

LINHAS DE TRANSMISSÃO

Considerações sobre o vão básico no projeto das linhas de transmissão

O objetivo deste trabalho é estudar a influência da escolha dos vãos básicos, visando um projeto que atenda os requisitos de segurança e custo. O artigo descreve o vão regulador, faz a análise de curvas típicas e apresenta conclusões e recomendações.

Rubens Dario Fuchs
Márcio Tadeu de Almeida
Afonso H. Moreira Santos

No estudo da locação das estruturas para uma linha de transmissão, tanto por processos gráficos ou computacionais, utiliza-se inicialmente de um vão, denominado "vão de projeto" ou "vão básico", com o qual calculam-se as catenárias ou parábolas que definem as curvas do cabo ao longo da linha, nas situações de flechas máximas e mínimas. Essas curvas representam o cabo nos diversos trechos da linha. Normalmente, as curvas calculadas para o vão básico adotado são, indiscriminadamente, utilizadas para cobrir vãos de 3, 4 ou mais vezes maiores, ou também muito menores, que esse vão de projeto.

É conveniente analisar até que ponto a escolha do vão básico influenciará sobre os "erros" de projeto. Os gráficos que serão apresentados a seguir são para uma linha de transmissão com as seguintes características:

Tracionamento horizontal = 1 545 [kp]
Peso unitário do cabo = 0,781 6 [kp/m]
Módulo de elasticidade = 8 086 [kp/mm²]
Seção transversal = 210 [mm²]
Coeficiente de dilatação linear = $18 \cdot 10^{-6}$ [°C⁻¹]
Temperatura de EDS = 20 [°C]
Temperatura mínima = 0 [°C]
Temperatura máxima = 100 [°C]

As equações de mudança de estado utilizadas são as apresentadas na referência 1.

R. D. Fuchs, Formou-se pelo Inst. Eletrotécnico de Itajubá, em 1951. Cursos de especialização: Power Technology Course, EUA; Mestre em Ciências em Eng. Elétrica. Atividades profissionais: Eng. da Techint, 1953/57; Titular de Cuomo & Fuchs Ltda., 1957-67; Prof. Titular da EFEL, a partir de 1968. M. T. Almeida, Formou-se pela ELET, em 1972. Mestre em Eng., EFEL, 1974; Doutor Eng., USP, 1980. Atividades profissionais: Consultor pela FUPAI, 1979; Chefe do Dept. de Projeto da EFEL, a partir de 1980. A. M. Santos, Formou-se pela EFEL, em 1978. Mestre em Eng., EFEL, 1982. Atividades profissionais: Eng. da Filadelfia Eng., 1979; Prof. da EFEL, a partir de 1980; Eng. Consultor pela FUPAI, 1981.

Vão regulador

O vão regulador é uma das principais grandezas de uma seção de tracionamento de uma linha de transmissão. O seu significado físico encontra respaldo, graças ao fato da inclinação das cadeias de suspensão, com a variação de temperatura, pouco influenciar no equilíbrio das forças. Então, a consideração básica para se deduzir a equação do vão regulador, que é a de manterem-se iguais as trações horizontais, continua válida. Também, o fato do balanço das cadeias pouco alterar os tamanhos dos vãos, permite dizer que o vão regulador permanece inalterado, para as diferentes condições climáticas.

Para ilustrar o que foi afirmado, a fig. 1 mostra dois vãos adjacentes, ancorados, com um ponto comum de suspensão.

Para uma condição de temperatura diferente da EDS, as constantes das catenárias, descritas pelo cabo nos vãos, irão se alterar, aparecendo um desequilíbrio entre as trações horizontais, na cadeia de suspensão, fazendo-a balançar. Esse balanço causará a diminuição de um vão, com a respectiva diminuição da constante de catenária, e o aumento do outro, com o aumento da constante. Isso é mostrado na fig. 2, para um vão de 200 m e o outro (adjacente) de 400 m, ou 800 m, desprezando-se o peso da cadeia. O ponto de equilíbrio é onde as constantes são iguais.

Observe-se que a constante a que se chega, é bastante próxima da constante do vão regulador, reafirmando que este continua sendo válido.

