



Grupo de Estudo de Subestações e Equipamentos de Alta Tensão-GSE

Avaliação de Esforços Dinâmicos em Função da Variação dos Parâmetros Envolvidos no Cálculo para Estruturas de Subestações Isoladas a Ar

RAFAEL FARIA DA SILVA(1);
TSE(1);

RESUMO

Este trabalho apresenta uma análise de sensibilidade para os esforços dinâmicos em estruturas de subestações isoladas a ar em função da variação de alguns dos vários parâmetros envolvidos no cálculo destas grandezas como: comprimento do vão, número de espaçadores, intensidade da corrente de curto-circuito considerada, bitola do condutor, flecha adotada. Apresentam-se, de forma resumida, as metodologias para o cálculo dos esforços estáticos e dinâmicos. Por fim, apresentam-se as análises comparativas para a variação dos parâmetros envolvidos no cálculo. O objetivo do trabalho é permitir que o leitor tenha noção da influência de certas variáveis no resultado dos esforços dinâmicos.

PALAVRAS-CHAVE

Esforços Dinâmicos, IEC 60865-1, Subestações Isoladas a Ar, Condutores Flexíveis

1.0 - INTRODUÇÃO

Este trabalho é fruto de uma dissertação de mestrado desenvolvida durante o período 2015-2018 na Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI) e das experiências profissionais do autor que, desde 2014, atua como consultor na área de projetos e estudos elétricos especializados.

Ao longo destes anos de trabalho, foi obtido acesso a diversas memórias de cálculos de esforços em estruturas de diversas empresas nacionais e, para elaboração do trabalho de mestrado, obteve-se acesso também a memórias e relatórios de algumas empresas multinacionais. A análise destes relatórios e o contato com outras empresas que atuam no ramo mostrou que não há consenso com relação a aplicação das metodologias de cálculo dos esforços dinâmicos e existe divergência na maneira de considerar estes esforços para o dimensionamento das estruturas.

Apesar da existência da norma internacional, a IEC 60865-1, que estabelece a metodologia de cálculo detalhada, observou-se que os esforços dinâmicos são muitas vezes negligenciados no dimensionamento das estruturas. Em outros casos, os relatórios eram incompletos e continham erros nas considerações e nas premissas adotadas para os cálculos.

Em 2017, no XXIV SNPTEE, um artigo foi apresentado abordando a utilização dos efeitos simultâneos de vento e curto-circuito para o cálculo dos esforços nas estruturas da subestação. Apesar da brochura do CIGRÉ, na qual a norma IEC 60865-1 foi baseada não recomendar a consideração de vento e curto-circuito simultaneamente, um dos clientes da empresa exigiu que esta consideração fosse feita, o que gerou este trabalho. Durante o evento, o tema gerou uma boa discussão. No entanto, percebe-se que hoje, dois anos depois, muito ainda há que se discutir com relação a este tema.

Este trabalho apresenta de forma resumida a metodologia para determinação dos esforços estáticos e o procedimento apresentado na norma IEC60865-1 para a determinação dos esforços dinâmicos em condutores flexíveis. Por fim é realizado levantamento dos efeitos da variação de alguns parâmetros utilizados no cálculo e os resultados são apresentados em forma de gráficos.

2.0 - ESFORÇOS ESTÁTICOS

A metodologia para o cálculo de esforços estáticos, resumida abaixo, é apresentada em detalhes no livro "Overhead Power Lines: Planning, Design, Construction".

A flecha pode ser obtida a partir da expansão em série de potência do cosseno hiperbólico da expressão **Erro! Fonte de referência não encontrada.**, considerando apenas o primeiro termo série e supondo os suportes à mesma altura:

$$f = \frac{H}{m_c \cdot g} \cdot \left[\cosh\left(\frac{m_c \cdot g \cdot a}{2 \cdot H}\right) - 1 \right] = \frac{H}{m_c \cdot g} \cdot \left[1 + \left(\frac{m_c \cdot g \cdot a}{2 \cdot H}\right)^2 - 1 \right] = \frac{m_c \cdot g \cdot a^2}{8 \cdot H}$$

A equação de mudança estado, responsável por determinar as trações para condições diferentes da condição inicial é apresentada a seguir:

$$\frac{E \cdot A \cdot (a \cdot m_{c2} \cdot g)^2}{24} = H_2^2 \cdot \left[H_2 - H_1 + \frac{E \cdot A \cdot (a \cdot m_{c1} \cdot g)^2}{24 \cdot H_1^2} + E \cdot A \cdot \alpha \cdot \Delta\theta \right]$$

3.0 - ESFORÇOS DINÂMICOS

Nesta seção são apresentadas as considerações acerca dos cálculos dos esforços dinâmicos devidos à passagem das correntes de curto-circuito pelos condutores flexíveis da subestação. O cálculo é apresentado na norma IEC 60865-1.

