



São Paulo, 10/15 de abril de 1972

GRUPO DE ESTUDOS DA TRANSMISSÃO

PROGRAMA PARA CÁLCULO DE TENSÕES E FLECHAS
EM CABOS DE TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELETRICA

Eng^o Walter Farina Mazza

Eng^o William Andrade Galvão

Centrais Elétricas de São Paulo S/A - CESP

I.O. - INTRODUÇÃO

Tôda vez que nos defrontamos com a tarefa de construir tabelas para dimensionamento das trações mecânicas dos cabos de linhas de transmissão de energia elétrica, temos que calcular uma tabela de a - cõrdo com as especificações da linha em questão, ou então interpolar/ as condições de cálculo em tabelas já existentes.

Se o cálculo tiver que ser feito manualmente, a solução mais prática será a interpolação de tabelas já existentes.

Porém, além da interpolação ser uma operação delicada e morosa, é sempre difícil avaliar até que ponto a interpolação é válida. Isto conduz geralmente o projetista a adotar as mesmas especificações que levaram a construção das tabelas antigas, ao invés de novas especificações para um dimensionamento mais conveniente.

O cálculo de uma tabela de trações e flechas a partir de especificações mecânicas rigorosas, envolve um número de operações tão grande que a curto prazo só é viável pelo uso do computador.

Desta forma, fomos levados a criar um programa capaz de resolver, por meio de cálculo iterativo e simulação, um enorme número de

problemas que normalmente têm que ser ignorados ou contornados devido a dificuldade de sua solução numérica.

Outras vantagens do uso do programa são a rapidez e a eficiência na elaboração de tabelas isentas de erros de transcrição evitando trabalhos de conferência.

1.1. - Características principais do programa:

O programa se utiliza de todos os recursos matemáticos/necessários para atingir os resultados mais perfeitos possíveis.

A equação da catenária é definida por meio de funções transcendent^{es} que só podem ser resolvidas por processos de cálculo iterativo, que são largamente usados no programa.

O programa é composto de um programa principal, quatro sub-rotinas e quatro funções.

As funções executam diferentes mudanças de estado:

EST 1 - Executa a mudança de estado de um vão nivelado de linha de transmissão.

EST 2 - Executa a mudança de estado de um tramo desnivelado fornecendo também a grandeza do deslocamento das cadeias para cada mudança de temperatura.

EST 3 - Executa a mudança de estado de um vão nivelado levando em conta a influência das cadeias de ancoragem nas extremidades do vão.

EST 4 - Executa a mudança de estado de um vão nivelado levando em conta a influência das cadeias de ancoragem nas extremidades e no centro do vão.

As sub-rotinas calculam as seguintes tabelas:

TBGB - Calcula e imprime, utilizando EST 1, a "Tabela de Flechas e Tensões" e opcionalmente o "Gabarito" para cada vão básico, a partir das características mecânicas dos cabos condutores e das especificações dos estados básicos fornecidos pelo projetista.

REGS - Calcula e imprime, utilizando EST 1, a "Tabela/

de Regulação Simples" não considerando o desnível existente entre os vãos, fornecendo as trações e flechas de todos os vãos de um tramo para cada temperatura, a partir das características mecânicas do cabo condutor e das especificações dos estados básicos.

REGC - Calcula e imprime, utilizando EST 2, a "Tabela/ de Regulação com Correções de Flechas" fornecendo as trações e flechas enquanto os cabos estão sobre as roldanas, as correções a serem aplicadas nos pontos de grampeamento para corrigir o escorregamento do cabo sobre as roldanas e correção da verticalidade das cadeias no "Every / day stress", e as trações e flechas finais a cada temperatura para todos os vãos do tramo.

FTCA - Calcula e imprime, utilizando EST 3 e EST 4, a "Tabela de Flechas e Tensões" de um vão nivelado, para cada temperatura, levando em conta, na mudança de estado, a influência das cadeias de ancoragem nas extremidades e no centro do cabo.

2.0. - RESUMO TEÓRICO DA MUDANÇA DE ESTADO DO CABO CONDUTOR SOB A INFLUÊNCIA DAS CADEIAS DE ANCORAGEM

2.1. - Cadeias nas extremidades do condutor:

Nos vãos compreendidos entre duas torres de ancoragem / as flechas ficam aumentadas devido o peso das cadeias nas extremidades do cabo (Ilustrações 2.1-1 e 2.1-2).

Para cada valor de tração horizontal H do cabo condutor pode-se calcular as projeções vertical (b) e horizontal (a) da cadeia a partir do seu comprimento (L_c), do seu peso específico, e do peso / do condutor aplicado na extremidade da cadeia, fazendo a suposição de que a cadeia é articulada e formada por pedaços muito menores que o / seu comprimento total.

Na extremidade (A) da cadeia é válida, então, a seguinte condição de equilíbrio estático:

$$T = \sqrt{H^2 + (P_c + G)^2} = H \cosh \frac{X_2}{H/wc}$$

onde:

