



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

CB/GTM/09

22 a 25 de outubro de 2017  
Curitiba - PR

**GRUPO - XIII**

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

**ATUALIZAÇÃO DA ESPECIFICAÇÃO DE TRANSFORMADORES DE POTÊNCIA DA CHESF: DIRETRIZES**  
**SEGUIDAS E RESULTADOS OBTIDOS**

**Santhiago G. Montenegro (\*) Fábio N. Fraga Cinthia S.D.S. Xavier Benilton A.D. Nascimento**

**Vicente R. Simoni Fabiana D.S. Leal Fernando E.F. Freitas Italo D.S. Vilar Felipe F.S.D. Melo**

**Waldir R.D.A. Junior**

**CHESF**

**RESUMO**

O artigo proposto apresenta os desafios de modificar a especificação para aquisição de transformadores de potência de uma das maiores e mais antigas transmissoras de energia do Brasil, a Chesf usando as contribuições das áreas de engenharia e manutenção de subestações e estudos elétricos de sistemas.

A revisão usou como insumos do processo os seguintes aspectos e documentos:

- A especificação de transformadores até então utilizada pela Chesf;
- Estudos do sistema elétrico da Chesf;
- As experiências da Chesf em ensaios de fábrica;
- As normas pertinentes e os Procedimentos de Rede;
- Sugestões/requisitos de clientes internos e principais órgãos da Chesf envolvidos com o transformador durante o seu ciclo de vida;
- Guias de grupos de trabalho relacionados do Cigré.

A revisão da especificação foi motivada por experiências obtidas em ensaios, avanços na área de monitoramento de transformadores e experiências de campo, e o principal objetivo foi melhorar a competitividade da Chesf no setor de transmissão uma vez que todo empreendimento de transmissão envolvendo transformação é fortemente impactado pelos custos diretos com o transformador. Mais do que apenas reduzir o custo inicial do transformador, foi feita uma revisão dos requisitos da transmissora, visando reduzir o custo combatendo desperdícios e superdimensionamentos, procurando eliminar ou adequar parâmetros conservativos existentes e incluir tecnologias outrora impossíveis de agregar por serem inacessíveis, não confiáveis ou consideradas desnecessárias à época.

**PALAVRAS-CHAVE**

Especificação técnica, Aquisição de transformadores de potência

## 1.0 - INTRODUÇÃO

Os transformadores de potência de grande porte são equipamentos que complexos, de projeto bastante customizados conforme a necessidade do cliente e cuja fabricação ocorre em muitas etapas, algumas delas de maneira artesanal e com muitas variáveis de projeto correlatas. Assim, um desvio relativamente pequeno em algum dos parâmetros pode significar uma relevante economia, resultando, porém, em um equipamento menos robusto ou menos confiável. Por outro lado, parâmetros superdimensionados implicam um equipamento com custo muito elevado, levando à perda de competitividade da transmissora no cenário atual das concessões do sistema elétrico nacional, sobretudo no que tange a modicidade tarifária.

A aquisição de um equipamento dessa categoria exige que a transmissora possua uma especificação adequada às suas reais necessidades, reproduzindo tão exatamente quanto possível, o que se espera do equipamento em pontos importantes para a transmissora na busca de um projeto econômico.

Por se tratar de um equipamento com as características já citadas e que é o mais oneroso numa subestação, a especificação adequada de transformadores/autotransformadores de potência torna-se um documento estratégico para a competitividade da companhia transmissora em seus empreendimentos. Encontrar uma fórmula que leve ao produto com menor custo de ciclo de vida é o ponto ótimo a ser perseguido.

### 1.1 ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA - CONCEITOS BÁSICOS

A palavra especificar significa literalmente estabelecer explicitamente, em detalhes, ser específico. A palavra explicitamente deve ser ressaltada nesta definição uma vez que especificar tacitamente é uma fonte de desencontros entre o produto desejado e o produto proposto para fornecimento.

Especificar tecnicamente é estabelecer um conjunto bem claro de requisitos técnicos a serem satisfeitos por um produto, material ou serviço. A especificação técnica do equipamento é um documento formal do processo de fornecimento (licitação para empresas públicas como a Chesf) onde ficam estabelecidas as características do produto, objeto do contrato.

