

Capítulo XI

Cálculo da elevação de temperatura em invólucros pela IEC 60890

Por Sergio Feitoza Costa*

Nesta série de artigos são apresentados conceitos de engenharia para o projeto e especificação de equipamentos de subestações de transmissão e distribuição. O primeiro fascículo cobriu aspectos dos estudos do sistema elétrico que servem de base para as especificações técnicas dos equipamentos. O segundo cobriu conceitos sobre curtos-circuitos, ampacidades, sobrecargas e contatos elétricos. O terceiro fascículo abordou o tema “Técnicas de ensaios de alta potência, laboratórios de ensaios e principais ensaios”. No quarto fascículo, cobriu-se o tema “Estudos elétricos de sobretensões, coordenação de isolamento e impactos de campos elétricos e magnéticos”. No quinto fascículo, o tema abordado foi a recente brochura CIGRÉ 602 sobre simulação de arcos. O tema do sexto fascículo foram as especificações técnicas de disjuntores, seccionadores, painéis e para raios feitas por concessionárias de energia. O sétimo descreveu distâncias de segurança e sistemas de proteção contra incêndios em subestações. O oitavo foi sobre a futura IEC62271-307. O nono foi sobre técnicas para reformar equipamentos de subestações e adiar investimentos. O décimo abordou novas tecnologias para o setor elétrico. Este 11º tratará do cálculo da elevação de temperatura em invólucros pela IEC 60890.

INTRODUÇÃO

No projeto de produtos elétricos os requisitos principais a atender são (a) as temperaturas que não podem ser excedidas em uso normal, (b) a capacidade de suportar as forças eletrodinâmicas de curto-circuito, que podem danificar barramentos e isoladores, (c) suportar a sobrepressão dos arcos internos, (d) as solicitações dielétricas às sobretensões de impulso ou a tensão de frequência nominal, (e) as solicitações mecânicas causadas por operações repetitivas, e (f) a capacidade de evitar a penetração de água e poeiras no invólucro.

Como os equipamentos são cada vez menores e as correntes cada vez mais altas é muito mais difícil atender a alguns destes requisitos, mantendo a segurança das pessoas e instalações e otimizando o projeto para o uso mínimo de cobre, alumínio, suportes das barras e outros componentes. Um dos principais aspectos é o de elevações de temperatura.

Conforme mostrado no fascículo 2 desta série, os resultados do ensaio de elevação de temperatura são influenciados pela corrente aplicada, tipo de materiais, as resistências de contato, a temperatura do fluido, a geometria dos condutores, o volume interno líquido do compartimento e a existência ou não de aberturas de ventilação. As resistências de contato e a área e velocidade de ventilação

impactam fortemente no resultado do ensaio. Se a resistência e estes dados não estão registrados no relatório de ensaio o ensaio não tem reprodutibilidade e isso pode ser visto como uma falha do laboratório de ensaios. As normas IEC e suas traduções nas normas brasileiras não tratam da relação entre os ensaios de elevação, o de arco interno e o de grau de proteção e não explicitam tudo que deve ser registrado nos relatórios de ensaios. As normas de painéis de média e de baixa tensão deveriam pedir explicitamente (mas não pedem) para registrar no relatório de ensaios os fatores acima.

O conteúdo dos relatórios de ensaios emitidos por laboratórios de ensaios não pode ser visto apenas como algo técnico. Mais de 80% das vezes o principal objetivo de quem entra em longas filas de espera e depois paga para realizar os onerosos ensaios é ter um documento neutro que permita a comercialização de seus produtos. Por isso, espera-se que as gerências de laboratórios de ensaios oficiais de terceira parte tenham a visão de que os relatórios de ensaios são um instrumento comercial poderoso e devem ser claros, precisos, identificar muito bem o que foi testado e ter conclusões objetivas. É comum encontrar nos relatórios frases dizendo que os resultados só se aplicam à amostra testada e outras que visam eximir o laboratório de qualquer responsabilidade

futura pelo uso do documento.

