



GRUPO DE ESTUDO DE SUBESTAÇÕES E EQUIPAMENTOS DE ALTA TENSÃO - GSE

GERENCIAMENTO DE SOLICITAÇÕES EM EQUIPAMENTOS DE ALTA TENSÃO

**ANTONIO CARLOS CAVALCANTI DE CARVALHO(1); MARTA CASTRO LACORTE(2); JORGE AMON FILHO
OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELETRICO ONS(1); ATIVA(2)**

RESUMO

Este artigo apresenta um resumo da Brochura Técnica (TB) 816 do CIGRE, intitulada *Substation Equipment Overstress Management*, que foi desenvolvida pelo grupo de trabalho WGA3.30 e publicada em outubro de 2020 [1]. Este é um tema de grande relevância para a gestão de ativos de equipamentos de alta tensão, sendo um conceito mais amplo do que a “superação de equipamentos”, tão conhecido e praticado no Brasil há várias décadas [2][3][4][5][6], onde se destaca a experiência no uso de reatores limitadores de corrente de curto circuito [7].

PALAVRAS-CHAVE

Superação, Overstress, Gerenciamento de ativos.

1.0 INTRODUÇÃO

A TB 816 do CIGRE, além da conceituação de *overstress* e a identificação dos parâmetros relevantes que diretamente afetam os equipamentos de alta tensão, também discute possíveis medidas mitigadoras aplicáveis para as solicitações que superem as características nominais do equipamento, o que representaria elevado risco de falha para algum de seus componentes ou provocaria o seu envelhecimento precoce dos mesmos.

No Brasil o tema superação de equipamentos é geralmente circunscrito às solicitações “internas” ao sistema, ou seja, as solicitações elétricas impostas ao equipamento na operação da rede. Para além destas, a abordagem do WG A3.30 também inclui a discussão das solicitações “externas”, ou seja, aquelas oriundas do meio ambiente, da ação do homem ou de animais, além de discutir as solicitações de intensidade superior ao previsto nas normas internacionais [9][10][11]. Importante ressaltar, que as os sistemas de alta tensão são projetados e construídos para suportar as solicitações elétricas, mecânicas, ambientais e de outras naturezas, de forma a evitar desligamentos ou danos às suas instalações. Desta forma, valores de referência normalizados, assim como boas práticas de engenharia são adotadas, visando manter elevados níveis de confiabilidade. Assim sendo, o estudo, classificação e identificação de possíveis solicitações acima dos padrões de norma e/ou de projeto, os chamados *overstress*, devem ser continuamente monitorados e identificados pelas concessionárias de energia elétrica, de forma a subsidiar a tomada de decisão sobre a necessidade de empreender medidas corretivas, caso as mesmas ultrapassem os valores especificados e/ou normalizados. Para os fins do presente documento, os conceitos de solicitações e *overstress* são focados nos equipamentos de subestação, que fazem parte do escopo do Comitê de Estudos A3 do CIGRE (Equipamentos de Alta Tensão). Desta forma, transformadores de potência e reatores em derivação não são diretamente considerados no presente documento.

Como complemento à TB 816 [1], o CIGRE possui extensa lista de outras brochuras técnicas que são complementares ao assunto *overstress* e que lidam sobretudo com a temática do gerenciamento de ativos. Vide as referências de [21] a [37]. Recomenda-se ao leitor que faça uso destas quando da análise de solicitações do tipo *overstress*, superação ou final de vida útil de equipamentos.

2.0 Classificação das solicitações impostas a equipamentos de AT

A Figura 1 apresenta a classificação geral dos tipos de solicitação que podem ser impostas a equipamentos de alta tensão. As solicitações do tipo controláveis são aquelas cujo comportamento pode ser previsto e controlado pela ação do homem. Fazem parte destas as solicitações elétricas originadas no sistema elétrico, sendo relacionadas à operação ou expansão do sistema de transmissão e/ou da geração. Mais recentemente a geração distribuída vem elevando o grau de complexidade das solicitações elétricas emanadas da própria rede e até inserindo uma certa componente de imprevisibilidade de seu impacto nas redes elétricas de distribuição.

Dentre as solicitações provocadas por atividades humanas, destacam-se aquelas de fundo ambiental, originadas pela poluição e pelos efeitos das mudanças climáticas. Estas, embora de mais difícil controle, podem ser evitadas por políticas ambientais e hábitos adequados da população face ao meio ambiente e aos padrões de consumo. Erros humanos de operação do sistema elétrico podem também ser incluídas no rol de solicitações de origem humana.

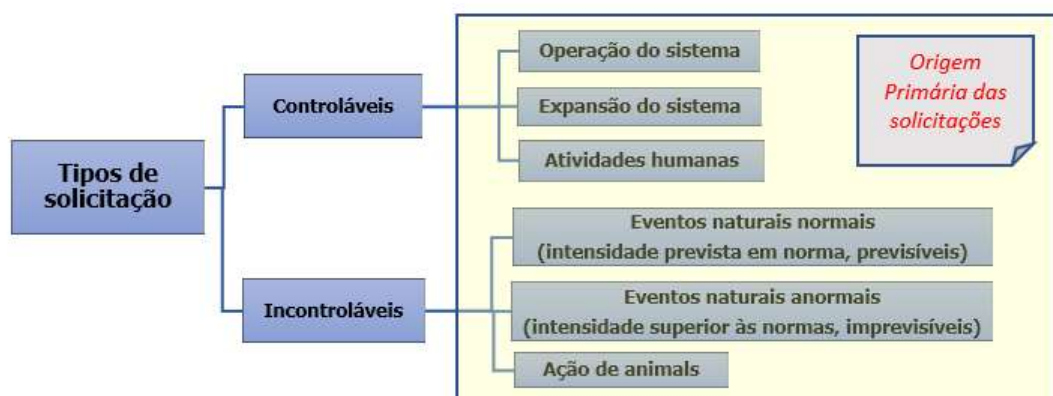


FIGURA 1 - Tipos de solicitações impostas a equipamentos de AT e sua origem primária