- P_c = peso próprio da cadeia
- w = peso específico do condutor
- x_2 = distância do eixo de simetria da catenária ao ponto A
- wc = peso específico da cadeia
- G = peso do condutor aplicado em B
- $a = x_2 - x_1$
- $G = \left(\frac{V}{2} - a\right)w$
- V = comprimento do vão

então podemos escrever $\cosh^2 \frac{x_2}{H/wc} = 1 + \frac{\left(P_c + \left(\frac{V}{2} - a\right)w\right)^2}{H^2}$

e
$$\cosh \frac{x_1}{H/wc} = \frac{P_c + \left(\frac{V}{2} - a\right)w}{H}$$

Na extremidade (B) temos a seguinte condição de equilíbrio:

$$T = \sqrt{H^2 + G^2} = H \cosh \frac{x_1}{H/wc}$$

ou
$$\cosh^2 \frac{x_1}{H/wc} = 1 + \frac{\left(\frac{V}{2} - a\right)^2 w^2}{H^2}$$

e
$$\sinh \frac{x_1}{H/wc} = \frac{\left(\frac{V}{2} - a\right)w}{H}$$

Combinando essas expressões podemos encontrar o valor da projeção horizontal (a) das cadeias através da relação:

$$\cosh \frac{a}{H/wc} = \cosh \frac{x_2 - x_1}{H/wc} = \sqrt{1 + \frac{\left(P_c + \left(\frac{V}{2} - a\right)w\right)^2}{H^2}} \cdot \sqrt{1 + \frac{\left(\frac{V}{2} - a\right)^2 w^2}{H^2}} - \frac{\left(P_c + \left(\frac{V}{2} - a\right)w\right)}{H} \cdot \frac{\left(\frac{V}{2} - a\right)w}{H}$$

A projeção vertical (b) também é facilmente obtida pela relação:

$$b = y_2 - y_1 = \frac{H}{wc} \left\{ \cosh \frac{x_2}{H/wc} - \cosh \frac{x_1}{H/wc} \right\} =$$

$$= \frac{H}{wc} \left(\sqrt{1 + \frac{(P_c + (\frac{V}{2} - a)w)^2}{H^2}} - \sqrt{\frac{(\frac{V}{2} - a)^2 w^2}{H^2} + 1} \right)$$

Uma vez expressa a projeção (a) em função das constantes conhecidas e da tração horizontal H podemos tratar da mudança de estado.

A sub-rotina EST 3 executa a mudança de estado considerando uma cadeia em cada extremidade do cabo.

O comprimento do cabo não tracionado sujeito à tração H_0 em um vão/ com cadeias nas extremidades é dado por:

$$L_0 = \frac{2H_0}{w} \operatorname{senh} \frac{(\frac{V}{2} - a_0)}{H_0/w} - \text{fator de esticamento do cabo.}$$

O fator de esticamento do cabo é obtido pela aplicação da Lei de Hooke sobre o cabo.

Considerando um elemento do cabo ds temos pela Lei de Hooke:

$$d\lambda = \left(\frac{T}{A \cdot E} \right) ds$$

onde A = área da seção transversal
 E = módulo de elasticidade
 T = tração na direção ds

como $T = H \cosh \frac{wx}{H}$

e $ds = \cosh \frac{wx}{H} dx$

temos $d\lambda = \frac{H}{AE} \cosh^2 \frac{wx}{H} dx = \frac{H}{AE} \left(\frac{1 + \cosh^2 \frac{wx}{H}}{2} \right) dx$

e o fator de esticamento do cabo será:

$$\lambda = \frac{H}{2AE} \left(2x + \frac{H}{w} \operatorname{senh}^2 \frac{wx}{H} \right)$$

O esticamento da cadeia é desprezado devido ao fato da cadeia ter comprimento muito menor que o cabo e o módulo de elasticidade ser bem maior.

A expressão que nos dá o comprimento do cabo à tração H_0 é então:

$$L_0 = \frac{2H_0}{w} \operatorname{senh} \frac{(\frac{V}{2} - a_0)}{H_0/w} - \frac{H_0}{2AE} \left\{ V - 2a_0 + \frac{H_0}{w} \operatorname{senh} \left(\frac{V - 2a_0}{H_0/w} \right) \right\}$$

O valor de a_0 é obtido inicialmente à tração H_0 . Depois de ocorrer uma variação de temperatura Δt o comprimento do cabo será:

$L = L_0 (1 + \alpha \Delta t)$ e a tração mudará de H_0 para H , sendo α o coeficiente de dilatação linear do cabo.

Temos então a igualdade:

$$L = L_0 (1 + \alpha \Delta t) = \frac{2H}{w} \sinh \left(\frac{\frac{V}{2} - a}{H/w} \right) - \frac{H}{2AE} \left\{ V - 2a + \frac{H}{w} \sinh \left(\frac{V - 2a}{H/w} \right) \right\}$$

Nesta expressão aparecem ao mesmo tempo duas incógnitas a e H , que no entanto possuem uma relação exata entre si.

A solução para o valor de H é obtida no programa pelo processo de dicotomia.

A flecha do cabo condutor é calculada pela fórmula:

$$f = b + \frac{H}{w} \left\{ \cosh \left(\frac{V/2 - a}{H/w} \right) - 1 \right\}$$

2.2. - Cadeia no meio do vão

A sub-rotina EST 4 calcula a mudança de estado considerando uma cadeia em cada extremidade do cabo, e uma cadeia, que pode ser diferente das outras duas, no centro.

O método de cálculo desenvolvido neste caso é apenas uma extensão do método aplicado no caso anterior.

Designamos por a' a semi-projeção horizontal da cadeia central, e por x a distância do ponto C ao eixo de simetria da curva do cabo condutor (Ilustração 2.2-1).

Sendo P_{c2} o peso da cadeia central, obtemos no ponto C a seguinte relação de equilíbrio:

$$T = H \cosh \frac{x}{H/w} = H \cosh \frac{a'}{H/wc} = \sqrt{H^2 + \frac{(P_{c2})^2}{4}}$$

Desta expressão são tirados os valores de X_0 e a_0 a tração inicial H_0 .

