



Grupo de Estudo de Linhas de Transmissão-GLT

CORONA VISUAL EM CABOS ENCORDOADOS - REVISÃO DO MÉTODO DE CÁLCULO E APLICAÇÕES PRÁTICAS

JOAO NELSON HOFFMANN (*)
Consultor

MARCIO TONETTI
Copel GET

MURYLLO AMALIO DE SOUZA
COPEL DIS

RESUMO

Linhas de transmissão compactas e LPNE's operam com campos elétricos mais intensos na superfície dos condutores, e assim requerem maior aprofundamento dos estudos relacionados ao efeito corona. Tais estudos são de apresentação e aprovação obrigatória em Projetos Básicos de linhas aéreas de transmissão.

As considerações sob as quais o efeito corona ocorre são fundamentais, uma vez que podem limitar a concepção de novas iniciativas de projeto e o desempenho futuro das instalações. Neste artigo, um método mais aprimorado para a determinação da Tensão de Início de Corona (*Corona Onset Voltage*) de um fio encordado é descrito e aplicado. O critério inclui as características do campo elétrico na *vizinhança da superfície* do condutor, e não apenas em sua superfície, como se tem considerado.

Verifica-se que este método permite análise de cabos com diferente número de fios na camada externa, em concordância com os dados experimentais já realizados ao longo de várias décadas.

PALAVRAS-CHAVE

Efeito Corona, Linhas Compactas, LPNE, Campo Elétrico Superficial, Irregularidade de Superfície

1.0 - INTRODUÇÃO

O efeito corona pode limitar o desempenho de determinadas configurações de condutores elétricos aéreos. As consequências deste efeito, tais como ruído audível, rádio interferência, corona visual e estimativas de perdas devido ao efeito corona nos condutores, podem limitar o projeto elétrico de uma linha de transmissão. Por estas razões as condições sob as quais o efeito corona ocorre em qualquer situação é um aspecto importante do projeto.

A configuração a ser abordada neste trabalho considera a utilização de um cabo condutor encordado aplicado numa LPNE (linha de potência natural elevada) compacta, uma vez que essa configuração produz campos elétricos mais intensos na superfície do condutor, sendo portanto, uma condição mais severa.

O interesse específico é a *Tensão de Início de Corona* de um condutor encordado, quando inserido no centro de um grande condutor cilíndrico como mostrado na Figura 1. Há décadas, este valor foi medido para esta configuração como uma função do número e tamanho dos fios que fazem o condutor encordado [1-7].

Nos últimos anos, as tentativas de se calcular a *Tensão de Início de Corona* têm sido principalmente focadas no cálculo do campo elétrico na superfície do condutor apenas, e assumindo que o corona começa em algum valor crítico, o que representa uma primeira aproximação do problema.

Entretanto, como apontado por [1] e [8], o campo de superfície não caracteriza completamente o início de corona em condutores encordoados, tendo sido constatado que a taxa na qual o campo elétrico varia próximo à superfície também é um fator importante. De fato, há casos para os quais a tensão de início prevista usando apenas o campo elétrico de superfície poderia ser significativamente diferente dos resultados experimentais quantitativa e qualitativamente.

O objetivo deste trabalho é usar um *Critério de Início de Corona* já testado com sucesso em [8], para calcular a Tensão de Início de Corona em condutores aéreos. Em complemento, estes cálculos foram comparados com resultados experimentais disponíveis [8].

Neste artigo, mostra-se a aplicação deste novo método para o cálculo de corona visual em condutores encordoados aplicados em linhas de transmissão, apresentando configurações diferentes daquelas para as quais foram estudadas em laboratório (Figura 1).

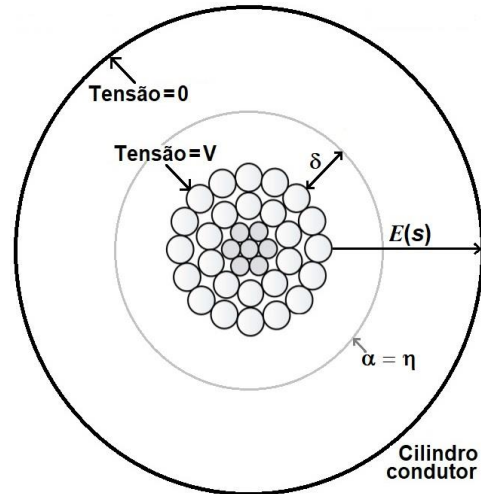


Figura 1 – Medição de corona em condutores

2.0 - HISTÓRICO

Para um único condutor cilíndrico, a Tensão de Início de Corona é bem descrita por fórmulas empíricas simples, baseadas em dados experimentais, tal como proposto por Peek [2] na expressão (1):