A ação de animais sob instalações da rede elétrica pode ser em grande medida prevista e prevenida, mas, de toda forma, existe a possibilidade de alguma ação de origem animal causar danos ou solicitações não previstas. Solicitações incontroláveis são aquelas que independem da ação humana e não podem ser controladas pelo homem. Grande parte delas, entretanto, podem ser previstas por intermédio de estatística de séries históricas ou por modelagem. Estas são denominadas solicitações incontroláveis, mas previsíveis. Este é o caso, por exemplo, da intensidade e forma das descargas atmosféricas, velocidade dos ventos, temperatura ambiente, índices pluviométricos, intensidade de terremotos, etc. Por serem previsíveis, este tipo de solicitação é normalizado e parâmetros típicos destas são utilizados nos projetos de engenharia. Entretanto, têm se observado nas últimas décadas o recrudescimento da intensidade e frequência das solicitações incontroláveis, ultrapassando os valores normalizados, tornando-as imprevisíveis. Exemplos mais comuns deste tipo de solicitação são chuvas muito intensas, terremotos acima do nível 8 da escala Richter, tsunamis, temperaturas baixas extremas, tempestades de areia, etc., conforme apresentadas na Tabela 1 e seguindo a classificação estabelecida na Figura 1.

A análise das solicitações do tipo incontroláveis e imprevisíveis não fazem parte do escopo deste trabalho.

Uma vez conhecidos os tipos de solicitação que podem afetar o desempenho de equipamentos de AT é importante estabelecer a sua correlação com suas causas usuais e estas com os parâmetros de desempenho dos equipamentos (elétricos, dielétricos, mecânicos, térmicos ou ambientais). A Tabela 1 apresenta a citada correlação e, desta forma, é um excelente guia para mapear os mais relevantes parâmetros de desempenho de equipamentos em função das características de operação e expansão da rede, assim como dos parâmetros ambientais e meteorológicos da região de atuação da concessionária de energia elétrica.

3.0 Priorização das solicitações que possam causar Overstress em equipamentos de AT

A correlação das solicitações mais relevantes que possam ser impostas a equipamentos de AT com seus parâmetros de desempenho, apresentada na Tabela 1, constitui a base para a priorização dos parâmetros de desempenho que devam ser o foco principal das concessionárias de energia elétrica. Esta priorização foi realizada pelo WG A3.30 por intermédio de uma matriz de impacto, a qual o impacto de cada parâmetro de desempenho é avaliado por intermédio do conhecido Método Delphi [16], que se utiliza do conhecimento individual de um conjunto de especialistas para classificar a severidade dos parâmetros considerados. No capítulo 4 da Brochura 816 do CIGRE [1] o método adotado e a respectiva análise de priorização são descritos.

O resultado desta análise é a matriz apresentada na Tabela 2 que identifica para cada tipo de equipamento com as solicitações mais relevantes que podem ser submetidos, aquelas que representam maior risco para sua integridade operativa.

A correlação entre cada tipo de solicitação e as normas técnicas internacionais para equipamentos de AT é detalhada no capítulo 5 da Brochura 816 do CIGRE [1], considerando-se para o conjunto de equipamentos cobertos nesta análise e indicados na Tabela 2. Esta correlação é um facilitador para as análises de Overstress, pois já é indicada a norma e o item aplicável para cada tipo de equipamento e cada tipo de solicitação aplicável. Estas informações aliadas às especificações dos equipamentos e aos requisitos contidos nos Procedimentos de Rede [16] que permitem identificar os limites das solicitações aplicáveis aos equipamentos sob análise. Naturalmente que uma possível e recomendável fonte de informações a respeito de limites para as solicitações aplicáveis a equipamentos é a consulta ao fabricante.

Conforme já mencionado, as solicitações do tipo incontroláveis e imprevisíveis não são abordadas neste documento. No entanto, alguma orientação sobre como gerenciar esse tipo de solicitação rara pode ser obtida no conjunto de referências relevantes que constam apresentadas no ANEXO 1 a este documento.

4.0 Práticas adotadas pelas concessionárias

A investigação realizada pelo WG A3.30 identificou duas práticas adotadas internacionalmente: a análise sistemática e a não sistemática das solicitações aplicadas a equipamentos de AT. A análise sistemática é aplicada com uma

frequência pré-estabelecida, normalmente a cada ano ou alguns anos e visa identificar a ocorrência de superação das capacidades nominais de equipamentos para horizontes de curto, médio e até longo prazo [3].

