

TESE

208

ESCOLA FEDERAL DE ENGENHARIA DE ITAJUBÁ

CURSO DE ENGENHARIA DE SISTEMAS ELÉTRICOS
TESE DE MESTRADO

DIMENSIONAMENTO DAS CADEIAS DE ISOLADORES DA
REDE AÉREA DE UMA FERROVIA ELETRIFICADA COM
RESPEITO À INCIDÊNCIA DE DESCARGAS ATMOSFÉRI-
CAS DIRETAS

CLASS
DATE
TIME
ROOM

AUTOR : Milton Eugenio Francisco da Silva

ORIENTADOR : Prof. Antonio Eduardo Hermeto

A Alice, Stella e João.

AGRADECIMENTO

À CBEE - COMPANHIA BRASILEIRA DE ENERGIA ELÉTRICA

À PTEL - PROJETOS E ESTUDOS DE ENGENHARIA LTDA

AO ENGENHEIRO CARLOS M. DE J.C. DE MEDEIROS PORTELA



Ministério da Educação e Cultura
ESCOLA FEDERAL DE ENGENHARIA DE ITAJUBÁ

A N E X O I

PRONUNCIAMENTO DA COMISSÃO EXAMINADORA

A Comissão Examinadora, abaixo assinado, nomeado por Portaria nº 080 de 03/05/79, considerando o resultado do Julgamento da Prova de Defesa Pública da Dissertação de Mestrado intitulada: "Dimensionamento das Cadeias de Isoladores da Rede Aérea de uma Ferrovia Eletrificada com respeito à Incidência de Descargas Atmosféricas Diretas"

apresenta pronunciamento no sentido de que a Comissão de Pós-Graduação da Escola Federal de Engenharia de Itajubá solicite à DDD (Divisão de Divulgação e Documentação) a expedição do título de Mestre em Engenharia Elétrica na Área de Concentração de Sistemas de Potência satisfeitas as demais exigências regimentais à MILTON EUGENIO FRANCISCO DA SILVA.

Itajubá, 05 de Maio de 19 79.

1º Examinador

Prof. Eduardo Jorge Pires Pacheco

2º Examinador

Engº Francisco Vaccari

3º Examinador (Orientador)

Prof. Antonio Eduardo Hermeto



Ministério da Educação e Cultura
ESCOLA FEDERAL DE ENGENHARIA DE ITAJUBÁ

A N E X O I I

FOLHA DE JULGAMENTO DA COMISSÃO EXAMINADORA

Título da Dissertação: "Dimensionamento das Cadeias de Isola
dores da Rede Aérea de uma Ferrovia Eletrificada com respei
to à Incidência de Descargas Atmosféricas Diretas"

Autor: MILTON EUGÊNIO FRANCISCO DA SILVA

JULGAMENTO

EXAMINADORES	CONCEITO	RUBRICA
1º	A ⁺	P. Pacheco
2º	A ⁺	F. Vaccari
3º	A ⁺	A. Eduardo Hermeto

Resultado médio: Conceito A⁺, ou seja aprovado
com distinção.

Observações: _____

Itajubá, 05 de Maio de 19 79.

Eduardo Jorge Pacheco

1º Examinador

f. Eduardo Jorge Pires Pacheco

F. Vaccari

2º Examinador

Engº Francisco Vaccari

Antonio Eduardo Hermeto

3º Examinador (Orientador)
Prof. Antonio Eduardo Hermeto

ÍNDICE

	<u>PÁGINA</u>
1.. INTRODUÇÃO	1
2. CONSIDERAÇÕES GERAIS	4
2.1 - Do Fornecimento de Energia	4
2.2 - Do Perfil da Rede Aérea	4
2.3 - Dos Condutores Componentes	8
2.4 - Dos Trilhos da Ferrovia	10
2.5 - Dos Parâmetros Eletricos da Rede	13
2.6 - Dos Dados Atmosféricos	13
2.7 - Dos Isoladores Utilizados	14
2.8 - Da Representação da Onda de Corrente de Descarga Incidente	17
3. TENSÕES APLICADAS ÀS CADEIAS DE ISOLADORES DEVIDO À INCIDÊNCIA DE DESCARGAS ATMOSFÉRICAS DIRETA	19
3.1 - Geral	19
3.2 - Diagrama de Impedâncias	20
3.3 - Distribuição das Ondas de Corrente e Tensão	22
3.4 - Estudo da Propagação das Ondas	26
3.5 - Impedâncias de Surto das Ondas	29
3.6 - Velocidade de Propagação das Ondas	29
3.7 - Consideração da Atenuação	30
3.8 - Complementação dos Sistemas de Equações de 3.3	31

ÍNDICE (CONT.)

	<u>PÁGINA</u>
3.9 - Tensão Aplicada aos Isoladores	33
4. CORRENTES DE DESCARGA QUE ACARRETAM SOBRETENSÕES COM VALORES PRÉ-FIXADOS	40
5. PROBABILIDADE DE INCIDÊNCIA DE DESCARGAS QUE CAUSAM DEFEITOS	73
5.1 - Probabilidade de Incidência de Descarga com uma Dada Intensidade de Corrente	74
5.2 - Probabilidade de Incidência de Descarga na Linha Eletrificada	78
5.3 - Probabilidade de Incidência de Descargas com Frente de Onda Menor do que a Limite	83
5.4 - Probabilidade de Incidência de Descargas que Causam Defeitos	100
6. NÚMERO DE DEFEITOS NA REDE AÉREA PROVOCADOS POR DESCARGAS ATMOSFÉRICAS DIRETAS	115
7. REDUÇÃO DO NÚMERO DE DEFEITOS ESPERADOS NA REDE AÉREA	120
7.1 - Levantamento dos Custos Unitários	121
7.1.1 - Custo do Acréscimo de uma Unidade de Disco na Cadeia	121

ÍNDICE (CONT.)

	<u>PÁGINA</u>
7.1.2 - Custo da Haste de Aterramento	122
7.1.3 - Custo do Contrapeso por Metro	122
7.2 - Resistências de Aterramento Necessárias	123
7.3 - Resistências de Aterramento para Estruturas Aterradas com Hastes	123
7.4 - Resistência de Aterramento para Estruturas Aterradas por Contrapeso	126
7.5 - Acréscimo de Custo para Reduzir o Número de Defeitos na Rede Aérea	129
8. CONCLUSÕES	138
REFERÊNCIAS	140
ANEXOS	142

1. INTRODUÇÃO

Um dos pontos mais importantes a ser considerado em um projeto de eletrificação de ferrovia, é a coordenação de isolamento a ser definida para a rede aérea, com destaque especial para o problema de dimensionamento dos isoladores visando aspectos ligados à incidência de descargas atmosféricas diretas.

Este problema de descargas atmosféricas é tanto mais importante quanto maior for o nível isoquerâunico da região em estudo. Podemos mesmo afirmar que, para níveis isoquerâunicos elevados, o fator descarga atmosférica é preponderante no dimensionamento dos isoladores.

Modernamente, para ferrovias de grande porte, as tensões de suprimento de energia já se fazem em corrente alternada, com valor de 25kV ou mesmo de 50kV. Assim, pensou-se inicialmente em adotar os critérios aplicados às linhas de transmissão,

destas classes de tensão, na resolução do problema de incidência de descarga nas redes aéreas.

Os métodos convencionais adotados no dimensionamento de cadeias de isoladores, utilizando tabelas, gráficos e outros processos pré-fixados, não se adaptam muito bem ao caso de rede aérea de ferrovias, devido à falta de precisão na obtenção de valores, pois a constituição física da rede é muito diversa da de uma linha de transmissão, principalmente no que concerne a disposição dos condutores, comprimento do vão médio, faseamento e outros fatores de importância dentro do estudo. Como exemplo, podemos dizer que, o vão médio de uma rede aérea é cerca de 15 a 25% do correspondente de uma linha de transmissão de mesmo nível de tensão.

Devido então a estas dificuldades, é que se pensou em desenvolver um estudo, aplicado diretamente ao problema de incidência de descargas atmosféricas diretas e sobre os condutores de uma rede aérea de ferrovias eletrificadas.

A solução dos problemas de definição do isolamento de linhas ou redes aéreas, recai sempre na determinação do número de defeitos esperados em um certo comprimento de linha ou rede, durante um determinado período de tempo que, de uma forma geral, se apresentam como 100km de comprimento e 1 (um) ano de duração.

A ocorrência de defeito fica diretamente ligada à comparação da sobretensão verificada nos isoladores devido a uma descarga, com a tensão de escorvamento dos mesmos.

Uma descarga ao atingir uma linha pode incidir no cabo de guarda ou pára-raio, nos condutores em tensão ou na própria estrutura. Também pode fazê-lo no meio do vão ou nas proximidades das estruturas.

O presente trabalho desenvolve a condição de incidência de descarga no cabo guarda que, em redes aéreas de ferrovia é utilizado como retorno, próximo ou na estrutura de sustentação. Não foram desenvolvidas as condições de incidência no meio de vão, devido ao pequeno valor de vão médio considerado e de incidência nos condutores em tensão, devido a proteção exercida pelo cabo guarda de retorno.

O estudo da incidência de descargas atmosféricas, longe de ser um problema determinístico, é mais um problema probabilístico. Assim, este problema fica resolvido com o levantamento das probabilidades de incidência de descargas com uma certa intensidade de corrente, probabilidade das descargas incidirem na rede aérea, e outras mais, conforme o desenvolvimento do estudo. Não foi abordado neste estudo o problema ligado ao ângulo de incidência destas descargas.

Para o cálculo destas probabilidades, determinamos os valores das tensões observadas na rede aérea quando da incidência de uma descarga, em função de vários fatores, como por exemplo, o tempo de frente, a forma e a intensidade de corrente da onda incidente e a resistência de aterramento das estruturas (cabo retorno). Destes valores, destacamos a tensão aplicada aos isoladores que resultarão ou não, em escorvamento dos mesmos.

O estudo referente à determinação das tensões distribuídas na rede aérea é o ponto mais importante deste trabalho, devido a abordagem do problema que se faz de uma forma especial.

Finalmente, complementando o estudo, procuramos uma maneira de reduzir o número de defeitos na rede, através do aumento do seu isolamento e/ou da redução da resistência de aterramento, considerando-se os aspectos econômicos da implantação.

2. CONSIDERAÇÕES GERAIS

A fim de exemplificar o trabalho, procuramos definir o problema a ser estudado, com dados gerais de uma rede aérea de uma ferrovia eletrificada. Escolhemos também, uma região com determinados dados atmosféricos e procuramos definir outros da dos necessários ao estudo.

2.1- Do Forneceimento de Energia

O sistema de alimentação das locomotivas foi escolhido em corrente alternada, com frequência de 60Hz e com tensão en tre fase e neutro de 25kV.

2.2- Do Perfil da Rede Aérea

A escolha do perfil genérico da rede recaiu no caso de

catenária com tensionamento automático, isto é, tensão da catenária constante, independente das variações de temperatura e ação dos ventos. Este tipo de sustentação utiliza, como exemplo, um triângulo metálico com charneiras nos pontos de fixação às estruturas, permitindo assim, a sua rotação e manutenção dos esforços. Permite também, a redução nos esforços nos casos de arrebitamento de condutores. Para o isolamento da catenária, utilizamos isoladores rígidos, formados de unidades acopladas de isoladores de disco, com a finalidade de simplificar a obtenção de dados necessários ao estudo, uma vez que este tipo de isoladores não é de fabricação comum, devido à sua aplicação e à tensão nominal da ferrovia, um valor recentemente imposto.

A sustentação do cabo retorno (guarda) também utiliza triângulos metálicos rotativos, com a finalidade de reduzir esforços quando houver arrebitamento do condutor. O posicionamento de retorno, acima da catenária, foi escolhido com a finalidade de proporcionar uma proteção eficaz a esta segunda, tendo em vista descargas atmosféricas.

O perfil da rede adotado e a vista da catenária com o fio retorno, com cotas e demais informações, encontram-se nas figuras 2.1 e 2.2 a seguir.