O valor de a_0 é obtido relacionando as condições de equilíbrio nos pontos A e B à tração H_0 . Análogamente ao caso anterior:

$$\cosh \frac{a}{H/wc} = \sqrt{1 + \frac{(P_{c1} + (\frac{V}{2} - a - a')w)^2}{H^2}} \cdot \sqrt{1 + \frac{(\frac{V}{2} - a - a')^2 w^2}{H^2}}$$

$$\frac{(P_{c1} + (\frac{V}{2} - a - a')w)}{H} \quad \frac{(\frac{V}{2} - a - a')w}{H}$$

Escrevemos o comprimento do condutor à tração H_0 análogamente ao caso anterior:

$$L_0 = \frac{2H_0}{w} \operatorname{senh} \left(\frac{X_0 + V/2 - A_0 - a'_0}{H_0/w} \right) - \frac{2H_0}{w} \operatorname{senh} \left(\frac{X_0}{H_0/w} \right) - \text{fator de esticamento do condutor.}$$

$$\begin{aligned} \text{fator de esticamento } \gamma &= \frac{H_0}{2AE} (2X_0 + V - 2a_0 - 2a'_0 + \frac{H_0}{w} \operatorname{senh}(\frac{2X_0 + V - 2a'_0 - 2a_0}{H/w})) \\ &- \frac{H_0}{2AE} \left\{ 2X_0 + \frac{H_0}{w} \operatorname{senh} \left(\frac{2X_0}{H_0/w} \right) \right\} \end{aligned}$$

Também neste caso não foi considerado o esticamento das cadeias.

Depois de ocorrer uma variação de temperatura Δt o comprimento do cabo será dado por:

$$L = L_0 (1 + \alpha \Delta t) = \frac{2H}{w} \operatorname{senh} \left(\frac{V/2 + X - a - a'}{H/w} \right) - \frac{2H}{w} \operatorname{senh} \left(\frac{X}{H/w} \right) - \text{esticamento do cabo.}$$

Nesta equação aparecem 4 incógnitas X , a , a' , H , tôdas possuindo relação exata com H .

O método utilizado para a obtenção de H é, como no caso anterior, o da dicotomia.

As flechas são obtidas adicionando-se por partes as contribuições de desnível do cabo e das cadeias.

3.0. - VERIFICAÇÃO PRÁTICA DA TABELA DE FLECHAS E TENSÕES EM BARRAMENTOS DE SUBESTAÇÕES

3.1. - Generalidades:

Uma verificação prática da tabela em barramentos de subestações, onde a influência das cadeias de isoladores aumenta com a diminuição do comprimento do vão, foi executada conforme arranjo da Ilustração 3.1-1.

Usou-se um vão de 36 metros e foram empregadas cadeias de 230 kV e cabos de alumínio código Violet e Grosbeak.

A tabela elaborada em computador conforme a programação, está na Ilustração 3.1-2 - Tabela nº IV

3.2. - Medidas efetuadas:

Após um tensionamento inicial, procedeu-se o levantamen

to da curva Tensão-Flecha, atuando-se apenas nos parafusos Tensores / instalados nas cadeias de isoladores, fazendo-se variar o comprimento do condutor.

Tal variação no comprimento do condutor, corresponde aproximadamente/ ao efeito da mudança de temperatura.

Assim foram obtidos os dados, conforme Ilustração 3.2-1 - Tabela nº I e II - e levantadas as curvas de Ilustração 3.2-2.

3.3. - Verificação do intervalo de temperatura necessário para produzir uma determinada flecha:

Para uma verificação aproximada, usamos as equações da parábola.

Sabemos que a flecha é proporcional ao comprimento do condutor, para um mesmo vão. E que a variação do comprimento do condutor sob a influência simultânea da variação da temperatura e da tração é igual a:

$$L - L_0 = L_0 \alpha \Delta t + L_0 \frac{\Delta H}{A.E}$$

ou seja: $\Delta L = \Delta L_t + \Delta L_H$

mas, o valor de ΔL_t foi medido no campo e podemos obter o intervalo de temperatura pela relação:

$$\Delta L_t = L_0 \alpha \Delta t ; \Delta t = \frac{\Delta L_t}{L_0 \alpha}$$

De acôrdo com a Tabela I (Ilustração 3.2-1), para uma variação de tensão de 700 a 500 kg, necessitamos aumentar o comprimento do cabo de 4,20 cm. Na Ilustração 2.1-1, temos:

$$L_0 = V_c + \frac{8}{3} \cdot \frac{f_c^2}{V_c} \quad \text{como } f_c \text{ é pequeno podemos fazer:}$$

$$L_0 = V_c$$

$$V = 36 \text{ m} = \text{vão total}$$

$$L_c = 3 \text{ m} = \text{comprimento da cadeia}$$

$$V_c = 30 \text{ m} = \text{vão do cabo}$$

$$f_t = \text{flecha total}$$

$$f_c = \text{flecha do condutor}$$

$\alpha = 23 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ = coeficiente de dilatação linear do cabo.

$\Delta L_t = 4,20 \text{ cm}$ = variação do comprimento do cabo devido à temperatura.

Δt = variação da temperatura.

Assim temos:
$$\Delta t = \frac{4,20}{30 \times 10^2 \times 23 \times 10^{-6}} = 60,86^{\circ}\text{C}$$

3.4. - Dados de Campo:

Após as verificações efetuadas, deixou-se o cabo estendido, sob tensão e flecha correspondentes à temperatura local, para posteriores leituras em temperaturas diferentes. As leituras efetuadas estão na Ilustração 3.4-1 : Tabela III.

3.5. - Conclusões:

- a) As curvas de tensão-flecha medidas no campo, praticamente coincidem, com a tabela calculada.
- b) Comparando o valor de $\Delta t = 60,86^{\circ}\text{C}$, calculado no parágrafo 3.3, com a Tabela nº IV, observa-se que na tabela, para uma variação de tensão de 690 kg a 491 kg, ou seja, para um ΔH de 199 kg, corresponde um Δt de 60°C .
- c) Na Tabela nº IV (calculada), nota-se que a cada intervalo de 10°C corresponde uma variação de flecha de aproximadamente 3 cm.
Nas leituras obtidas no campo, (Tabela III) para um intervalo de 21°C (entre 18 e 39°), houve uma variação de flecha de 6 cm, ou seja, de aproximadamente/ 3 cm por cada 10°C .
- d) As observações acima, nos levam a concluir que a programação para a execução da tabela de tensões e flechas, está correta.