TABELA 1 - Correlação das solicitações impostas a equipamentos de AT com suas causas usuais

Parâmetros de desempenho dos equipamentos				<div>Corrente de carga</div> <div>Corrente de curto-circuito</div> <div>Sobretensão constante de tempo da rede</div> <div>Sobretensão temporária</div> <div>Sobretensão atmosférica</div> <div>Transitórios de manobra</div> <div>Esforços mecânicos</div> <div>Vibração</div> <div>Temperatura operativa</div>														
Tipos de solicitação		Origem primária das solicitações	Causas das solicitações	Correlação com os parâmetros de desempenho														
Tipos de solicitação	Controlável	Operação do sistema	Operação contínua com rede degradada acarretando corrente de operação acima da nominal	x									x	x	x			
			Operação contínua com rede degradada acarretando tensão de operação acima do valor máximo operativo					x						x				
			Sobrecorrente temporária	x	x	x			x					x	x	x		
			Sobretensão operativa temporária					x	x	x	x	x	x			x		
			Transitórios de corrente ou de tensão devido a manobra			x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		
		Expansão do sistema	Correntes e/ou tensões operativas acima das nominais	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		
			Ação do homem	Poluição	x	x			x	x	x				x	x	x	
		Erros de montagem ou de comissionamento													x	x		
		Manutenção imprópria													x	x		
	Incontrolável	Eventos naturais previsíveis	Vento												x			
			Gelo													x		
			Altas e baixas temperaturas	x	x				x	x	x	x	x	x	x	x		
			Fogo	x											x	x		
			Descarga atmosférica												x	x		
			Névoa salina	x								x			x	x		
			Chuvas intensas	x	x				x	x	x				x	x	x	
			Elevada umidade	x	x				x	x	x				x	x	x	
			Tempestade de areia	x	x				x	x	x				x	x	x	
			Terremoto (< 8 escala Richter)													x		
		Ação de animais	Ação de animais afetando partes ativas da rede ou dos cubículos de controle e proteção													x		
			Eventos naturais imprevisíveis	Tsunami													x	
		Tornado & furacão															x	
		Terremoto (> 8 Richter scale)															x	
		Atividade vulcânica		x	x				x	x	x					x	x	x
		Tempestade solar																
		Fenômenos naturais de intensidade SUPERIOR aos valores normalizados, p. ex.: aquecimento ambiental, inundação, chuva, umidade, neve, gelo, vento, tempestade de areia. etc.		x	x				x	x	x						x	x

TABELA 2 - Solicitações priorizadas para análise de desempenho de equipamentos de AT no que tange a possíveis Overstress a que podem ser submetidos no sistema elétrico

Influência nos equipamentos ----- ►			Disjuntor GIS	Disjuntor AIS	Seccionadora	Chave de terra	Isolador para-raios	Isolador pedestal	Transformador de instrumento	Banco de capacitor
Origem primária das solicitações	Controlável	Operação do sistema	Operação contínua com rede degradada acarretando corrente de operação acima da nominal			x	x			x
			Operação contínua com rede degradada acarretando tensão de operação acima do valor máximo operativo							x
			Sobrecorrente temporária	x	x	x				x
			Sobretensão operativa temporária	x	x	x		x		x
			Transitórios de corrente ou de tensão devido a manobra		x	x				x
	Ação do homem		Poluição			x			x	
			Erros de montagem ou de comissionamento	x	x					
			Manutenção imprópria	x	x	x	x			
	Incontrolável	Eventos naturais previsíveis	Altas e baixas temperaturas		x	x	x			
			Fogo		x	x				
			Descarga atmosférica		x			x		
			Névoa salina						x	
			Chuvas intensas						x	
	Ação de animais		Elevada umidade		x	x	x			
			Ação de animais afetando partes ativas da rede ou dos cubículos de controle e/ou proteção			x	x			x

A Tabela 3 apresenta os equipamentos e os parâmetros de desempenho geralmente considerados neste tipo de análise. A análise sistemática é geralmente baseada em estudos elétricos de sistema.

TABELA 3 – Análise sistemática de solicitações impostas a equipamentos para verificação da ocorrência de superação de suas capacidades nominais

Parâmetros de desempenho	Equipamentos considerados				
	Disjuntor	Seccionadora	Transformador de corrente	Bobina de bloqueio	Todos equipamentos da subestação
Corrente de curto-circuito	X	X	X	X	
Valor de pico da corrente de curto-circuito assimétrico	X	X	X	X	
Corrente de carga	X	X	X	X	
Constante de tempo (X/R)	X		X		
Tensão de operação (*)	X	X	X	-	X

(*) monitorado continuamente pelo sistema SCADA

A análise não sistemática é realizada apenas se a concessionária identificar possíveis evidências de superação por meio da operação em tempo real, estudos de planejamento, sistemas de monitoramento dos equipamentos ou pelo monitoramento de variáveis ambientais [8]. Os equipamentos e os parâmetros de desempenho geralmente considerados na análise não sistemática são apresentados na Tabela 4. A análise não sistemática é geralmente baseada em estudos elétricos de sistema, estudos de transitórios eletromagnéticos e monitoramento de variáveis ambientais, tais como, descargas atmosféricas, temperatura ambiente, depósito salino em isoladores e índices de poluição que afetem o isolamento elétrico dos equipamentos

Tabela 4 – Análise não-sistemática de solicitações impostas a equipamentos para verificação da ocorrência de superação de suas capacidades nominais

Parâmetros de desempenho	Equipamentos considerados			Não considerado neste Brochura Técnica ⁽¹⁾		
	Disjuntor	Para-raios	Todos equipamentos da subestação	Transformador de aterramento ⁽²⁾	Barramento	Malha de terra
Corrente de curto-circuito					X	X
Valor de pico da corrente de curto-circuito assimétrico					X	
Corrente de carga					X	
Constante de tempo (X/R)						
Tensão de restabelecimento transitória TRV	X					
X0/X1				X		
Sobretensão temporária (TOV)		X		X		
Energia dissipada		X				
Descarga atmosférica			X			
Névoa salina			X			
Chuvas intensas			X			
Elevada umidade			X			
Poluição			X			

(1) Praticado no Brasil de acordo com [18] (2) Aplicável apenas à sub-transmissão

Uma vez identificada a superação de algum parâmetro de desempenho de equipamento, a solução mais direta para solucionar o problema é a substituição do equipamento por outro com capacidades nominais adequadas a suportar as solicitações identificadas, sejam elas de origem elétrica, mecânica ou ambiental.