Em minha visão, se um laboratório tem competência técnica para tal, deve emitir relatórios de ensaios que identifiquem corretamente o equipamento que foi testado e trazer uma conclusão escrita informando se o equipamento testado atendeu ou não os requisitos da norma técnica. Pagar mais barato por ensaios em laboratórios que não atendem a isso é um erro estratégico, à luz das novas normas IEC, como a IEC 62271-307, que mencionam explicitamente o que deve ser registrado.

No caso das elevações de temperatura, interpretar os resultados e compará-los com as normas para saber se o equipamento passou ou foi reprovado não é uma tarefa simples. É preciso conhecer bem as entrelinhas de normas, como a IEC 62271-1, a IEC 62271-200 e as da série IEC 61439. Muitos compradores de equipamentos de baixa e média tensões são exigentes em pedir os relatórios de ensaios para efetivar

as compras mas aceitam relatórios que não dizem se o equipamento passou ou não no ensaio de elevação de temperatura. Muitas vezes, o limite máximo permitido na norma foi ultrapassado e em alguns casos o relatório nem mesmo se aplica ao equipamento que está sendo comprado.

Em anos passados, quando eu coordenava o Comitê Técnico 32 (Fuses) da IEC – International Electrotechnical Commission, tive a oportunidade de conhecer alguns documentos TR (Technical Reports) da IEC que, embora muito úteis, são, ainda hoje, muito pouco conhecidos no mundo. A IEC publica, principalmente, dois tipos de documentos: as normas técnicas e os relatórios técnicos. As normas técnicas especificam os procedimentos, métodos de ensaios e valores limites que não devem ser ultrapassados. As normas técnicas raramente descrevem os fundamentos técnicos e trazem as explicações do porquê dos valores limites e métodos empregados. Algumas

interpretações são difíceis de analisar até mesmo para as equipes do laboratório de ensaios. Exemplos destes são a definição da máxima elevação de temperatura que deve ser atendida em diferentes tipos de conexões e contatos, no ensaio de elevação de temperatura, ou mesmo o número de aplicações de curto-circuito em painéis submetidos ao ensaio de arco interno.

Por este motivo, a IEC publica, além das normas, os importantes relatórios técnicos. Nestes últimos, que não têm caráter normativo, é que estão os fundamentos para os valores utilizados nas normas. Nos treinamentos que aplico para fabricantes, concessionárias e empresas de certificação, utilizo muitos destes relatórios técnicos IEC. No livro de minha autoria que pode ser baixado livremente em http://www.cognitor.com.br/Book_SE_SW_2013_POR.pdf, há várias informações extraídas destes documentos TR da IEC.

Alguns dos principais relatórios técnicos

IEC úteis no dia a dia de quem projeta e especifica equipamentos são:

- IEC/TR 60890, A method of temperature-rise verification of low-voltage switchgear and controlgear assemblies by calculation
- IEC TR 60943, Guidance concerning the permissible temperature rise for parts of electrical equipment, in particular for terminals
- IEC 61117, Method for assessing the short-circuit withstand strength of partially type-tested assemblies (PTTA)¹
- IEC TR 60865-1, Short-circuit currents – Calculation of effects – Part 1: Definitions and calculation methods
- IEC TR 60865-2, Short-circuit currents – Calculation of effects – Part 2: Examples of calculation

Para o tema elevações de temperatura há os documentos IEC TR 60943 e o TR IEC 60890. O IEC TR 60943 é o mais completo documento que conheço na bibliografia a respeito de temperaturas em equipamentos e materiais condutores e isolantes e seu impacto na vida útil, além de muitos outros aspectos. É um documento que um bom projetista ou um bom engenheiro de laboratório de ensaios deve conhecer nos mínimos detalhes para desenvolver um projeto competente ou realizar e analisar resultados de testes.