Calcula-se a força eletromagnética característica por unidade de comprimento em condutores flexíveis:

$$F' = \frac{\mu_0}{2\pi} \cdot 0,75 \cdot \frac{(I_K')^2}{a} \cdot \frac{l_c}{V}$$

Determina-se a relação entre a característica da força eletromagnética característica F' e a gravidade:

$$r = \frac{F'}{n \cdot m'_s \cdot g}$$

A direção "δ" da força resultante entre o peso do condutor e a força eletromagnética característica "F'" é dada por:

$$\delta_1 = \tan^{-1}(r)$$

O cálculo do período de oscilação do condutor depende da flecha no meio do vão que foi determinada nas seções anteriores e pode ser calculada em função da tração estática "F_{st}".

$$f_{es} = \frac{n \cdot m'_s \cdot g \cdot l^2}{8 \cdot F_{st}}$$

O período de oscilação do condutor considerando uma flecha constante é dado pela expressão (3.64):

$$T = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{0,8 \cdot \frac{f_{es}}{g}}$$

Durante a passagem da corrente de curto-circuito o condutor oscila com um período dado por "T_{res}" que depende do período calculado acima, da direção da resultante entre a força peso e a força eletromagnética característica "F'" e da relação r entre essas forças.

$$T_{res} = \frac{T}{\sqrt[4]{1+r^2} \cdot \left[1 - \frac{\pi^2}{64} \cdot \left(\frac{\delta_1}{90^\circ} \right)^2 \right]}$$

Calcula-se o módulo da elasticidade efetivo do condutor. Este valor é utilizado para determinar a norma da rigidez resultante entre condutores e estruturas de suporte.

$$E_{eff} = \begin{cases} E \cdot \left[0,3+0,7 \cdot \sin \left(\frac{F_{st}}{n \cdot A_s \cdot \sigma_{fin}} \cdot 90^\circ \right) \right], & \text{para } \frac{F_{st}}{n \cdot A_s} < \sigma_{fin} \\ E, & \text{para } \frac{F_{st}}{n \cdot A_s} > \sigma_{fin} \end{cases}$$

A norma da rigidez resultante entre os suportes e os condutores é dada por:

$$N = \frac{1}{S \cdot l} + \frac{1}{n \cdot A_s \cdot E_{eff}}$$

Efetua-se o cálculo do fator de *stress*.

$$\zeta = \frac{(n \cdot g \cdot m'_s \cdot l)^2}{24 \cdot F_{st}^3 \cdot N}$$

Quando cessa a passagem da corrente de curto-circuito, o ângulo de oscilação do condutor é calculado da seguinte maneira:

$$\delta_{end} = \begin{cases} \delta_1 \cdot \left[1 - \cos \left(360^\circ \cdot \frac{T_{kl}}{T_{res}} \right) \right], & \text{para } 0 \leq \frac{T_{kl}}{T_{res}} \leq 0,5 \\ 2 \cdot \delta_1, & \text{para } \frac{T_{kl}}{T_{res}} > 0,5 \end{cases}$$

O cálculo do máximo ângulo de oscilação depende de um parâmetro “ χ ”, dado por:

$$\chi = \begin{cases} 1 - r \cdot \sin(\delta_{end}), & \text{para } 0 \leq \delta_{end} \leq 90 \\ 1 - r, & \text{para } \delta_{end} > 90 \end{cases}$$

Então, é possível calcular o máximo ângulo de oscilação pela expressão (3.71):

$$\delta_{max} = \begin{cases} 1,25 \cdot \cos^{-1}(\chi), & \text{para } 0,766 \leq \chi \leq 1 \\ 10^\circ + \cos^{-1}(\chi), & \text{para } -0,985 \leq \chi < 0,766 \\ 180^\circ, & \text{para } \chi < -0,985 \end{cases}$$