Nesta expressão observa-se que o campo elétrico de superfície no qual ocorre o início de corona E_{crt} (usualmente designado por *Gradiente Crítico Visual* ou similar), é função apenas do diâmetro (d) do condutor e da densidade do ar (δ_{AR}) na região da instalação. As características de encordoamento, envelhecimento e poluição ficam contempladas por meio de uma correção adicional para condutores encordoados, representada nesta expressão por m , denominado *fator de superfície*.

$$E_{crt} = 21,21 m \delta_{AR} \left[1 + \frac{0,426}{\sqrt{\delta_{AR} d}} \right] \quad (1)$$

Peek caracterizou a influência do encordoamento dos tentos introduzindo este fator adicional, definido como a relação entre a Tensão de Início de Corona de um condutor encordoadado, e a de um condutor cilíndrico com o mesmo diâmetro externo. Tem-se que $m = 1,0$ para um condutor perfeitamente regular e $m < 1,0$ para condutores encordoados.

Baseado em seus experimentos, Peek sugeriu $m = 0,82$ como um valor representativo para o condutor com 6 fios na camada externa. Na investigação de Whitehead [3], o número de fios na camada externa variou de 3 a 9, e seus dados para m variaram de 0,85 a 0,92. Estes valores ilustram o resultado intuitivo de que condutores com um grande número de fios se comportam mais como condutores do que com um pequeno número de fios.

Mais tarde, experimentos mais precisos foram realizados por Stone [10], utilizando condutores encordoados cuidadosamente fabricados de forma controlada. Seus resultados indicam claramente que o fator m aumenta e se aproxima de 1,0 à medida que o número de fios aumenta.

Em adição, em [11] se conduziu um estudo que estabeleceu a razão entre o máximo campo elétrico na superfície de um condutor encordoadado, e de um condutor cilíndrico, demonstrando um valor praticamente constante desta relação, de cerca de 1,4, para qualquer número de fios na camada externa. O uso desta conclusão na fórmula de Peek conduziria a valores inexplicáveis ao comparar-se com valores medidos e portanto, este aumento do campo elétrico de superfície não é suficiente para explicar o fenômeno do corona para condutores encordoados.

Assim, foi sugerido por Lewis [12] e mais tarde por Tikhodeev [1], que o início de corona pode depender da distribuição do campo elétrico próximo à superfície do condutor, e não apenas do valor do campo elétrico sobre a superfície.

O fato do critério do campo elétrico de superfície apenas, se mostra insuficiente para a previsão da Tensão de Início de Corona para condutores encordoados, foi a principal motivação para o presente estudo.

Decidiu-se utilizar um critério de início semelhante ao de [1] e [8], que leva em consideração a distribuição do campo elétrico próximo ao condutor energizado, tendo sido designado por estes autores, de *Critério de Início de Corona* e foi aplicado em casos práticos neste artigo.

3.0 – CRITÉRIOS ATUAIS EM PROJETOS

Historicamente tem-se utilizado $m = 0,82$, de forma determinística já desde os primeiros estudos de Peek em 1911, que o determinou para condutores novos com pequeno diâmetro e poucos fios no encordoamento. Ensaio posteriores mostraram que m seria maior para cabos novos, e assim, passou-se a considerar 0,82 como um valor válido para cabos envelhecidos. Este valor utiliza-se amplamente nos projetos básicos de linhas de transmissão no Brasil até hoje, embora alguns projetos considerem valores variados na faixa 0,70 a 0,82, contemplando situações distintas de hipóteses sobre o grau de poluição adicional incidente.

4.0 – DESCRIÇÃO DO MÉTODO PROPOSTO

Este método requer a determinação do valor da *Tensão de Início de Corona* no condutor encordoado, sendo portanto fundamental prever com precisão a condição sob a qual o corona é iniciado.

O *Critério de Início de Corona* usado no presente estudo é baseado nos trabalhos de Tikhodeev [1] e McAllister/Pedersen [4], Olsen et al [5], Phillips et al [6], e considerando o caso da Figura 1, pode ser descrito como segue.