Neste artigo vamos destacar o conteúdo do documento IEC/TR 60890. Este apresenta um método simples, mas muito eficaz para calcular a elevação de temperatura do ar dentro de um compartimento de painel ou barramento blindado ou invólucros em geral. Se um projetista deseja calcular as elevações de temperatura que acontecerão nos barramentos de um painel com várias fontes de calor internas (conexões das barras, disjuntores, fusíveis e chaves) pode seguir um método como o descrito a seguir.

Cabe ainda mencionar que há fabricantes que produzem invólucros vazios, mas não produzem o painel ou barramento completo montado. A norma NBR IEC 60208 -

Invólucros vazios destinados a conjunto de manobra e controle de baixa tensão - Requisitos gerais, permite estabelecer a capacidade de dissipação de potência em invólucros vazios usando os métodos da IEC 60890.

No que diz respeito a cálculos completos de elevação de temperatura em equipamentos, a sequência normalmente adotada é a seguinte. Em primeiro lugar calcula-se a elevação de temperatura do ar interno, considerando todos os watts dissipados, pelo método da IEC 60890. Em seguida, calcula-se a elevação de temperatura das barras e conexões, em relação ao ar interno, por um método de elementos finitos. Somando-se os dois valores obtém-se a elevação de temperatura das partes em relação ao ar externo. Este é o método usado no software de projeto SwitchgearDesign.

O MÉTODO DE CÁLCULO DA IEC 60890

O método é utilizado para calcular a elevação de temperatura do ar no interior de um invólucro metálico com ou sem aberturas de ventilação, mas sem ventilação forçada. No SwitchgearDesign foram acrescentadas equações que permitiram estender as equações para invólucros com ventilação forçada e outros fluidos além do ar como o SF₆. Nas antigas normas de painéis de baixa tensão IEC 60439 e na mais recente série IEC 61439, a possibilidade de substituir o ensaio

de elevação de temperatura por cálculos é baseada neste método.

A ideia central da aplicação do método da IEC 60890 é que, originalmente, um certo painel com tipo construtivo definido e alguns tipos de componentes internos foi inicialmente testado e aprovado em laboratório. Suponhamos que temos agora um outro painel do mesmo tipo construtivo (da mesma família, mas com dimensões diferentes do testado) que usa os mesmos tipos de componentes, porém em quantidades diferentes. Um exemplo é que o painel originalmente testado contava com três disjuntores internos dissipando uma certa potência total enquanto o não testado tem paredes de dimensões diferentes e tem cinco disjuntores ao invés de três. Portanto, dissipa uma quantidade diferente de watts. A ideia é que se pudermos provar por cálculo que a elevação de temperatura do ar interno no equipamento não testado é menor do que aquela do equipamento testado, os componentes internos do equipamento calculado serão menos solicitados que os componentes do painel testado. Por isso, não é necessário repetir os ensaios.

É um método empírico baseado em resultados de ensaios obtidos em um grande número de diferentes tipos de invólucros. Os resultados destes ensaios foram associados aos valores das variáveis principais de cálculo para criar uma série de curvas que são utilizadas nos cálculos de cada invólucro específico.