Considerando-se o peso da cadeia, o valor da inclinação em muito pouco irá se alterar, o que pode ser visto pela fig. 3, e, portanto, a constante final continua próxima da constante do vão regulador.

Análise de curvas típicas

A fig. 4 apresenta uma comparação entre as flechas reais do condutor, para uma faixa de valores de vãos,

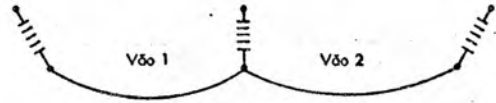


Fig. 1

Fig. 3, abaixo

R = tração horizontal resultante sobre a cadeia
H = tração horizontal no cabo

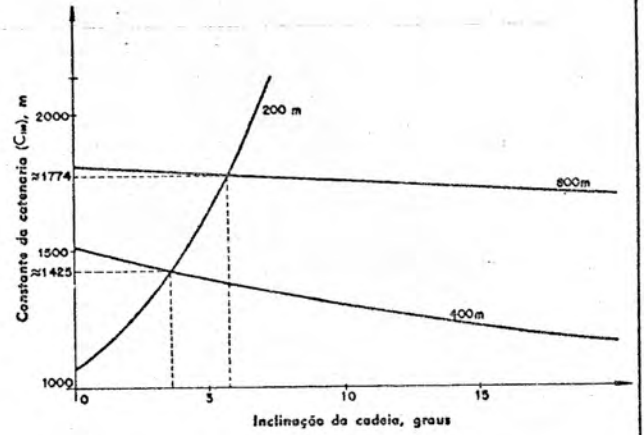
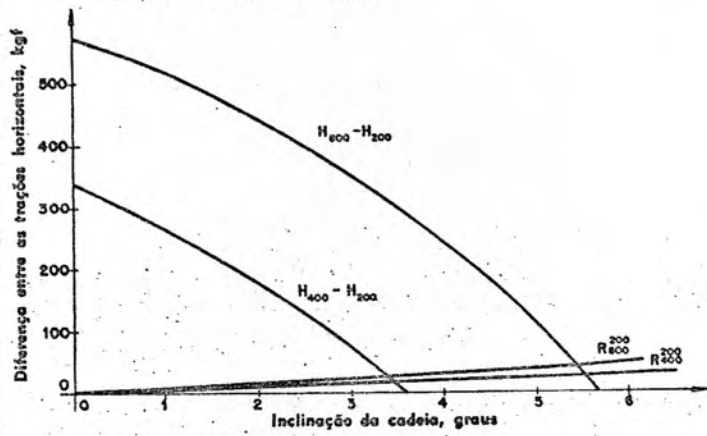


Fig. 2

Para vão regulador = 346,4 m $C_{100} = 1\,425,76$ m
Para vão regulador = 721,1 m $C_{100} = 1\,774,43$ m