Entretanto, outras soluções também devem ser avaliadas pela concessionária em função dos prazos definidos para sua implantação, dos custos envolvidos e dos impactos na segurança e confiabilidade da rede, tais como, recapacitação das subestações e dos equipamentos, radialização da rede, introdução de conexões de tensões mais altas (CA ou CC), utilização de transformadores de impedância mais alta, adoção de estratégias complexas de chaveamento sequencial e de reatores série de núcleo de ar (RLC) [2][3][4][5][6][7].

A Regulação Brasileira do Setor Elétrico prevê o ressarcimento do Agente de Transmissão quando da substituição de um equipamento por conta de superação de suas capacidades nominais. Nas Regras dos Serviços de Transmissão de Energia Elétrica [19] em seu capítulo 3 item 4.e) este tipo de Reforço é definido.

Outra forma de solucionar problemas de superação é a aplicação de medidas mitigadoras, cujas mais usuais são descritas no Capítulo 6 da TB 816 [1]. No item 6.2 são discutidas medidas mitigadoras para as seguintes situações de superação aplicáveis a todos os equipamentos de subestação:

- correntes de curto-circuito simétrica e corrente de carga;
- sobretensão operativa contínua;
- corrente de curto-circuito com constante de tempo elevada;
- disjuntores devido a tensão transitória de restabelecimento (TRT);

Adicionalmente são discutidas metodologias análise e soluções para a superação dos seguintes equipamentos:

- transformador de corrente;
- para-raios tipo ZnO;
- isoladores pedestal devido à chuva muito intensa.

Além destas medidas mitigadoras, no item 6.3 são discutidas a aplicação de chaveamento controlado e de monitoramento de equipamentos como forma de atenuar solicitações de manobra e de prever a ocorrência de solicitações que possam ser danosas aos equipamentos de subestação, respectivamente.

No caso do Brasil, tanto a análise de superação de equipamentos de AT grandes elétricas, assim como a aplicação de medidas mitigadoras são detalhadamente abordados em documento do ONS elaborado em parceria com Agentes do Setor Elétrico [18]. O referenciado documento é a base para as análises e tomada de decisões sobre superação de equipamentos no Brasil e não incluem a superação de equipamentos motivada por questões climáticas ou ambientais.

5.0 Diferenciação entre os conceitos de superação e de envelhecimento

Uma importante conceituação trazida pelo WG A3,30 em [1] foi a diferenciação entre “superação das capacidades nominais” e “envelhecimento”. Estes conceitos, embora correlatos, se diferenciam substancialmente em sua origem e seu efeito sobre equipamentos de AT alta tensão, conforme representado na Figura 2. Na situação normal de operação do equipamento as curvas de distribuição de probabilidade das solicitações da rede e da suportabilidade do equipamento possuem sobreposição irrelevante, o que caracteriza risco de falha muito baixo (refira-se à “Situação Normal de Operação” na Figura 2).

Caso as solicitações da rede (ou do meio ambiente) sofram um recrudescimento, a distribuição das solicitações da rede se deslocará para a direita, acarretando sobreposição com a distribuição da suportabilidade do equipamento, que permanece inalterada (refira-se à condição de “Superação” na Figura 2). Esta situação operativa resulta em risco de falha não desprezível para o equipamento por superação de suas capacidades nominais.

Caso a suportabilidade do equipamento sofra alguma redução devido ao envelhecimento de alguma(s) de suas propriedades físicas, a distribuição da suportabilidade do equipamento se deslocará para a esquerda, acarretando sobreposição com a distribuição das solicitações da rede, que permanece inalterada (refira-se à condição de “Envelhecimento” na Figura 2). Isto resulta em risco de falha não desprezível para o equipamento por envelhecimento. Envelhecimento de equipamentos de subestação foi detalhadamente abordado na brochura técnica do 725 do CIGRE [14], que é uma relevante referência sobre este tema.

Embora tanto a superação como envelhecimento sejam fenômenos intrinsecamente diversos, ambos resultam em aumento do risco de falha de equipamentos. A gestão pelas concessionárias de cada um destes fenômenos se dá de forma diversa, incluindo o equacionamento financeiro da solução, pois o respectivo enquadramento regulatório é diverso. O envelhecimento é tratado pelo Regulador (ANEEL) no Capítulo 3, item 5.1b) das Regras dos Serviços de Transmissão de Energia Elétrica [19] como uma Melhoria, sendo a superação enquadrada como Reforço (vide item 4).