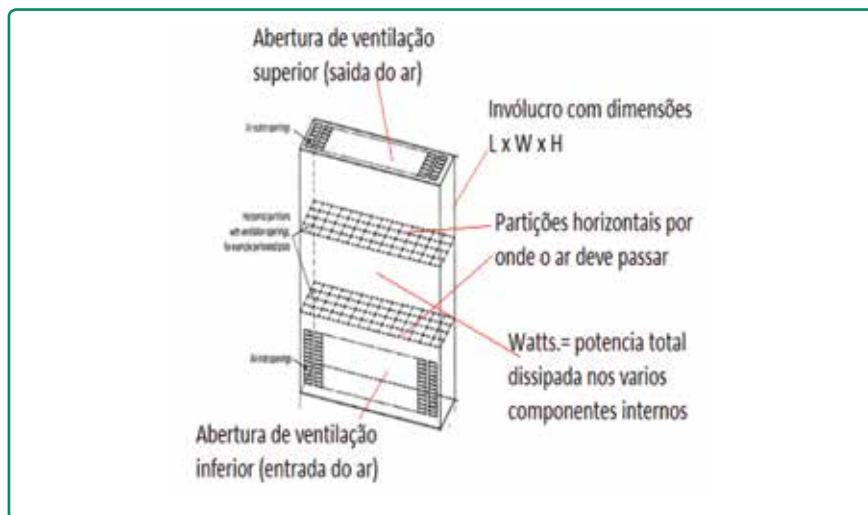


Figura 1 – Configuração de cálculo.

As variáveis de cálculo relevantes são as seguintes (ver Figura 1):

- As dimensões do invólucro: altura / largura / profundidade;
- O tipo de instalação, por exemplo, no centro de uma sala ou encostado nas paredes ou encostado em paredes e outros painéis quentes;
- O projeto do invólucro com ou sem aberturas de ventilação;
- O número de partições horizontais internas (com furos) por onde o ar ascendente deverá circular do fundo para o topo do invólucro
- A dissipação efetiva de potência nos componentes internos do invólucro.

O método vale para invólucros em chapa de aço, chapas de alumínio, ferro fundido, material isolante e outros semelhantes. É aplicável se estiverem reunidas as seguintes condições:

- Há uma distribuição aproximadamente uniforme da dissipação de potência no interior do invólucro. Esta situação na vida real é rara, mas o método fornece bons resultados a despeito disso;
- As partições agem de tal maneira que a circulação do ar é pouco impedida;
- O equipamento instalado é projetado para corrente alternada até 60 Hz ou contínua de valores não superiores a 3.150 A;
- Os condutores elétricos e peças estruturais são dispostos de tal modo que as perdas por correntes de Foucault são insignificantes. Na realidade, para correntes acima de 3.000 A, os efeitos podem ser mais pronunciados caso sejam utilizados, por exemplo, em espaçadores de barramentos materiais como o aço carbono;
- Para invólucros com aberturas de ventilação, a seção transversal das aberturas de saída do ar (topo) é de pelo menos 1,1 vezes a seção transversal das aberturas de entrada de ar (parte de baixo);
- Não há mais de três partições horizontais na coluna ou seção sob análise;
- Se o invólucro tem aberturas de ventilação, a área de passagem de ar em cada partição

horizontal deve ser no mínimo 50% da seção reta transversal da coluna.

O método visa determinar a elevação de temperatura do ar, ao longo da altura da coluna do invólucro com base na elevação de temperatura a 50% da altura e em 100% da altura (próximo ao teto). É utilizada a equação principal mostrada na Figura 2.

Os fatores K, D e P x que multiplicados fornecerão a elevação de temperatura do ar interno devido aos watts produzidos são obtidos a partir dos dados de entrada mostrados na Figura 3. Entre estes se

destaca o tipo de instalação mostrado na parte superior direita da figura. Este tipo depende da localização do painel dentro da sala. Por exemplo, um painel instalado sozinho no centro da sala (curva 1) se aquecerá menos que um outro, igual, porém instalado encostado nas paredes e tendo como vizinhos dois outros painéis aquecidos (curva 4).

O fator B usado para calcular a área do invólucro efetivamente exposta para efeitos de dissipação de calor é obtido a partir dos dados da Figura 4. Note-se que este fator