3.6. - Considerações Finais:

Devemos ressaltar que as medidas obtidas no campo devem ser consideradas como valores aproximados, pois foram usados aparelhos que normalmente se usa em trabalhos de construção, dentro das limitações de suas escalas.

São Paulo, fevereiro de 1972.

OBRA: GTR GRUPO DE ESTUDOS DA TRANSMISSÃO	DES.	ESC.
ASSUNTO: PROGRAMA PARA CÁLCULO DE TENSÕES E FLECHAS	VER.	F1. de
	DES. N.º	

SP/GTR/11

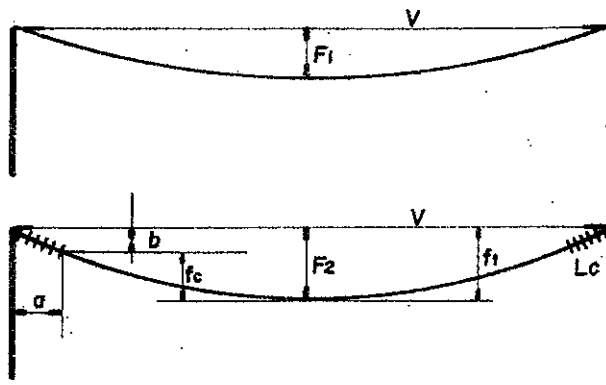


ILUSTRAÇÃO 2.1-1

$F_1 < F_2$