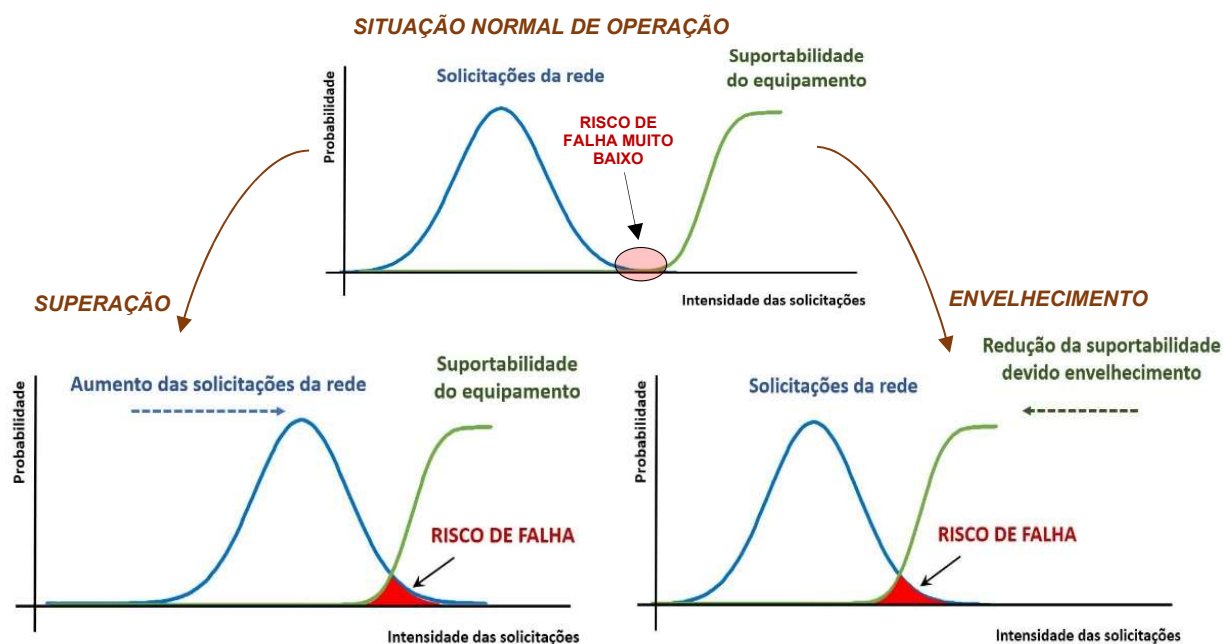


Figura 2 – Conceituação de superação e de envelhecimento de equipamentos de alta tensão

6.0 Conclusão

Este documento apresenta um resumo dos resultados do trabalho conduzido pelo CIGRE WG A3.30, que propôs a sistematização das análises de *overstress* que podem afetar os equipamentos de subestação de AT alta tensão. A correlação entre as análises de *overstress* e de superação de equipamentos, adotada há várias décadas no Brasil é também discutida.

O passo-a-passo da investigação de superação de equipamentos de AT inclui:

- Identificação dos tipos de solicitação e correspondentes parâmetros de desempenho dos equipamentos que possam ser impactados (Tabela 1);
- Correlação entre solicitação e parâmetros de desempenho para identificar tipos de solicitação relevantes para cada equipamento (Tabela 2);
- Análise da abrangência dos padrões normalizados, práticas definidas em documentos do CIGRE, das especificações do equipamento e requisitos dos códigos de rede (Procedimentos de Rede no Brasil) para determinação dos limites de suportabilidade do equipamento;
- Práticas das concessionárias para avaliar as solicitações que podem afetar o desempenho do equipamento (Tabelas 3 e 4), bem como discussão de medidas de mitigação da ocorrência de superação do equipamento.

Uma conclusão geral deste trabalho é a existência de um rico conjunto de referências que tratam de diferentes aspectos da gestão de ativos para equipamentos de AT, incluindo overstresses, superação e gerenciamento de vida útil, que se encontram relacionadas na lista de referência. Um grupo específico de referências que lidam com as solicitações classificadas como incontroláveis e imprevisíveis, geralmente de origem ambiental, é apresentada no ANEXO 1. Este tipo de solicitações ambientais vem ganhando espaço nos fóruns de discussão do CIGRE nos últimos anos, devido às alterações das condições climáticas e ambientais observadas na última década.

6.1 Recomendações para investigações adicionais

O trabalho realizado pelo WG A3.30 identificou algumas causas específicas de *overstress* que requerem investigação mais aprofundada da comunidade técnica, a fim de oferecer suporte aos gestores de ativos e operadores de sistema. São necessários subsídios técnicos para melhorias de normas, incluindo métodos de ensaio, assim como aprimoramento de procedimentos de comissionamento e de manutenção. Os temas prioritários para novas investigações são:

- Tensão de operação acima de valores de norma

Esta condição operativa geralmente é consequência do padrão intermitente de geração renovável e do rápido crescimento da penetração desse tipo de fonte, incluindo a geração distribuída no nível da distribuição. Isso pode levar a uma insuficiência de recursos de regulação de tensão na rede, impondo tensões de operação acima dos valores normalizados para os equipamentos. Este é um tópico que requer uma investigação mais aprofundada, uma vez que os padrões atuais não cobrem esta condição de operação. Foi criado o WG A3.42 (Failure Analysis for recent AIS IT incidents).

- Capacidade de suportar sobretensão temporária

Investigação mais detalhada sobre a capacidade do equipamento de AT de suportar sobretensões temporárias também é identificada como necessária. A falta de testes específicos para este tipo de estresse, bem como a falta de orientação de normas de equipamentos na definição de limites para sobretensões transitórias (TOV), exige investigação específica da comunidade técnica sobre o assunto. A resposta do CIGRE a esta necessidade foi a criação, no final de 2019, de um grupo de trabalho conjunto - JWG A3/A2/A1/B1.44 denominado "Consequências da tensão de operação para Equipamentos de Alta Tensão".

- Chaveamento controlado de disjuntores de média tensão

O chaveamento controlado foi bastante explorado pelos Grupos de Trabalho A3.07 e A3.35 do CIGRE. O foco tem sido disjuntores para redes de transmissão. No entanto, os benefícios desta tecnologia para a mitigação de transitórios de manobra também podem ser estendidos aos equipamentos de média tensão. Aspectos específicos de desempenho dos disjuntores de MT devem ser considerados.

- Desempenho dos transformadores de instrumento

Falhas recentes relatadas para diferentes tipos de transformadores de instrumentos em sistemas de transmissão estão atraindo a atenção de especialistas. Uma possibilidade para essas ocorrências são solicitações devido a transitórios ultra rápidos (VFTO), causados pela compactação de arranjos de subestação AIS. O Grupo de Trabalho CIGRE WG A3.42 (Análise de Falhas e Mitigação de Risco para Incidentes Recentes de Transformadores de Instrumento AIS) foi recentemente criado para investigar essas ocorrências, analisar sua origem e propor soluções de mitigação aplicáveis.