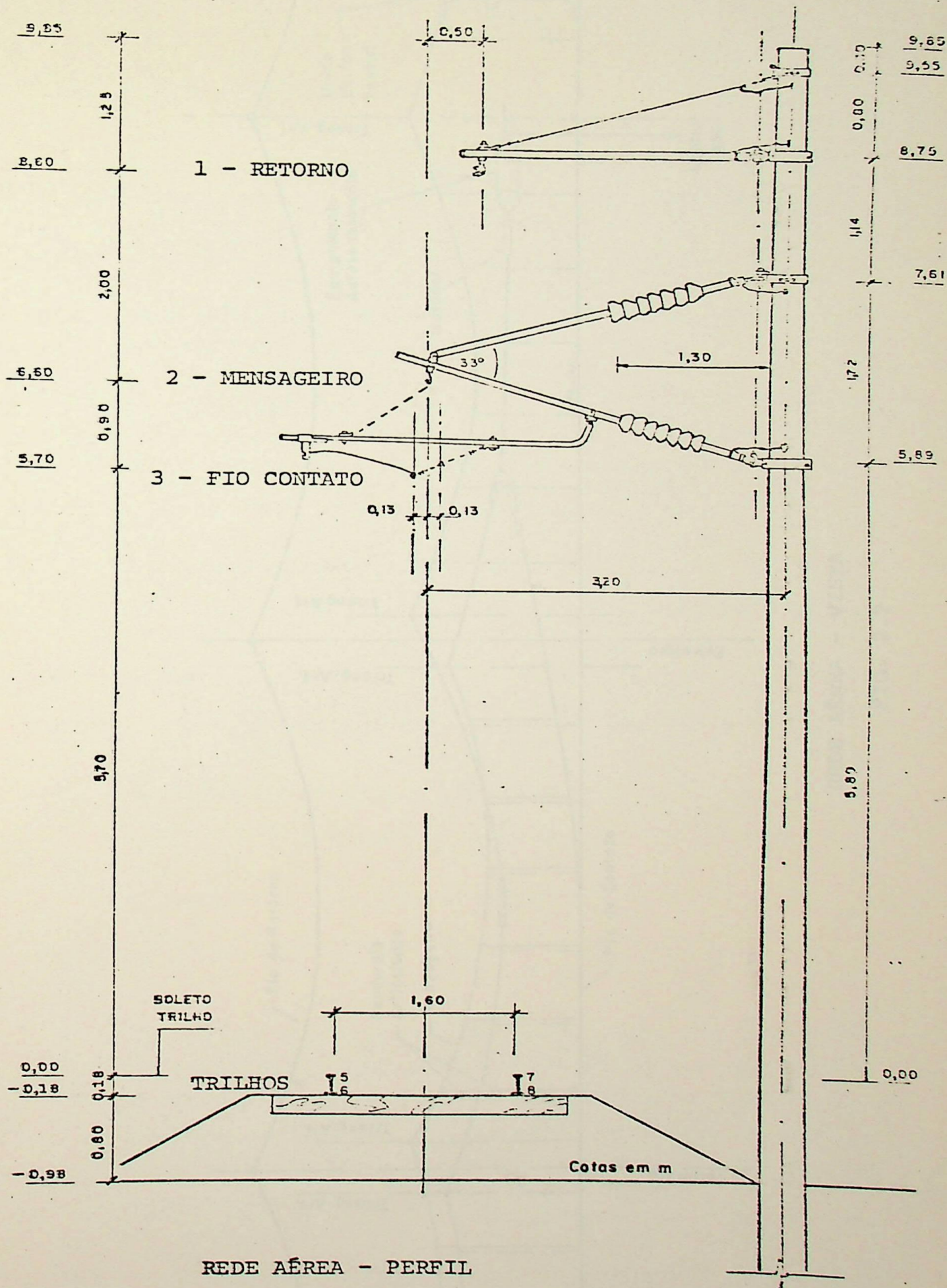
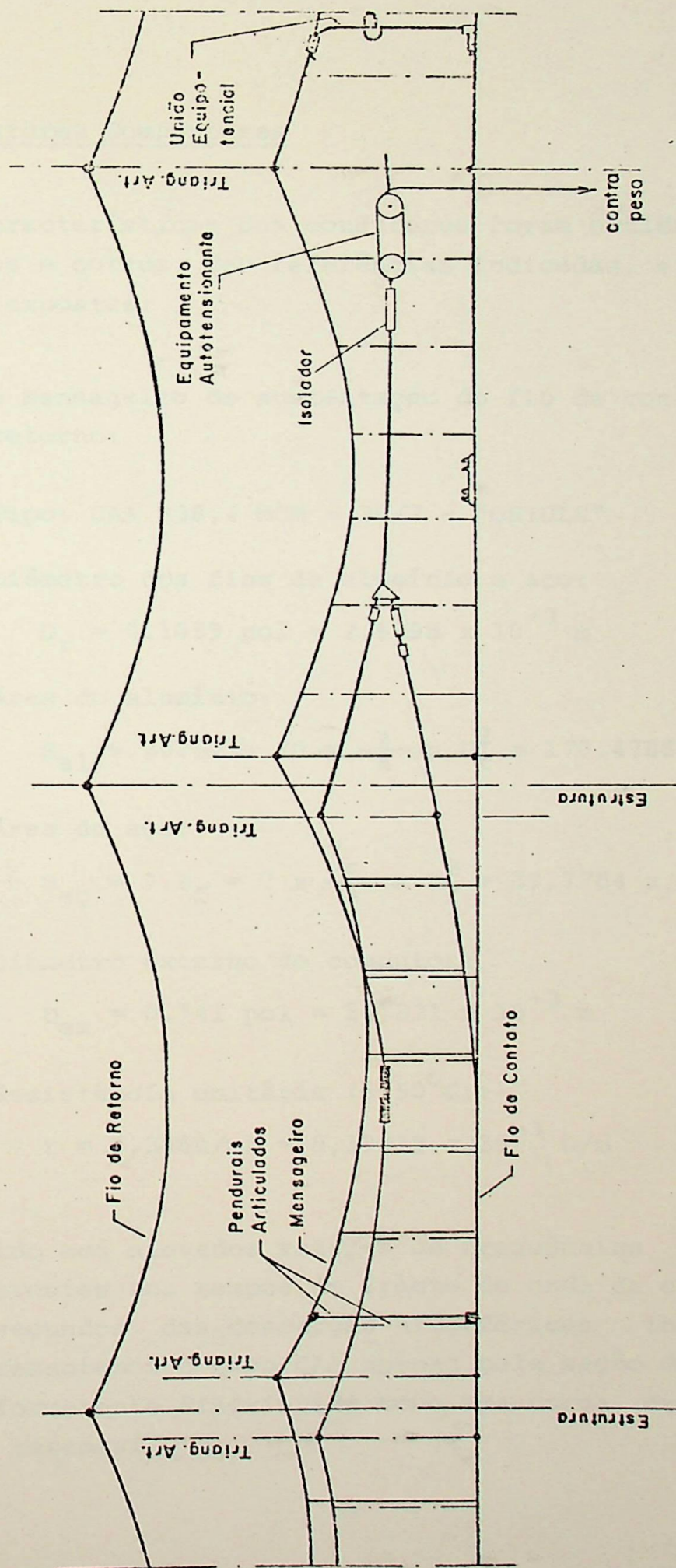


FIG. 2.1



REDE AÉREA - VISTA

FIG. 2.2

2.3- Dos Condutores Componentes

As características dos condutores foram obtidas de tabelas, gráficos e outros, das referências indicadas, e se encontram a seguir expostas:

2.3.1- Cabo mensageiro de sustentação do fio de contato e cabo retorno:

a) Tipo: CAA 336,4 MCM - 30/7 - "ORIOLE"

b) Diâmetro dos fios de alumínio e aço:

$$D_f = 0.1059 \text{ pol} = 2,6898 \times 10^{-3} \text{ m}$$

c) Área do alumínio:

$$S_{al} = 30.5f = 30 \times \frac{\pi}{4} \times D_f^2 = 170,4788 \times 10^{-6} \text{ m}^2 \quad (2.1)$$

d) Área do aço:

$$S_{aç} = 7.S_f = 7 \times \frac{\pi}{4} \times D_f^2 = 39,7784 \times 10^{-6} \text{ m}^2 \quad (2.2)$$

e) Diâmetro externo do condutor:

$$D_{ex} = 0.741 \text{ pol} = 18,821 \times 10^{-3} \text{ m}$$

f) Resistência unitária (à 50°C):

$$r = 0,306 \Omega/\text{mi} = 0,19018 \times 10^{-3} \Omega/\text{m}$$

Devido aos elevados valores de frequências adotados, referentes aos tempos de frente de onda da ordem de microsegundos das descargas atmosféricas incidentes, representamos o cabo CAA apenas pela seção de alumínio uniformemente distribuída como uma coroa circular. Assim teremos:

g) Raio externo:

$$R_{ex} = \frac{D_{ex}}{2} = 9,4107 \times 10^{-3} \text{ m} \quad (2.3)$$

h) Área da coroa:

$$S_{cr} = S_{al} = 170,4788 \times 10^{-6} \text{ m}^2 \quad (2.4)$$

i) Raio interno:

$$S_{cr} = \pi (R_{ex}^2 - R_{in}^2) \quad (2.5)$$

$$R_{in} = 5,8563 \times 10^{-3} \text{ m}$$

j) Resistividade:

$$\rho_{al} = r \cdot S_{al} = 32,4217 \times 10^{-9} \Omega.m \quad (2.6)$$

l) Permeabilidade magnética relativa:

$$\mu_{al} = 1,00002$$

Os valores dos sub-itens de a) até f) foram obtidos de [1] e o valor de l), de [2].

2.3.2- Fio de contato:

a) Tipo: "TROLLEY" de cobre ranhurado

b) Área do fio:

$$S_{co} = 107,2 \times 10^{-6} \text{ m}^2$$

c) Diâmetro do fio:

$$D_{ex} = 12,24 \times 10^{-3} \text{ m}$$

d) Condutividade:

$$g_{co} = 97,16\%$$

e) Resistividade do fio de cobre sem ranhuras:

$$\rho_{co} = 0,017745 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$$

$$\rho_{co} = 0,017745 \times 10^{-6} \Omega \cdot \text{m}$$

f) Área do fio de cobre sem ranhuras:

$$S_a = \frac{\pi}{4} \cdot D_{ex}^2 = 117,6665 \times 10^{-6} \text{ m}^2 \quad (2.7)$$

g) Resistividade do fio de cobre ranhurado:

$$\rho'_{co} = \rho_{co} \cdot \frac{S_a}{S_{co}} = 0,0194775 \times 10^{-6} \Omega \cdot \text{m} \quad (2.8)$$

h) Permeabilidade magnética relativa:

$$\mu_{co} = 0,999991$$

Os valores dos sub-itens a) até d) foram extraídos de [3], de e), de [4] e de h), de [2].

2.4 - Dos Trilhos da Ferrovia

Com a finalidade de considerar os trilhos como condutores, foi feita a equivalência de cada um deles, com 2 (dois) condutores ocos do mesmo material, mesma seção total e mesmo perímetro externo total, conforme mostrado na figura 2.3, a seguir.

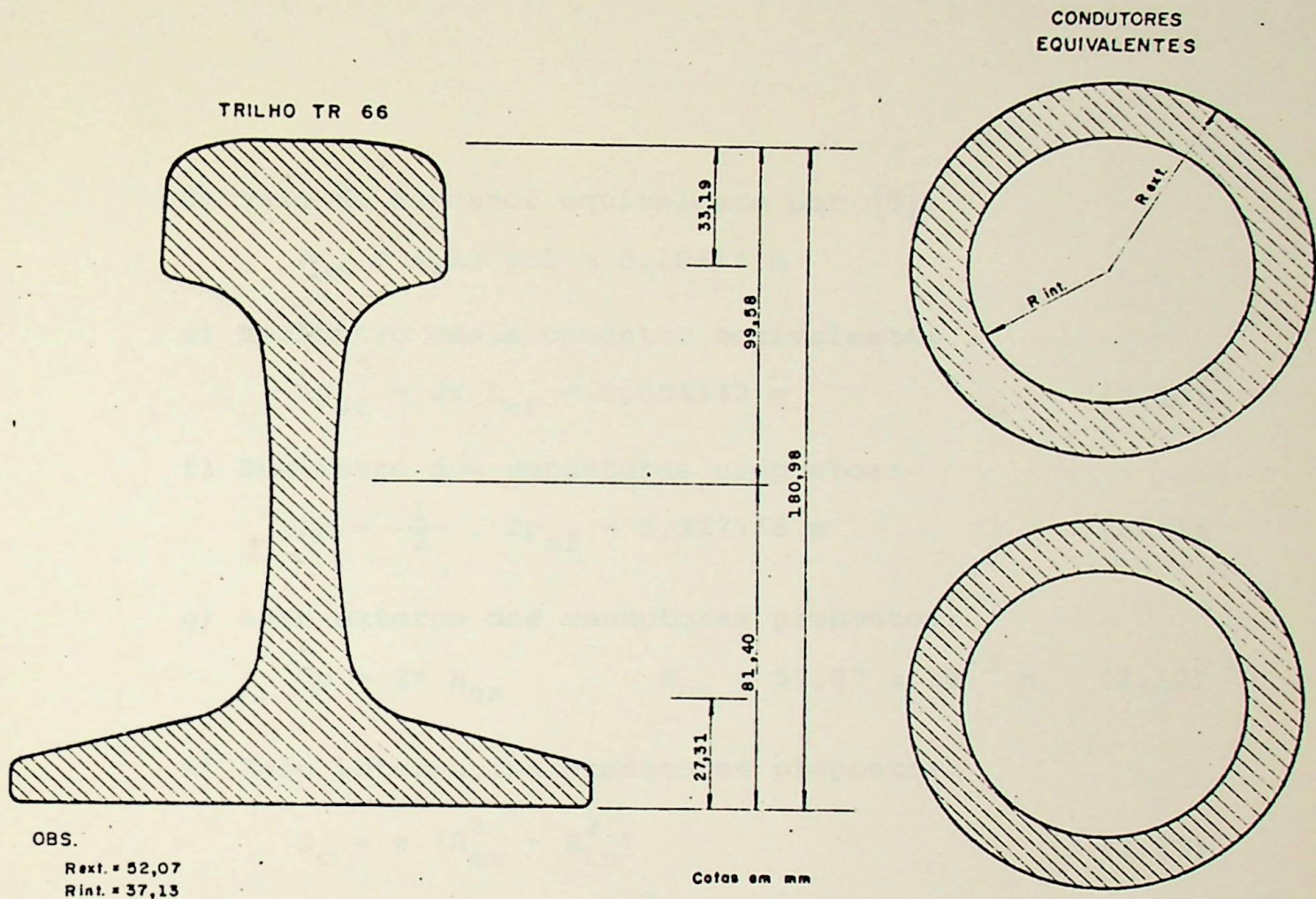


FIG. 2.3

a) Tipo: trilho TR-66

b) Seção de um trilho:

$$S_t = 8372,17 \times 10^{-6} \text{ m}^2$$

c) Seção de um condutor:

$$S_c = \frac{1}{2} \cdot S_t = 4186,08 \times 10^{-6} \text{ m}^2 \quad (2.9)$$

De [5], encontramos para o raio equivalente do trilho TR-66, o valor de 4,10 polegadas. Procurando manter o mesmo perímetro deste condutor equivalente, encontramos:

d) Raio do condutor equivalente por [5]:

$$R_{ef} = 4,10 \text{ pol} = 0,10414 \text{ m}$$

e) Perímetro deste condutor equivalente:

$$2p_{ef} = 2\pi R_{ef} = 0,654332 \text{ m} \quad (2.10)$$

f) Perímetro dos condutores propostos:

$$2p = \frac{1}{2} \cdot 2p_{ef} = 0,327166 \text{ m} \quad (2.11)$$

g) Raio externo dos condutores propostos:

$$2p = 2\pi R_{ex} \quad R_{ex} = 52,07 \times 10^{-3} \text{ m} \quad (2.12)$$

h) Raio interno dos condutores propostos:

$$S_c = \pi (R_{ex}^2 - R_{in}^2) \quad (2.13)$$

$$R_{in} = 37,132 \times 10^{-3} \text{ m}$$

Ainda de [5], encontramos para este trilho, o valor abaixo:

i) Resistência linear DC à 20°C:

$$r_{DC} = 0,0420 \text{ } \Omega/\text{mi} = 26,10317 \times 10^{-6} \text{ } \Omega/\text{m}$$

j) Resistividade:

$$\rho_t = r \cdot S = 218,54017 \times 10^{-9} \text{ } \Omega \cdot \text{m} \quad (2.14)$$

l) Permeabilidade magnética relativa:

$$\mu_r = 30$$

2.5- Dos Parâmetros Elétricos da Rede

Os parâmetros da rede, relativos à propagação das descargas atmosféricas, dependem de numerosos fatores, com destaque para a frequência e a resistividade de solo. Porém, é sabido que a variação das impedâncias com a frequência, não é muito grande dentro da faixa de frequências mais importantes do espectro de frequências das descargas atmosféricas. Assim, podemos representar os fenômenos de propagação por meio de impedâncias de onda.