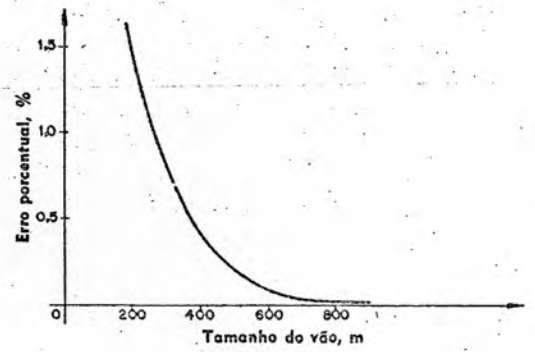


Fig. 5

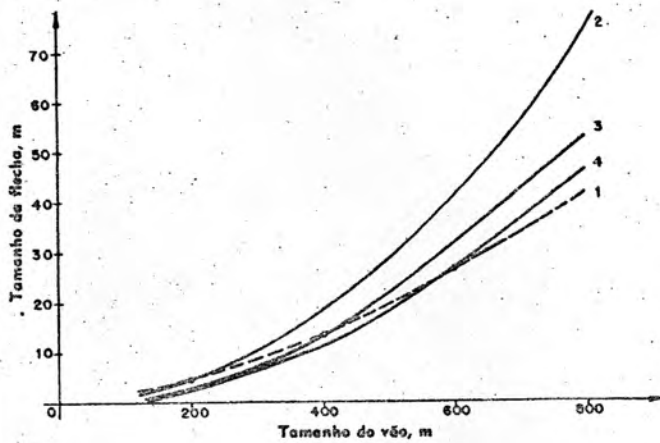


Fig. 4

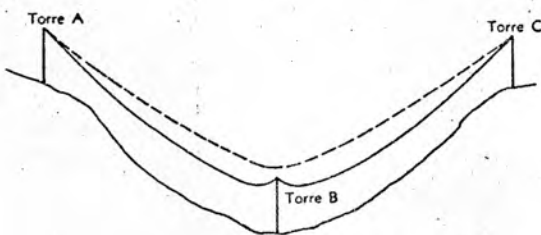


Fig. 6

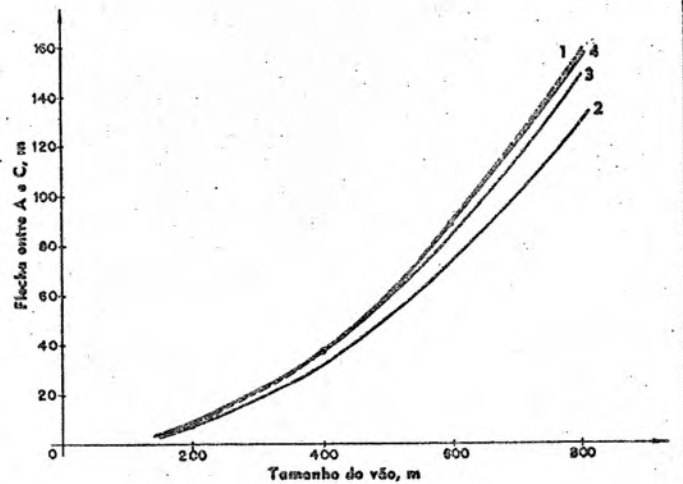


Fig. 7

e as flechas calculadas em função do vão básico adotado, na temperatura máxima, considerando-se o vão regulador igual ao vão estudado. A curva 1 é a flecha real, as curvas 2, 3 e 4 são as flechas calculadas pelas catenárias dos vãos básicos de 200, 400 e 600 metros, respectivamente.

A consideração do desnível do vão em muito pouco influencia o valor da constante da catenária. Assim, praticamente, nada irá alterar os erros que aparecem ao se adotar um vão básico. Isso pode ser visto na fig. 5, que mostra a variação porcentual da constante da catenária de um vão desnivelado, em relação a um nivelado de mesmo tamanho, para a condição de máxima flecha.

A escolha do vão básico também afeta diretamente a verificação do "arrancamento" das torres. Isso pode ser observado, analisando-se a situação da fig. 6. As torres A e C estão no mesmo nível e equidistantes da torre B.

Para se verificar o "arrancamento" da torre B, há de se analisar a mínima flecha no vão entre as torres A e C. A fig. 7 compara as flechas reais do condutor, para uma faixa de valores de vãos, e as flechas calculadas em função do vão básico adotado. Também aqui, a curva 1 é a real e a 2, 3 e 4 são para vãos básicos de 200, 400 e 600 metros, respectivamente.

A fig. 8 apresenta o comprimento da flecha, em diver-

sos tamanhos de vãos, para diferentes vãos básicos adotados. Também é traçada a reta (comparativa) da flecha real, calculada com base no vão regulador. Foi adotado, para análise, um vão regulador de 400 metros. Para se analisar outros tamanhos de vão, basta traçar a reta horizontal que passa pelo ponto da curva correspondente ao vão básico igual ao vão regulador, que se deseja.

O vão regulador obtido após a locação, também varia com a escolha do vão básico. A fig. 9 mostra curvas típicas, em diversas tensões, para trechos nivelados, da variação do vão regulador em função do básico, de um mesmo trecho de linha.

A fig. 10 mostra, a título de exemplo, uma seção de tracionamento de, aproximadamente, 1500 metros, e, para tal, se tem duas condições diferentes de locação. Na primeira, o vão básico adotado foi de 400 metros, e o vão regulador obtido foi de 406,2 metros. Portanto, praticamente, não há diferença entre a curva prevista e a curva real descrita pelo condutor. No segundo caso, porém, o vão básico adotado foi de 200 metros, e o regulador obtido foi de 318,1 metros.