A partir da comparação do tempo para extinção da corrente de curto-circuito “ T_{kl} ” e o tempo de oscilação resultante “ T_{res} ”, calcula-se o parâmetro de carga:

$$\varphi = \begin{cases} 3 \cdot (\sqrt{r^2+1} - 1), & \text{para } T_{kl} \geq \frac{T_{res}}{4} \\ 3 \cdot (r \cdot \sin(\delta_{end}) + \cos(\delta_{end}) - 1), & \text{para } T_{kl} < \frac{T_{res}}{4} \end{cases}$$

O fator de tensão também pode ser determinado pela expressão abaixo.

$$\varphi^2 \psi^3 + \varphi \cdot (2+\zeta) \cdot \psi^2 + (1+2 \cdot \zeta) \cdot \psi - \zeta \cdot (2+\varphi) = 0$$

Finalmente, a tração devido à força entre fases (*swing-out*), originada pela passagem da corrente de curto-circuito, é calculada por:

$$F_{t,d} = F_{st} \cdot (1 + \varphi \cdot \psi)$$

A força “ $F_{t,d}$ ”, ou de *drop-back*, é devida à queda ou à oscilação do condutor de volta à posição original quando cessa a passagem da corrente de curto-circuito. Esta força só é considerada quando as seguintes condições são satisfeitas:

- Se a relação “ r ” entre a força eletromagnética característica F' e a força peso for superior a 60%;
- Se o máximo ângulo de oscilação for superior a 70°;

Satisfeitas todas as condições, o valor da força “ $F_{t,d}$ ” é dado por:

$$F_{t,d} = 1,2 \cdot F_{st} \cdot \sqrt{1 + 8 \cdot \zeta \cdot \frac{\delta_{\max}}{180^\circ}}$$

Para o cálculo das forças devidas à interação entre subcondutores de uma mesma fase (*bundle*), primeiramente, são determinados os valores de parâmetros v_1 , v_2 e v_3 .

$$v_1 = f \cdot \frac{1}{\sin\left(\frac{180^\circ}{n}\right)} \cdot \frac{(a_s - d) \cdot m_s}{\sqrt{\frac{\mu_0}{2\pi} \cdot \left(\frac{I_k}{n}\right)^2 \cdot \frac{n-1}{a_s}}}$$

O fator “ v_2 ” depende do fator “ v_1 ” calculado e pode ser obtido pela expressão:

$$v_2 = \frac{\sin(4 \cdot \pi \cdot f \cdot T_{pi} - 2 \cdot \gamma) + \sin(2 \cdot \gamma)}{4 \cdot \pi \cdot f \cdot T_{pi}} + \frac{f \cdot \tau}{f \cdot T_{pi}} \left(1 - e^{-\frac{2 \cdot f \cdot T_{pi}}{f \cdot \tau}}\right) \sin^2(\gamma) -$$

$$\frac{8 \cdot \pi \cdot f \cdot \sin(\gamma)}{1 + (2 \cdot \pi \cdot f \cdot \tau)^2} \left\{ \left(2 \cdot \pi \cdot f \cdot \tau \frac{\cos(2 \cdot \pi \cdot f \cdot T_{pi} - \gamma)}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot T_{pi}} + \frac{\sin(2 \cdot \pi \cdot f \cdot T_{pi} - \gamma)}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot T_{pi}} \right) e^{\frac{f \cdot T_{pi}}{f \cdot \tau}} + \frac{\sin(\gamma) - 2 \cdot \pi \cdot f \cdot \tau \cdot \cos(\gamma)}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot T_{pi}} \right\}$$

$$\frac{1}{\tau} = - \frac{2 \cdot \pi \cdot f}{3} \cdot \ln\left(\frac{\kappa - 1,02}{0,98}\right), \text{ para } \kappa \geq 1,1 \text{ e } \gamma = \tan^{-1}(2 \cdot \pi \cdot f \cdot \tau)$$

- Se $\kappa < 1,1$ o valor 1,1 deve ser utilizado;
- $f \cdot T_{pi}$ é solução da equação :

$$v_1 = f \cdot T_{pi} \cdot \sqrt{v_2}$$

O fator “ v_3 ” depende diretamente da relação entre a distância entre os subcondutores “ a_s ” e o diâmetro do condutor “ d ” e é calculado pela equação a abaixo.

$$v_3 = \frac{\frac{d}{a_s}}{\sin\left(\frac{180^\circ}{n}\right)} \cdot \frac{\sqrt{\frac{a_s}{d} - 1}}{\tan^{-1}\sqrt{\frac{a_s}{d} - 1}}$$