Como proposto nestas referências, os parâmetros α (*Primeiro Coeficiente de Ionização de Townsend*) e η (*Attachment Coefficient*) podem ser usados para encontrar a relação entre o do número de elétrons livres na posição $s = r + \delta$, em relação a $s = r$, onde r = raio do condutor.

$$K(\delta) = \frac{K(r + \delta)}{K(r)} = \exp \left(\int_r^{r+\delta} (\alpha - \eta) ds \right) \quad (2)$$

Para tal, utiliza-se a expressão (2) determinada em [13], sendo $\delta > 0$ e definido como o comprimento crítico de avalanche ou *distância de ionização*, sendo a distância da superfície do condutor para a qual $\alpha = \eta$.

Expressões de α e η para o início de corona positivo são dadas por Sarma e Janischewskyj [7], mostradas nas fórmulas (3), onde p = pressão em cm-torr, E = campo elétrico em kV/cm.

$$\frac{\alpha}{p} = 4.7786 e^{-0.221 \frac{p}{E}} \quad \left(0.025 \leq \frac{E}{p} \leq 0.060 \right)$$

$$\frac{\alpha}{p} = 9.682 e^{-0.2642 \frac{p}{E}} \quad \left(0.060 \leq \frac{E}{p} \leq 0.240 \right) \quad (3)$$

A relação $K(\delta)$ foi estimada em [7], [13], e [14] como sendo constante e aproximadamente igual a 3500, por meio de ajustes em seu valor até que a equação (2) coincidissem com os dados experimentais de início de corona para condutores encordoados na faixa de 0,05 a 2 cm de raio.

$$\frac{\eta}{p} = 0.1298 - 0.541 \frac{E}{p} + 8.7 \left(\frac{E}{p} \right)^2$$

Assim sendo, a tensão elétrica no condutor encordoado é aumentada até que o resultado na equação (2) seja igual a 3500. A tensão na qual isso ocorre é chamada de *Tensão de Início de Corona*. Eventualmente seu valor pode diferir daquela obtida pelo critério do campo elétrico de superfície. Isso se deve ao fato de que o Critério de Início de Corona leva em consideração a distribuição do campo elétrico do condutor, enquanto que o critério do campo elétrico de superfície (fórmula (1) de Peek) considera apenas o campo elétrico na superfície.

O uso desta metodologia em casos práticos de projetos pode ser útil de duas formas, sendo esperado que ambas produzam resultados próximos:

1. *Mapeamento do fator de superfície*: utiliza-se a fórmula simplificada de Peek, porém a nova metodologia é aplicada para se calcular o fator de superfície m para cabos encordoados novos, em função do número de fios da última camada, como mostrado na seção 5.0 ;
2. *Aplicação a casos reais de projetos*: Calcula-se a Tensão de Início de Corona para o condutor instalado na linha de transmissão, utilizando-se a metodologia acima para se determinar a variação real do campo elétrico nas proximidades do mesmo. Não haverá corona visual se este valor resultar maior do que a tensão fase-terra de pico, de operação da LT. Esta modelagem estaria mais próxima das condições efetivas de operação dos condutores, e está exemplificada na seção 6.0 .

5.0 – MAPEAMENTO DO FATOR DE SUPERFÍCIE

O fator m da fórmula de Peek pode ser considerado tal como proposto por [10], ou seja, $m = m_1 \times m_2$, sendo m_1 devido à variação do campo elétrico e às características físicas do encordoamento para cabos novos, determinado pela metodologia acima descrita.

O fator m_2 é devido ao envelhecimento e corrosão, permanecendo ainda igualmente aplicável a ambos os modos de uso desta metodologia. Mostra-se a seguir que, na falta de levantamentos específicos de dados, $m_2 = 0,90$ representa convenientemente o envelhecimento dos cabos em regiões não sujeitas a níveis mais elevados de poluição, e está em concordância com a prática atual de projetos.

5.1 – Fator de Superfície m_1

O fator m_1 é definido como a Tensão de Início de Corona de um condutor encordoado, dividida pelo respectivo valor de um condutor cilíndrico e com o mesmo diâmetro externo. Portanto, este fator é idêntico às definições do fator m para cabos novos, como sugerido por Peek.

De modo orientativo a Figura 2, determinada em [8], apresenta resultados de exemplos da distribuição do campo elétrico próximo a um condutor energizado para condutores e condutores encordoados com vários valores da quantidade de fios da camada externa.

Na Figura 3, reproduzida de [8], m_1 foi calculado para vários números de fios na camada externa n , variando de $n = 3$ a 1000, e diâmetros do cabo entre 2 e 50 mm. Nestes cálculos, para fins de padronização e equalização dos campos elétricos em torno do cabo, o mesmo foi considerado inserido num cilindro concêntrico de grande diâmetro tal como se mostra na Figura 1.