O propósito de uma companhia gastar homem-hora de seu pessoal técnico estabelecendo uma especificação técnica é bem definido em [1], que do ponto de vista da transmissora é formalmente comunicar exatamente o que deseja que o fornecedor lhe entregue, enquanto que da perspectiva do fabricante o propósito é estar apto a precisamente fornecer o produto ou serviço que provê solução satisfatória (técnica/comercial) para o cliente sem perder de vista a lucratividade do seu negócio. De maneira geral, uma especificação técnica bem elaborada evita percalços de relação entre fornecedor/cliente associados a variação de custos do produto ao casar o produto almejado pela transmissora com o produto cotado para fornecimento.

Uma especificação eficaz permite a competição entre os diferentes fornecedores disponíveis e garante que o menor preço para o mesmo produto prevaleça. Por outro lado, uma especificação ineficaz permite que os fornecedores disponíveis não cotem o mesmo produto para o fornecimento ao permitir diferentes interpretações para características do produto.

Com isso em mente, algumas boas práticas usadas na elaboração de uma especificação emergem:

- i) Os termos usados devem ser aqueles referenciados em normas pertinentes ou, no caso de eles não existirem nas normas referentes àquele produto, deve ser inserido na especificação o que se entende ao fazer referência àquele termo. Esse princípio evita duplicidade de interpretações que podem ocorrer durante todo o processo de fornecimento (ambiguidades, que se desejam maximamente ser evitadas);
- ii) Apenas se especifica o que pode ser verificado objetivamente que está sendo entregue, seja visualmente, seja através de cálculo, seja através de ensaio. Grandezas sujeitas a uma escala de subjetividade apenas servem para aumentar a complexidade da especificação, sem trazer nenhum benefício prático;
- iii) Comunicação é a palavra chave para que uma especificação cumpra seu papel num processo de aquisição. Os fornecedores não irão adentrar a mente do especificador para entender o que se quis dizer. A linguagem deve ser o mais simples possível. Cuidado especial deve se dar a textos que permitam dupla interpretação. Isso pode ser uma fonte de problemas no fornecimento. O ideal é que se tente ler o texto criticamente, tentando olhar por outros prismas se ele permite mais de um entendimento, além do entendimento que se deseja passar;

- iv) Os fornecedores dificilmente irão fornecer algo além do requerido na especificação, portanto, tudo o que se entende ser necessário ao produto deve estar bem estabelecido na especificação. Porém é necessário ter em mente que delimitar demais o produto a ser fornecido leva a um produto mais caro ao diminuir o grau de liberdade do fornecedor, ou seja, restringir. Somente características importantes para a transmissora devem ser especificadas em detalhes.

## 1.2 FUNÇÕES DE UMA ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA

As principais funções de uma especificação técnica são:

- i) Como documento do processo de compra, estabelecer os requisitos que o fabricante deve preencher, assim como o produto fornecido, além de servir de referência durante o processo de fornecimento do produto;
- ii) Permitir aos projetistas o entendimento da aplicação do produto e do sistema onde vai ser instalado, de forma que o mesmo possa suportar durante sua vida útil as condições ambientais, operacionais e de sistema da sua aplicação;
- iii) Permitir a competição justa entre fornecedores permitindo que eles “precifiquem” o mesmo produto, e possibilitando também que o menor preço para o produto com as mesmas características importantes seja o vencedor da licitação;
- iv) Possibilitar a compra do produto com o menor custo total no seu ciclo de vida (incluindo preço inicial, confiabilidade e manutenções). Embora isso não seja totalmente possível uma vez que ocorrências impactantes na confiabilidade do produto não são deterministicamente correlacionadas com as características do produto. No entanto, a transmissora trabalha com as margens de risco que está disposta a assumir tendo em vista o equilíbrio econômico entre diminuição da probabilidade de falhas e aumento dos custos do projeto;
- v) Fornecer uma memória sobre os requisitos do projeto do transformador com os quais o mesmo foi comprado. Essa característica da especificação é especialmente útil quando o transformador é remanejado da subestação durante seu ciclo de vida.

## 1.3 DESAFIOS PARA MELHORIA CONTÍNUA E CONTROLE DAS ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS NAS TRANSMISSORAS DE ENERGIA

A tarefa de especificar um produto complexo como um transformador de potência, para o sistema de transmissão de alta ou extra-alta tensão, envolve diversas áreas: Engenharia de subestações, estudos do sistema, normativo da manutenção, proteção, reparo de equipamentos e inspeção técnica são algumas das áreas envolvidas.