ILUSTRAÇÃO 2.1-2

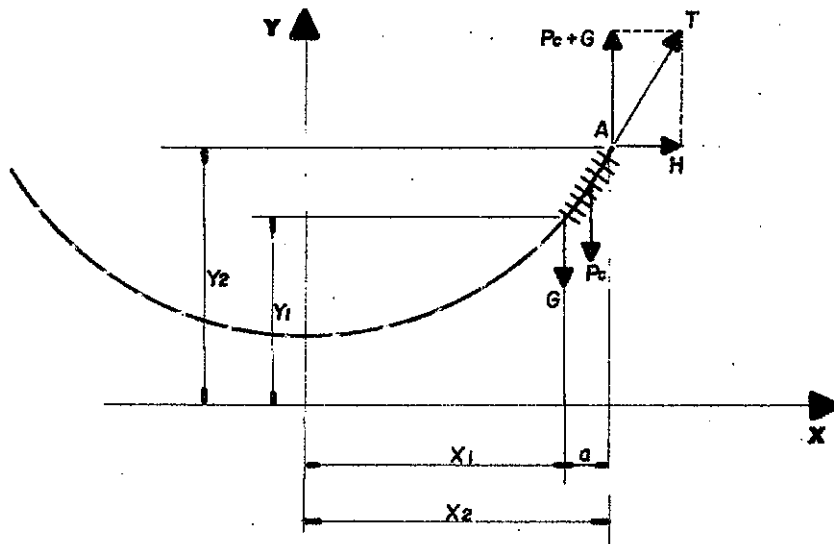


ILUSTRAÇÃO 2.2-1

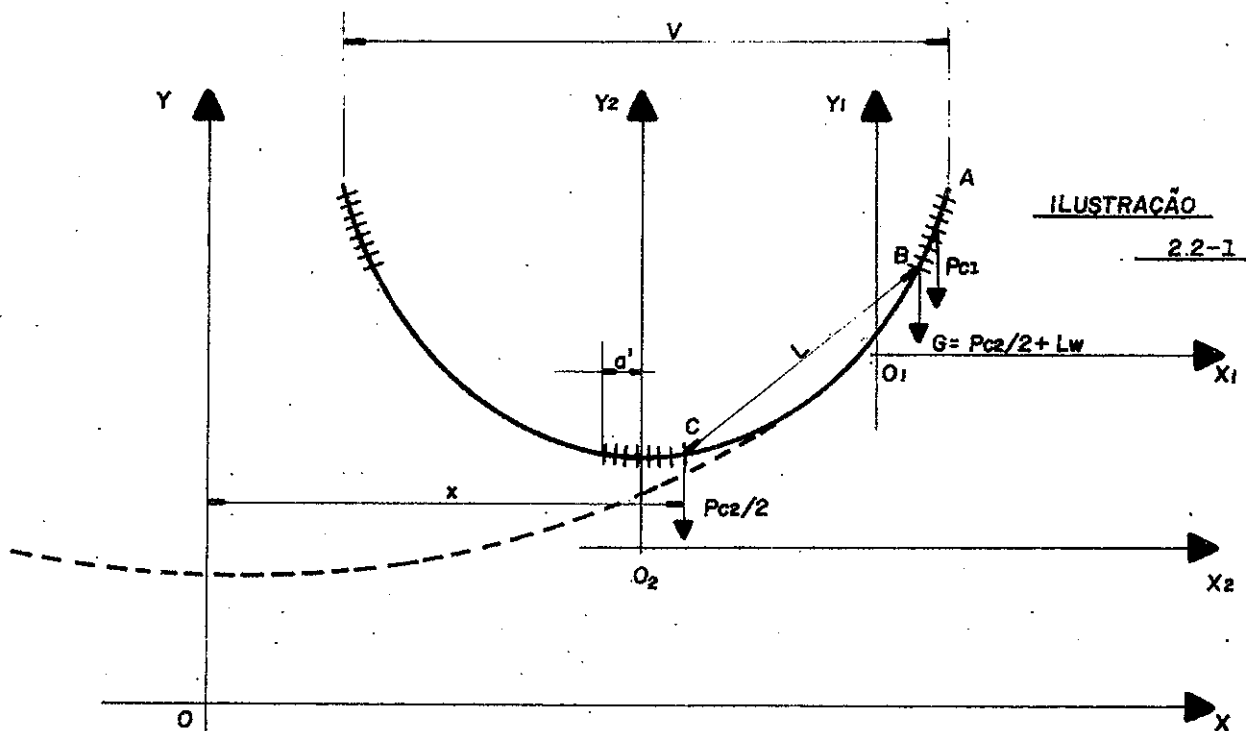
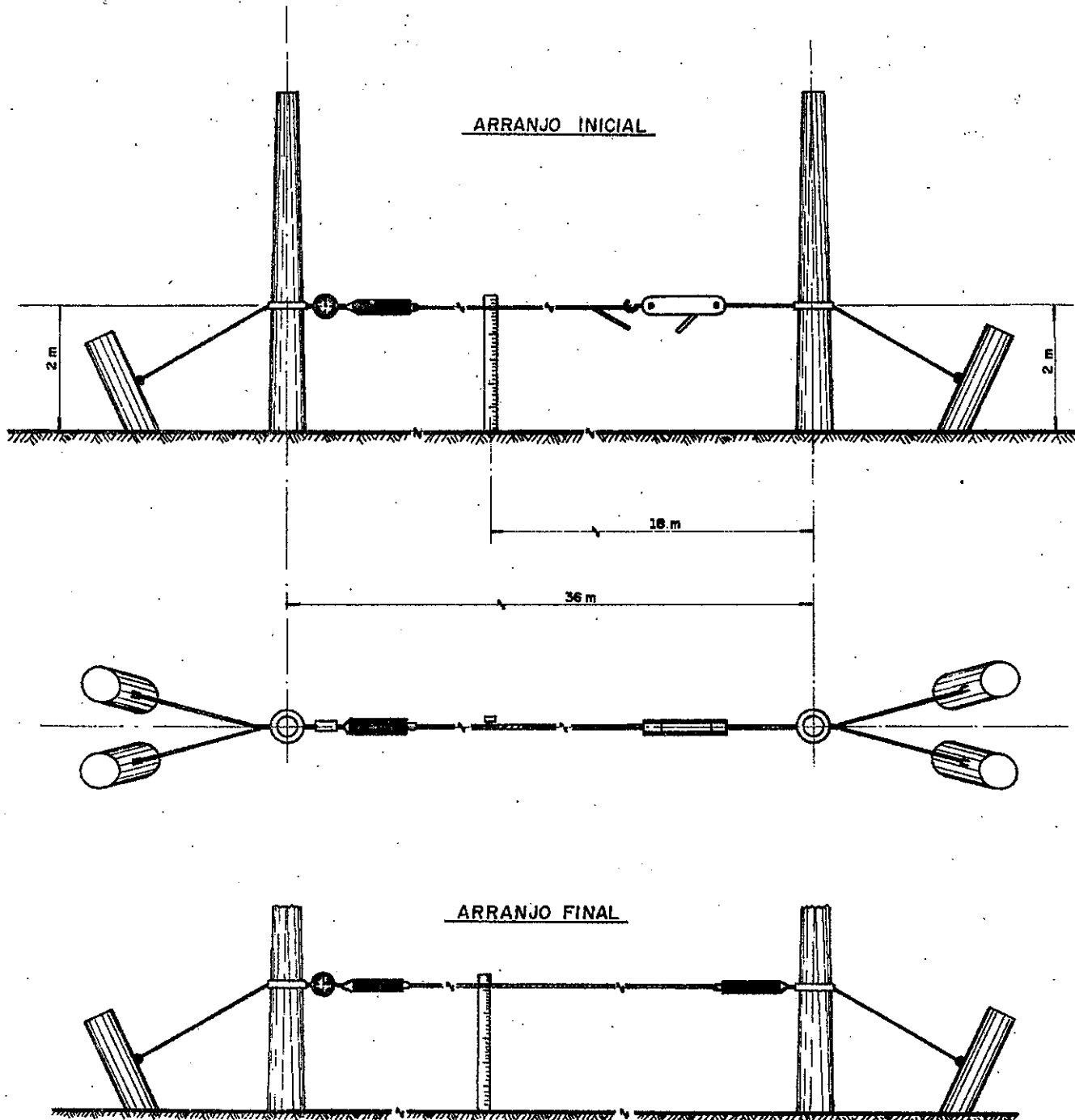


ILUSTRAÇÃO 3.1-1OBSERVAÇÕES:

1. O dinamômetro foi instalado fazendo parte da cadeia, substituindo 3 isoladores de disco, aos quais equivale aproximadamente em peso e comprimento.
2. Dinamômetro marca "Kratos", capacidade para 5.000 kg, escala - 0-50 x 100.
3. Cadeias de ancoragem simples, para 230 kV, tipo A, catálogo SADE, completa.