Na determinação das impedâncias de onda, torna-se necessário o conhecimento dos parâmetros elétricos unitários da rede, isto é, das impedâncias longitudinais unitárias e das admitâncias transversais unitárias.

Estes valores podem ser obtidos com ajuda de qualquer programa de cálculo de parâmetros unitários, cujos dados de entrada são:

- a) Disposição dos condutores.
- b) Características elétricas dos condutores.
- c) Características físicas dos condutores.
- d) Definição de condutor ligado à terra ou não.
- e) Definição de condutores geminados.

2.6- Dos Dados Atmosféricos

Neste caso, escolhemos uma dada região de onde levantamos os dados atmosféricos utilizando a referência [6]. Os dados levantados foram:

a) Nível isoquerânico

$$n_k = 140 \text{ dias de trovoadas por ano}$$

b) Altitude média

$$h = 100 \text{ m}$$

c) Temperatura média

$$\theta = 25^{\circ}\text{C}$$

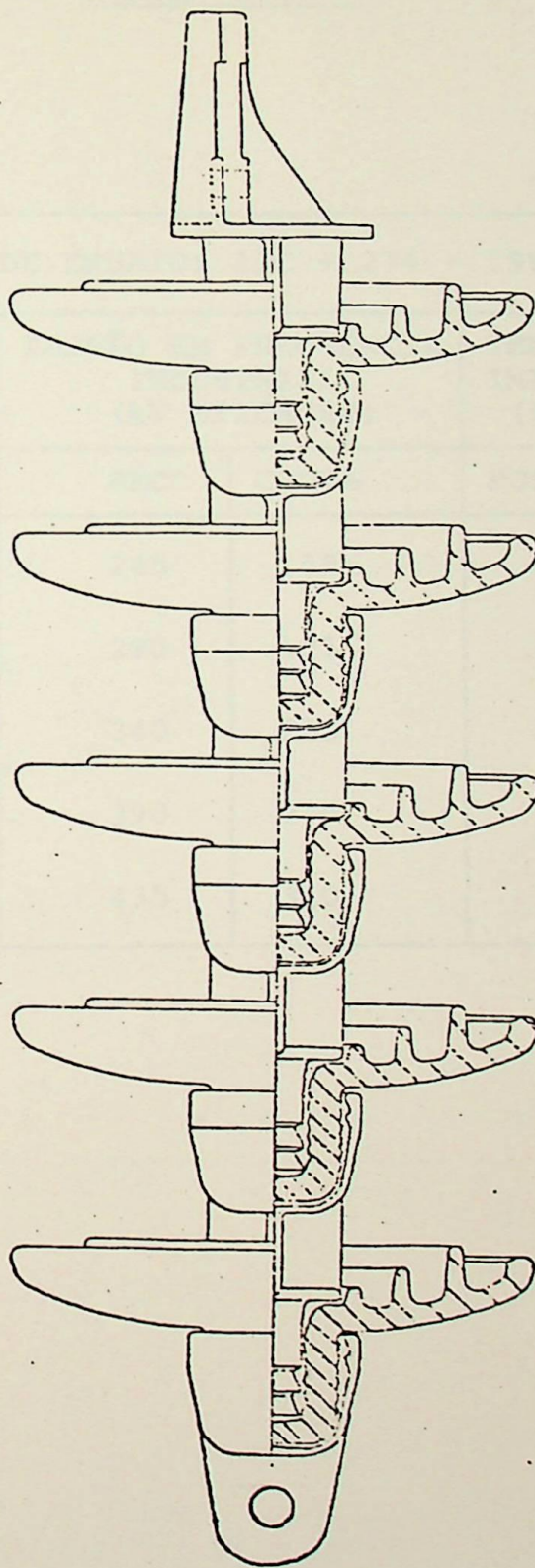
d) Umidade relativa média

$$u_r = 85\%$$

2.7- Dos Isoladores Utilizados

Conforme já dito, utilizamos para isolador, a combinação de diferentes números de isoladores de disco do tipo ST-254-V8 acoplados rigidamente, formando uma única peça, conforme a figura 2.4 a seguir (idéia desenvolvida pela VIFOSA) que passaremos a chamar de cadeia, devido a sua formação. Os dados para as cadeias de isoladores foram obtidos de referência [7] e se encontram na tabela 2.1, a seguir, para 4, 5, 6, 7 e 8 unidades de disco e para as normas de ensaios IEC-274-1968.

ISOLADOR EM CADEIA RIGÍDA
(Ideia desenvolvida pela VIFOSA)



Exemplo com 5 (cinco) unidades de disco

FIG. 2.4

TABELA 2.1

NORMAS DE ENSAIO: IEC - 274 - 1968				
NÚMERO DE UNIDADES DE DISCO ST-254-V8	TENSÃO EM FREQUÊNCIA INDUSTRIAL (kV EFICAZES)		TENSÃO CRÍTICA DE IMPULSO 1,2/50 μ s (kV DE CRISTA)	
	SECO	CHUVA	POSITIVO	NEGATIVO
4	245	155	390	375
5	290	195	470	445
6	340	235	550	525
7	390	270	625	605
8	435	310	700	685

2.8- Da Representação da Onda de Corrente de Descarga Incidente

A onda de corrente de descarga adotada neste trabalho, utiliza a frente de onda normalizada de Berger, obtida de [8]. Esta frente de onda é caracterizada por um parâmetro α , chamado de "coeficiente de Berger". No presente estudo, os valores utilizados para α , foram -2, 0 e 2.

Para a "cauda" da onda, consideramos apenas os instantes iniciais, mais precisamente, apenas o mesmo tempo de frente adotado, ficando a onda então representada durante o período de tempo igual ao dobro do tempo de frente. Não consideramos o decréscimo na intensidade da onda, uma vez que o mesmo é muito pequeno e desta forma, simplificamos o problema.

Os tempos de frente utilizados, foram de 1, 2, 5, 10 e 20 microsegundo.

A onda de corrente de descarga utilizada, fica representada na figura 2.5, a seguir.

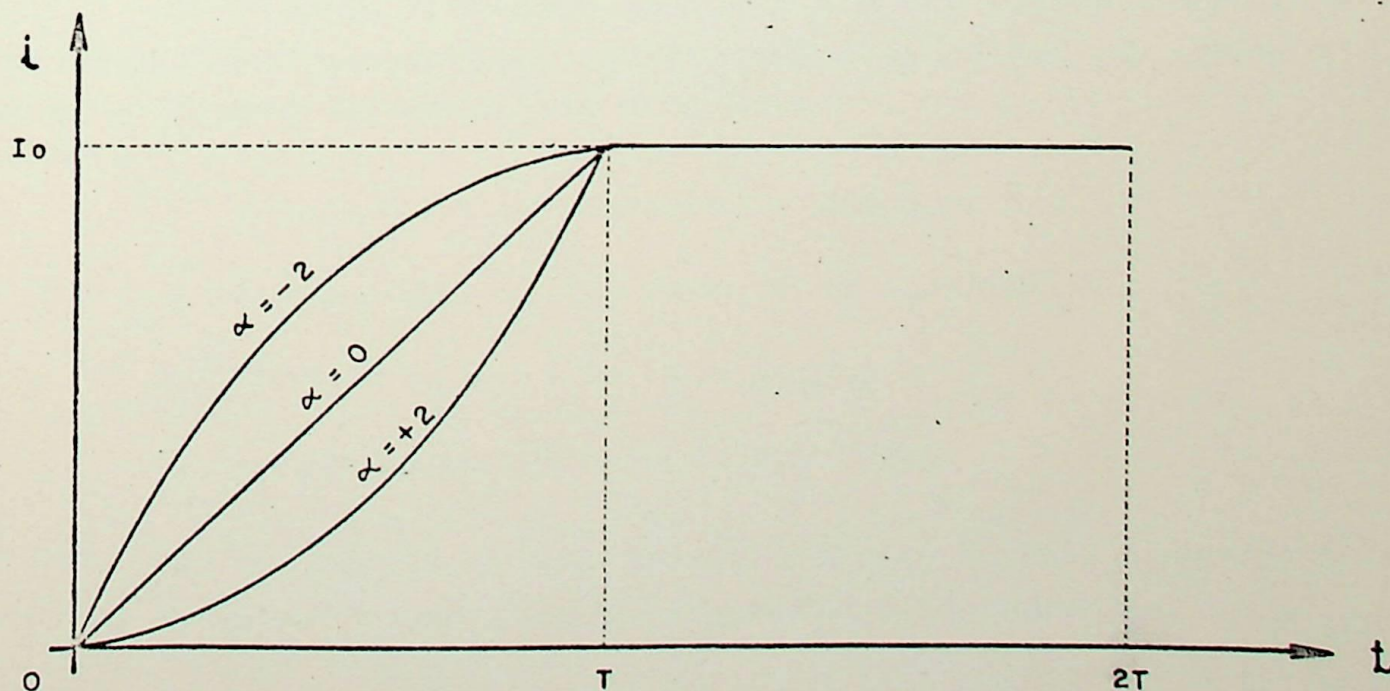


FIG. 2.5

A representação matemática da onda será:

$$i = I_0 \cdot \frac{\epsilon^{\frac{t}{T}} - 1}{\epsilon^{\alpha} - 1} \quad \text{para } 0 \leq t \leq T \quad (2.15)$$

$$i = I_0 \quad \text{para } T \leq t \leq 2T \quad (2.16)$$

onde:

i - valor da onda de corrente

I_0 - valor máximo da onda de corrente

α - coeficiente de Berger (-2,0 e 2)

T - Tempo de frente de onda (1,2,5,10 e 20 μ s)

t - duração

3. TENSÕES APLICADAS ÀS CADEIAS DE ISOLADORES DEVIDO À INCIDÊNCIA DE DESCARGAS ATMOSFÉRICAS DIRETAS

3.1- Geral

Os valores de tensão aplicada aos isoladores devidos à incidência de descargas atmosféricas diretas, podem ser determinados em função das seguintes grandezas:

- a) Intensidade da corrente de descarga.
- b) Resistência de aterramento da estrutura.
- c) Forma da frente de onda aplicada
- d) Tempo da frente de onda aplicada.

Na ocorrência de uma descarga direta sobre o condutor de retorno da rede eletrificada da ferrovia, observamos que tanto

este condutor quanto a catenária (mensageiro mais o fio de contato) ficam submetidos a tensões devido a propagação da onda incidente pela rede.

Este efeito se propaga por todos os condutores, inclusive pelos trilhos, devido a existência de impedâncias mútuas entre eles.

3.2- Diagrama de Impedâncias

Do modelo adotado para a rede e considerando como geminados os seguintes condutores:

- a) Mensageiro e contato (condutores 2-3).
- b) Condutores representativos de um mesmo trilho, (condutores 4-5 e 6-7), podemos obter o seguinte diagrama de impedâncias para um vão de rede aérea:

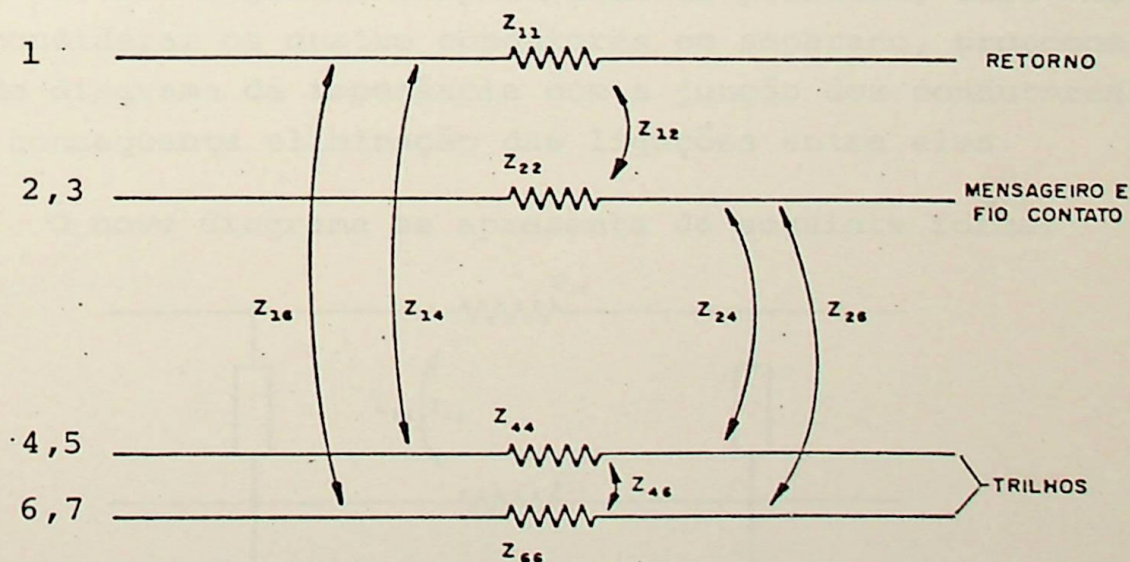


FIG. 3.1

Introduzindo as ligações à terra, os isoladores e as conexões nas estruturas, teremos:

