, a serem pontuadas nas especificações técnicas.

São abordados tópicos referentes às condições de embalagem, acondicionamento dos acessórios, restrições de trajeto e a possibilidade de realização de ensaios especiais, necessários para averiguar a secagem da parte ativa (URSI), bem como atestar possíveis danos mecânicos ocorridos durante o transporte (FRA).

Referente às etapas de montagem e comissionamento, o capítulo traz orientações sobre a necessidade de estabelecer de forma clara e objetiva, no termo contratual, as responsabilidades entre comprador e fornecedor, afim de que estas atividades transcorram da melhor forma possível e sem maiores adversidades.

## **4.0 - ESTADO-DA-ARTE EM RELAÇÃO A REFERÊNCIAS NORMATIVAS INTERNACIONAIS, BROCHURAS TÉCNICAS, ARTIGOS TÉCNICOS E DEMAIS LITERATURAS DE REFERÊNCIA**

Embora os transformadores sejam amplamente conhecidos e aplicados nos sistemas de potência por décadas, especificá-lo requer cuidado e a atualização constante da equipe de engenharia. Seja pelas novas tecnologias que são disponibilizadas e podem melhorar custos, desempenho ou confiabilidade para aplicações específicas, seja pelas alterações do sistema e a introdução de diferentes requisitos para a operação longa e segura do transformador.

Conhecer o conteúdo das normas e suas atualizações é essencial. Ainda que muitas vezes, e como esperado, as mudanças tecnológicas ocorrem antes que o arcabouço normativo possa ser organizado para contemplar os novos requisitos. A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) é a entidade responsável pela normalização técnica no Brasil. A ABNT é responsável pela elaboração das Normas Brasileiras (ABNT NBR) [1]. Através dos especialistas voluntários que se reúnem periodicamente, as normas brasileiras recebem atualizações num processo naturalmente lento de assimilação das experiências coletivas da indústria. Apesar da inspiração nas normas da IEC (International Electrotechnical Commission), as normas ABNT NBR trazem os avanços e necessidades locais, algumas vezes adiante da própria IEC.

Recentemente, todavia, além das normas essenciais para especificação de transformadores e reatores imersos em óleo (IEC 60076 partes 1 a 10), os especialistas internacionais já estão incorporando conhecimento específico para requisitos e tecnologias em suas normas como pode ser o caso da IEC 60076 parte 14 para uso de sistemas operando a temperaturas acima das convencionais ou da IEC 60076 parte 16 focada na aplicação combinada com geradores eólicos ou ainda da IEC 60076 parte 20 sobre eficiência energética [2], um tema cada vez mais importante. Algumas dessas novas partes já estão em estágio avançado de discussão no ambiente da ABNT NBR, mas é importante para o engenheiro que especifica transformadores estar atento para as revisões e novas publicações internacionais também.

Tanto no cenário internacional como no nacional, o Cigre tem apoiado a indústria com um ambiente idôneo para permitir o debate técnico e compartilhamento de conhecimento de maneira a acelerar a assimilação de novas tecnologias e requisitos para operação dos transformadores e reatores. Os documentos elaborados pelo Cigre são muitas vezes utilizados para subsidiar o aprimoramento das próprias normas. As brochuras do Cigre são relatórios técnicos disponíveis para todos os membros e que relatam o estado da arte e centenas de anos de experiência dos autores e colaboradores de todo o mundo. As brochuras internacionais são disponibilizadas online no e-Cigre [3] e as nacionais no site do Cigre-Brasil [4]. Recentemente foram desenvolvidos importantes trabalhos para interpretação de ensaios e diagnóstico, avaliação da condição do equipamento e confiabilidade de seus componentes, manutenção e modelagem de transformadores e reatores.

Assim, o envolvimento ativo nas atividades e grupos de trabalho do Cigre, como neste grupo de trabalho A2.09, também se torna um importante instrumento para ajudar ao engenheiro que deseje permanecer atualizado. Além de colaborar para a evolução da indústria com a própria experiência, permite ao participante conhecer seus pares e ampliar seu horizonte de conhecimento para antecipar as mudanças e, nas próprias empresas ou em conjunto, propor soluções robustas e inovadoras para transformadores e reatores no futuro.