ILUSTRAÇÃO 3.1-2: TABELA Nº IV

FLECHAS E TENSÕES - VÃO DE 36 m

CABO	TEMPERATURA (°C)	TRAÇÃO (kg)	FLECHA (m)	PROJ. H a (m)	PROJ. V b (m)
VIOLET 715,5 MCM ASC	0	690	0,47	2,98	0,31
	10	642	0,51	2,98	0,33
	20	602	0,54	2,97	0,35
	30	567	0,57	2,97	0,37
	40	539	0,60	2,97	0,39
	50	514	0,63	2,97	0,41
	60	491	0,66	2,96	0,43
	70	472	0,69	2,96	0,45
GROSBEAK 636 MCM ACSR	0	698	0,53	2,98	0,32
	10	660	0,57	2,98	0,34
	20	627	0,59	2,97	0,36
	30	598	0,62	2,97	0,38
	40	572	0,65	2,97	0,39
	50	551	0,67	2,97	0,41
	60	531	0,70	2,96	0,42
	70	512	0,73	2,96	0,44

CONDIÇÕES

Cabo - código	VIOLET	GROSBEAK
bitola	715,5 MCM	636 MCM
Coefficiente de dilatação - (°C) ⁻¹	23 x 10 ⁻⁶	18,9 x 10 ⁻⁶
Módulo de Elasticidade - kg/mm ²	5.800	8.000
Tração de ruptura - kg	6.375	11.340
Área da seção - mm ²	362,5	374,7
Pêso nominal - kg/km	1.000	1.299
Coefficiente de segurança -	0,118	0,066
Carga estado 1	1.428	1.662
Temperatura estado 1	0°	0°
Coefficiente de segurança	0,300	0,300
Carga estado 2	1.000	1.299
Temperatura estado 2	25°	25°

Cadeia: comprimento = 3,00 m
pêso = 113 kg

ILUSTRAÇÃO 3.2.-1: TABELA I

C A B O	TRAÇÃO (kg)	FLECHA (m)	PROJETO VERT. DA CADEIA - (m)	VARIAÇÃO DO COMPRI- MENTO DO CABO ΔL
VIOLET 715,5 MCM A S C à 28°C Vão: 36m	900	0,34	0,24	Entre: 700 - 600kg = 2,0 cm 600 - 500kg = 2,2 cm 550 - 500kg = 1,3 cm 500 - 400kg = 4,0 cm 400 - 300kg = 7,0 cm
	850	0,36	0,26	
	750	0,41	0,27	
	700	0,43	0,27	
	600	0,52	0,34	
	500	0,62	0,41	
400	0,77	0,54		
300	1,02	0,67		
GROSBEAK 636 MCM ACSR à 29°C Vão: 36m	1000	0,38		TABELA II
	800	0,45		
	700	0,51	0,29	
	600	0,61	0,35	
	500	0,75	0,44	
	400	0,91	0,54	
300	1,23	0,75		

ILUSTRAÇÃO 3.4.-1: TABELA III

D A T A	H O R A	TEMPERATURA °C	TENSÃO kg	FLECHA	C A B O
02/12/71	8:00	33	600	0,53	VIOLET 715,5 MCM
	13:30	39	550	0,56	
	18:30	22	650	0,51	
03/12/71	5:30	18	650	0,49	ASC Vão: 36m
	12:30	25	600	0,52	
	18:30	18	650	0,50	
04/12/71	6:00	18	650	0,50	