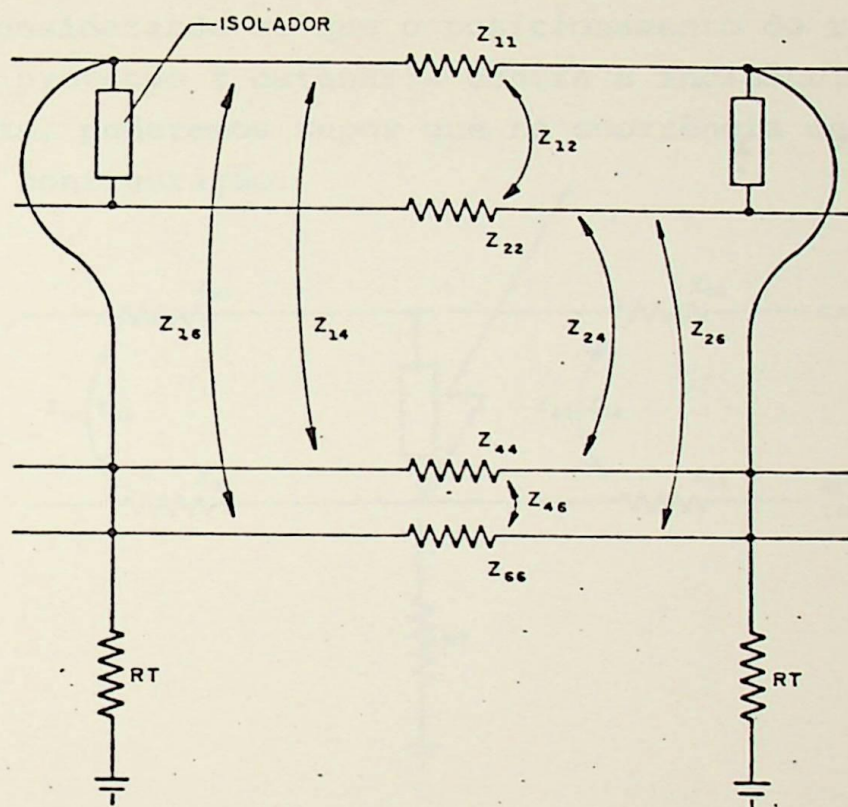


FIG. 3.2

Devido a grande complexidade do problema, caso desejamos considerar os quatro condutores em separado, propomos a redução do diagrama de impedância com a junção dos condutores 1, 4 e 6, e conseqüente eliminação das ligações entre eles.

O novo diagrama se apresenta da seguinte forma:

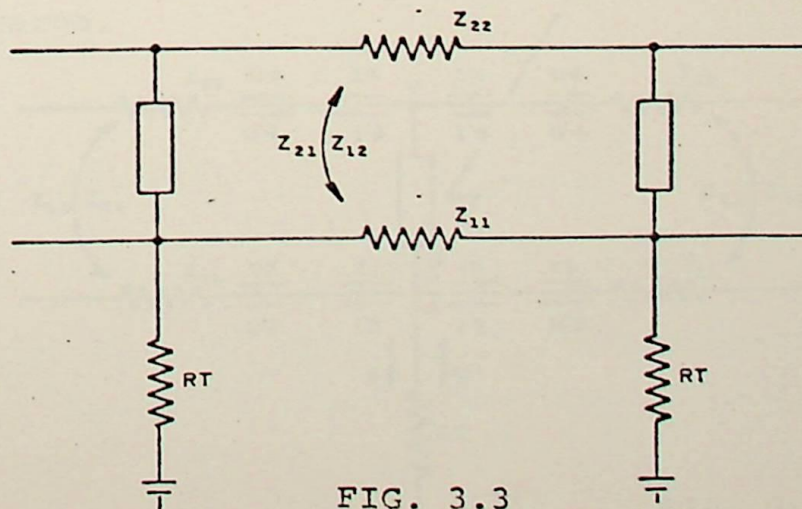


FIG. 3.3

3.3- Distribuição das Ondas de Corrente e Tensão

Considerando-se que o posicionamento do retorno garante uma eficaz proteção à catenária contra a incidência de descargas atmosféricas, poderemos supor que na ocorrência destas, teremos a seguinte configuração:

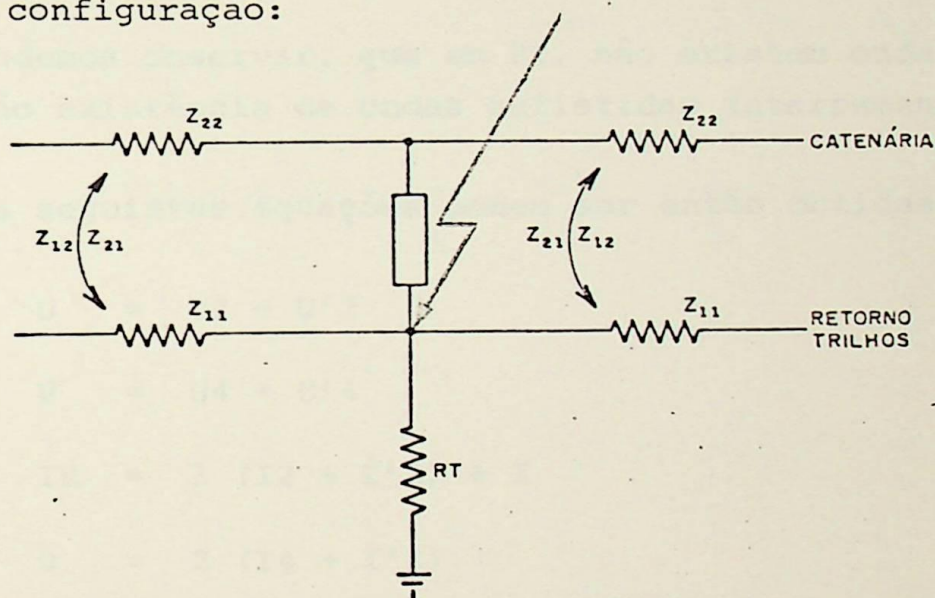


FIG. 3.4

A incidência destas descargas, produz o aparecimento de ondas de corrente e de tensão, que tendem a se espalhar por to dos os condutores e para a terra.

Assim, obtemos a seguinte distribuição no ponto onde incide a descarga.

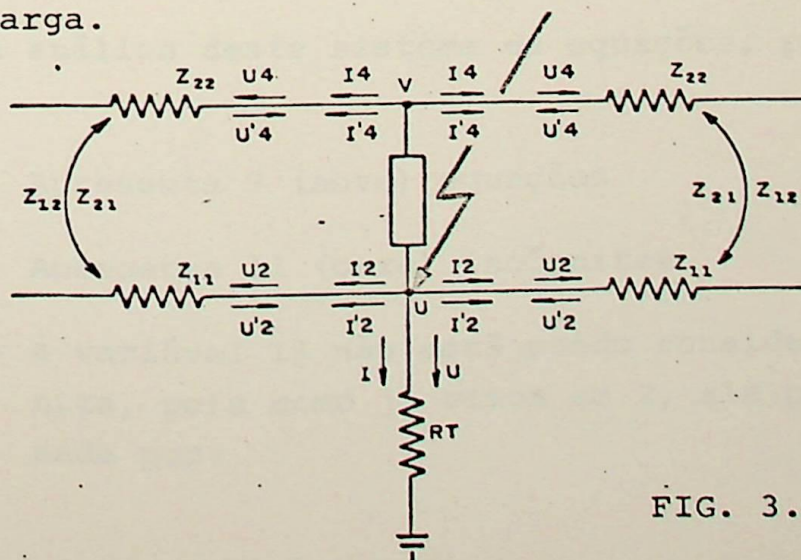


FIG. 3.5

Devido a simetria do diagrama de impedâncias, haverá simetria também na distribuição de correntes e de tensões.

Os valores das ondas expressos por I e U, representam as ondas diretas e por I' e U', as ondas inversas.

Podemos observar, que em RT, não existem ondas inversas, devido a não existência de ondas refletidas (aterramento).

As seguintes equações podem ser então obtidas:

$$U = U_2 + U'_2 \quad (3.1)$$

$$V = U_4 + U'_4 \quad (3.2)$$

$$IR = 2 (I_2 + I'_2) + I \quad (3.3)$$

$$0 = 2 (I_4 + I'_4) \quad (3.4)$$

$$U = RT \cdot I \quad (3.5)$$

$$U_2 = Z_{11} \cdot I_2 + Z_{12} \cdot I_4 \quad (3.6)$$

$$U'_2 = -Z_{11} \cdot I'_2 - Z_{12} \cdot I'_4 \quad (3.7)$$

$$U_4 = Z_{22} \cdot I_4 + Z_{21} \cdot I_2 \quad (3.8)$$

$$U'_4 = -Z_{22} \cdot I'_4 - Z_{21} \cdot I'_2 \quad (3.9)$$

Da análise deste sistema de equações, poderemos dizer que:

- a) Apresenta 9 (nove) equações
- b) Apresenta 11 (onze) incógnitas
- c) A variável IR não está sendo considerada como incôgnita, pois como já vimos em 2, ela pode ser determinada por:

$$IR = I_0 \cdot \frac{\varepsilon^{\alpha \frac{t}{T}} - 1}{\varepsilon^{\alpha} - 1} \quad \dots \quad 0 < t \leq T \quad (3.10)$$

$$IR = I_0 \quad \dots \quad t > T \quad (3.11)$$

d) Sô poderemos resolver o sistema encontrado, com a introdução de mais duas equações, o que veremos mais adiante em 3.8.

Para uma outra estrutura, diferente daquela onde houve a descarga, teremos a seguinte distribuição de ondas de correntes e de tensões:

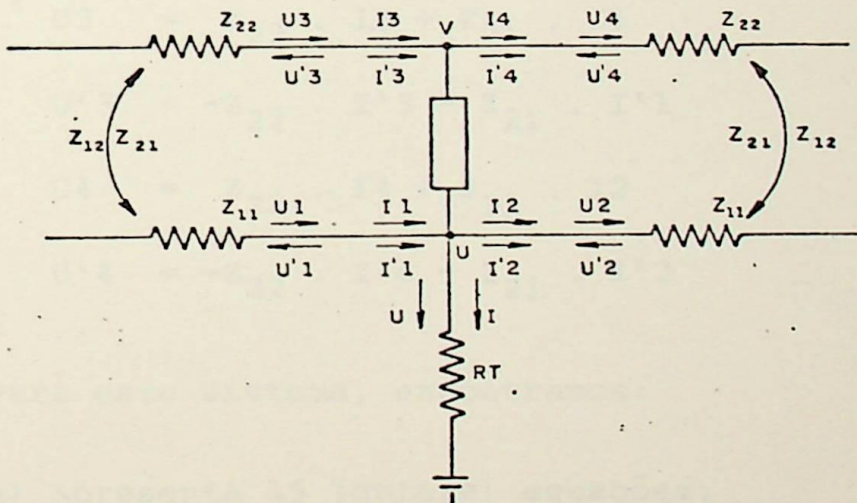


FIG. 3.6

De forma análoga, podemos obter o seguinte sistema de equações:

$$U = U_1 + U'_1 \quad (3.12)$$

$$U = U_2 + U'_2 \quad (3.13)$$

$$V = U_3 + U'_3 \quad (3.14)$$

$$V = U_4 + U'_4 \quad (3.15)$$

$$I = I_1 + I'_1 - (I_2 + I'_2) \quad (3.16)$$

$$0 = I_3 + I'_3 - (I_4 + I'_4) \quad (3.17)$$

$$U = R_T \cdot I \quad (3.18)$$

$$U_1 = Z_{11} \cdot I_1 + Z_{12} \cdot I_3 \quad (3.19)$$

$$U'_1 = -Z_{11} \cdot I'_1 - Z_{12} \cdot I'_3 \quad (3.20)$$

$$U_2 = Z_{11} \cdot I_2 + Z_{12} \cdot I_4 \quad (3.21)$$

$$U'_2 = -Z_{11} \cdot I'_2 - Z_{12} \cdot I'_4 \quad (3.22)$$

$$U_3 = Z_{22} \cdot I_3 + Z_{21} \cdot I_1 \quad (3.23)$$

$$U'_3 = -Z_{22} \cdot I'_3 - Z_{21} \cdot I'_1 \quad (3.24)$$

$$U_4 = Z_{22} \cdot I_4 + Z_{21} \cdot I_2 \quad (3.25)$$

$$U'_4 = -Z_{22} \cdot I'_4 - Z_{21} \cdot I'_2 \quad (3.26)$$

Para este sistema, encontramos:

- a) Apresenta 15 (quinze) equações.
- b) Apresenta 19 (dezenove) incógnitas.
- c) A solução do sistema dependerá da obtenção de mais 4 (quatro) equações, o que veremos mais adiante em 3.8.