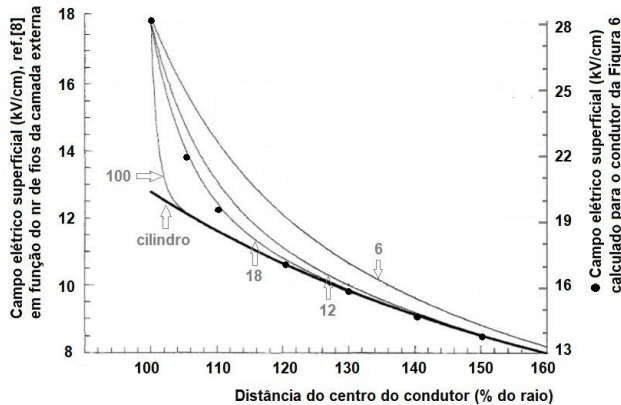


Figura 2 – Variação do campo elétrico próximo ao cabo

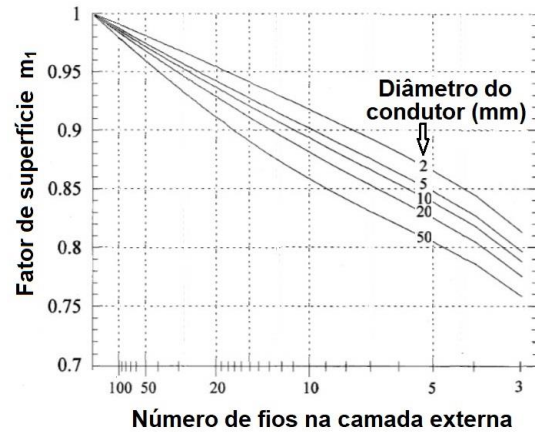


Figura 3 – Mapeamento do fator de superfície m_1

Destes resultados observam-se duas propriedades principais:

- o valor máximo do campo elétrico é quase independente de n (número de fios da camada externa), e se aproxima de um limite cerca de 1,4 vezes o valor máximo apresentado por um condutor cilíndrico;
- quanto maior n , menor a região sobre a qual o campo elétrico se desvia de um condutor cilíndrico, pois a integral dessa diferença se aproxima de zero quando n tende a infinito. Este fato explica por que o fator de superfície m_1 se aproxima de 1,0 num condutor cilíndrico;
- a Figura 3 apresenta o mapeamento para o fator m_1 , relacionando o diâmetro do condutor e o número de fios da camada externa, e que pode ser usado como primeira estimativa em cabos novos.

5.2 – Fator de Superfície m_2

O fator m_2 é dependente do envelhecimento do condutor e do grau de corrosão dos fios. Admitindo-se que tem sido prática utilizar, na maioria dos casos, $m = 0,82$ para cabos envelhecidos, então da Figura 3 temos que $m_2 = 0,82 / 0,915 = \sim 0,90$ para os cabos usuais com diâmetro ~ 30 mm e 18 fios na camada externa (CA, CALA e AAAC usuais, com 37 fios no total).

Por outro lado, envelhecimento e poluição têm sido estudados recentemente, sendo sugerido em [9] sua dependência do parâmetro R_a (rugosidade média), valor este que pode ser medido ou estimado em função do grau de envelhecimento e poluição. Para alguns cabos típicos de linhas de transmissão, com 15 a 21 fios na camada externa, foi sugerido em [9] a expressão (4) abaixo (válida para $R_a > 1 \mu\text{m}$):

$$m = 0.246e^{-R_a / 11.53} + 0.6074 \quad (4)$$

No entanto, como descrito em [9], entende-se que esta expressão contempla não apenas m_2 mas também o m_1 dos cabos analisados, o qual demonstrou-se ser dependente da quantidade de fios na camada externa.

Assim, avalia-se ser necessária a continuidade de pesquisas no sentido de se estimar com maior segurança e amplitude, a influência do parâmetro R_a sobre os diversos tipos de cabos utilizados, quando submetidos às intempéries. Na falta destes parâmetros, adotamos neste estudo $m_2 = 0,90$, o qual entende-se representar convenientemente o envelhecimento dos cabos em regiões não sujeitas a níveis mais altos de poluição.

6.0 – APLICAÇÃO A UM CASO REAL DE PROJETO

A Figura 3 acima fornece uma boa aproximação para o fator m_1 para uso na fórmula de Peek, tendo sido calculado idealmente considerando o condutor concêntrico a um cilindro de maior diâmetro, de modo a produzir um campo elétrico uniforme no contorno de sua superfície.