- Solicitações devido eventos incontroláveis e imprevisíveis, como pandemias e catástrofes globais

A pandemia COVID-19 iniciada no início de 2020 trouxe um novo aspecto que afetou a economia mundial. Atores de diferentes setores não estavam acostumados com catástrofes globais, mas sim com questões circunscritas geograficamente. No setor de energia os efeitos diretos da COVID-19, incluindo o consequente isolamento social aplicado como medida de mitigação, resultaram na redução dos serviços de campo em geral, especialmente os serviços de manutenção. Em muitos casos, os serviços foram adiados ou estendidos no tempo [20]. O efeito direto disso pode ser o aumento do risco de falha do equipamento e consequente interrupção de energia. Este tipo de evento bastante novo e inesperado exige uma análise cuidadosa das práticas de serviços públicos para gerenciamento de ativos sob catástrofes globais, visando manter a integridade dos equipamentos e a confiabilidade do sistema sob controle. Este é um tópico desafiador para estudos futuros do CIGRE.

7.0 Referências

- [1] CIGRE Technical Brochure 816 (2020), "Substation Equipment Overstress Management", WG A3.30, www.e-cigre.org.
- [2] D'Ájuz, A, Amon, J. et al, Equip. Eletricos de AT - Espec. e Aplicação em Subestações de Corrente Alternada (Livro de FURNAS Equip. AT – Capítulo XIV: Superação de Equipamentos, Livro Publicado pela Universidade Federal Fluminense, 1985.
- [3] Carvalho, A.C., Sinder, D., Muniz, M., Monteiro, A.M., Silva, B. A., Superação de Equipamentos de Alta Tensão: Critérios de Análise e Processo de Indicações de Substituições na Rede Básica e Demais Instalações da Transmissão, XIX SNPTTE, artigo SGE 97, Rio de Janeiro, outubro 2007.
- [4] Pereira, F.P, Sereno, M.G, Amon, J., Peralta, J.M, Fontes, M.A.P, Superação de Equipamentos – Alternativas das Transmissoras para Evitar a Substituição – Caso Furnas, XIX SNPTTE, artigo GSE-14, Rio de Janeiro, outubro 2007.
- [5] Carvalho, A.C., Muniz, M., Sinder, D., D'Ájuz, A., "Managing HV equipment replacement due to overrating", CIGRE Session 2008, paper A3-106, September 2008, Paris.
- [6] Carvalho, A.C., D'Ájuz, A., Monteiro, A.M., Sinder, D., "Overrating mitigation measures for HV circuit breakers CIGRE SC 13 Colloquium", paper PS2-10, September 2007, Rio de Janeiro.
- [7] Amon, J. F., Fernandez, P. C., Rose, E. H., D'Ájuz, A., Castanheira, A., "Brazilian Successful Experience in the Usage of Current Limiting Reactors for Short-Circuit Limitation", CIGRE SC A3 Colloquium, paper A3-106, 07 a 09/09/2011, Viena, Áustria
- [8] Carvalho, A., Amon, J. F., Lindner, C., Bourdeau, J-F, Sardi, B. N., Vázquez, P. R., Richter, F., Moreau, P., "Challenges for managing overstresses and end of life of HV equipment", CIGRE Session 2016, paper A3-201, Paris[1]
- [9] Ohno, T. Ito, H. Nakakoji, T. Kobayashi, H. Sato, "Study of seismic design and guideline of substation equipment based on the Great East Japan Earthquake", CIGRE 2014 Session, paper A3-304.
- [10] H. Miyakawa, H. Takada, Y. Ito, M. Toyoda, J. Kida, H. Koyama, "Investigation of composite insulators in extreme environments – Heavy snow and severe pollution", CIGRE 2014 Session, paper A3-305.
- [11] CIGRE Technical Brochure 614 (2015), "Air Insulated Substation Design for Severe Climate Conditions", WG B3.31, www.e-cigre.org.
- [12] CIGRE Technical Brochure 309 (2006), "Asset management of transmission systems and associated CIGRE activities", WG C1.1, www.e-cigre.org.
- [13] CIGRE Technical Brochure 486 (2012), "Integral decision process for substation equipment replacement", WG B3.06, www.e-cigre.org.
- [14] CIGRE Technical Brochure 725 (2018), "Ageing High Voltage Substation Equipment and Possible Mitigation Techniques", WG A3.29, www.e-cigre.org.
- [15] Carvalho, A.C., Amon, J.F., Lindner, C. Karrer, R., Moreau, P., Hoijmans, M., Annaudari, S., Nikosi, S., Mercir, A., "Managing Substation Equipment Overstresses", CIGRE SC A3 Technical Colloquium, paper 103, 2015, Nagoya.
- [16] Sackman, H., Delphi Assessment: Expert Opinion, Forecasting and Group Process, R-1283-PR, 1974.
- [17] ONS, Procedimentos de Rede, Sumódulo 2.6 - Requisitos mínimos para subestações e seus equipamentos, <http://www.ons.org.br/paginas/sobre-o-ons/procedimentos-de-rede/vigentes>
- [18] ONS, Critérios para análise de superação de equipamentos e instalações de alta tensão, Nota Técnica ONS 048/2014 - Revisão 1, Fevereiro 2015.
- [19] ANEEL, Regras dos Serviços de Transmissão de Energia Elétrica – Capítulo 3: Instalações e Equipamentos, aprovado pela REN 905/2020.
- [20] UZELAC, N.* (US), RICHTER, F. (DE), CARVALHO, A. (BR), LE ROUX, R. (IE), NOVAK, P.L. (DE), AMON, J. F. (BR), "Impact of Covid-19 to System Operators and Electrical Equipment Manufacturers" - Utility Advisory Group A3 by- Invited Paper - CIGRÉ SCIENCE & ENGINEERING - October 2020.