A distribuição de ondas de correntes e tensões para a estrutura onde estas estão chegando (última estrutura), é a seguinte:

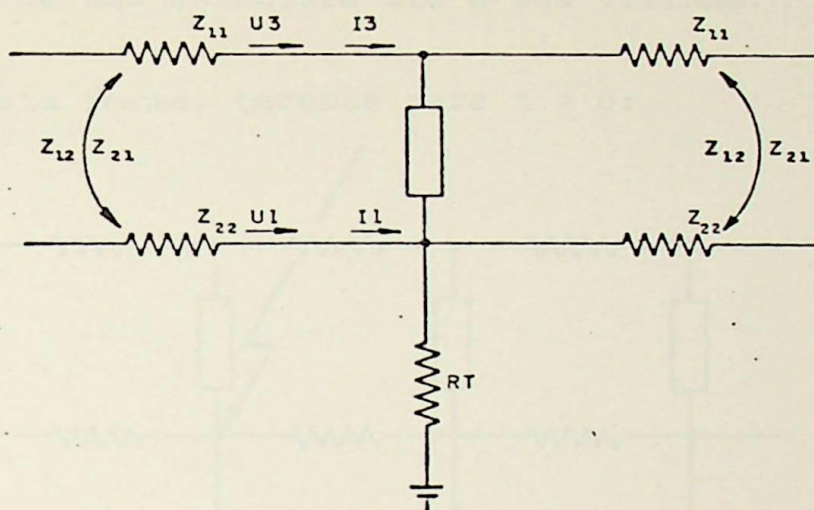


FIG. 3.7

As equações encontradas, são:

$$U = U1 \quad (3.27)$$

$$V = U3 \quad (3.28)$$

$$U1 = Z_{11} \cdot I1 + Z_{12} \cdot I3 \quad (3.29)$$

$$U3 = Z_{22} \cdot I3 + Z_{21} \cdot I1 \quad (3.30)$$

Os valores não representados, são nulos.

3.4- Estudo da Propagação das Ondas

Consideramos como instante inicial ($t = 0$), aquele em que a descarga toca o cabo de retorno na estrutura envolvida, e como intervalo de tempo, Δt , tempo necessário para que uma onda

se desloque de uma estrutura até a sua vizinha.

Desta forma, teremos para $t = 0$:

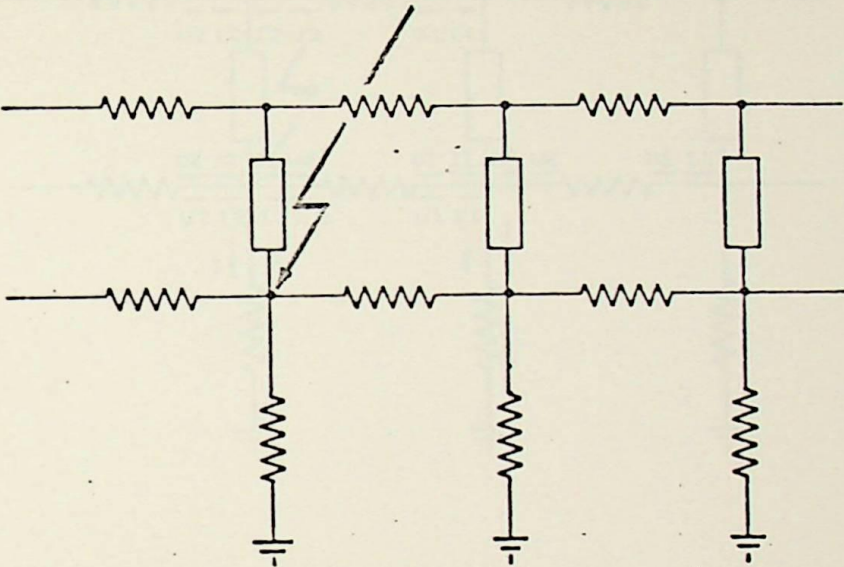


FIG. 3.8

Para $t = 1 \cdot \Delta t$:

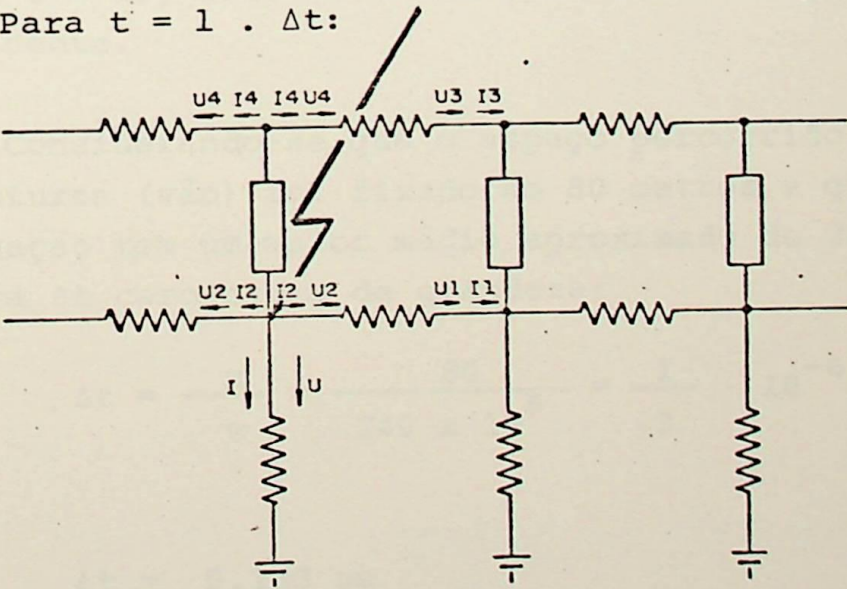


FIG. 3.9

Para $t = 2 \cdot \Delta t$:

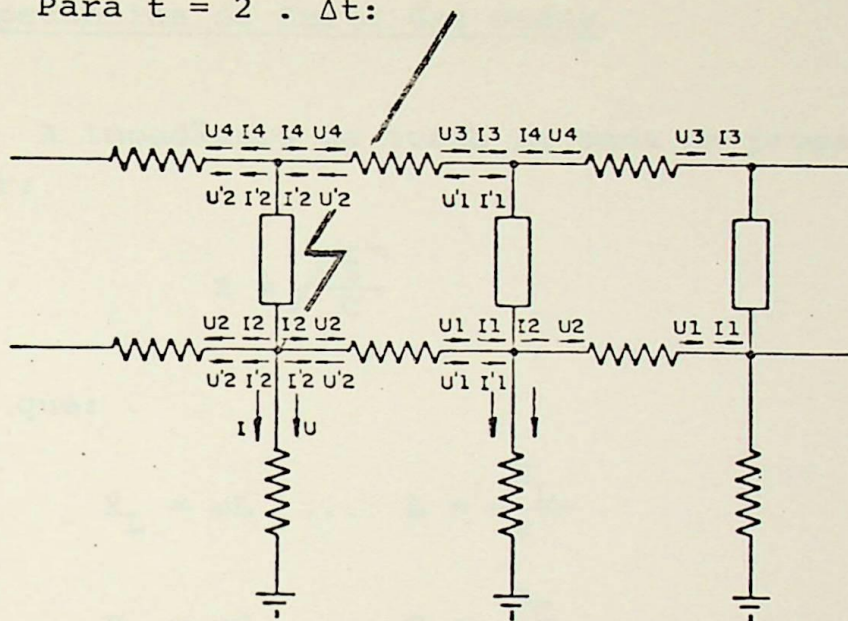


FIG. 3.10

e assim sucessivamente até um valor de t tal que teríamos garantido o estudo dos maiores valores de tensão. Este valor de t foi fixado em $t = 2T$, isto é, o dobro do valor do tempo de frente da onda incidente.

Considerando-se que o espaço percorrido pelas ondas entre estruturas (vão) foi fixado em 80 metros e que a velocidade de propagação tem um valor médio aproximado de 240000km/s teremos para Δt como ordem de grandeza:

$$\Delta t = \frac{x}{v} = \frac{80}{240 \times 10^6} = \frac{1}{3} \cdot 10^{-6} \text{ s} \quad (3.31)$$

$$\Delta t = 0,333 \text{ } \mu\text{s}$$

3.5- Impedâncias de Surto das Ondas

A impedância de surto de onda em propagação, pode ser dada por:

$$Z = \sqrt{\frac{L}{C}} \quad (3.32)$$

sabemos que:

$$X_L = \omega L \quad \dots \quad L = \frac{X_L}{\omega} \quad (3.33)$$

$$B_C = \omega C \quad \dots \quad C = \frac{B_C}{\omega} \quad (3.34)$$

logo:

$$Z = \sqrt{\frac{X_L}{B_C}} \quad (3.35)$$

ou sob forma matricial:

$$[Z] = \{ [X_L] \cdot [B_C]^{-1} \}^{1/2} \quad (3.36)$$

A determinação da matriz $[Z]$, utiliza o programa MSØ1, apresentado em anexo.

3.6- Velocidade de Propagação das Ondas

A definição da velocidade de propagação das ondas é da da por:

$$v = \frac{1}{\sqrt{L \cdot C}} \quad (3.37)$$

Sabemos que:

$$X_L = \omega \cdot L \quad \dots \quad L = \frac{X_L}{\omega} \quad (3.38)$$

$$B_C = \omega \cdot C \quad \dots \quad C = \frac{B_C}{\omega} \quad (3.39)$$

logo:

$$v = \omega \cdot \frac{1}{\sqrt{X_L \cdot B_C}} \quad (3.40)$$

ou sob forma matricial:

$$[v] = 2\pi f \cdot \left[\{ [X_L] \cdot [B_C] \}^{-1} \right]^{1/2} \quad (3.41)$$

A determinação da matriz $[v]$, utiliza o programa MSØ2, apresentado em anexo.

3.7- Consideração da Atenuação

A propagação das ondas através das impedâncias representadas pela matriz $[Z]$, sofre o efeito de atenuação conforme veremos a seguir:

Sabemos que o fator de atenuação pode ser expresso por:

$$FA = e^{-\alpha \Delta t} \quad (3.42)$$

onde α é o fator de perdas da linha e pode ser representado por:

$$\alpha = \frac{R}{L} = \frac{R}{X_L/\omega} = \omega \frac{R}{X_L} = 2\pi f \frac{R}{X_L} \quad (3.43)$$

$$\text{Porém, } v = \frac{\Delta x}{\Delta t}, \quad \text{logo } \Delta t = \frac{\Delta x}{v} \quad (3.44)$$

assim:

$$FA = e^{-2\pi f \frac{\Delta x}{v} \cdot \frac{R}{X_L}} \quad (3.45)$$

ou

$$FA = \text{EXP} \left(-2\pi f \frac{\Delta x}{v} \cdot \frac{R}{X_L} \right) \quad (3.46)$$

Sob forma matricial, teremos:

$$[FA] = \text{EXP} \left(-2\pi f \Delta x \cdot [R] \cdot [v]^{-1} \cdot [X_L]^{-1} \right) \quad (3.47)$$

A determinação da matriz $[FA]$, utiliza o programa MSØ3, apresentado em anexo.

3.8- Complementação dos Sistemas de Equações de 3.3

Como os instantes considerados no estudo se relacionam com a chegada da frente de onda a uma nova estrutura, isto é, o intervalo de tempo é o necessário para a frente percorrer um vão, poderemos observar que:

- 1) Uma onda direta qualquer será igual a sua correspondente na estrutura anterior e no instante anterior, multiplicada pelo respectivo fator de atenuação.

- 2) Uma onda inversa qualquer será igual a sua correspondente na estrutura seguinte, porém no instante anterior, multiplicada pelo respectivo fator de atenuação.

Deste modo, representando por ONDA (n){t,x} a onda de corrente ou tensão, localizada na estrutura x e no instante t, e sendo n = 1,2,3 e 4, poderemos dizer que:

$$\text{ONDA}(n) \{t,x\} = \text{ONDA}(n+1) \{t-1, x-1\} \cdot \text{FA} \quad (3.48)$$

$$\text{ONDA}'(n) \{t,x\} = \text{ONDA}'(n-1) \{t-1, x+1\} \cdot \text{FA} \quad (3.49)$$

voltando ao diagrama de impedâncias, teremos:

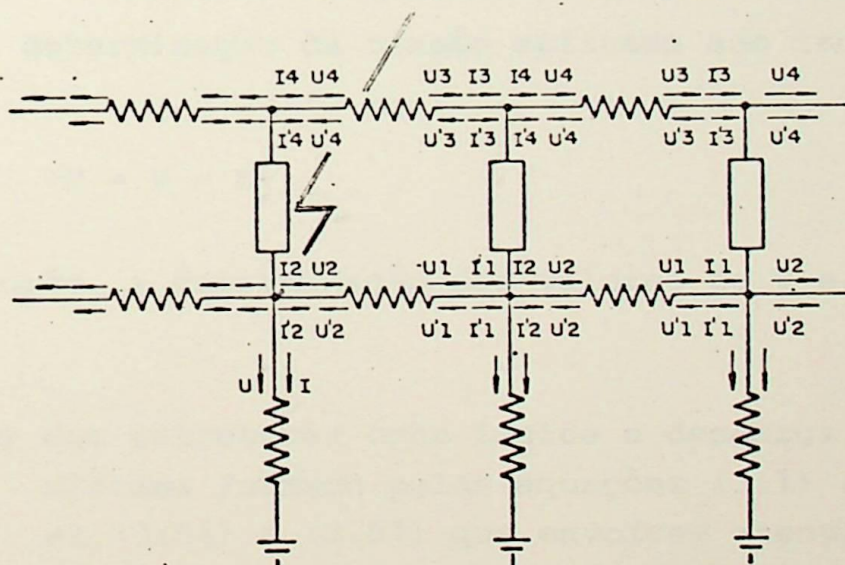


FIG. 3.11

Fazendo FAU e FAI os fatores de atenuação de tensão e corrente, respectivamente, vem que:

$$U_1(t,x) = U_2(t-1, x-1) \cdot \text{FAU} \quad (3.50)$$

$$U_3(t,x) = U_4(t-1, x-1) \cdot \text{FAU} \quad (3.51)$$

$$I1(t,x) = I2(t-1, x-1) \cdot FAI \quad (3.52)$$

$$I3(t,x) = I4(t-1, x-1) \cdot FAI \quad (3.53)$$

e também,

$$U'2(t,x) = U'1(t-1, x+1) \cdot FAU \quad (3.54)$$

$$U'4(t,x) = U'3(t-1, x+1) \cdot FAU \quad (3.55)$$

$$I'2(t,x) = I'1(t-1, x+1) \cdot FAI \quad (3.56)$$

$$I'4(t,x) = I'3(t-1, x+1) \cdot FAI \quad (3.57)$$

3.9- Tensão Aplicada aos Isoladores

A determinação da tensão aplicada aos isoladores se resume a:

$$VU = V - U \quad (3.58)$$

Porém, a determinação dos valores de V e de U implicam em:

- a) Nas estruturas onde incide a descarga, resolver o sistema formado pelas equações (3.1) a (3.9) e mais as (3.54) a (3.57) que envolvem atenuação. Assim, ficaremos com um sistema de 13 (treze) equações a 13 (treze) incógnitas.
- b) Nas demais estruturas, resolver o sistema formado pelas equações (3.12) a (3.26) e mais as (3.50) a (3.57) envolvendo atenuação. Ficaremos com um sistema de 23 (vinte e três) equações a 23 (vinte e três) incógnitas.