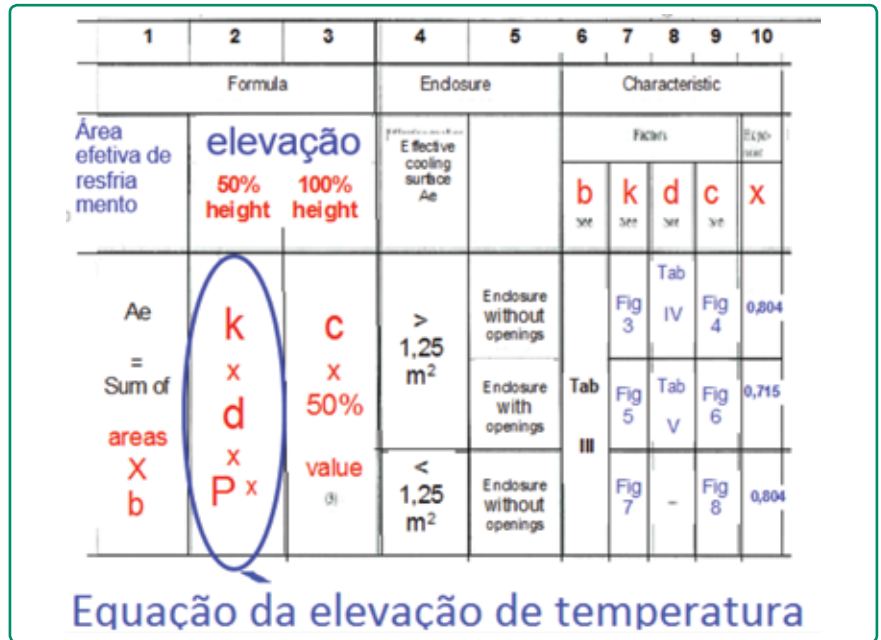


Figura 2 – Sequência de cálculo da elevação de temperatura a 50% e 100% da altura do invólucro.

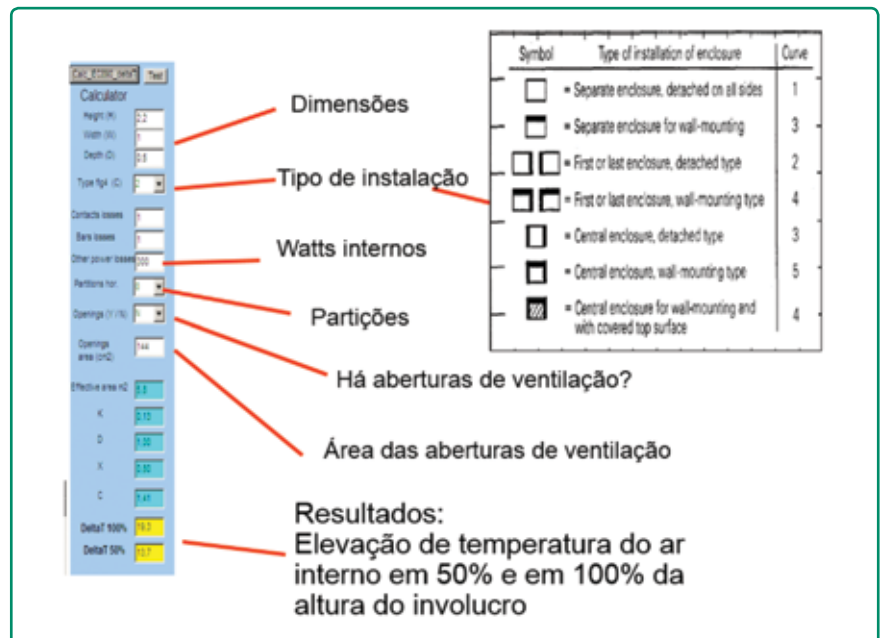


Figura 3 – Dados de entrada e resultados do método.

é multiplicado pela área de cada parede específica.

A soma das áreas de cada parede resulta na área efetiva A_e que será utilizada como dado de entrada em algumas das demais figuras deste fascículo.

O Fator K que aparece na fórmula é calculado em função dos valores da área A_e e da área de entrada de ar conforme mostrado na Figura 5.

A determinação da temperatura no topo do involucro é feita utilizando-se um fator de distribuição C como nas Figuras 6 e 7. Este fator depende de haver ou não aberturas de ventilação.