Cada área, no entanto, volta-se para evitar ocorrências indesejadas na sua área de atuação, o que pode superdimensionar características concernentes com sua área, sem se preocupar com os custos associados, ou com o impacto que uma modificação solicitada possa causar em outra área. Portanto, embora especificar seja uma tarefa multisetorial numa transmissora, deve caber a um setor apenas o gerenciamento das modificações na especificação, sob pena de perda da visão do todo, ou seja, de que uma modificação idealizada por uma área não cause impactos negativos em outra característica ou ainda, aumento excessivo dos custos sem o devido retorno a companhia.

Além disso, essa área responsável deve estar perfeitamente alinhada com as diretrizes da companhia: ser mais conservador, e pagar por um produto mais confiável e que traga menos manutenção e ocorrências ao longo do tempo ou ser mais tolerante ao risco em nome de uma melhor competitividade de curto prazo.

Especificar numa empresa pública, como a Chesf ainda envolve outros desafios devido à natureza da companhia. A necessidade de clareza e objetividade nos requisitos vai além de dar ao fornecedor o mapa para chegar ao produto desejado. É preciso garantir que a clareza garanta uma competição justa entre os todos os fornecedores tecnicamente habilitados ao fornecimento na fase de licitação e evitar *claims* nas fases posteriores.

Os processos de desligamentos por que vem passando as empresas do setor causaram uma “falta de memória” na companhia, uma vez que, o histórico da necessidade de alguns requisitos presentes nas especificações estava na cabeça de experientes profissionais que se desligaram da empresa. Isto pode perpetuar certas solicitações que perderam o sentido com a mudança do sistema ou de filosofia da companhia.

Outro desafio é que, devido à natureza da contratação de uma empresa pública, não existe flexibilidade para mudanças na especificação após o processo de compra ter sido formalmente iniciado.

## 2.0 - A ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA DA CHESF PARA TRANSFORMADORES E AUTOTRANSFORMADORES DE POTÊNCIA

A especificação da Chesf foi sendo construída ao longo das quase sete décadas de experiência que a Chesf possui na aquisição e operação destes equipamentos. Recebe requisitos de diversas áreas, o que tende a torná-la um tanto quanto complexa e abrangente, o que alguns chamam de especificação “old school”. Isso vem da época em que os sistemas eram independentes e cada um tinha seus próprios requisitos, com especificações diferentes entre as empresas do setor de transmissão. Com a unificação do sistema elétrico e a adoção de alguns requisitos mínimos pelo operador do sistema, existe uma tendência que as especificações fiquem cada vez mais parecidas, respeitando as características de cada empresa. Este trabalho não tem como objetivo a exposição da especificação completa, mas serão expostas as diretrizes seguidas e as principais modificações.

Uma das alterações realizadas na especificação, com vistas a melhorar o processo de comunicação, foi a divisão por assuntos correlatos em seções distintas, e tanto quanto possíveis, estanques entre si. Isso permite que diferentes agentes do processo de fornecimento consultem apenas a parte que lhe é interessante, sem ter que ler todo o documento, que é composto por mais de 100 páginas.

As especificações de transformadores e autotransformadores são compostas por 7 seções, sendo:

- i. Seção I – Define o escopo do fornecimento, incluindo os sobressalentes, as características do sistema onde será instalado o transformador, condições operativas que o transformador deverá suportar, treinamento, montagem e comissionamento;
- ii. Seção II – Define os requisitos para as características principais da parte ativa que o transformador deve possuir;
- iii. Seção III – Define os requisitos mínimos para o tanque, a tampa, o conservador e os armários;
- iv. Seção IV – Define os requisitos mínimos para os componentes: os para-raios, as buchas, o comutador e os transformadores de corrente de buchas, conectores de aterramento e de linha;
- v. Seção V – Define os requisitos mínimos para o sistema de refrigeração, os acessórios, programação das proteções locais do transformador padrão Chesf que o transformador deve seguir, mesmo no período de garantia do equipamento;
- vi. Seção VI – Define os requisitos mínimos relativos às informações técnicas do transformador que deverão ser fornecidos à Chesf. Estão inclusas as informações mínimas a serem fornecidas no Design Review, os valores técnicos garantidos para propostas técnicas e desenhos e manuais do transformador;
- vii. Seção VII – Define os requisitos mínimos relativos aos ensaios e verificações de matéria prima do transformador, desde a matéria prima, a fabricação até os ensaios finais.