A introdução destas últimas equações envolvendo atenuação, implica em já termos a solução do problema para o instante anterior.

A resolução destas equações, determinando as tensões a plicadas aos isoladores nas diversas estruturas em função do tempo, utiliza o programa MSØ4, apresentado em anexo.

A análise destes sistemas de equações nos mostra a de pendência linear entre as tensões desejadas e a corrente de des carga. Assim determinamos os valores de tensão para uma descar ga de intensidade 10kA, em função da resistência de aterramento, da forma de onda aplicada (coeficiente alfa) e do tempo de fren te da onda.

Estes valores são mostrados nas tabelas a seguir:

TABELA 3.1

VALORES MÁXIMOS DE TENSÃO APLICADOS ÀS CADEIAS DE ISOLADORES DA LINHA ELETRIFICADA DEVIDO A UMA DESCARGA DE INTENSIDADE DE 10 kA EM FUNÇÃO DA RESISTÊNCIA DE ATERRAMENTO E DA FORMA DE ONDA APLICADA (COEFICIENTE ALFA), PARA UM TEMPO DE FRENTE DE UM MICROSEGUNDO.

Resistência de Aterramento	Valores máximos de tensão		
	$\alpha = 2$	$\alpha = 0$	$\alpha = -2$
(Ω)	(kV)	(kV)	(kV)
3	17,92	17,45	17,01
10	50,49	47,01	46,15
20	83,31	77,59	79,37
50	150,01	143,51	149,70
100	208,03	200,05	206,81
200	278,26	267,24	262,83
500	355,51	344,91	329,12

TABELA 3.2

VALORES MÁXIMOS DE TENSÃO APLICADOS ÀS CADEIAS DE ISOLADORES DA LINHA ELETRIFICADA DEVIDO A UMA DESCARGA DE INTENSIDADE DE 10 kA EM FUNÇÃO DA RESISTÊNCIA DE ATERRAMENTO E DA FORMA DE ONDA APLICADA (COEFICIENTE ALFA), PARA UM TEMPO DE FRENTE DE DOIS MICROSEGUNDOS.

Resistência de Aterramento	Valores máximos de tensão		
	$\alpha = 2$	$\alpha = 0$	$\alpha = - 2$
(Ω)	(kV)	(kV)	(kV)
3	17,27	16,36	15,48
10	45,58	40,19	38,10
20	71,89	63,28	60,72
50	130,07	110,85	102,90
100	182,34	156,21	145,36
200	253,08	219,15	202,82
500	335,86	307,12	280,18

TABELA 3.3

VALORES MÁXIMOS DE TENSÃO APLICADOS ÀS CADEIAS DE ISOLADORES DA LINHA ELETRIFICADA DEVIDO A UMA DESCARGA DE INTENSIDADE DE 10 kA EM FUNÇÃO DA RESISTÊNCIA DE ATERRAMENTO E DA FORMA DE ONDA APLICADA (COEFICIENTE ALFA), PARA UM TERMPPO DE FRENTE DE CINCO MICRO SEGUNDOS.

Resistência de Aterramento	Valores máximos de tensão		
	$\alpha = 2$	$\alpha = 0$	$\alpha = - 2$
(Ω)	(kV)	(kV)	(kV)
3	15,08	13,51	12,42
10	36,97	30,16	27,28
20	54,99	43,72	40,54
50	97,05	74,21	66,76
100	136,95	104,89	94,36
200	185,07	145,08	134,57
500	263,10	222,70	205,13

TABELA 3.4

VALORES MÁXIMOS DE TENSÃO APLICADOS ÀS CADEIAS DE ISOLADORES DA LINHA ELETRIFICADA DEVIDO A UMA DESCARGA DE INTENSIDADE DE 10 kA EM FUNÇÃO DA RESISTÊNCIA DE ATERRAMENTO E DA FORMA DE ONDA APLICADA (COEFICIENTE ALFA), PARA UM TEMPO DE FRENTE DE DEZ MICROSEGUNDOS.

Resistência de Aterramento	Valores máximos de tensão		
	$\alpha = 2$	$\alpha = 0$	$\alpha = -2$
(Ω)	(kV)	(kV)	(kV)
3	12,85	10,85	9,87
10'	28,25	22,31	20,22
20	42,21	32,28	29,33
50	69,40	53,16	47,90
100	98,11	75,17	67,75
200	142,32	107,73	96,70
500	210,05	166,85	152,37

TABELA 3.5

VALORES MÁXIMOS DE TENSÃO APLICADOS ÀS CADEIAS DE ISOLADORES DA LINHA ELETRIFICADA DEVIDO A UMA DESCARGA DE INTENSIDADE DE 10 kA EM FUNÇÃO DA RESISTÊNCIA DE ATERRAMENTO E DA FORMA DE ONDA APLICADA (COEFICIENTE ALFA), PARA UM TEMPO DE FRENTE DE VINTE MICROSEGUNDOS.

Resistência de Aterramento	Valores máximos de tensão		
	$\alpha = 2$	$\alpha = 0$	$\alpha = -2$
(Ω)	(kV)	(kV)	(kV)
3	10,33	8,31	7,50
10	21,40	16,31	14,66
20	31,53	23,58	21,08
50	52,22	37,80	34,25
100	73,87	54,42	48,44
200	103,79	77,32	69,07
500	158,67	121,81	109,77

4. CORRENTES DE DESCARGA QUE ACARRETAM SOBRETENSÕES COM VALORES PRÉ-FIXADOS

Dá proporcionalidade existente entre os valores máximos de sobretensões aplicadas aos isoladores e a intensidade de corrente de descarga, poderemos determinar valores de correntes de descargas que acarretem sobretensões prèviamente fixadas.

No estudo em questão, adotamos cadeias formadas por 4, 5, 6, 7 e 8 elementos, que apresentam os seguintes valores de Tensão Crítica de Descarga, sob impulso de $1,2\mu s/50\mu s$.

TABELA 4.1

NÚMERO DE ISOLADORES DA CADEIA	TENSÃO CRÍTICA DE DESCARGA (kV DE CRISTA)	
	ONDA POSITIVA	ONDA NEGATIVA
4	390	375
5	470	445
6	550	525
7	620	605
8	700	685

Desta forma, podemos obter tabelas que nos forneçam os valores máximos de intensidade de correntes de descargas suportáveis pelas cadeias, em função da tensão crítica de descarga, do tempo de frente de onda, da forma da frente de coeficiente alfa, onda e da resistência de aterramento.

Estas tabelas foram obtidas através do programa MSØ5 mostrado em anexo, e são as seguintes:

TABELA 4.2

VALORES MAXIMO DE INTENSIDADE DE DESCARGA SUPORTAVEIS PELAS CADEIAS DE ISOLADORES PARA IMPULSOS POSITIVOS E NEGATIVOS, EM EM FUNCAO DA RESISTENCIA DE ATERRAMENTO E DA FORMA DE ONDA APLICADA (COEFICIENTE ALFA).

NUMERO DE ISOLADORES NA CADEIA: 4

TENSAO CRITICA DE DESCARGA

ONDA POSITIVA: 390. KV

ONDA NEGATIVA: 375. KV

TEMPO DE FRENTE DE ONDA DE 1 MICROSEGUNDO

RESISTENCIA DE ATERRAMENTO (OHM)	VALORES MAXIMOS DA CORRENTE					
	ALFA = 2		ALFA = 0		ALFA = -2	
	ONDA +	ONDA -	ONDA +	ONDA -	ONDA +	ONDA -
	(KA)	(KA)	(KA)	(KA)	(KA)	(KA)
3	217.63	209.26	223.50	214.90	229.28	220.46
10	77.24	74.27	82.96	79.77	84.51	81.26
20	46.81	45.01	50.26	48.33	49.14	47.25
50	26.00	25.00	27.18	26.13	26.05	25.05
100	18.75	18.03	19.50	18.75	18.86	18.13
200	14.02	13.48	14.59	14.03	14.84	14.27
500	10.97	10.55	11.31	10.87	11.85	11.39

TABELA 4.3

VALORES MAXIMO DE INTENSIDADE DE DESCARGA SUPORTAVEIS PELAS CADEIAS DE ISOLADORES PARA IMPULSOS POSITIVOS E NEGATIVOS, EM FUNCAO DA RESISTENCIA DE ATERRAMENTO E DA FORMA DE ONDA APLICADA (COEFICIENTE ALFA).

NUMERO DE ISOLADORES NA CADEIA: 4

TENSAO CRITICA DE DESCARGA

ONDA POSITIVA: 390. KV

ONDA NEGATIVA: 375. KV

TEMPO DE FRENTE DE ONDA DE 2 MICROSEGUNDOS

RESISTENCIA DE ATERRAMENTO (OHM)	VALORES MAXIMOS DA CORRENTE					
	ALFA = 2		ALFA = 0		ALFA = -2	
	ONDA +	ONDA -	ONDA +	ONDA -	ONDA +	ONDA -
	(KA)	(KA)	(KA)	(KA)	(KA)	(KA)
3	225.83	217.14	238.39	229.22	251.94	242.25
10	85.56	82.27	97.04	93.31	102.36	98.43
20	54.25	52.16	61.63	59.26	64.23	61.76
50	29.98	28.83	35.18	33.83	37.90	36.44
100	21.39	20.57	24.97	24.01	26.83	25.80
200	15.41	14.82	17.80	17.11	19.23	18.49
500	11.61	11.17	12.70	12.21	13.92	13.38

TABELA 4.4

VALORES MAXIMO DE INTENSIDADE DE DESCARGA SUPORTAVEIS PELAS CADEIAS DE ISOLADORES PARA IMPULSOS POSITIVOS E NEGATIVOS, EM FUNCAO DA RESISTENCIA DE ATERRAMENTO E DA FORMA DE ONDA APLICADA (COEFICIENTE ALFA).

NUMERO DE ISOLADORES NA CADEIA: 4

TENSAO CRITICA DE DESCARGA

ONDA POSITIVA: 390. KV

ONDA NEGATIVA: 375. KV

TEMPO DE FRENTE DE ONDA DE 5 MICROSEGUNDOS

RESISTENCIA DE ATERRAMENTO (OHM)	VALORES MAXIMOS DA CORRENTE					
	ALFA = 2		ALFA = 0		ALFA = -2	
	ONDA +	ONDA -	ONDA +	ONDA -	ONDA +	ONDA -
	(KA)	(KA)	(KA)	(KA)	(KA)	(KA)
3	258.62	248.67	288.68	277.57	314.01	301.93
10	105.49	101.43	129.31	124.34	142.96	137.46
20	70.92	68.19	89.20	85.77	96.20	92.50
50	40.19	38.64	52.55	50.53	58.42	56.17
100	28.48	27.38	37.18	35.75	41.33	39.74
200	21.07	20.26	26.88	25.85	28.98	27.87
500	14.82	14.25	17.51	16.84	19.01	18.28

TABELA 4.5

VALORES MAXIMO DE INTENSIDADE DE DESCARGA SUPORTAVEIS PELAS CADEIAS DE ISOLADORES PARA IMPULSOS POSITIVOS E NEGATIVOS, EM EM FUNCAO DA RESISTENCIA DE ATERRAMENTO E DA FORMA DE ONDA APLICADA (COEFICIENTE ALFA).

NUMERO DE ISOLADORES NA CADEIA: 4

TENSAO CRITICA DE DESCARGA

ONDA POSITIVA: 390. KV

ONDA NEGATIVA: 375. KV

TEMPO DE FRENTE DE ONDA DE 10 MICROSEGUNDOS

RESISTENCIA DE ATERRAMENTO (OHM)	VALORES MAXIMOS DA CORRENTE					
	ALFA = 2		ALFA = 0		ALFA = -2	
	ONDA +	ONDA -	ONDA +	ONDA -	ONDA +	ONDA -
	(KA)	(KA)	(KA)	(KA)	(KA)	(KA)
3	303.50	291.83	359.45	345.62	395.14	379.94
10	138.05	132.74	174.81	168.09	192.88	185.46
20	92.40	88.84	120.82	116.17	132.97	127.86
50	56.20	54.03	73.36	70.54	81.42	78.29
100	39.75	38.22	51.88	49.89	57.56	55.35
200	27.40	26.35	36.20	34.81	40.33	38.76
500	18.57	17.85	23.37	22.48	25.60	24.61

TABELA 4.6

VALORES MAXIMO DE INTENSIDADE DE DESCARGA SUPORTAVEIS PELAS CADEIAS DE ISOLADORES PARA IMPULSOS POSITIVOS E NEGATIVOS. EM EM FUNCAO DA RESISTENCIA DE ATERRAMENTO E DA FORMA DE ONDA APLICADA (COEFICIENTE ALFA).

NUMERO DE ISOLADORES NA CADEIA: 4

TENSAO CRITICA DE DESCARGA

ONDA POSITIVA: 390. KV

ONDA NEGATIVA: 375. KV

TEMPO DE FRENTE DE ONDA DE 20 MICROSEGUNDOS

RESISTENCIA DE ATERRAMENTO (OHM)	VALORES MAXIMOS DA CORRENTE					
	ALFA = 2		ALFA = 0		ALFA = -2	
	ONDA +	ONDA -	ONDA +	ONDA -	ONDA +	ONDA -
	(KA)	(KA)	(KA)	(KA)	(KA)	(KA)
3	377.54	363.02	469.31	451.26	520.00	500.00
10	182.24	175.23	239.12	229.92	266.03	255.80
20	123.69	118.93	165.39	159.03	185.01	177.89
50	74.68	71.81	103.17	99.21	113.87	109.49
100	52.80	50.76	71.66	68.91	80.51	77.42
200	37.58	36.13	50.44	48.50	56.46	54.29
500	24.58	23.63	32.02	30.79	35.53	34.16

TABELA 4.7

VALORES MAXIMO DE INTENSIDADE DE DESCARGA SUPORTAVEIS PELAS CADEIAS DE ISOLADORES PARA IMPULSOS POSITIVOS E NEGATIVOS, EM FUNCAO DA RESISTENCIA DE ATERRAMENTO E DA FORMA DE ONDA APLICADA (COEFICIENTE ALFA).