7.1 Brochuras Técnicas Publicadas pelo CIGRE com temáticas relacionadas a gestão de ativos:

- [21] CIGRE Brochure 165: Life management of circuit-breakers;
- [22] CIGRE Brochure 239: Fault Current Limiters in Electrical Medium and High Voltage Systems;
- [23] CIGRE Brochure 304: Guide for application of IEC 62271-100 and IEC 62271-1 - Part 1 General subjects;
- [24] CIGRE Brochure 305: Guide for application of IEC 62271-100 and IEC 62271-1 - Part 2 Making and breaking tests;
- [25] CIGRE Brochure 309: Asset management of transmission systems and associated CIGRE activities;
- [26] CIGRE Brochure 336: Changing network conditions and system requirements, Part II, The impact of long distance transmission on HV equipment;
- [27] CIGRE Brochure 462: Obtaining Value from On-Line Substation Condition Monitoring;
- [28] CIGRE Brochure 486: Integral decision process for substation equipment replacement;
- [29] CIGRE Brochure 519: VFTO in Gas-Insulated UHV Substation;
- [30] CIGRE Brochure 555: Artificial Pollution Test for Polymer Insulators. Results of Round Robin Test;
- [31] CIGRE Brochure 570: Switching Phenomena for EHV and UHV Equipment;
- [32] CIGRE Brochure 614: Air Insulated Substation Design for Severe Climate Conditions;
- [33] CIGRE Brochure 634: Impact of rain on insulator performance;
- [34] CIGRE Brochure 696: MO Surge Arresters - Metal Oxide Resistors and Surge Arresters for Emerging System Conditions;
- [35] CIGRE Brochure 725: Ageing High Voltage Substation Equipment and Possible Mitigation Techniques;
- [36] CIGRE Brochure 737: Non-intrusive methods for condition assessment of distribution and transmission switchgear;
- [37] CIGRE Brochure 757: Guidelines and best practices for the commissioning and operation of controlled switching projects.

8.0 ANEXO 1 – Referencias sobre gerenciamento de solicitações incontroláveis e imprevisíveis⁽¹⁾

	References associated to unpredictable natural causes
Tsunami	<p>[B9] I. Ohno, T. Ito, H. Nakakoji, T. Kobayashi, H. Sato, "Study of seismic design and guideline of substation equipment based on the Great East Japan Earthquake", CIGRE 2014 Session, paper A3-304.</p> <p>[B50] JEAG 5003-2010 "Guideline for Seismic Design for Electric Equipment at Substations, etc.", Japan, 2010.</p>
Earthquake (> 8 Richter scale)	<p>[B9] I. Ohno, T. Ito, H. Nakakoji, T. Kobayashi, H. Sato, "Study of seismic design and guideline of substation equipment based on the Great East Japan Earthquake", CIGRE 2014 Session, paper A3-304.</p> <p>[B50] JEAG 5003-2010 "Guideline for Seismic Design for Electric Equipment at Substations, etc.", Japan, 2010.</p> <p>[B52] IEC 61166, "High voltage alternating current circuit-breakers – Guide for seismic qualification of high voltage alternating current circuit breakers", 1993.</p> <p>[B53] I. Manea, C. Radu, O. Tanase, F. Wasseem, "Structural Analysis of High Voltage Electric Equipment with a View to Seismic Capability Assessment", CIGRE 2008 Session, paper A3-212.</p> <p>[B64] I. Ohno, S. Iwasaki, M. Kosakada, D. Yoshida, "Verification of Seismic Performance on EHV Gas Insulated Switchgear", CIGRE 2012 Session, paper A3-306</p> <p>[B65] IEC TR 62271-300:2006, High-voltage switchgear and controlgear - Part 300: Seismic qualification of alternating current circuit-breakers.</p> <p>[B66] IEC TS 61463, Bushing – Seismic qualification, 2016.</p> <p>[B67] IEC 62271-207, High-voltage switchgear and controlgear - Part 207: Seismic qualification for gas-insulated switchgear assemblies for rated voltages above 52 kV, 2012.</p>
Volcano activity	<p>[B86] J. Wardman, C. Stewart, V. Sword-Daniels, T. Wilson, "Impact Assessment of the May 2010 Eruption of Pacaya Volcano, Guatemala", GNS Science Report 2012/09, 2012</p> <p>[B87] Auckland Engineering Lifelines Group, Project AELG-19, "Review of Impacts of Volcanic Ash on Electricity Distribution Systems, Broadcasting and Communication Networks", Auckland Regional Council, Technical Report No.051, 2009.</p>
Big solar magnetic storm	<p>[B88] CBC, "Scientists probe northern lights from all angles", 2005.</p> <p>[B89] P Czech, S Chano, H Huynh and A Dutil, "The Hydro-Quebec system blackout of 13 March 1989: System response to geomagnetic disturbance", Proceedings of Geomagnetically Induced Currents Conference, 1989, Millbrae, California, EPRI Report TR-100450, 1992.</p> <p>[B90] New Scientist, "Earth dodges magnetic storm", 1989.</p> <p>[B91] E. Bernabeu, M. Baldwin, M. Till, "Harmonic Load Flow During Geomagnetic Disturbances", CIGRE Science & Engineering – Innovation in the Power Systems Industry, Vol. 3, 2015.</p> <p>[B92] P Smith, "Effects of geomagnetic disturbances on the National Grid System", 25th Universities Power Engineering Conference, September 1990.</p> <p>[B93] Z. Emin, P. Smith, "Geomagnetically Induced Currents and Their Effect on Electric Power Networks", https://network.wsp-pb.com/article/geomagnetically-induced-currents-and-their-effect-on-electric-power-networks.</p> <p>[B94] WG C4.32 – "Understanding of the Geomagnetic Storm Environment for High Voltage Power Grids", http://c4.cigre.org/WG-Area/WG-C4.32-Understanding-of-the-Geomagnetic-Storm-Environment-for-High-Voltage-Power-Grids</p>
Severe heat, severe flooding, severe rain and humidity, severe cold, snow and ice, severe wind and sand storms – above standard values	<p>[B10] H. Miyakawa, H. Takada, Y. Ito, M. Toyoda, J. Kida, H. Koyama, "Investigation of composite insulators in extreme environments - Heavy snow and severe pollution", CIGRE 2014 Session, paper A3-305.</p> <p>[B11] CIGRE Brochure 614, "Air Insulated Substation Design for Severe Climate Conditions", WG B3.31, 2015, www.e-cigre.org.</p> <p>[B23] Federal Emergency Management Agency (FEMA) 543 (2007), "Design Guide for Improving Critical Facility Safety from Flooding and High Winds: Providing Protection to People and Buildings".</p> <p>[B22] IEC 60721-2-2, "Classification of environmental conditions – Part 2: Environmental conditions appearing in nature – Precipitation and wind", 2012.</p> <p>[B25] H. Hemmatjou, H. Javadi, M. Farzaneh, "Electrical Behaviour of Snow Accumulated on a Post Insulator under AC High Voltage", IWAIS XI, Montréal, 2005.</p> <p>[B45] CIGRE Brochure 634, "Impact of rain on insulator performance", WG D1.45, 2015, www.e-cigre.org.</p> <p>[B48] UNCCD, UNEP, UNESCO, FAO, ESCAP "Global Alarm: Dust and Sandstorms from the World's Drylands", United Nations.</p> <p>[B49] L.S. Nasrat, A.F. Hamed, M.A. Hamid, S.H. Mansour, "Study the flashover voltage for outdoor polymer insulators under desert climatic conditions", Egyptian Petroleum Research Institute, Egyptian Journal of Petroleum, www.elsevier.com/locate/egyjp.</p> <p>[B51] Federal Emergency Management Agency (FEMA)- FEMA-1674-DR-KS and FEMA-1675-DR-NE "Electrical Transmission and Distribution Mitigation: Loss Avoidance Study".</p> <p>[B99] IEC TS 60815-3, Selection and dimensioning of high-voltage insulators intended for use in polluted conditions - Part 3: Polymer insulators for a.c. systems, 2008.</p> <p>[B115] C.H.A. Ely, P.J. Lambeth and J.S.T. Looms, "The Booster Shed: Prevention of Flashover of Polluted Substation Insulators In Heavy Wetting", IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-97, No. 6, pp. 2187-2197, 1978,.</p>