No entanto, a distribuição do campo elétrico superficial nos condutores instalados numa linha de transmissão pode diferir desta condição ideal. Neste exemplo, o cálculo foi feito diretamente para a LT em estudo, simulando os cabos condutores, cabos para-raios e plano da terra com suas coordenadas reais e número de fios reais da camada externa. Para tal, um programa computacional foi desenvolvido utilizando o Método de Simulação de Cargas [15], otimizado de forma a atender às questões de precisão e convergência apontadas em [16], o que pode ser observado nas figuras deste exemplo.

Tabela 1 – Dados das alternativas de cabos

Cabo MCM	ϕ Cabo mm	Formação	ϕ Fio mm	Fios Externos
1300	33,32	30/7	4,760	18
	33,35	48/13	3,705	24
	33,37	72/19	3,034	30

Os cálculos foram efetuados para as alternativas de cabos condutores que constam na Tabela 1, todos com resistência elétrica e características mecânicas idênticas. A geometria da LT consta na Figura 4, que representa uma LPNE com torres do tipo *crossrope*, e feixe com 4 cabos ACAR 1300 MCM, dispostos em forma de quadrado com lado de 1,20 m. Este é o projeto típico de LPNE com cerca de 1400 MW, tendo sido já aplicado em algumas instalações.

Foram feitas simulações para 4 casos de cálculos dos campos elétricos e corona visual, listados abaixo. Estes casos foram selecionados por estarem consistentes com a prática de projetos deste tipo de LPNE, e por evidenciarem os resultados que podem ser obtidos com a aplicação deste método de cálculo de corona visual:

Caso 1 - todos os cabos são considerados como cilindros de superfície lisa, com $m = 0,82$

Caso 2 - idem 1, exceto os 4 cabos da fase central com formação 30/7, com $m_2 = 0,90$

Caso 3 - idem 1, exceto os 4 cabos da fase central com formação 48/13, com $m_2 = 0,90$

Caso 4 - idem 1, exceto os 4 cabos da fase central com formação 72/19, com $m_2 = 0,90$

Os cálculos buscam comparar os resultados alcançados utilizando-se a expressão (1), atualmente amplamente adotada, e os resultados da metodologia proposta neste Informe Técnico.