NUMERO DE ISOLADORES NA CADEIA: 5

TENSAO CRITICA DE DESCARGA

ONDA POSITIVA: 470. KV

ONDA NEGATIVA: 445. KV

TEMPO DE FRENTE DE ONDA DE 1 MICROSEGUNDO

RESISTENCIA DE ATERRAMENTO (OHM)	VALORES MAXIMOS DA CORRENTE					
	ALFA = 2		ALFA = 0		ALFA = -2	
	ONDA +	ONDA -	ONDA +	ONDA -	ONDA +	ONDA -
	(KA)	(KA)	(KA)	(KA)	(KA)	(KA)
3	262.28	248.33	269.34	255.01	276.31	261.61
10	93.09	88.14	99.98	94.66	101.84	96.42
20	56.42	53.41	60.57	57.35	59.22	56.07
50	31.33	29.66	32.75	31.01	31.40	29.73
100	22.59	21.39	23.49	22.24	22.73	21.52
200	16.89	15.99	17.59	16.65	17.88	16.93
500	13.22	12.52	13.63	12.90	14.28	13.52

TABELA 4.8

VALORES MAXIMO DE INTENSIDADE DE DESCARGA SUPORTAVEIS PELAS CADEIAS DE ISOLADORES PARA IMPULSOS POSITIVOS E NEGATIVOS, EM FUNCAO DA RESISTENCIA DE ATERRAMENTO E DA FORMA DE ONDA APLICADA (COEFICIENTE ALFA).

NUMERO DE ISOLADORES NA CADEIA: 5

TENSAO CRITICA DE DESCARGA

ONDA POSITIVA: 470. KV

ONDA NEGATIVA: 445. KV

TEMPO DE FRENTE DE ONDA DE 2 MICROSEGUNDOS

RESISTENCIA DE ATERRAMENTO (OHM)	VALORES MAXIMOS DA CORRENTE					
	ALFA = 2		ALFA = 0		ALFA = -2	
	ONDA +	ONDA -	ONDA +	ONDA -	ONDA +	ONDA -
	(KA)	(KA)	(KA)	(KA)	(KA)	(KA)
3	272.15	257.67	287.29	272.00	303.62	287.47
10	103.12	97.63	115.94	110.72	123.36	116.80
20	65.38	61.90	74.27	70.32	77.40	73.29
50	36.13	34.21	42.40	40.14	45.68	43.25
100	25.78	24.40	30.09	28.49	32.33	30.61
200	18.57	17.58	21.45	20.31	23.17	21.94
500	13.99	13.25	15.30	14.49	16.77	15.88

TABELA 4.9

VALORES MAXIMO DE INTENSIDADE DE DESCARGA SUPORTAVEIS PELAS CADEIAS DE ISOLADORES PARA IMPULSOS POSITIVOS E NEGATIVOS, EM EM FUNCAO DA RESISTENCIA DE ATERRAMENTO E DA FORMA DE ONDA APLICADA (COEFICIENTE ALFA).

NUMERO DE ISOLADORES NA CADEIA: 5

TENSAO CRITICA DE DESCARGA

ONDA POSITIVA: 470. KV

ONDA NEGATIVA: 445. KV

TEMPO DE FRENTE DE ONDA DE 5 MICROSEGUNDOS

RESISTENCIA DE ATERRAMENTO (OHM)	VALORES MAXIMOS DA CORRENTE					
	ALFA = 2		ALFA = 0		ALFA = -2	
	ONDA +	ONDA -	ONDA +	ONDA -	ONDA +	ONDA -
	(KA)	(KA)	(KA)	(KA)	(KA)	(KA)
3	311.67	295.09	347.89	329.39	378.42	358.29
10	127.13	120.37	155.84	147.55	172.29	163.12
20	85.47	80.92	107.50	101.78	115.93	109.77
50	48.43	45.85	63.33	59.96	70.40	66.66
100	34.32	32.49	44.81	42.43	49.81	47.16
200	25.40	24.04	32.40	30.67	34.93	33.07
500	17.86	16.91	21.10	19.98	22.91	21.69

TABELA 4.10

VALORES MAXIMO DE INTENSIDADE DE DESCARGA SUPORTAVEIS PELAS CADEIAS DE ISOLADORES PARA IMPULSOS POSITIVOS E NEGATIVOS. EM EM FUNCAO DA RESISTENCIA DE ATERRAMENTO E DA FORMA DE ONDA APLICADA (COEFICIENTE ALFA).

NUMERO DE ISOLADORES NA CADEIA: 5

TENSAO CRITICA DE DESCARGA

ONDA POSITIVA: 470. KV

ONDA NEGATIVA: 445. KV

TEMPO DE FRENTE DE ONDA DE 10 MICROSEGUNDOS

RESISTENCIA DE ATERRAMENTO (OHM)	VALORES MAXIMOS DA CORRENTE					
	ALFA = 2		ALFA = 0		ALFA = -2	
	ONDA +	ONDA -	ONDA +	ONDA -	ONDA +	ONDA -
	(KA)	(KA)	(KA)	(KA)	(KA)	(KA)
3	365.76	346.30	433.18	410.14	476.19	450.86
10	166.37	157.52	210.67	199.46	232.44	220.08
20	111.35	105.43	145.60	137.86	160.25	151.72
50	67.72	64.12	88.41	83.71	98.12	92.90
100	47.91	45.36	62.52	59.20	69.37	65.68
200	33.02	31.27	43.63	41.31	48.60	46.02
500	22.38	21.19	28.17	26.67	30.85	29.21

TABELA 4.11

VALORES MAXIMO DE INTENSIDADE DE DESCARGA SUPORTAVEIS PELAS CADEIAS DE ISOLADORES PARA IMPULSOS POSITIVOS E NEGATIVOS, EM FUNCAO DA RESISTENCIA DE ATERRAMENTO E DA FORMA DE ONDA APLICADA (COEFICIENTE ALFA).

NUMERO DE ISOLADORES NA CADEIA: 5

TENSAO CRITICA DE DESCARGA

ONDA POSITIVA: 470. KV

ONDA NEGATIVA: 445. KV

TEMPO DE FRENTE DE ONDA DE 20 MICROSEGUNDOS

RESISTENCIA DE ATERRAMENTO (OHM)	VALORES MAXIMOS DA CORRENTE					
	ALFA = 2		ALFA = 0		ALFA = -2	
	ONDA +	ONDA -	ONDA +	ONDA -	ONDA +	ONDA -
	(KA)	(KA)	(KA)	(KA)	(KA)	(KA)
3	454.99	430.78	565.58	535.50	626.67	593.33
10	219.63	207.94	288.17	272.84	320.60	303.55
20	149.06	141.14	199.32	188.72	222.96	211.10
50	90.00	85.22	124.34	117.72	137.23	129.93
100	63.63	60.24	86.37	81.77	97.03	91.87
200	45.28	42.88	60.79	57.55	68.05	64.43
500	29.62	28.05	38.58	36.53	42.82	40.54

TABELA 4.12

VALORES MAXIMO DE INTENSIDADE DE DESCARGA SUPORTAVEIS PELAS CADEIAS DE ISOLADORES PARA IMPULSOS POSITIVOS E NEGATIVOS, EM FUNCAO DA RESISTENCIA DE ATERRAMENTO E DA FORMA DE ONDA APLICADA (COEFICIENTE ALFA).

NUMERO DE ISOLADORES NA CADEIA: 6

TENSAO CRITICA DE DESCARGA

ONDA POSITIVA: 550. KV

ONDA NEGATIVA: 525. KV

TEMPO DE FRENTE DE ONDA DE 1 MICROSEGUNDO

RESISTENCIA DE ATERRAMENTO (OHM)	VALORES MAXIMOS DA CORRENTE					
	ALFA = 2		ALFA = 0		ALFA = -2	
	ONDA +	ONDA -	ONDA +	ONDA -	ONDA +	ONDA -
	(KA)	(KA)	(KA)	(KA)	(KA)	(KA)
3	306.92	292.97	315.19	300.86	323.34	308.64
10	108.93	103.98	117.00	111.68	119.18	113.76
20	66.02	63.02	70.89	67.66	69.30	66.15
50	36.66	35.00	38.32	36.58	36.74	35.07
100	26.44	25.24	27.49	26.24	26.59	25.39
200	19.77	18.87	20.58	19.65	20.93	19.97
500	15.47	14.77	15.95	15.22	16.71	15.95

TABELA 4.13

VALORES MAXIMO DE INTENSIDADE DE DESCARGA SUPOORTAVEIS PELAS CADEIAS DE ISOLADORES PARA IMPULSOS POSITIVOS E NEGATIVOS, EM EM FUNCAO DA RESISTENCIA DE ATERRAMENTO E DA FORMA DE ONDA APLICADA (COEFICIENTE ALFA).

NUMERO DE ISOLADORES NA CADEIA: 6

TENSAO CRITICA DE DESCARGA

ONDA POSITIVA: 550. KV

ONDA NEGATIVA: 525. KV

TEMPO DE FRENTE DE ONDA DE 2 MICROSEGUNDOS

RESISTENCIA DE ATERRAMENTO (OHM)	VALORES MAXIMOS DA CORRENTE					
	ALFA = 2		ALFA = 0		ALFA = -2	
	ONDA +	ONDA -	ONDA +	ONDA -	ONDA +	ONDA -
	(KA)	(KA)	(KA)	(KA)	(KA)	(KA)
3	318.47	304.00	336.19	320.90	355.30	339.15
10	120.67	115.18	136.85	130.63	144.36	137.80
20	76.51	73.03	86.92	82.96	90.58	86.46
50	42.28	40.36	49.62	47.36	53.45	51.02
100	30.16	28.79	35.21	33.61	37.84	36.12
200	21.73	20.74	25.10	23.96	27.12	25.89
500	16.38	15.63	17.91	17.09	19.63	18.74

TABELA 4.14

VALORES MAXIMO DE INTENSIDADE DE DESCARGA SUPORTAVEIS PELAS CADEIAS DE ISOLADORES PARA IMPULSOS POSITIVOS E NEGATIVOS, EM EM FUNCAO DA RESISTENCIA DEATERRAMENTO E DA FORMA DE ONDA APLICADA (COEFICIENTE ALFA).

NUMERO DE ISOLADORES NA CADEIA: 6

TENSAO CRITICA DE DESCARGA

ONDA POSITIVA: 550. KV

ONDA NEGATIVA: 525. KV

TEMPO DE FRENTE DE ONDA DE 5 MICROSEGUNDOS

RESISTENCIA DE ATERRAMENTO (OHM)	VALORES MAXIMOS DA CORRENTE					
	ALFA = 2		ALFA = 0		ALFA = -2	
	ONDA +	ONDA -	ONDA +	ONDA -	ONDA +	ONDA -
	(KA)	(KA)	(KA)	(KA)	(KA)	(KA)
3	364.72	348.14	407.11	388.60	442.83	422.71
10	148.77	142.01	182.36	174.07	201.61	192.45
20	100.02	95.47	125.80	120.08	135.67	129.50
50	56.67	54.10	74.11	70.75	82.38	78.64
100	40.16	38.34	52.44	50.05	58.29	55.64
200	29.72	28.37	37.91	36.19	40.87	39.01
500	20.90	19.95	24.70	23.57	26.81	25.59

TABELA 4.15

VALORES MAXIMO DE INTENSIDADE DE DESCARGA SUPORTAVEIS PELAS CADEIAS DE ISOLADORES PARA IMPULSOS POSITIVOS E NEGATIVOS, EM EM FUNCAO DA RESISTENCIA DE ATERRAMENTO E DA FORMA DE ONDA APLICADA (COEFICIENTE ALFA).

NUMERO DE ISOLADORES NA CADEIA: 6

TENSAO CRITICA DE DESCARGA

ONDA POSITIVA: 550. KV

ONDA NEGATIVA: 525. KV

TEMPO DE FRENTE DE ONDA DE 10 MICROSEGUNDOS

RESISTENCIA DE ATERRAMENTO (OHM)	VALORES MAXIMOS DA CORRENTE					
	ALFA = 2		ALFA = 0		ALFA = -2	
	ONDA +	ONDA -	ONDA +	ONDA -	ONDA +	ONDA -
	(KA)	(KA)	(KA)	(KA)	(KA)	(KA)
3	428.02	408.56	506.91	483.87	557.24	531.91
10	194.69	185.84	246.53	235.32	272.01	259.64
20	130.30	124.38	170.38	162.64	187.52	179.00
50	79.25	75.65	103.46	98.76	114.82	109.60
100	56.06	53.51	73.17	69.84	81.18	77.49
200	38.65	36.89	51.05	48.73	56.88	54.29
500	26.18	24.99	32.96	31.47	36.10	34.46

TABELA 4.16

VALORES MAXIMO DE INTENSIDADE DE DESCARGA SUORTAVEIS PELAS CADEIAS DE ISOLADORES PARA IMPULSOS POSITIVOS E NEGATIVOS, EM EM FUNCAO DA RESISTENCIA DE ATERRAMENTO E DA FORMA DE ONDA APLICADA (COEFICIENTE ALFA).