## 5.0 – DESAFIOS ENFRENTADOS AO LONGO DO TRABALHO

Um dos grandes desafios enfrentados ao longo do trabalho, foi a ocorrência da pandemia – COVID-19, na área de saúde, que alterou a forma de execução dos trabalhos, e causou uma desestruturação do planejamento inicial do desenvolvimento dos trabalhos, que foram realizados em grupo presenciais, no período de 2017 a 2019, e diante deste desafio, foi alterada a logística das reuniões, as quais passaram a serem remotas, nos períodos de 2020 e 2021, e mesmo assim, obtendo uma boa interação entre os participantes do grupo, no sentido de atingirmos a conclusão deste trabalho.

Outro grande desafio enfrentado pelo grupo de trabalho, e referente ao campo técnico, foi a busca por textos isentos de interesses particulares, e que apresentassem as informações coerentes e adequadas ao propósito do trabalho.

E ainda, cabe ressaltar que os resultados obtidos neste trabalho, foram, em todo o seu percurso, monitorados para fornecerem informações atuais das condições técnicas, referentes às melhores práticas para estudo e elaboração de especificações de transformadores de potência e reatores de derivação, no sentido de contribuir para uma melhora significativa em relação a confiabilidade e qualidade dos estudos, bem como permitir a compreensão das técnicas relacionadas a tais equipamentos.

## 6.0 – CONCLUSÃO

O artigo apresenta os importantes aspectos na confecção da brochura “melhores práticas para especificação de transformadores de potência e reatores de derivação”, a qual poderá ser utilizada como referência para consulta e preparação de especificações para aquisição destes equipamentos, e sem dúvidas, se tornará importante referência para o setor elétrico brasileiro.

## 7.0 – REFERÊNCIA

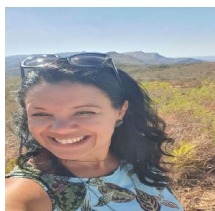
(1) ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas, disponível online: [www.abnt.org.br](http://www.abnt.org.br), visitado em 09/09/2021.

(2) IEC - TC 14 Dashboard > Projects / Publications: Work programme, Publications, Stability Dates, Project files, disponível online: [www.iec.ch/dyn/www/f?p=103:22:710500706561144:::FSP\\_ORG\\_ID,FSP\\_LANG\\_ID:1224,25](http://www.iec.ch/dyn/www/f?p=103:22:710500706561144:::FSP_ORG_ID,FSP_LANG_ID:1224,25), visitado em 09/09/2021.

(3) e-cigre > Search, disponível em: [https://e-cigre.org/search\\_results.asp?page=1&nb\\_limit=9&keywords\\_title\\_ref=&publication\\_type=1&publication\\_sc=2](https://e-cigre.org/search_results.asp?page=1&nb_limit=9&keywords_title_ref=&publication_type=1&publication_sc=2), visitado em 09/09/2021.

(4) Brochuras - Cigre-Brasil, disponível em: <https://cigre.org.br/brochuras/>, visitado em 09/09/2021.

## 8.0 – DADOS BIOGRÁFICOS



Janaina Gomes da Costa (janaina.costa@cemig.com.br), natural de Belo Horizonte/MG. Concluiu o mestrado em 2003 e graduação em 2000, no curso Engenharia Elétrica pela Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais (PUC MINAS). Atua na gerência de Expansão da Transmissão da CEMIG GT, desde 2007, na função de engenheira sênior de projetos do sistema elétrico, responsável pela coordenação técnica da equipe de engenharia de equipamentos da expansão do sistema de transmissão. É professora do curso de Engenharia Elétrica, desde 2005, na PUC MINAS. Participa ativamente do comitê de estudos A2 Cigré-Brasil.

## (2) ROBERTO ASANO JUNIOR

Roberto Asano Jr. é engenheiro eletricitista (UNICAMP), MBA Executivo pela Universitat de Barcelona e Doutor em Energia (UFABC). Com ampla experiência em projeto elétrico e projeto da isolamento de transformadores, desempenhou atividades de P&D e gestão tecnológica internacionalmente. Ele tem contribuído para grupos técnicos e fóruns de normalização como os grupos de trabalho do CIGRE, a ABNT, IEC e IEEEstd. Atualmente, atua como consultor independente em projeto, fabricação, ensaios e diagnóstico de transformadores e como pesquisador (UFABC) em inteligência artificial, planejamento energético e renováveis. Dr. Asano tem participado de diferentes grupos de trabalho do Cigré e coordena o CE-A2.