Neste caso, a diferença entre as curvas prevista e real é bastante razoável, sendo que a locação foi muito pessimista e, em virtude disto, para cobrir o mesmo trecho, foi necessária mais uma torre, ou seja: onerou em, aproximadamente, 20% a seção.

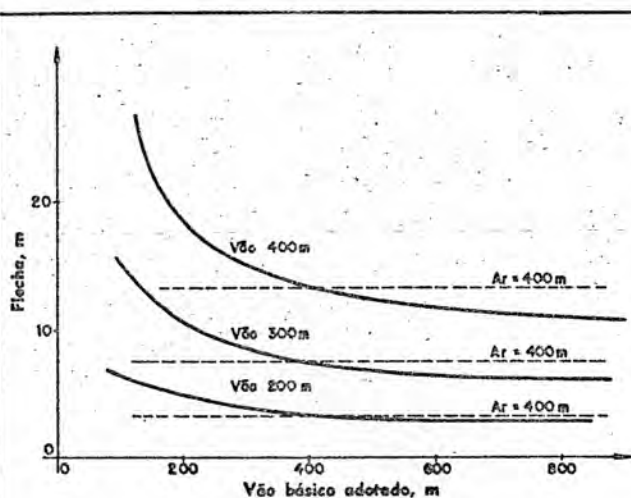


Fig. 8

Ar = vão regulador

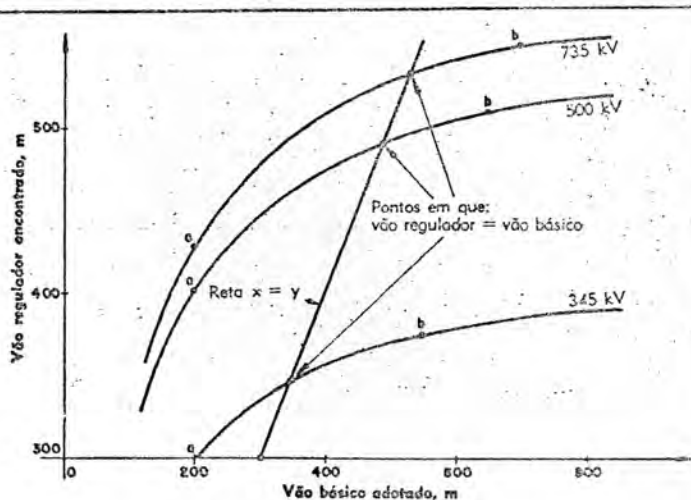


Fig. 9

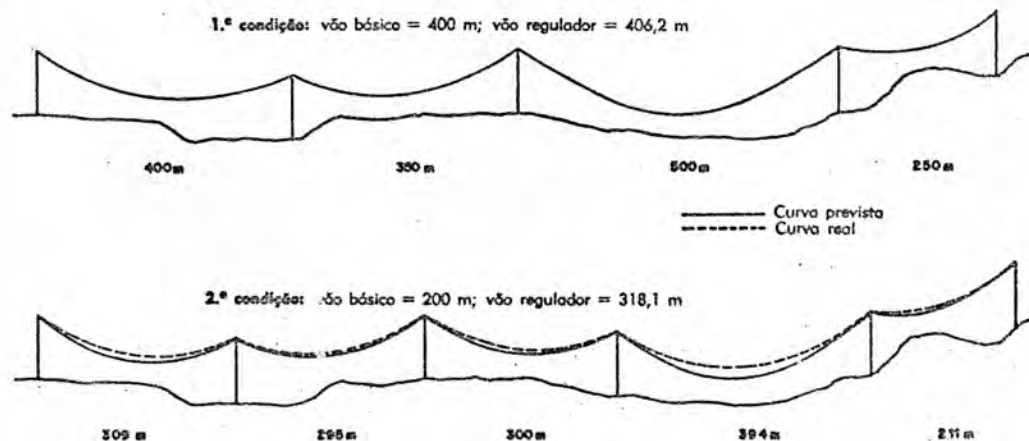
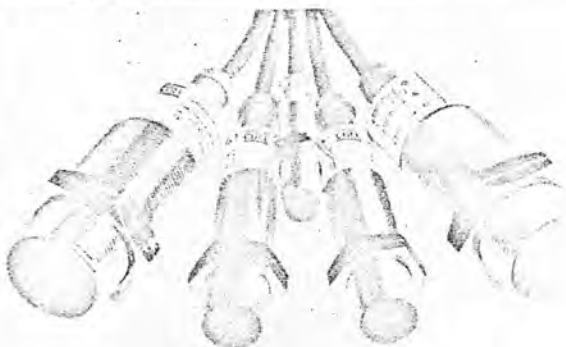