A partir dos valores calculados de “ v_2 ” e “ v_3 ” determina-se a força “ F_v ”, relativa à passagem da corrente de curto-circuito que representa a força de atração entre os subcondutores do *bundle*.

$$F_v = (n - 1) \cdot \frac{\mu_0}{2\pi} \cdot \left(\frac{I_k}{n}\right)^2 \cdot \frac{1}{a_s} \cdot v_2 \cdot v_3$$

Dois fatores relativos à contração do *bundle* são calculados: “ ϵ_{st} ” e “ ϵ_{pi} ”.

$$\epsilon_{st} = 1,5 \cdot \frac{F_{st} \cdot I_s^2 \cdot N}{(a_s - d)^2} \cdot \sin^2\left(\frac{180^\circ}{n}\right)$$

$$\epsilon_{pi} = 0,375 \cdot n \cdot \frac{F_v \cdot I_s^3 \cdot N}{(a_s - d)^3} \cdot \sin^3\left(\frac{180^\circ}{n}\right)$$

O parâmetro “j” determina a configuração dos subcondutores durante o curto-circuito, A partir deste cálculo é possível determinar se os condutores colidem ou se a distância entre eles é apenas reduzida sem colisão.

$$j = \sqrt{\frac{\varepsilon_{pi}}{1 + \varepsilon_{st}}}$$

A força “F_{pi,d}” é calculada de diferentes formas para cada uma dessas condições.

3.1 Caso em que há colisão – $j \geq 1$

Dois outros fatores são calculados:

$$v_4 = \frac{a_s - d}{d} \quad e \quad v_c = \frac{1}{2} + \left[\frac{9}{8} \cdot n \cdot (n-1) \cdot \frac{\mu_0}{2\pi} \cdot \left(\frac{I_k}{n} \right)^2 \cdot N \cdot v_2 \cdot \left(\frac{l_s}{a_s - d} \right)^4 \cdot \frac{\text{sen}^4\left(\frac{180^\circ}{n}\right)}{\xi^3} \cdot \left\{ 1 - \frac{\tan^{-1}\sqrt{v_4}}{\sqrt{v_4}} \right\} \cdot \frac{1}{4} \right]^{1/2}$$

O valor da força de pinçamento é dado pela equação:

$$F_{pi,d} = F_{st} \cdot \left(1 + \frac{v_c}{\varepsilon_{st}} \cdot \xi \right)$$

Ressalta-se que a força “F_{pi,d}” depende diretamente do valor do valor do esforço estático e de um parâmetro “ξ” que é obtido por:

$$\xi^3 + \varepsilon_{st} \cdot \xi^2 - j^2 \cdot (1 + \varepsilon_{st}) = 0 \quad j^{\frac{2}{3}} \leq \xi \leq j$$

3.2 Caso em que há colisão – $j < 1$

Dois outros fatores são calculados:

$$v_4 = \eta \cdot \frac{a_s - d}{a_s - \eta \cdot (a_s - d)}$$

$$v_c = \frac{1}{2} + \left[\frac{9}{8} \cdot n \cdot (n-1) \cdot \frac{\mu_0}{2\pi} \cdot \left(\frac{I_k}{n} \right)^2 \cdot N \cdot v_2 \cdot \left(\frac{l_s}{a_s - d} \right)^4 \cdot \frac{\text{sen}^4\left(\frac{180^\circ}{n}\right)}{\eta^4} \cdot \left\{ 1 - \frac{\tan^{-1}\sqrt{v_4}}{\sqrt{v_4}} \right\} \cdot \frac{1}{4} \right]^{1/2}$$

O valor da força de pinçamento é dado pela expressão:

$$F_{pi,d} = F_{st} \cdot \left(1 + \frac{v_c}{\varepsilon_{st}} \cdot \eta^2 \right)$$