⁽¹⁾ Item 5.3 da Brochura Técnica CIGRE TB 816 [1]

DADOS BIOGRÁFICOS



ANTONIO CARLOS DE CARVALHO é engenheiro de sistemas de potência pela UFRJ (1978) e Mestre pela COPPE/UFRJ (1986). Membro CIGRE desde 1982. Coordenou diversos grupos de trabalho e de 2014 a 2018 foi membro brasileiro do CE A3 – Equipamentos Alta Tensão. Trabalhou 13 anos no CEPEL, em atividades de P&D, na ABB por 11 anos, em desenvolvimento de equipamentos de AT. A partir de 2004 transferiu-se para o ONS, para atuar em engenharia da transmissão, até 2017 e Gerente Executivo da área regulatória. Ao final de 2021 tornou-se sócio da ATIVA Engenharia, atuando em consultoria em sistemas de potência.

(2) JORGE AMON FILHO - Trabalhou em Furnas Centrais Elétricas (1976-2013). Coordenador do Comitê Brasileiro de Usuários do EMTP/ATP-CBUE (2002-2013). Professor dos cursos de graduação em Engenharia da PUC-RJ, (1990-1995) e UERJ (2000-2003). Membro do comitê SC A3 (2000-2010), secretário do WGA3.30 (2011-2020). Membro de outros WGs do CIGRÉ desde 1997. Membro Senior do IEEE desde 2010. Coordenou projetos de Furnas de P&D / Aneel desde 2003. Autor e/ou co-autor de livros e artigos técnicos apresentados em seminários nacionais e internacionais (SNPTEE, ERIAC, SEPOPE, CIER, IEC, SBSE, IEEE PES T&D e outros) desde 1978. Membro da Comissão Técnica do SNPTEE (2007-2015).

(3) MARTA CASTRO LACORTE - Marta Lacorte, engenheira elétrica, Mestre em Técnicas de Alta Tensão, pesquisadora no Cepel de 1984 a 1991. De 1992 até 2001 trabalhou como suporte técnico para GIS na ABB Suíça. Retornou em 2002 como representante de Disjuntor de Gerador da ABB Suíça para a América Latina. Posteriormente assumiu Gerência de Engenharia de Equipamentos de Alta Tensão na ABB Brasil até 2015. Atualmente é sócia da Ativa Engenharia, empresa especializada na realização de estudos elétricos (frequência fundamental e transitórios eletromagnéticos), análises para definição de tecnologia de equipamentos de alta tensão e arranjos de subestações. É atualmente coordenadora do SC B3 (Subestações).