## 3.0 - DIRETRIZES GERAIS E RESULTADOS

Décadas de experiências boas e ruins levaram aos requisitos técnicos que compõe a especificação. Porém, não se pode perder de vista que o setor mudou, o sistema mudou, o mundo mudou. Essas mudanças impuseram visitar alguns requisitos e conceitos, além da oportunidade de adição de outros.

Em tempo passados, os cálculos dos projetos térmicos, isolamento e mecânico do transformador não possuíam ferramentas adequadamente exatas, o que levava ao uso de margens de segurança generosas. Hoje os projetistas de transformadores possuem ferramentas muito melhores, mais exatas, o que lhes dá maior segurança em assumir maiores riscos com menores margens de segurança e, portanto, projetos mais econômicos. O cliente por sua vez possui mais informação com a realização de design Review do equipamento.

Uma importante meta a ser perseguida é, usar essas informações mais exatas de projeto para fazer “downsizing” de alguns requisitos do transformador sem aumento na taxa de falha.

### 3.1 DESIGN REVIEW

O design review consiste num conjunto de reuniões entre projetistas do fabricante e comprador, para explanação do projeto elétrico, mecânico e térmico do equipamento, materiais e metodologias empregadas. De forma a garantir o atendimento às especificações técnicas requeridas e normas técnicas vigentes, constituindo-se numa oportunidade de esclarecimentos e aprovação final do projeto.

Uma das diretrizes balizadoras da revisão das especificações foi a de obter o máximo de informações técnicas relativas ao projeto e construção dos equipamentos fornecidos e margens de seguranças empregadas no desenvolvimento do projeto, durante o processo de aprovação do projeto do transformador. A realização de reuniões de design review é utilizada com esse propósito. Além disso, pontos importantes relativos aos componentes do transformador são solicitados durante o encontro técnico. Portanto, sugere-se a sua realização logo após a conclusão do projeto.

O design review consiste também numa oportunidade de esclarecer os requisitos de ensaios especificados junto as áreas de projeto, estudos e manutenção, os quais serão clientes finais dos equipamentos.

Nos últimos anos, após estudos da interação do sistema com os transformadores e autotransformadores de potência, explanados em artigos e brochuras do Cigré, foi consensada uma preocupação com o conhecimento das ressonâncias internas ao equipamento com sobretensões em alta frequência, o que levou à exigência de apresentação de modelo do equipamento em formato ATP (*Alternative Transients Program*) para análise na faixa de 100 kHz a 50 MHz e seu mapa nodal.

### 3.2 PROJETO TÉRMICO

A estimativa de vida útil da isolamento, antes especificada em 40 anos para atender ao procedimento de rede, foi reduzida para 35 anos, uma vez que esse requisito mudou na revisão atual do procedimento de rede. Porém, a determinação da vida útil dos transformadores continua a cargo das empresas transmissoras, bem como o ônus de uma falha provocada pelo envelhecimento causado pelo sub dimensionamento do sistema de refrigeração para atender a essa demanda. Em recente experiência da Chesf, constatou-se que a determinação da expectativa de vida útil usando os modelos térmicos disponibilizados pelos fabricantes pode não ser adequado ou suficientemente claro em determinar a expectativa de vida útil medida no ensaio de aquecimento em sobrecarga, sendo aconselhável o uso de medição direta [2]. A estimativa de vida útil da isolamento deve ser calculada em função das temperaturas medidas no ensaio de aquecimento e aquecimento em sobrecarga, considerando o ciclo diário do procedimento de rede do ONS. A atualização da especificação definiu a taxa de envelhecimento da isolamento,  $V$ , uma vez que o papel requerido na especificação é do tipo termo-estabilizado, e conforme IEC 60076-7:

$$V = e^{\left(\frac{15000}{110+273} - \frac{15000}{\theta_h+273}\right)} \quad (1)$$

Onde  $\theta_h$  é a temperatura do ponto mais quente, medido no ensaio. A perda de vida útil foi definida como o tempo que a isolamento atua em determinada condição, que é por sua vez representada pelo fator de envelhecimento dessa temperatura,  $V$ . Considerando que a perda de vida útil  $L$  é dada por:

$$L = \sum_{n=1}^N V_n \times t_n \quad (2)$$

Existem alguns critérios de fim da vida útil. O adotado pela especificação é o papel atingir o grau de polimerização 200.