A força “F_{pi,d}” para este caso também depende diretamente do valor do valor do esforço estático e de um parâmetro “η”, que pode ser obtido pelas expressões a seguir:

$$\eta^3 + \varepsilon_{st} \cdot \eta - j^2 \cdot (1 + \varepsilon_{st}) \cdot f_n = 0$$

$$0 \leq \eta \leq 1$$

Para determinação de “f_n” a sequência de expressões abaixo deve ser utilizada:

$$f_n = \frac{v_3}{\frac{a_{sw}}{a_s}}$$

$$\frac{a_{sw}}{a_s} = \frac{2 \cdot \frac{y_a}{a_s}}{\text{sen}\left(\frac{180^\circ}{n}\right)} \cdot \frac{\sqrt{\frac{1 - 2 \cdot \frac{y_a}{a_s}}{2 \cdot \frac{y_a}{a_s}}}}{\tan^{-1} \sqrt{\frac{1 - 2 \cdot \frac{y_a}{a_s}}{2 \cdot \frac{y_a}{a_s}}}}$$

$$2 \cdot \frac{y_a}{a_s} = 1 - \eta \cdot \left(1 - \frac{d}{a_s} \right)$$

4.0 - ANÁLISE DE SENSIBILIDADE

Este item apresenta a análise de sensibilidade dos resultados para os esforços dinâmicos considerando a variação de alguns dos parâmetros envolvidos no cálculo.

Considerou-se, de forma geral os seguintes dados (500 kV / 138 kV): cadeias de isoladores de 300/65 kg, com 6/2,75 metros, flecha de 3,5%, constante S de 650000/75000 N/m, corrente de curto-circuito de 63/31,5 kA, espaçamento entre subcondutores de 0,457/0,200 metros, distância entre fases de 8/3 metros e 3 espaçadores no vão.

4.1 Variação do comprimento do vão

O gráfico a seguir apresenta os resultados para diferentes comprimentos de vãos.

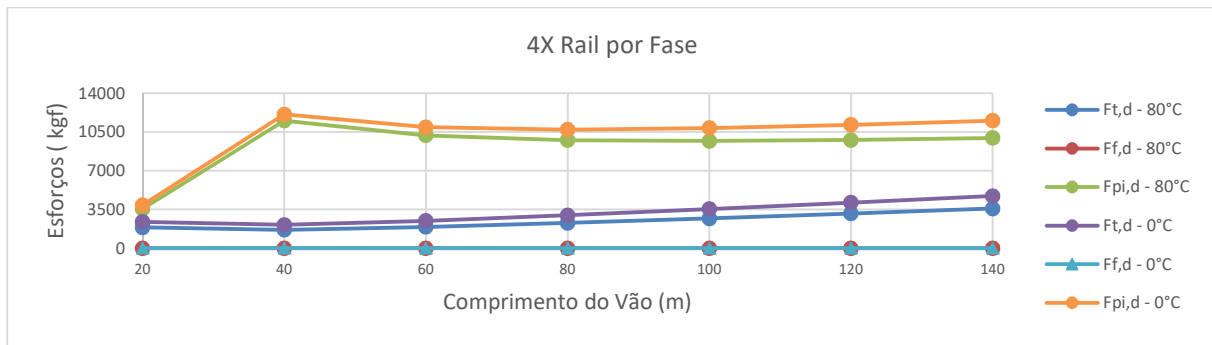


FIGURA 2 – Variação do comprimento do vão.

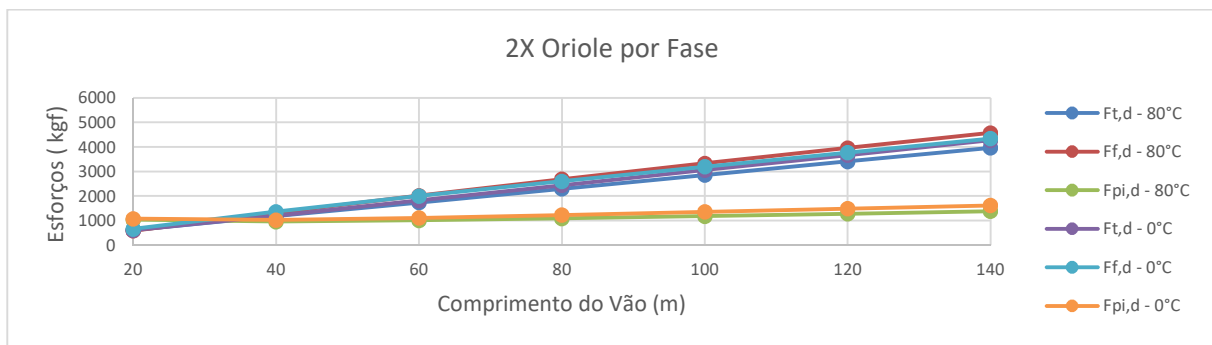


FIGURA 3 – Variação do comprimento do vão.