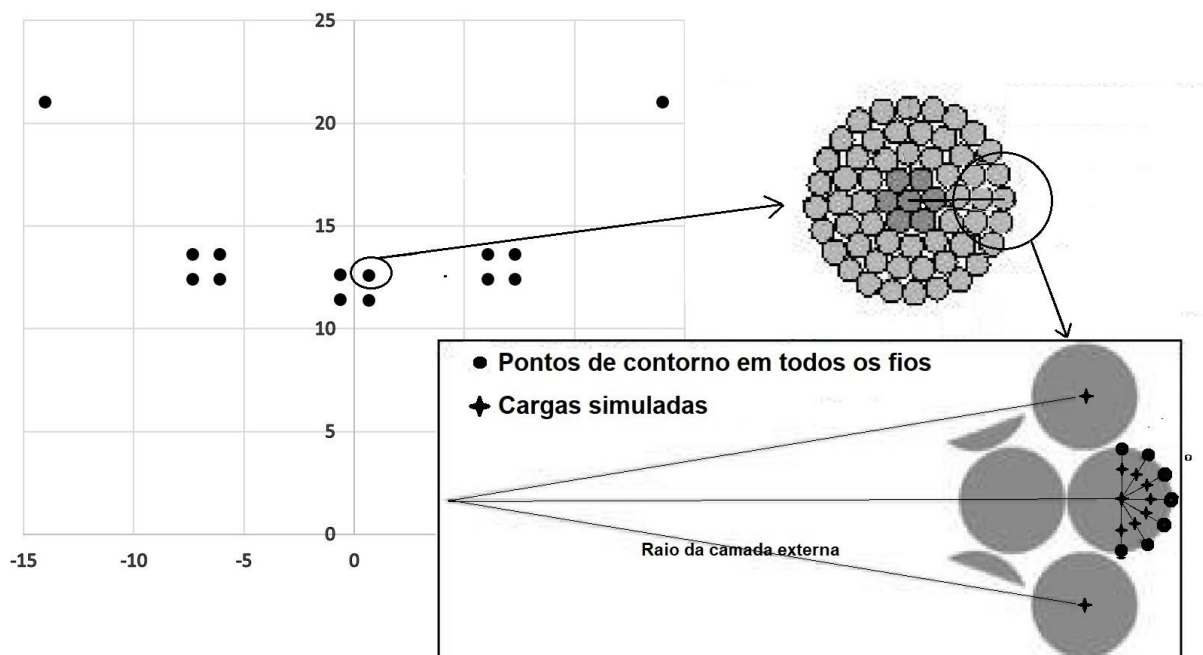


Figura 4 – Geometria do caso real considerado

As Figuras 5 e 6 mostram linhas equipotenciais comparativas dos Casos 1 e 2 no cabo superior da fase central, mais crítico (destacado na Figura 4). Nestas figuras, E_{max}^* refere-se ao maior valor de campo elétrico superficial sobre o condutor considerado como um cilindro, enquanto que $E(s)$ referem-se aos valores do campo elétrico na direção ortogonal ao tento, no ponto de maior valor superficial do condutor, e que são também encontrados na Figura 2.

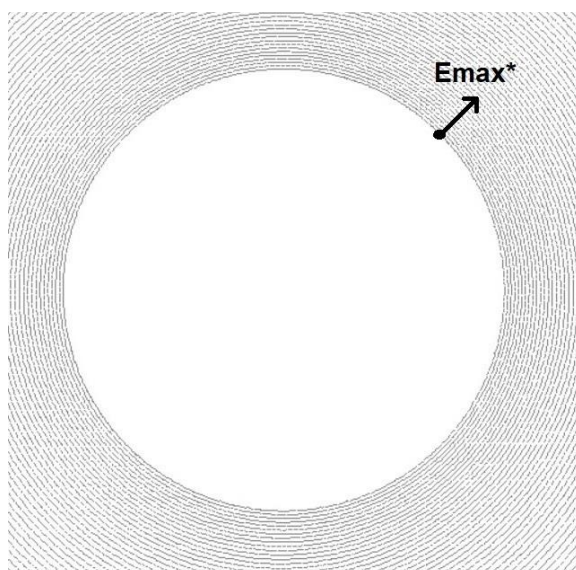


Figura 5 – Equipotenciais para o condutor cilíndrico

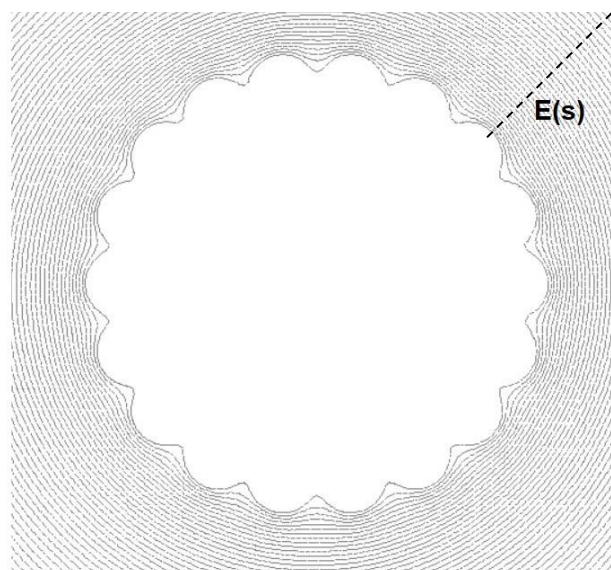


Figura 6 – Equipotenciais para o condutor encordadoado

Os resultados do Caso 1 na Tabela 2 mostram um cenário específico que, utilizando o método de Peek, não atende ao limite de corona admitindo que os condutores idealmente teriam a forma cilíndrica. Verifica-se que E_{max}^* é maior que o gradiente crítico visual (E_{crt}), resultando na ocorrência de corona por este critério.

Os Casos 2, 3 e 4 consideram os cabos da fase central (mais críticos) modelados por meios de sua formação diferenciada em 37, 61 ou 91 fios (18, 24 e 30 fios na camada externa). Quando adotada a metodologia de Peek, mas ajustando-se o fator m através da Figura 3, observamos que o uso de condutores com maior número de fios (61 e 91), o limite não seria violado.

Observam-se valores de E_{max} nos fios bem superiores ao do cabo cilíndrico, já que a relação E_{max}/E_{max}^* está próxima de 1,4 para qualquer formação, conforme já verificado na literatura [11].

A distância de ionização δ atinge de 7,0 a 7,7 mm a partir da superfície do condutor, sendo da ordem de 42 a 46% de seu raio.