Apesar de representar um custo extra, a instalação de sondas para medição direta do ponto mais quente do enrolamento unido a definições claras na especificação permitirá uma avaliação objetiva do projeto térmico do transformador.

Além disso, essas alterações permitirão que algumas otimizações sejam feitas, com segurança de que o projeto do equipamento está adequado. O ensaio de aquecimento em sobrecarga antes era realizado na derivação de maiores perdas. A medição direta permite que o ensaio passe a ser requisitado na derivação de maiores perdas para determinação das temperaturas máxima alcançadas e na derivação nominal, para determinação da expectativa de

vida útil. A temperatura ambiente média anual, antes especificada de 35 °C, passou a ser especificada para 30 °C, assim como a temperatura do ponto mais quente na derivação de maiores perdas poderá ser até 140°C ao final do ciclo de sobrecarga, enquanto que o limite anterior era 130°C.

Na especificação, o ensaio de aquecimento é requisitado aplicando perdas totais máximas. Apesar de ser solicitado que houvesse a possibilidade de realizar o ensaio com corrente reduzida, a Chesf decidiu manter a exigência dois motivos principais:

- Estar aplicando medição direta para ter o mais fiel possível a temperatura do hot spot e, portanto, determinar a expectativa de vida útil do equipamento diretamente através da temperatura medida, sem necessidade de uso das constantes da norma, as quais representam uma aproximação;

- O retrospecto dos últimos anos no ensaio de aquecimento se mostrar bastante desfavorável, com 42,85% de falhas registradas nesse ensaio. As principais falhas foram devido ao mau dimensionamento do sistema de refrigeração para atendimento aos requisitos impostos, entretanto também houve falha durante o ensaio com regime de sobrecarga relacionada à ligação incorreta da bobina de regulação e comutador. Nenhum outro ensaio seria capaz de detectar essa anomalia, pois somente pode ser detectado porque o cabo de ligação derreteu após o ciclo de sobrecarga.

### 3.3 CURVA DE SATURAÇÃO

As características de saturação do transformador são definidas conforme as necessidades do sistema elétrico de potência. Sobre-excitações em transformadores podem causar danos ao núcleo, a estruturas suporte e à isolamento associada ao núcleo [3], podendo transformadores de maior tamanho sofrer maiores solicitações. A Chesf especifica o joelho da curva de saturação bem como a reatância em núcleo de ar. Por ser uma característica sem definição nas normas de transformadores de potência, houve a necessidade de a Chesf apresentar qual a sua definição relativa ao joelho da curva de saturação, de modo a facilitar a cotação pelos fabricantes e evitar duplicidade de interpretações entre fabricante/cliente e mal-entendidos, já que esse tema é reconhecido como um tema propenso a divergências [4].

O joelho da curva consiste no valor da tensão em pu correspondente à intersecção de duas retas: Uma reta é formada pela inclinação correspondente ao  $X_{AC}$  (em pu, na base da potência nominal do equipamento e máxima tensão operativa) plotada a partir do último ponto medido da curva de saturação. A especificação requer a medição de tensão até no mínimo a tensão correspondente ao joelho da curva. A outra reta parte da origem, seguindo a parte linear da curva. A figura 1 ilustra o conceito.

O joelho anteriormente era especificado em 1,3 p.u. de tensão. Na prática comum, isso levava a uma indução de pico de 1,55 tesla nas condições nominais de tensão. A definição formulada na nova especificação leva a uma indução de pico de 1,63 tesla, que pode implicar numa diminuição no raio do núcleo de cerca de 2,5%.

A adoção de um valor máximo de indução para o joelho deve-se ao fato de que a partir desse valor, o levantamento da curva fica bastante comprometido para levantamento em laboratório.