O fator D que aparece na formula é obtido através dos dados da Tabela 1 em função do número de partições horizontais. Como é de se esperar, quanto maior o número de partições mais difícil é para o ar circular e, portanto, maior é o valor de D e, conseqüentemente, da elevação de temperatura.

Os valores de P e x que aparecem na

Tipo de Instalação	Fator de superfície B
Face do teto exposta	1,4
Superfície do teto coberta	0,7
Faces expostas frente, traseira, lados	0,9
Faces laterais cobertas	0,5
Faces laterais de involucro central	0,5
Superfície do chão	desconsiderada

Figura 4 – Fator b de cálculo da área exposta.

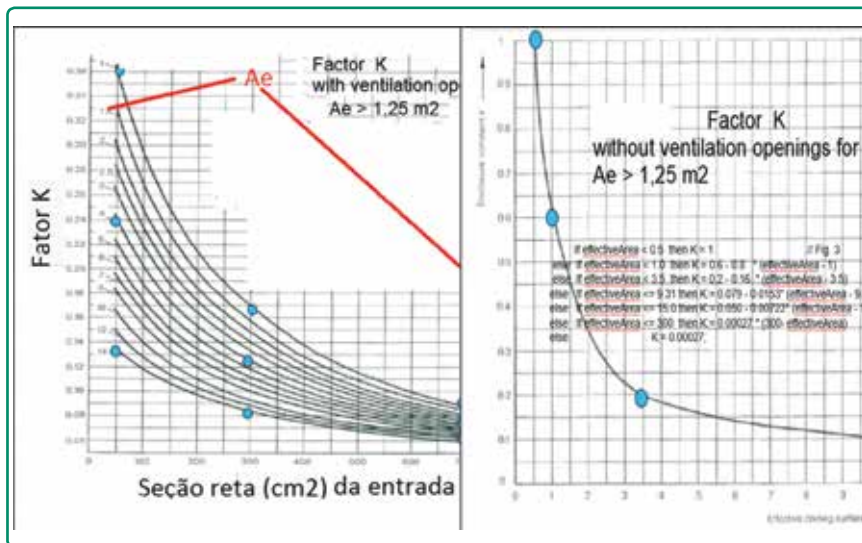


Figura 5 – Fator K para $A_e > 1,25 m^2$.

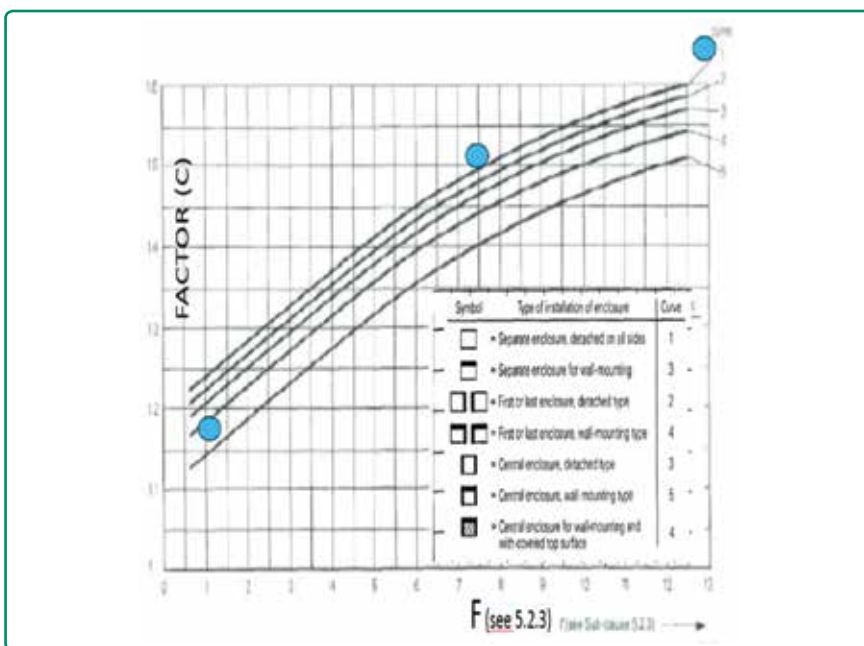


Figura 6 – Fator C para distribuição da elevação ao longo da altura sem aberturas de ventilação.