## (3) HAMILTON BATISTA DE OLIVEIRA

Hamilton Batista de Oliveira - Engenheiro Eletricista formado pela Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais - PUC/MG (2002), possui pós graduação em Manutenção de Sistemas Elétricos pela Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI (2011) e MBA em Gestão Empresarial pela Fundação Getúlio Vargas - FGV (2020). Trabalhou na TOSHIBA DO BRASIL S/A, na área de ensaios elétricos em transformadores e reatores (1995 a 2004). Desde 2004 trabalha em FURNAS CENTRAIS ELÉTRICAS, onde atuou como engenheiro especialista na área de ensaios elétricos em equipamentos de transmissão (2004 a 2013). Atualmente gerencia a Divisão de Ensaio e Apoio à Manutenção em FURNAS.

## (4) TIAGO BANDEIRA MARCHESAN

Tiago Bandeira Marchesan possui graduação em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Santa Maria (2003- with first class honours) e doutorado em Engenharia Elétrica (2007) pela mesma Universidade, com estágio na Universidad de Oviedo, España. É diretor do Centro de Tecnologia da UFSM desde 2017. Foi Coordenador de Transferência de Tecnologia da UFSM (2014-2017). Atua como Professor do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica (CAPES conceito 6) e professor do Departamento de Eletromecânica e Sistemas de Potência da mesma Universidade. É Pesquisador no Instituto de Redes Inteligente e Unidade EMBRAPPI.

## (5) FIEL RIBEIRO MATOLA FILHO

Graduado em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal Fluminense, experiência na área de projetos eletromecânico de subestações de EAT/AT/MT e BT, parque eólico e fotovoltaico, analisando propostas técnicas, projetos básicos, executivos e de equipamentos. Hoje, atua na área de Engenharia em uma empresa EPCista como coordenador técnico eletromecânico, é discente da pós graduação em Equipamentos Elétricos de Alta Tensão na PUC-MG, além de participar no grupo de estudos do Cigré Brasil - GT A2-09 - Requisitos Técnicos e 'Melhores Práticas' para Especificação de Transformadores de Potência e Reatores de Derivação.

## (6) ROBERTO IGNACIO DA SILVA

Roberto Ignacio da Silva é Gerente Técnico para Líquidos Dielétricos na Cargill. Profissional com 25 anos de experiência em engenharia de equipamentos no setor de energia em indústrias multinacionais como ABB, Bosch e GE. Nos 14 anos de ABB, foi Gerente de Engenharia Mecânica da divisão Transformadores de Potência. Cursa Doutorado em Energia no IEE/USP. Possui Mestrado em Energia pela USP, MBA em Engenharia e Gestão de Produtos e Serviços pela USP, Gerenciamento de Projetos pela FIA e Engenharia Mecânica pela UBC. Membro do Cigré no comitê A2 Transformadores. Secretário da CE-03-14.01 Transformadores de Potência do COBEI/ABNT.

## (7) PAULO ROBERTO COSTA DA SILVA

Paulo Roberto Costa da Silva Graduado em Engenharia Elétrica pela PUC-MG, mestre em engenharia elétrica - eletromagnetismo, pelo CEFET-MG, especialista em Automação pela UFMG, MBA em Gerenciamento de Projetos pela FGV. Possui experiência de 31 anos na área de engenharia de transformadores de potência na empresa multinacional japonesa (Toshiba), atualmente atua como professor na pós-graduação em engenharia elétrica e controle / automação, na PUC-MG, diretor proprietário da PR&V Engenharia e Consultoria Ltda, sócio e membro do Cigré e assessor científico do Cigré-grupo A2 – transformadores.

## (8) GILBERTO AMORIM MOURA

Electrotécnico pela Escola Técnica Federal e matemático pela Univ. Federal do Espírito Santo (UFES-1998),



complementou a formação com estudos de Proteção de Sistemas Elétricos de Potência pela UNIFEI (CEPSE-2010) e Negócios Internacionais pela USP-SP (FIA 2007). Colaborador da Treotech, com 20 anos de trabalhos no setor elétrico, participou em importantes projetos de sistemas de gestão e diagnóstico on-line de ativos de subestações elétricas nas Américas, Portugal e Rússia. Participa no Comitê de Transformadores A2 do Cigré, com vários artigos publicados sobre modernização de subestações e ativos de alta tensão, como transformadores, reatores, disjuntores e seccionadores de AT.