O Critério de Início de Corona apresentou resultados mais conservativos do que a fórmula de Peek com m_1 da Figura 3, possivelmente devido à diferente distribuição dos campos elétricos entre os casos da Figura 1 (campos uniformes em torno do condutor) e da Figura 4 (campos reais na instalação em campo).

Tabela 2 – Resultados

Método		Caso 2 (37 fios)	Caso 3 (61 fios)	Caso 4 (91 fios)
Peek (Caso 1)	E_{max}^* (kV/cm)	20,11		
	E_{crt} (kV/cm)	19,89		
	% (E_{max}^* / E_{crt})	101,1		
Peek, m conf. Figura 3	m	0,82		
	m_1 (Figura 3)	0,914	0,933	0,943
	m_2	0,90	0,90	0,90
	E_{max}^* (kV/cm)	20,11	20,11	20,11
	E_{crt} (kV/cm)	19,89	20,30	20,52
	% (E_{max}^* / E_{crt})	101,1	99,1	98,0
Critério de Início de Corona	V f-t (kV, pico)	449,1	449,1	449,1
	m_2	0,90	0,90	0,90
	E_{max} (kV/cm)	27,98	27,94	27,93
	E_{max}/E_{max}^*	1,391	1,390	1,390
	δ (dist.ionização)	7,0 mm	7,3 mm	7,7 mm
	V onset (kV)	438,2	445,8	450,9
	% (V_{f-t} / V_{onset})	102,5	100,7	99,6

E_{max}^* = Máximo campo elétrico na superfície do cilindro

E_{max} = Máximo campo elétrico na superfície do fio (tento)

E_{crt} = Gradiente crítico visual conf. fórmula (1)

V f-t = Tensão fase-terra de pico, da LT

V corona = Tensão de início de corona (onset)

Este exemplo ilustra o caso de um condutor que não atende ao critério da fórmula de Peek, em princípio. No entanto, a utilização deste mesmo condutor com maior número de fios (91) atenderia ao requisito de corona visual pelo Critério de Início de Corona.

Este critério também tem sido utilizado em trabalhos recentes [17], [18], [19].

7.0 - CONCLUSÕES

Neste estudo, o *Critério de Início de Corona* foi descrito e aplicado para se determinar a *Tensão de Início de Corona* em condutores encordoados de linhas de transmissão, permitindo a análise de alternativas com diferente número de tentos na camada externa do condutor.

Apresentou-se um método de cálculo do corona visual, em que a variação do campo elétrico próximo ao condutor, em vez de apenas o campo na sua superfície, foi considerada para prever a *Tensão de Início de Corona* em condutores encordoados, e respectivo *fator de superfície*. Os resultados apresentam concordância com os dados experimentais efetuados no passado, em função no valor adotado para $K(\delta)$ definido em bibliografia, e dependem do encordoamento e do raio do condutor. Este novo método tem sido utilizado em outros estudos recentes.

Em adição, este critério pode ser utilizado para determinar o fator de superfície para cabos novos, necessário para prever a ocorrência de corona visual ao se utilizar a fórmula simplificada de Peek.

É necessária a continuidade de estudos visando prever o fenômeno de corona visual em função do grau de poluição dos cabos condutores, e uma definição dos níveis de poluição estabelecidos por região, para fins de padronização de estudos de corona visual. A aplicação da metodologia proposta e das constatações deste artigo podem permitir a otimização dos projetos de novas concepções de LPNEs e/ou LTs compactas.