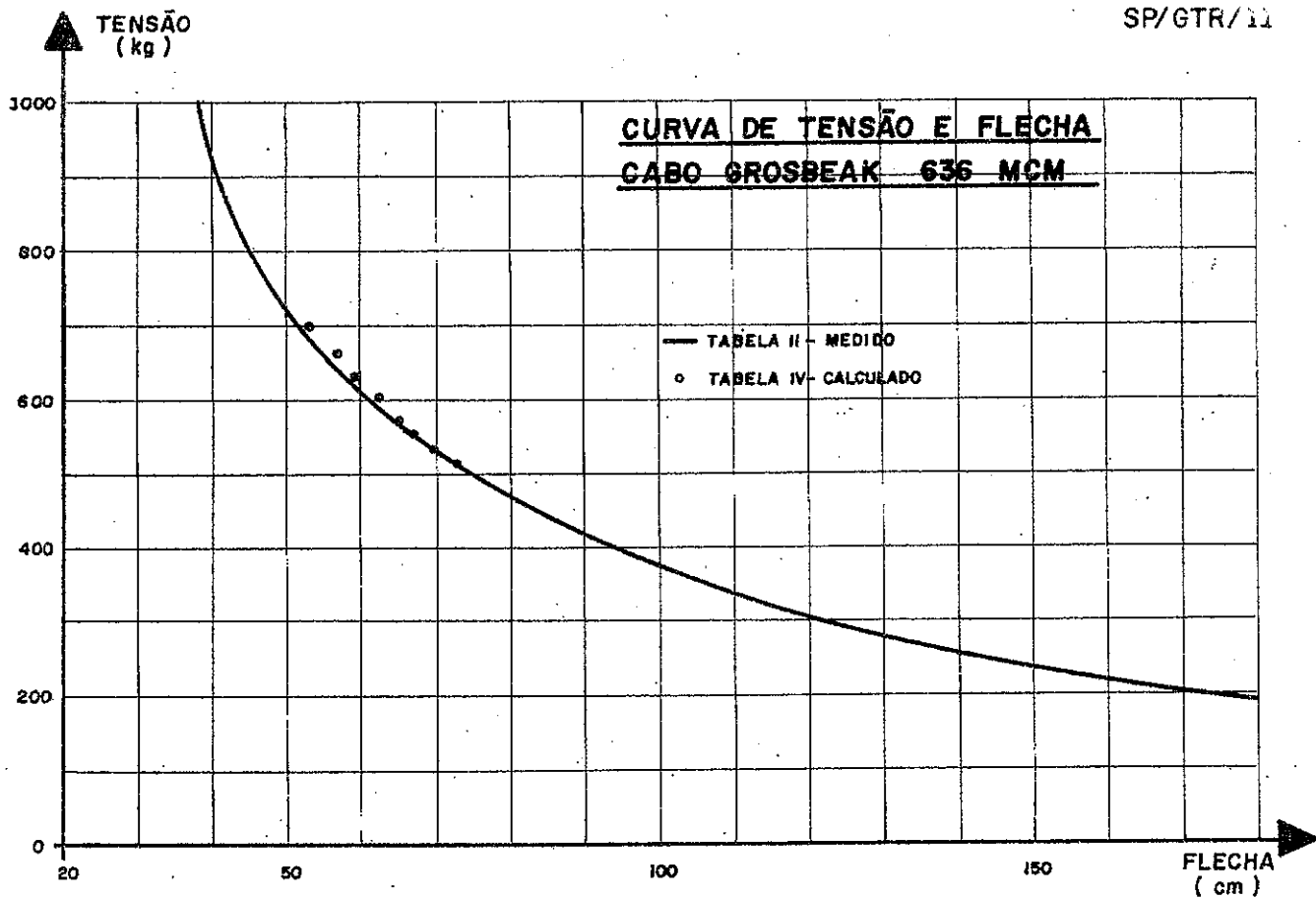
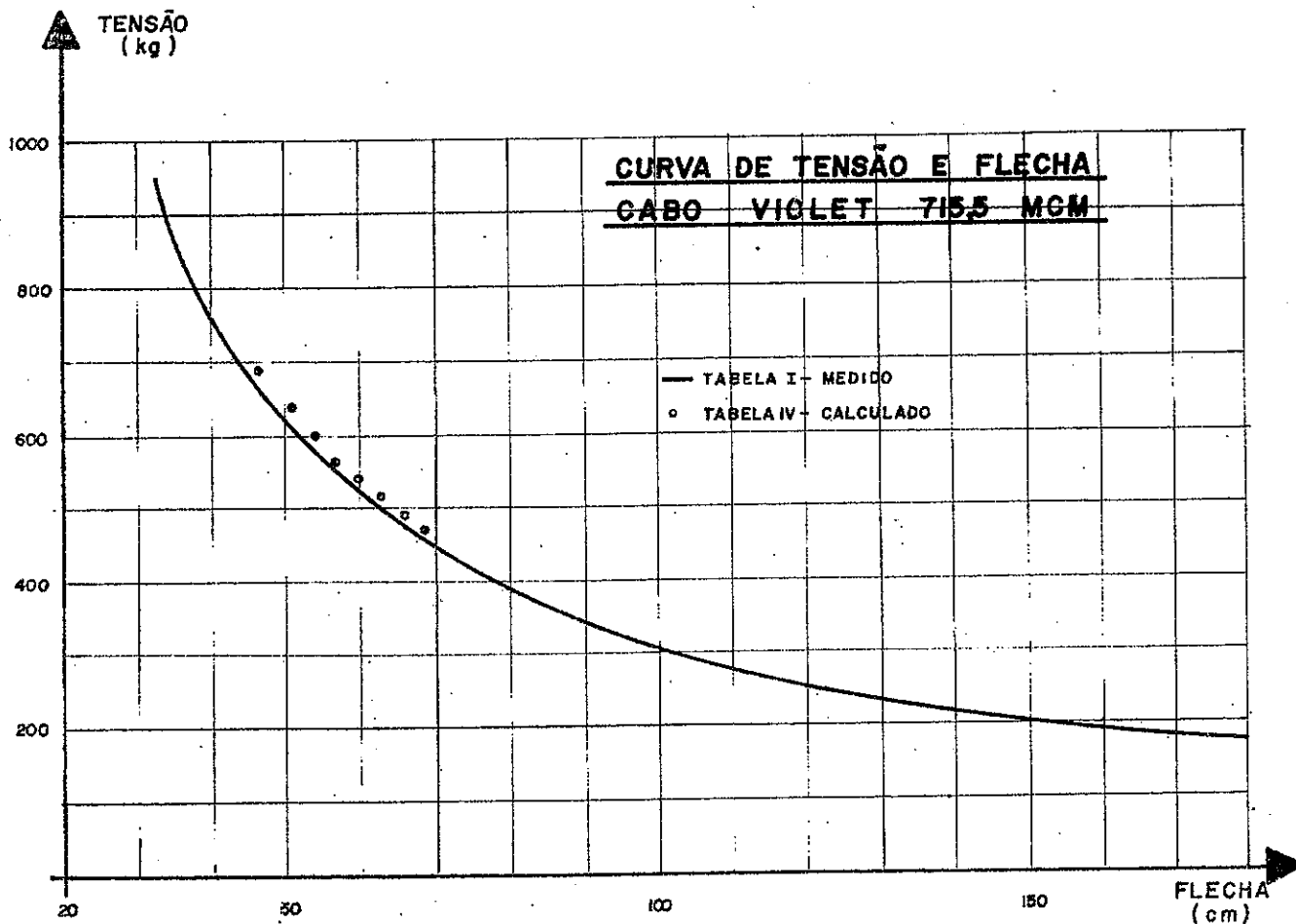


ILUSTRAÇÃO 3.2-2



SUBROUTINE FTCA

SP/GTR/11

REAL*8 H1,H2,HR,HP,L1,L2,A1,A2

X,ISEN4

COMMON /ST1/ L1,PI,A,E,S,HR,A1,FLX,B1

C /ST2/ A2,L2,P2,B2

READ(1,30) A,E,TR,S,CI,W1,T1,C2,W2,T2

FORMAT(F10.0,10F7.0)

READ(1,30) L1,PI,L2,P2,VI,VE,DV,T1,TE,DT

WRITE(3,50) A,L1,E,PI,TR,L2,S,P2,S,VI,CI,VE,W1,DV,T1,TI,C2,

X,TE,W2,DT,T2

FORMAT(//////)