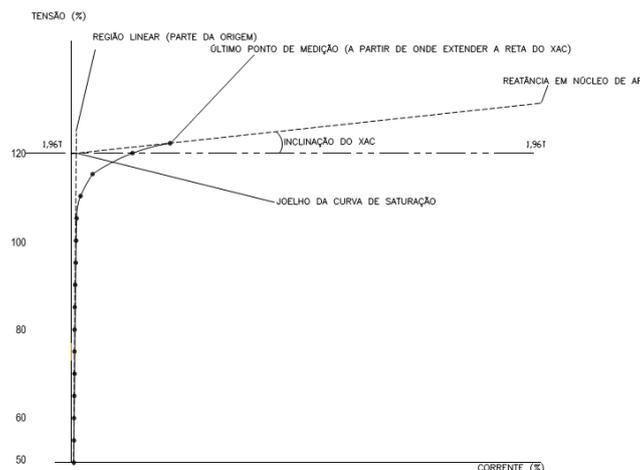


FIGURA 1 – Curva de saturação e definição do joelho da curva

### 3.4 ISOLAÇÃO E ENSAIOS DIELÉTRICOS

A isolação do transformador é definida utilizando a coordenação de isolamento do sistema, pela área de estudos de sistemas da Chesf. A definição do NBI do transformador é um dos itens que mais impactam nos custos do transformador, além de impactar diretamente o projeto térmico, uma vez que maior NBI significa mais papel, que dificulta a troca de calor do cobre com o óleo.

O isolamento permanece com os mesmos parâmetros, sendo para os equipamentos de 245 kV – 850 kV<sub>PICO</sub> (impulso) / 750 kV<sub>PICO</sub> (manobra) / 360 kV<sub>RMS</sub> (induzida monofásica de curta duração) e para os equipamentos de 550 kV – 1550 kV<sub>PICO</sub> (impulso) / 1300 kV<sub>PICO</sub> e 680 kV<sub>RMS</sub>.

A Chesf também continua a exigir em todas as unidades todos os ensaios dielétricos, ou seja, os ensaios de induzida de longa e curta duração, impulso atmosférico e impulso de manobra. Em trabalho recente, objetivando a determinação do índice de falha em ensaios dielétricos, conclui-se que cerca de 20% dos transformadores da Chesf ensaiados com acompanhamento da inspeção própria teve algum problema durante a execução do ensaio [5]. Apesar de não significar propriamente que cerca de 20% do projeto dos equipamentos foram reprovados, mas que houve algum tipo de problema, seja com execução do ensaio, os requisitos do laboratório ou com o equipamento, esse dado não traz conforto a diminuir a exigência pela realização de ensaio dielétricos.

O NBI das buchas permanece uma classe de tensão acima da classe de tensão do NBI do enrolamento. Embora exista quem argumente que, a bucha “vê” primeiro uma sobretensão e, portanto, é desejável que ela funcione como fusível, protegendo o enrolamento, a experiência da Chesf diz o contrário. Uma falha dielétrica de uma bucha pode levar a incêndio e arremesso de porcelana dentro da subestação, podendo danificar outros equipamentos a seu redor, bem como ferir pessoas no pátio da subestação. Além disso, fragmentos de bucha que caíam dentro do transformador contaminam a parte ativa, o que em muitos casos requerem o reparo do equipamento que seria exigido se o enrolamento fosse danificado. Portanto, esse efeito fusível da bucha é totalmente indesejável.

### 3.5 SUPORTABILIDADE A CURTO-CIRCUITOS

A suportabilidade a curtos-circuitos de transformadores geralmente não é comprovada através de ensaios, devido principalmente ao custo do ensaio e da logística necessária para o deslocamento de um transformador aos laboratórios onde são realizados esse tipo de ensaio. Portanto, em geral a suportabilidade a curtos-circuitos em geral, é demonstrada através de cálculos.

Porém, cuidados devem ser tomados. Os transformadores são construídos com margens de segurança cada vez menores, enquanto que a rede fica cada vez mais malhado, o que leva à possibilidade de curtos-circuitos mais severos. Em atenção a isso, as principais modificações feitas dizem respeito à contribuição do sistema e os documentos de referência para comprovação do atendimento aos requisitos de curto-circuito [6,7].

### 3.6 COMPONENTES

A Chesf tem usado apenas buchas tipo condensiva, papel óleo (OIP - *Oil Insulated Paper*), há muitos anos. A Chesf passou a também aceitar as buchas do tipo RIP (*Resin Impregnated Paper*) ou RIS (*Resin Impregnated Synthetics*), de modo a haver uma flexibilização para o fornecedor do transformador na hora da escolha desse componente, cujo fornecimento tem sido relatado como um dos caminhos críticos na entrega do transformador. A respeito das buchas sobressaltes, a especificação requer o fornecimento de meio adequado para seu armazenamento por período prolongado, conforme o tipo de bucha a ser fornecida: OIP são necessários cavaletes para armazenamento na posição vertical e RIP/RIS invólucros adequados. O dimensionamento da bucha permanece seguindo as seguintes diretrizes: 1,5 pu da maior corrente operativa em regime contínuo e uma classe de tensão acima da classe de tensão do enrolamento.