Fig. 10

Automatize com SENSORES DE APROXIMAÇÃO



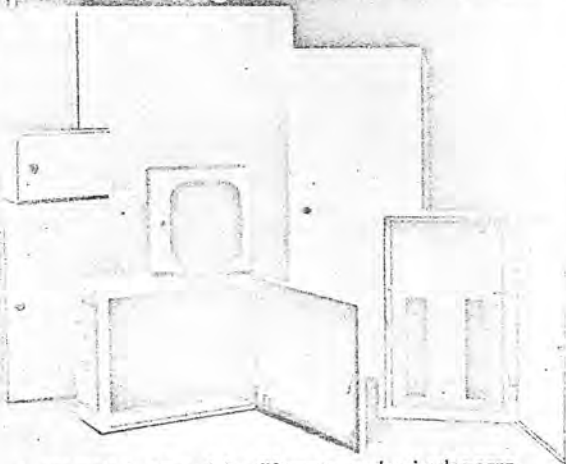
eletrônicos, totalmente vedados, os sensores indutivos COEL são os modernos substitutos dos fins de curso com todas as vantagens de uma eletrônica de vanguarda. Modelos AC e DC com alcance de 2 a 10mm em corpo de latão niquelado com prensa cabo de ABS. Fixação por rosca (M12; M18; M30). Velocidade de contagem até 1000 imp/seg.

COEL

Controles Eletrônicos Ltda.
Rua Manoel de Barros, 145 - Jd. São João - BARRA
Cidade - 13127-270 - São João do Rio Preto
Cidade - 13127-270 - São João do Rio Preto
Cidade - 13127-270 - São João do Rio Preto

SERVIÇO DE INFORMAÇÕES N.º 19

Armários para instalações elétricas Elsol. O lugar certo para você guardar sua força



- São mais de 50 modelos diferentes padronizados para instalações industriais e residências.
- Todos os modelos em estoque para entrega imediata.
- Tipos especiais sob encomenda.
- Características e propriedades dentro das normas ABNT e IEC, proteção IP 55.



ELSOL ELETROEQUIPAMENTOS

Rua Eng.º Mesquita Sampaio, 782 - Santo Amaro - São Paulo - Cep. 04711
Fones: 247-9811 R/ 204-284 - C.P. 6527 - Telex: (11) 21-550 BMONBR.

Conclusões e recomendações

Para se adotar inicialmente o vão básico, deve-se observar os seguintes itens:

- Análise preliminar do perfil topográfico, observando as diferentes características da região atravessada;
- Procurar dados sobre linhas de mesmo nível de tensão, e que atravessem regiões semelhantes. Como, por exemplo, vãos reguladores típicos;
- Analisando-se a fig. 4, pode-se concluir que:

- a escolha de um vão básico pequeno (curva 2) irá implicar em flechas bem maiores que as reais, para grandes vãos da linha. Consequentemente, tem-se que adotar estruturas mais altas ou decidir por vãos menores, o que aumentará o custo;
- a escolha de um vão básico grande (curva 4) irá implicar em flechas menores que as reais, para os pequenos vãos da linha. Consequentemente, as alturas de segurança poderão ser infligidas. Sendo as flechas para vãos pequenos, também, pequenas, uma razoável variação dos valores dessas seria, ainda, porcentualmente pequena com relação a grande altura de segurança, calculada em função da tensão da linha.

Pode-se então concluir da fig. 4, que a escolha de um vão básico maior implicará numa redução de custos, e que o perigo que surge, para os vãos curtos, não justifica a não adoção desse critério. Quando muito, deve-se estudar os casos críticos separadamente.