X ' COEF. DILATAÇÃO ',T17,F10.7,T50, ' COMPR. CADEIA 1 ',T65,F8.3, //

X ' MOD. ELASTICIDADE ',T17,F10.3,T50, ' PESO CADEIA 1 ',T65,F8.3, //

X ' TRACAO RUPÇÃO ',T17,F10.3,T50, ' COMPR. CADEIA 2 ',T65,F8.3, //

X ' AB-FA DA SECCAO ',T17,F10.3,T50, ' PESO CADEIA 2 ',T65,F8.3, //

X ' PESO ESPECIFICO ',T17,F10.3,T50, ' VAO INICIAL ',T65,F5.0, //

X ' COEF. SEGURANCA 1 ',T17,F10.3,T50, ' VAO FINAL ',T65,F5.0, //

X ' CARGA ESTADO 1 ',T17,F10.3,T50, ' INTERV. DE VAO ',T65,F5.0, //

X ' TEMP. ESTADO 1 ',T17,F7.0,T50, ' TEMP. INICIAL ',T65,F5.0, //

X ' COEF. SEGURANCA 2 ',T17,F10.3,T50, ' TEMP. FINAL ',T65,F5.0, //

X ' CARGA ESTADO 2 ',T17,F10.3,T50, ' INTERV. TEMP. ',T65,F5.0, //

X ' TEMP. ESTADO 2 ',T17,F7.0,T50

H1 = TR*C1

H2 = TR*C2

N = 1

V = VI+N*DV

N = N+1

IF(L2.GT. 1) CALL EST3(V,H1,H2,W1,W2,T1,T2,KE)

IF(L2.GT. 1) CALL EST4(V,H1,H2,W1,W2,T1,T2,KE)

J = 0

IF(KE.EQ.3) GO TO 82

WRITE(3,70) V

FORMAT('1',///' VAO = ',F5.0,' METROS'///)

X ' TEMPERATURA TRACAO FLECHA PROJ. H PROJ. V'///)

TR = TI + J*DT

J = J+1

IF(KE.EQ.1) CALL EST3(V,H1,H2,W1,W2,T1,TR,K)

IF(KE.EQ.2) CALL EST3(V,H2,H1,W2,W1,T2,TR,K)

HT = DSORT(4R**2+((V/2-A1)*W+P1)**2)

HR = HT

WRITE(3,72) TR,HR,FLX,A1,B1

FORMAT(1X,F9.0,F11.0,3F11.2)

IF(TE-TR.GT.0) GO TO 71

IF(VE-V.GT.0) GO TO 51

CALL EXIT

WRITE(3,81) V

FORMAT('1',///' VAO = ',F5.0,' METROS'///)

X ' TEMPERATURA TRACAO FLECHA PROJ. H PROJ. V1 PROJ. V2'///)

X ' H2 PROJ. V2'///)

TR = TI + J*DT

J = J+1

IF(KE.EQ.3) CALL EST4(V,H1,H2,W1,W2,T1,TR,K)

IF(KE.EQ.4) CALL EST4(V,H2,H1,W2,W1,T2,TR,K)

HT = DSORT(4R**2+((V/2-A1-A2)*W+P1+P2/2)**2)

HR = HT

WRITE(3,83) TR,HR,FLX,A1,B1,A2,B2

FORMAT(1X,F9.0,F11.0,5F11.2)

IF(TE-TR.GT.0) GO TO 82

IF(VE-V.GT.0) GO TO 51

RETURN

END

SUBROUTINE FST3(V, HB, H2, W3, WP, TB, TR, KE)

SP/GTR/11

REAL*8 AU, A1, G1, G2, G3, G3, HB, HR, H2, H, LI, CR, DGR, STRS, DSTKS

X, DSENH

COMMON /STL/ LI, PI, A, F, S, HR, AI, FLX, B1

DSENH(H) = DSINH(H)

WC1 = PI/LI

AJ = 11

500 FORMAT(I5, B15.8)

DO 10 I=1, 10

G1 = (V/2 - AU)*WB/HR

G2 = G1 + PI/HR

G3 = DSQRT((1+G1*G1)*(1+G2*G2))

A1 = AU + (G3-G1*G2-DCOSH(AU*WC1/HR))/((WB/G3/HR*(G1+G2)*(1+G1*G2)

X -WB/HR*(G1+G2) + WC1/HR*DSENH(AU*WC1/HR))

IF(DABS(AU-A1).LT..001) GO TO 20

10 AU = A1

20 CR = 2*HB/WB*DSENH((V/2-A1)*WB/HR) - HB/2/S/F*(V-2*A1+HB/WB

X *DSENH(WB*(V-2*A1)/HR))

HR = 3122

DH = 1624

DO 30 K=1, 20

DO 25 I=1, 10

G1 = (V/2-A1)*WR/HR

G2 = G1 + PI/HR

G3 = DSQRT((1+G1*G1)*(1+G2*G2))

AJ = A1 + (G3-G1*G2-DCOSH(A1*WC1/HR))/((WR/G3/HR*(G2+G1)*(G1*G2+1)

X -WR/HR*(G1+G2) + WC1/HR*DSENH(A1*WC1/HR))

IF(DABS(AU-A1).LT..00001) GO TO 27

IF(DABS(AU-A1).GT..0.2) AU = (A1+AU)/2.

25 A1 = AU

27 WR = 435(DH)

CR = 2*HR/WR*DSINH(WR*(V/2-A1)/HR)

STRS = HR/2./S/F*(V-2*A1+HR/WR*DSINH(WR*(V-2*A1)/HR))

FH = CR*(1+A*(TR-TB))+STRS-CR

IF(FH.GT.0) GO TO 30

IF(DH.LT..0.4) GO TO 40

DH = -DH/2.

30 HR = HR-DH

40 KT = 1

IF(HR.GT.H2) KE1 = 2

A1 = HR/RC1*(DSQRT(1+G2*G2)-DSQRT(1+G1*G1))

FLX = HR/WR*(DCOSH((V/2-A1)*WR/HR)-1) + B1

RETURN

END