O comutador deve ser dimensionado para 1,4 pu da corrente da derivação de maior corrente, sendo restrito ao comutador tipo mais/menos. Para transformadores trifásicos, apenas os comutadores com chave a vácuo são aceitos. Ainda estuda-se restringir o uso de comutadores a óleo nos autotransformadores monofásicos.

A quantidade de Transformadores de Corrente de bucha foi diminuída através de uma reavaliação da necessidade dos clientes internos (proteção, operação).

## 4.0 - CONCLUSÃO

Os empreendimentos de transmissão, mais especificamente, subestações que envolvem a transformação de níveis

de tensão, são fortemente impactados economicamente pelo custo do transformador de potência. Por outro lado, falhas nesse equipamento ou em algum componente a ele associado, que ocasione a sua indisponibilidade, afetam diretamente os rendimentos auferidos pela companhia pela parcela variável sobre suas Receitas Anuais Permitidas (RAP). A especificação cuidadosa desse equipamento visando o menor custo de ciclo de vida, ou seja, o equilíbrio entre custo inicial e perda de receita, é estratégico para as empresas do setor. Infelizmente, esse equilíbrio em muitos aspectos é feito usando o sentimento e não ferramentas adequadas, quantitativas.

A especificação dos transformadores deve sempre ser revisitada com possibilidade de melhorias contínuas baseadas em experiências obtidas pela equipe técnica da companhia, visando a utilização da especificação como ferramenta para minimizar o custo do ciclo de vida do equipamento, sejam custos diretos na aquisição, sejam custos com manutenções, indisponibilidades e risco de falhas mais graves.

Apesar de ser uma tarefa que envolve muitos setores, uma única área deve ser a responsável pelo gerenciamento da especificação. Essa área deveria também ser munida das informações de ocorrências no campo relativas a falhas de modo a utilizar essas informações para avaliar se as margens de segurança de projetos são adequadas ao sistema e, se necessário, intervir nas especificações para mitigar problemas futuros para a companhia.

## 5.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) ELECTRIC POWER ENGINEERING CENTRE, *Guide to Power Transformer Specification Issues*, 2008. Disponível em [http://www.epecentre.ac.nz/docs/research/guide\\_transformer\\_spec\\_issues.pdf](http://www.epecentre.ac.nz/docs/research/guide_transformer_spec_issues.pdf)
- (2) MONTENEGRO, S.G., DIONNE, P; BERSI, R.P., FRAGA, F.N., XAVIER, C.S.S., BERUBÉ, J.N., DELIGI, C. – *Ensaio de aquecimento em sobrecarga usando medição direta de temperatura – estudo de caso do 3º transformador da subestação João Câmara II*. VIII Workspot, Recife-PE, 2016
- (3) CIGRÉ – *Guide for preparation of specifications for power transformers*, TB 528, WG A2.36, Abril / 2013
- (4) CAPOZZI, S., SOLTEIRO, I.G. *Curva de saturação de transformadores 4º ERLAC*, Puerto Iguazu, 1991
- (5) MONTENEGRO, S.G., FRAGA, F.N., XAVIER, C.S.S., SANTOS, W.A.A., COSTA, L.R.D.V.J.D, CORREIA JR, J.V.S. – *Avaliação do desempenho dos transformadores fornecidos à Chesf em ensaios de fábrica*. XXIII SNPTEE, Out/2015.
- (6) INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. *Power transformer part 5: Ability to withstand short circuit* – IEC 60076-5 de 2006
- (7) CIGRÉ – *The short-circuit performance of power transformers*, TB 209, Agosto 2002

## 6.0 - DADOS BIOGRÁFICOS



Santhiago Guedes Montenegro – [santhiag@chesf.gov.br](mailto:santhiag@chesf.gov.br)

Possui mestrado em engenharia de produção (2009) pela Universidade Federal da Paraíba (UFPB) e graduação em engenharia elétrica (2006) pela Universidade Federal de Campina Grande (UFCG).

Trabalha como engenheiro da Divisão de Projetos de Subestações desde 2014 com a aprovação de projetos eletromecânicos de subestações e projetos de equipamentos elétricos (transformadores de potência e reatores). Atua na inspeção técnica de equipamentos desde 2010.