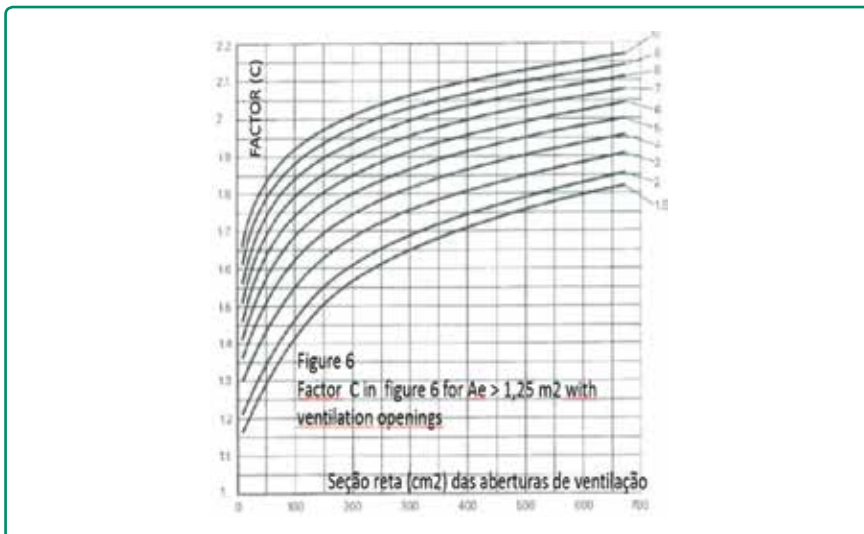


Figura 7 – Fator C para distribuição da elevação ao longo da altura com $A_e > 1,25 \text{ m}^2$ e aberturas de ventilação.

formula geral da Figura 2 são a potência dissipada total que há dentro do invólucro e o fator empírico X mostrado na coluna da direita da Figura 2. O valor da potência dissipada deve ser avaliado considerando todas as cargas térmicas no interior do invólucro, tais como resistores de aquecimento, disjuntores e chaves, perdas

nos barramentos, watts gerados por indução e magnética etc.

COMENTÁRIOS FINAIS

Na primeira vez que examinei e tentei utilizar o método da IEC 60890, há alguns anos, imaginei que por sua simplicidade só

puдesse ser aplicado em situações muito próximas das descritas nas “condições de validade”. Entretanto, à medida que fui utilizando-o em vários e vários projetos executados para fabricantes de painéis e barramentos blindados, percebi como os resultados calculados se aproximam muito dos valores medidos em ensaios em quase todas as situações.

Embora este método empírico seja simples pela facilidade de uso, atrás dele há a contribuição dos principais fabricantes mundiais de painéis de baixa tensão. São eles que atuam nos grupos de trabalho da IEC que prepararam este documento. Tenho atuado ao longo dos anos em alguns grupos de trabalho da IEC como o que atualmente está preparando a nova IEC 62271-307. As discussões técnicas são muito ricas.

A utilização deste método de cálculo das temperaturas do fluido viabilizou, no software SwitchgearDesign, substituir cálculos pesados de dinâmica computacional dos fluidos (CFD), por algumas poucas e simples linhas de código computacional. Isto pode ser percebido nos casos validados detalhados no link mostrado mais acima neste texto. Os softwares CFD são poderosos porem muito mais difíceis de comprar, utilizar e modelar. Além disso, necessitam de um treinamento do projetista muito mais longo. E aí chega o problema, pois a grande maioria dos fabricantes brasileiros simplesmente parou de investir em treinamento e capacitação de pessoal nos últimos anos. Terceirizaram as atividades de desenvolvimentos de engenharia e este é um erro estratégico. É exatamente o contrário do que fazem os asiáticos e alguns outros países, inclusive na América do Sul, como a Colômbia e o Chile.