- Analisando-se a fig. 7, pode-se concluir que:

- a escolha de um vão básico pequeno (curva 2) irá implicar em flechas menores que as reais, para grandes vãos da linha. Consequentemente, o "arrancamento" previsto será maior do que o real, e as estruturas terão que ser mais altas, onerando o projeto;
- a escolha de um vão básico grande (curva 4) irá implicar em flechas maiores que as reais, para os pequenos vãos da linha. Pode-se observar que essas diferenças não comprometem a adoção de vãos básicos maiores, requerendo apenas a atenção do projetista na verificação do "arrancamento".

Novamente, se conclui que a escolha de um vão básico maior, reduz o custo, não comprometendo, demasiadamente, a segurança do projeto.

- Analisando-se a fig. 5, pode-se afirmar que as conclusões anteriores, obtidas para vãos nivelados, podem ser extrapoladas para desnivelados, porque o erro que surgirá será desprezível.

- Analisando-se a fig. 8, pode-se concluir que:

- Para vãos básicos adotados maiores que os vãos reguladores encontrados, o desvio entre os comprimentos das flechas real e prevista tende a se estabilizar, enquanto para vãos básicos menores,

o desvio cresce indefinidamente. Também, a taxa de crescimento do desvio é maior quando para vãos básicos menores do que para vãos básicos maiores, com relação ao regulador.

g. Analisando-se a fig. 9, pode-se concluir que:

- haverá uma saturação dos vãos reguladores encontrados, para grandes vãos básicos adotados, ou seja, o aumento exagerado do vão básico não irá, praticamente, atenuar o custo do projeto, implicando apenas nos perigos, já citados, com relação a segurança;
- a escolha de vãos básicos pequenos implica numa redução brusca dos vãos reguladores encontrados, o que acarretará, obviamente, num aumento exagerado do custo;
- a escolha do vão básico deve recair numa região intermediária, como, por exemplo, ab, indicada no gráfico. Essa faixa ótima contém o ponto onde o vão básico adotado coincidirá com o vão regulador encontrado; portanto, esse será o principal indicador para se verificar a escolha inicial. Quando o vão regulador encontrado for diferente do básico adotado, poder-se-á estar fora do ponto econômico ou infringindo as condições de segurança.

h. Analisando-se a fig. 10, pode-se concluir que:

- Na primeira condição onde se usou um vão básico de 400 m, o vão regulador obtido foi de 406,2 m, ou seja, a consideração inicial foi satisfatória, não existindo diferenças razoáveis entre as curvas locadas e reais.
- Na segunda condição onde se usou um vão básico de 200 m, o vão regulador obtido foi de 318,1 m, ou seja, a consideração inicial foi insatisfatória, existindo diferenças consideráveis entre as curvas locadas e reais;
- Se na condição inicial tivesse sido adotado o vão básico de 200 m, que foi insatisfatório, na nova tentativa deve-se adotar um vão básico maior que o regulador obtido para esse vão (de 200 m). Pois, se for adotado o novo vão básico como sendo igual ao regulador encontrado inicialmente (318,1 m), encontrar-se-á ainda diferenças razoáveis.

Com esta análise, dá-se subsídios para uma boa escolha do vão básico, bem como dos cuidados a serem tomados durante a locação, não dispensando, jamais, a experiência profissional do projetista.

BIBLIOGRAFIA

1. Santos, A. H. M. — Determinação das equações que regem a mudança de estado de equilíbrio estático das linhas de transmissão com suspensão por cadeias de isoladores — Tese de Mestrado — Escola Federal de Engenharia de Itajubá, 1980.
2. Fuchs, R. D.; Almeida, M. T. — Curso de Projetos Mecânicos das Linhas Aéreas de Transmissão — FUPAI — Itajubá, MG.

□

Nem todos os reatores são iguais.



Alguns são Philips.

Os reatores têm, pelo menos, uma coisa diferente entre si: alguns levam o nome Philips. E levar esse nome não é fácil. O reator tem que ser muito bom para tirar o máximo proveito de uma lâmpada, sem desperdiçar energia.

O simples fato da Philips produzir todos os componentes de um sistema de iluminação faz com que ela atinja esse resultado facilmente. Ela está tão segura do que faz que seus reatores têm 10 anos de garantia contra defeitos de fabricação.

Quando você compra um reator Philips está comprando também uma coisa que não tem preço: qualidade.

PHILIPS