Para os condutores Rail, observa-se que, para o tempo de duração do curto-circuito utilizado o efeito da força $F_{f,d}$ é desconsiderado, de acordo com a metodologia da norma IEC 60865-. A força $F_{t,d}$ acompanha o efeito observado para as forças estáticas. A força $F_{pi,d}$ apresenta um pico por volta dos 40 metros de comprimento do vão e depois é significativamente reduzida. A força de *pinch* para 40 metros de comprimento do vão é praticamente igual à força de *pinch* para um vão de 140 metros. Para o cabo Oriole observa-se que tanto $F_{t,d}$ quanto $F_{f,d}$ aumentam de acordo com o aumento do comprimento do vão. A força $F_{pi,d}$, apesar de aumentar, é bem menos influenciada pelo comprimento do vão. Ressalta-se que o número de espaçadores foi mantido constante para todos os casos analisados.

4.2 Variação do condutor utilizado

Para este caso, considerou-se um vão de 40 metros e um vão de 90 metros. Os seguintes condutores foram analisados:

Tabela 2 – Condutores utilizados.

Diâmetro do Condutor	[m]	0.027	0.028	0.029	0.030	0.030	0.033	0.034	0.034	0.035	0.035	0.036	0.036	0.044	0.045	0.046

O gráfico a seguir apresenta os resultados para diferentes comprimentos de vãos.

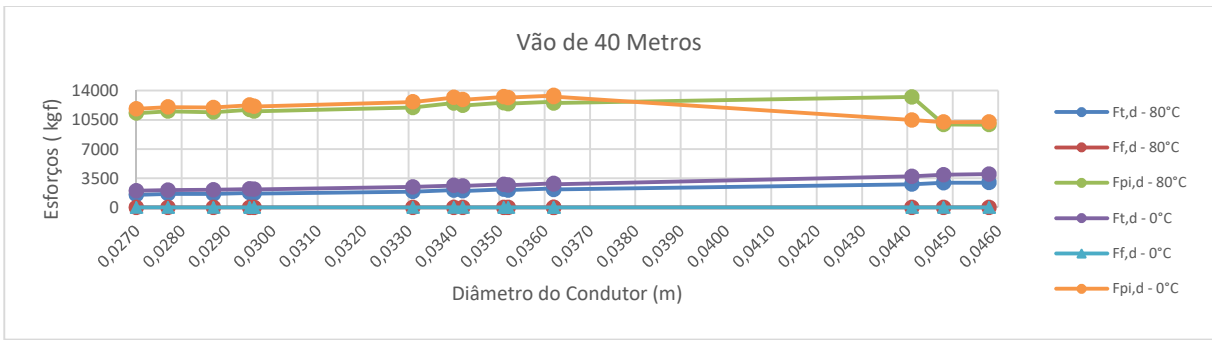


FIGURA 5 – Variação dos condutores utilizados – vão 40 metros.

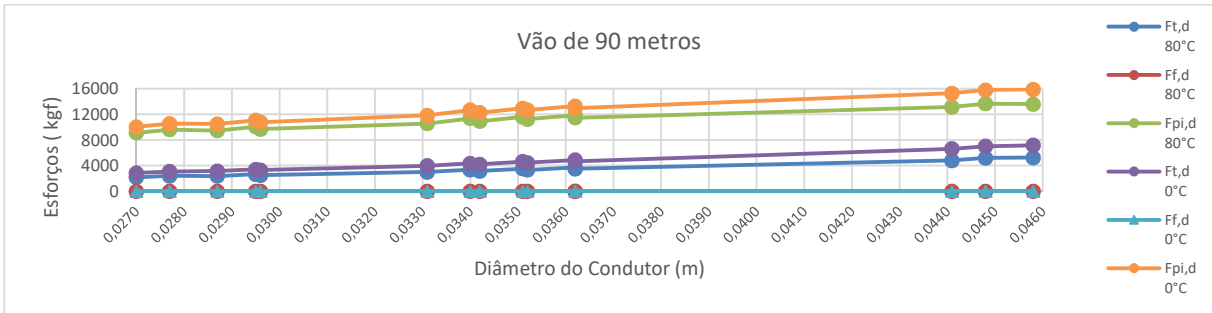


FIGURA 6 – Variação dos condutores utilizados – vão 90 metros.

Tanto a força $F_{t,d}$ quanto a força $F_{pi,d}$ são afetadas pela variação do condutor utilizado sendo que, para o vão menor, o efeito da variação do condutor é bem menos pronunciado. Como o número de espaçadores manteve-se inalterado, observa-se para o vão menor que para os últimos condutores, não há colisão efetiva destes, ocorrendo, portanto, redução dos valores de $F_{pi,d}$. O mesmo efeito não é observado para o vão de 90 metros.