8.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] N. N. Tikhodeev, "On calculating the initial voltages of corona on a D.C. line ", *Elektrichestvo*, 1957
- [2] F. W. Peek, "Dielectric phenomena in high voltage engineering", McGraw-Hill, New York, 1915
- [3] J. B. Whitehead, "The electric strength of air, II", *AIEE Trans.*, 1911
- [4] R. G. Olsen, D. B. Phillips, and P. D. Pedrow, "Extrapolation of a corona streamer onset criterion to general convex conductor surface", *Proc 10th Int Symposium on HV Engineering*, 1997
- [5] D. B. Phillips, R. G. Olsen, and P. D. Pedrow, "Corona onset as a design optimization criterion for high voltage hardware", *IEEE Trans. Dielectr. Electr. Insul.*, 2000
- [6] I. W. McAllister and A. Pedersen, "Corona-onset field-strength calculations and the equivalent radius concept", *Archiv fur " Electrotechnik*, 1981
- [7] M. P. Sarma and W. Janischewskyj, "D. C. corona on smooth conductors in air: Steady-state analysis of the ionization layer", *Proc. IEE*, 1969
- [8] K. Yamazaki – R. G. Olsen, "Application of a Corona Onset Criterion to Calculation of Corona Onset Voltage of Stranded Conductors", *IEEE TDEI*, 2004
- [9] X. Bian, D. Yu, L. Chen, J. M. K. MacAlpine, L. Wand, Z. Guan, "Influence of Aged Conductor Surface Conditions on AC Corona Discharge with a Corona Cage", *IEEE Transaction on Dielectrics and Electrical Insulation*, 2011
- [10] L. N. Stone, "EHV single and twin bundle conductors: influence of conductor diameter and strand diameter on radio influence voltage and corona initiation voltage", *AIEE Trans.*, 1950
- [11] K. S. Iyer and K. P. P. Pillai, "Analysis of irregularity factor of stranded conductor", *Proc. IEE*, 1968
- [12] W. A. Lewis, "Discussion on relative surface voltage gradients of grouped conductors", *AIEE Trans.*, 1948
- [13] E. Kuffel, W. S. Zaengl, and J. Kuffel, "High Voltage engineering: Fundamentals", 2nd Edition , Butterworth-Heinemann, Oxford, UK, 2000
- [14] W. S. Zaengl and H. U. Nyffenegger, "Critical field strength for cylindrical conductors in air: An extension of Peek's formula", *Proc 3rd Intern. Conf. Gas Discharge*, 1974
- [15] J.N. Hoffmann, P. Pulino, "New Developments on the Combined Application of Charge Simulation and Numerical Methods for the Computation of Electric Fields", *IEEE Trans. Power Delivery*, 1995
- [16] L.A.M.C. Domingues, F.T.P. Duarte, C.R.N. Barbosa, R.M. Cruz, F.C. Dart, "Determinação do Fator de Superfície para Cabos Convencionais e Não Convencionais de Seção Trapezoidal", *XIX SNPTTE*, 2007
- [17] D. B. Philips, R. G. Olsen, P. D. Pedrow "Corona Onset as a Design Optimization Criterion for High Voltage Hardware", *IEEE Trans. on Dielectrics and Electrical Insulation*, 2000
- [18] A. Zangeneh, A. Gholami, "A New Method for Calculation of Corona Inception Voltage in Stranded Conductors of Overhead Transmission Lines", *20th International Power System Conference*, 2005
- [19] A. Mujezinovic, A. Carsimamovic, S. Carsimamovic, A. Muharemovic, I. Turkovic, "Electric field calculation around of overhead transmission lines in Bosnia and Herzegovina", *Proceedings of International Symposium on Electromagnetic Compatibility (EMC Europe 2014)*, 2014

9.0 - DADOS BIOGRÁFICOS



João Nelson Hoffmann é formado em Engenharia Elétrica na Universidade Federal do Paraná (1981), com mestrado na Unicamp (1993) e especialização em Formação Gerencial na Puc-PR (2003). Trabalhou na Copel Geração e Transmissão SA, sendo autor de diversos artigos técnicos relacionados a estudos eletromecânicos de Linhas Aéreas de Transmissão.



Muryllo Amalio de Souza trabalha na divisão de projetos de linhas de distribuição de alta tensão 69 e 138 kV da Copel Distribuição S.A. Concluiu a graduação em Engenharia Elétrica em 2004 pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) e cursa, atualmente, mestrado no Programa de Pós Graduação em Sistemas de Energia (PPGSE) da UTFPR. É membro efetivo do Comitê de Estudos B2 (linhas aéreas) do Cigré Brasil. Participa ativamente de eventos, com trabalhos publicados no SNPTEE, SENDI, ERIAC e CIGRE SESSION, e nas revistas T&D World e Revista Brasileira de Energia e Scielo/Tecpar.



Márcio Tonetti graduou-se em Engenharia Industrial Elétrica pela UTFPR em 2007, com experiência profissional como Engenheiro eletricitista na área de projetos de LTs da COPEL, desde 2010. Técnico em Eletrotécnica em 1994, pelo CEFET-PR. Possui Especialização em Gerência da Manutenção pela UTFPR em 2008, e Mestrado em Desenvolvimento de Tecnologia em nos Institutos Lactec em 2007. É Doutorando em Engenharia e Ciência dos Materiais pela UFPR desde 2017. 4 artigos e trabalhos publicados, 3 apresentações de trabalhos técnicos e outras publicações, e 7 orientações acadêmicas.