Vejo muitos brasileiros comentando de modo depreciativo que os chineses conseguem produzir e vender muito, porque sua mão de obra é muito barata. Este é um erro grosseiro de avaliação. Foi assim no passado, mas os chineses e outros asiáticos passaram a investir bastante em capacitação e hoje fabricam em seus países quase todos os produtos que se possa imaginar. A título de exemplo, se uma empresa quisesse comprar

TABELA 1 - FATOR D

	Partições = 1	Partições = 2	Partições = 3	Partições = 4
Sem aberturas de ventilação $A_e > 1,25 \text{ m}^2$	1,00	1,05	1,15	1,30
Com aberturas de ventilação $A_e > 1,25 \text{ m}^2$	1,03	1,05	1,10	1,15

equipamentos para montar um grande laboratório de ensaios de alta tensão ou de alta potência poderia comprar todos os itens na China. Entretanto, aqui no Brasil, não se poderia comprar nenhum dos equipamentos, pois nenhum fabricante os desenvolveu. Poderíamos até preferir comprar de um fabricante mais tradicional na Europa ou América do Norte, porém, o fato é que seria possível comprar qualquer um deles na China. Se extrapolarmos este raciocínio para trens modernos, barcas de transporte de massa, navios e outros itens veremos como, no Brasil, pensamos curto e estamos desatualizados. Na questão dos desenvolvimentos tecnológicos, estamos perdendo de mais de 7 a 1 nos últimos 15 anos.

Repetindo parte do que escrevi no fascículo anterior (novas tecnologias), passamos por um momento em que as indústrias do setor elétrico brasileiro estão perdendo em competitividade. A culpa não é só dos procedimentos, impostos e burocracia excessivos que emperram a indústria elétrica

e são mantidos por governos e instituições que pensam apenas em se manter no poder e não têm nenhuma visão ou interesse no que acontecerá com o País no médio ou longo prazos. A culpa também é nossa por assistirmos a tudo passivamente.

A maior parte de nossa indústria elétrica, que avançava muito bem nas décadas de 1980 e 1990, parece que perdeu o foco. Com exceção de uma ou duas regiões do Brasil, onde se percebe que há iniciativas de planejamento e de motivação do setor industrial, paramos no tempo.

Para os médios e pequenos fabricantes da indústria elétrica que me procuram para aconselhamentos costumo sugerir algumas ações como:

- Focar em produzir e vender 60% para o mercado externo e 40% no mercado interno brasileiro;
- Competir no mercado externo é mais difícil no primeiro momento, mas muito compensador depois. Quem compete

bem lá fora, com muito mais facilidade poderá vender aqui quando a situação brasileira melhorar. Portanto, recomeçar a criar uma cultura de capacitar o pessoal técnico e manter equipes competentes para enfrentar novos desafios. Um bom começo é ter na equipe técnica pelo menos dois bons projetistas com visão aberta para inovações;

- Ter um "plano de metas em novas tecnologias" com as prioridades definidas. Manter em curso, a cada ano, pelo menos três projetos de "novos produtos". Esta é a maneira de criar uma cultura de inovação na empresa e manter a chama acesa.

**Sergio Feitoza Costa é engenheiro eletricista, com mestrado em sistemas de potência. É diretor da Cognitor, Consultoria, P&D e Treinamento sergiofeitoza@cognitor.com.br www.cognitor.com.br*

CONTINUA NA PRÓXIMA EDIÇÃO

Acompanhe todos os artigos deste fascículo em www.osestoreletrico.com.br
Dúvidas, sugestões e comentários podem ser encaminhados para redacao@atitudeeditorial.com.br