4.3 Variação da flecha adotada

Para este caso, novamente utilizar-se-ão os vão de 40 metros e 90 metros, agora considerando condutores Rail e Oriole, conforme foi utilizado no item 4.1.

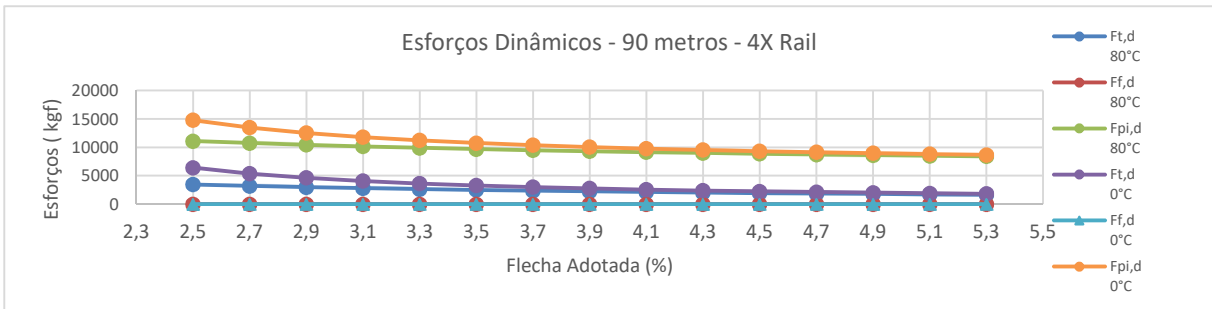


FIGURA 8 – Esforços dinâmicos – 90 metros – 4X Rail por fase.

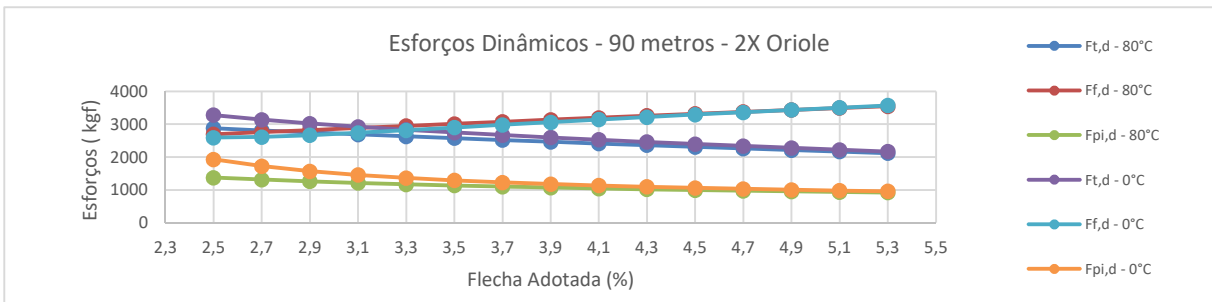


FIGURA 9 – Esforços dinâmicos – 90 metros – 4X Rail por fase.

Observa-se que os esforços estáticos são bastante influenciados pelo valor adotado de flecha sendo que, para as menores flechas analisadas, há uma elevação considerável dos valores de esforços estáticos para a temperatura mínima adotada de 0°C.

Com relação aos esforços dinâmicos, observa-se uma redução dos valores de $F_{t,d}$ e $F_{pi,d}$ com a redução dos valores dos esforços estáticos, o que é natural, uma vez que há uma dependência direta dos valores dos esforços estáticos. Entretanto, observa-se que o valor de $F_{r,d}$ aumenta com o aumento da flecha. Isso se dá devido ao fato de que um condutor mais leve e com uma flecha maior acaba oscilando mais (maiores ângulos de oscilação). Apesar da tração inicial ser menor, o efeito da força de *drop-back* acaba sendo maximizado devido aos maiores ângulos de oscilação

4.4 Variação do número de espaçadores

A figura abaixo apresenta o comportamento dos esforços dinâmicos para a variação do número de espaçadores. Considerou-se um vão de 90 metros para a análise com 4 condutores Rail por fase.

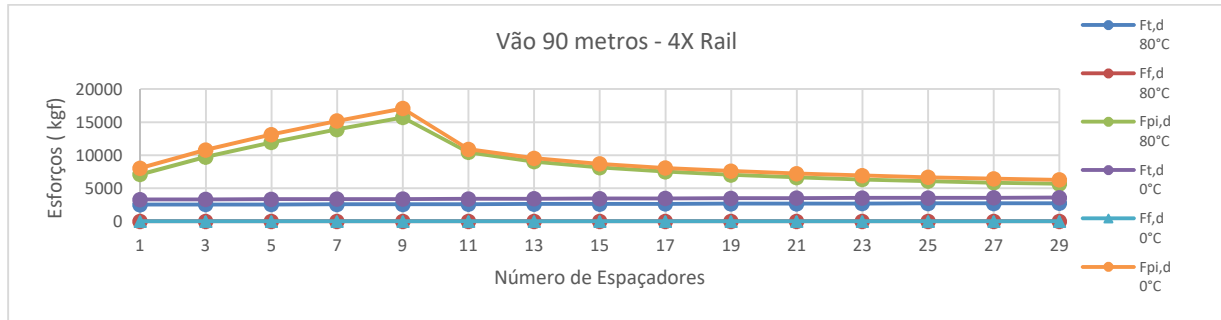


FIGURA 10 – Esforços dinâmicos – Variação do número de espaçadores.

O número de espaçadores influencia diretamente os esforços de *pinch*, conforme pode ser visto na figura. Há um valor a partir do qual os condutores deixam de colidir efetivamente e o resultado do esforço caiu drasticamente. Em algumas memórias de cálculo analisadas ao longo dos anos de trabalho e durante a pesquisa para o mestrado, observou-se que é comum aumentar ou reduzir o número de espaçadores no vão para reduzir os esforços de *pinch*. Os outros esforços praticamente não são afetados.

5.0 - CONCLUSÃO

O principal objetivo do trabalho é sensibilizar o leitor com relação às grandezas envolvidas no cálculo de esforços dinâmicos em subestações isoladas a ar.

Observou-se ao longo dos anos de trabalho em consultoria que, apesar do tema possuir diretrizes e normas para cálculo, estas não têm sido aplicadas de forma adequada pelas empresas no território nacional. Vários foram os memoriais de cálculo analisados ao longo dos anos cujo conteúdo apresentava erros na aplicação das equações e nas considerações e, em muitos dos casos, erros na aplicação dos conceitos envolvidos. Este fato poderia resultar em estruturas subdimensionadas que colocariam em risco a integridade da instalação e, consequentemente, do sistema da região ou poderia resultar em estruturas sobredimensionadas que aumentariam os custos envolvidos na construção da subestação

Ressalta-se a necessidade de que esforços sejam feitos no sentido de padronizar e estabelecer uma forma de se considerar ou não os esforços dinâmicos no dimensionamento de estruturas de subestações isoladas a ar no país. Há muita divergência sobre o assunto entre projetistas, consultorias e fabricantes.

6.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

(1) KIESSLING, F. et al. *Overhead Power Lines: Planning, Design, Construction*. 1. ed (em inglês). Berlin: Springer-Verlag, 2003. 759 p.

(2) INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. IEC 60865-2: Short-circuit currents - Calculation of effects - Part2 – Examples of Calculation. 2 ed. Genebra, 2015.

(3) SILVA, R. F.; et al. Comparação dos Resultados Obtidos para os Esforços Devidos ao Efeito da Passagem de Correntes de Curto-Circuito em Barramentos Flexíveis de Subestações Isoladas a Ar Simultaneamente à Ação dos Ventos, Segundo as Normas NBR 5422, NBR 6123 e da NBR 8681. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE PRODUÇÃO E TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA, 24, 2017, Curitiba.

7.0 - DADOS BIOGRÁFICOS



Rafael Faria da Silva

Graduou-se em 2009 em Eng. Elétrica pela Unifei com ênfase em Eng. Clínica e em 2015 com ênfase em Sistemas Elétricos de Potência. Concluiu o mestrado em 2018 cujo tema foi a questão dos esforços estáticos e dinâmicos para o dimensionamento de estruturas em subestações isoladas a ar com condutores flexíveis.

Possui publicações na área de transitórios eletromagnéticos, qualidade da energia, dimensionamento de estruturas e proteção (localização de falta de alta impedância).

Atua na área de consultoria em projetos e estudos elétricos especializados na empresa TSE – Tecnologia em Sistemas Elétricos em Itajubá-MG.