NUMERO DE ISOLADORES NA CADEIA: 6

TENSAO CRITICA DE DESCARGA

ONDA POSITIVA: 550. KV

ONDA NEGATIVA: 525. KV

TEMPO DE FRENTE DE ONDA DE 20 MICROSEGUNDOS

RESISTENCIA DE ATERRAMENTO (OHM)	VALORES MAXIMOS DA CORRENTE					
	ALFA = 2		ALFA = 0		ALFA = -2	
	ONDA +	ONDA -	ONDA +	ONDA -	ONDA +	ONDA -
	(KA)	(KA)	(KA)	(KA)	(KA)	(KA)
3	532.43	508.23	661.85	631.77	733.33	700.00
10	257.01	245.33	337.22	321.89	375.17	358.12
20	174.44	166.51	233.25	222.65	260.91	249.05
50	105.32	100.54	145.50	138.89	160.58	153.28
100	74.46	71.07	101.07	96.47	113.54	108.38
200	52.99	50.58	71.13	67.90	79.63	76.01
500	34.66	33.09	45.15	43.10	50.10	47.83

TABELA 4.17

VALORES MAXIMO DE INTENSIDADE DE DESCARGA SUPORTAVEIS PELAS CADEIAS DE ISOLADORES PARA IMPULSOS POSITIVOS E NEGATIVOS, EM FUNCAO DA RESISTENCIA DE ATERRAMENTO E DA FORMA DE ONDA APLICADA (COEFICIENTE ALFA).

NUMERO DE ISOLADORES NA CADEIA: 7

TENSAO CRITICA DE DESCARGA

ONDA POSITIVA: 625. KV

ONDA NEGATIVA: 605. KV

TEMPO DE FRENTE DE ONDA DE 1 MICROSEGUNDO.

RESISTENCIA DE ATEPRAMENTO (OHM)	VALORES MAXIMOS DA CORRENTE					
	ALFA = 2		ALFA = 0		ALFA = -2	
	ONDA +	ONDA -	ONDA +	ONDA -	ONDA +	ONDA -
	(KA)	(KA)	(KA)	(KA)	(KA)	(KA)
3	348.77	337.61	358.17	346.70	357.43	355.67
10	123.79	119.83	132.95	128.70	135.43	131.09
20	75.02	72.62	80.55	77.97	78.75	76.23
50	41.66	40.33	43.55	42.16	41.75	40.41
100	30.04	29.08	31.24	30.24	30.22	29.25
200	22.46	21.74	23.39	22.64	23.78	23.02
500	17.58	17.02	18.12	17.54	18.99	18.38

TABELA 4.18

VALORES MAXIMO DE INTENSIDADE DE DESCARGA SUPORTAVEIS PELAS CADEIAS DE ISOLADORES PARA IMPULSOS POSITIVOS E NEGATIVOS, EM FUNCAO DA RESISTENCIA DE ATERRAMENTO E DA FORMA DE ONDA APLICADA (COEFICIENTE ALFA).

NUMERO DE ISOLADORES NA CADEIA: 7

TENSAO CRITICA DE DESCARGA

ONDA POSITIVA: 625. KV

ONDA NEGATIVA: 605. KV

TEMPO DE FRENTE DE ONDA DE 2 MICROSEGUNDOS

RESISTENCIA DE ATERRAMENTO (OHM)	VALORES MAXIMOS DA CORRENTE					
	ALFA = 2		ALFA = 0		ALFA = -2	
	ONDA +	ONDA -	ONDA +	ONDA -	ONDA +	ONDA -
	(KA)	(KA)	(KA)	(KA)	(KA)	(KA)
3	361.90	350.32	382.03	369.80	403.75	390.83
10	137.12	132.73	155.51	150.53	164.04	158.79
20	86.94	84.16	98.77	95.61	102.93	99.64
50	48.05	46.51	56.38	54.58	60.74	58.79
100	34.28	33.18	40.01	38.73	43.00	41.62
200	24.70	23.91	28.52	27.61	30.82	29.83
500	18.61	18.01	20.35	19.70	22.31	21.59

TABELA 4.19

VALORES MAXIMO DE INTENSIDADE DE DESCARGA SUPTAVEIS PELAS CADEIAS DE ISOLADORES PARA IMPULSOS POSITIVOS E NEGATIVOS, EM EM FUNCAO DA RESISTENCIA DE ATERRAMENTO E DA FORMA DE ONDA APLICADA (COEFICIENTE ALFA).

NUMERO DE ISOLADORES NA CADEIA: 7

TENSAO CRITICA DE DESCARGA

ONDA POSITIVA: 625. KV

ONDA NEGATIVA: 605. KV

TEMPO DE FRENTE DE ONDA DE 5 MICROSEGUNDOS

RESISTENCIA DE ATERRAMENTO (OHM)	VALORES MAXIMOS DA CORRENTE					
	ALFA = 2		ALFA = 0		ALFA = -2	
	ONDA +	ONDA -	ONDA +	ONDA -	ONDA +	ONDA -
	(KA)	(KA)	(KA)	(KA)	(KA)	(KA)
3	414.46	401.19	462.62	447.82	503.22	487.12
10	169.06	163.65	207.23	200.60	229.11	221.77
20	113.66	110.02	142.96	138.38	154.17	149.24
50	64.40	62.34	84.22	81.53	93.62	90.62
100	45.64	44.18	59.59	57.68	66.24	64.12
200	33.77	32.69	43.08	41.70	46.44	44.96
500	23.76	23.00	28.06	27.17	30.47	29.49

TABELA 4.20

VALORES MAXIMO DE INTENSIDADE DE DESCARGA SUORTAVEIS PELAS CADEIAS DE ISOLADORES PARA IMPULSOS POSITIVOS E NEGATIVOS, EM EM FUNCAO DA RESISTENCIA DE ATERRAMENTO E DA FORMA DE ONDA APLICADA (COEFICIENTE ALFA).

NUMERO DE ISOLADORES NA CADEIA: 7

TENSAO CRITICA DE DESCARGA

ONDA POSITIVA: 625. KV

ONDA NEGATIVA: 605. KV

TEMPO DE FRENTE DE ONDA DE 10 MICROSEGUNDOS

RESISTENCIA DE ATERRAMENTO (OHM)	VALORES MAXIMOS DA CORRENTE					
	ALFA = 2		ALFA = 0		ALFA = -2	
	ONDA +	ONDA -	ONDA +	ONDA -	ONDA +	ONDA -
	(KA)	(KA)	(KA)	(KA)	(KA)	(KA)
3	486.38	470.82	576.04	557.60	633.23	612.97
10	221.24	214.16	280.14	271.18	309.10	299.21
20	148.07	143.33	193.62	187.42	213.09	206.27
50	90.06	87.18	117.57	113.81	130.48	126.30
100	63.70	61.67	83.14	80.48	92.25	89.30
200	43.92	42.51	58.02	56.16	64.63	62.56
500	29.75	28.80	37.46	36.26	41.02	39.71

TABELA 4.21

VALORES MAXIMO DE INTENSIDADE DE DESCARGA SUPORTAVEIS PELAS CADEIAS DE ISOLADORES PARA IMPULSOS POSITIVOS E NEGATIVOS. EM FUNCAO DA RESISTENCIA DE ATERRAMENTO E DA FORMA DE ONDA APLICADA (COEFICIENTE ALFA).

NUMERO DE ISOLADORES NA CADEIA: 7

TENSAO CRITICA DE DESCARGA

ONDA POSITIVA: 625. KV

ONDA NEGATIVA: 605. KV

TEMPO DE FRENTE DE ONDA DE 20 MICROSEGUNDOS

RESISTENCIA DE ATERRAMENTO (OHM)	VALORES MAXIMOS DA CORRENTE					
	ALFA = 2		ALFA = 0		ALFA = -2	
	ONDA +	ONDA -	ONDA +	ONDA -	ONDA +	ONDA -
	(KA)	(KA)	(KA)	(KA)	(KA)	(KA)
3	605.03	585.67	752.11	728.04	833.33	806.67
10	292.06	282.71	383.20	370.94	426.33	412.69
20	198.22	191.88	265.06	256.57	296.49	287.00
50	119.69	115.86	165.34	160.05	182.48	176.64
100	84.61	81.90	114.85	111.17	129.03	124.90
200	60.22	58.29	80.83	78.25	90.49	87.59
500	39.39	38.13	51.31	49.67	56.94	55.12

TABELA 4.22

VALORES MAXIMO DE INTENSIDADE DE DESCARGA SUORTAVEIS PELAS CADEIAS DE ISOLADORES PARA IMPULSOS POSITIVOS E NEGATIVOS. EM EM FUNCAO DA RESISTENCIA DEATERRAMENTO E DA FORMA DE ONDA APLICADA (COEFICIENTE ALFA).

NUMERO DE ISOLADORES NA CADEIA: 8

TENSAO CRITICA DE DESCARGA

ONDA POSITIVA: 700. KV

ONDA NEGATIVA: 685. KV

TEMPO DE FRENTE DE ONDA DE 1 MICROSEGUNDO

RESISTENCIA DE ATERRAMENTO (OHM)	VALORES MAXIMOS DA CORRENTE					
	ALFA = 2		ALFA = 0		ALFA = -2	
	ONDA +	ONDA -	ONDA +	ONDA -	ONDA +	ONDA -
	(KA)	(KA)	(KA)	(KA)	(KA)	(KA)
3	390.63	382.25	401.15	392.55	411.52	402.70
10	138.64	135.67	148.90	145.71	151.68	148.43
20	84.02	82.22	90.22	88.28	88.19	86.30
50	46.66	45.66	48.78	47.73	46.76	45.70
100	33.65	32.93	34.99	34.24	33.85	33.12
200	25.16	24.62	26.19	25.63	26.63	26.06
500	19.69	19.27	20.30	19.86	21.27	20.81

TABELA 4.23

VALORES MAXIMO DE INTENSIDADE DE DESCARGA SUORTAVEIS PELAS CADEIAS DE ISOLADORES PARA IMPULSOS POSITIVOS E NEGATIVOS, EM EM FUNCAO DA RESISTENCIA DE ATERRAMENTO E DA FORMA DE ONDA APLICADA (COEFICIENTE ALFA).

NUMERO DE ISOLADORES NA CADEIA: 8

TENSAO CRITICA DE DESCARGA

ONDA POSITIVA: 700. KV

ONDA NEGATIVA: 685. KV

TEMPO DE FRENTE DE ONDA DE 2 MICROSEGUNDOS

RESISTENCIA DE ATERRAMENTO (OHM)	VALORES MAXIMOS DA CORRENTE					
	ALFA = 2		ALFA = 0		ALFA = -2	
	ONDA +	ONDA -	ONDA +	ONDA -	ONDA +	ONDA -
	(KA)	(KA)	(KA)	(KA)	(KA)	(KA)
3	405.33	396.64	427.87	418.70	452.20	442.51
10	153.58	150.29	174.17	170.44	183.73	179.79
20	97.37	95.28	110.62	108.25	115.28	112.81
50	53.82	52.66	63.15	61.80	68.03	66.57
100	38.39	37.57	44.81	43.85	48.16	47.12
200	27.66	27.07	31.94	31.26	34.51	33.77
500	20.84	20.40	22.79	22.30	24.98	24.45

TABELA 4.24

VALORES MAXIMO DE INTENSIDADE DE DESCARGA SUPORTAVEIS PELAS CADEIAS DE ISOLADORES PARA IMPULSOS POSITIVOS E NEGATIVOS, EM FUNCAO DA RESISTENCIA DE ATERRAMENTO E DA FORMA DE ONDA APLICADA (COEFICIENTE ALFA).

NUMERO DE ISOLADORES NA CADEIA: 8

TENSAO CRITICA DE DESCARGA

ONDA POSITIVA: 700. KV

ONDA NEGATIVA: 685. KV

TEMPO DE FRENTE DE ONDA DE 5 MICROSEGUNDOS

RESISTENCIA DE ATERRAMENTO (OHM)	VALORES MAXIMOS DA CORRENTE					
	ALFA = 2		ALFA = 0		ALFA = -2	
	ONDA +	ONDA -	ONDA +	ONDA -	ONDA +	ONDA -
	(KA)	(KA)	(KA)	(KA)	(KA)	(KA)
3	464.19	454.24	518.13	507.03	563.61	551.53
10	189.34	185.29	232.10	227.12	256.60	251.10
20	127.30	124.57	160.11	156.68	172.67	168.97
50	72.13	70.58	94.33	92.31	104.85	102.61
100	51.11	50.02	66.74	65.31	74.18	72.59
200	37.82	37.01	48.25	47.22	52.02	50.90
500	26.61	26.04	31.43	30.76	34.12	33.39

TABELA 4.25

VALORES MAXIMO DE INTENSIDADE DE DESCARGA SUPORTAVEIS PELAS CADEIAS DE ISOLADORES PARA IMPULSOS POSITIVOS E NEGATIVOS, EM EM FUNCAO DA RESISTENCIA DE ATERRAMENTO E DA FORMA DE ONDA APLICADA (COEFICIENTE ALFA).

NUMERO DE ISOLADORES NA CADEIA: 8

TENSAO CRITICA DE DESCARGA

ONDA POSITIVA: 700. KV

ONDA NEGATIVA: 685. KV

TEMPO DE FRENTE DE ONDA DE 10 MICROSEGUNDOS

RESISTENCIA DE ATERRAMENTO (OHM)	VALORES MAXIMOS DA CORRENTE					
	ALFA = 2		ALFA = 0		ALFA = -2	
	ONDA +	ONDA -	ONDA +	ONDA -	ONDA +	ONDA -
	(KA)	(KA)	(KA)	(KA)	(KA)	(KA)
3	544.75	533.07	645.16	631.34	709.22	694.02
10	247.79	242.46	313.76	307.04	346.19	338.77
20	165.84	162.28	216.85	212.21	238.66	233.55
50	100.86	98.70	131.68	128.86	146.14	143.01
100	71.35	69.82	93.12	91.13	103.32	101.11
200	49.18	48.13	64.98	63.58	72.39	70.84
500	33.33	32.61	41.95	41.05	45.94	44.96

TABELA 4.26

VALORES MAXIMO DE INTENSIDADE DE DESCARGA SUPORTAVEIS PELAS CADEIAS DE ISOLADORES PARA IMPULSOS POSITIVOS E NEGATIVOS* EM EM FUNCAO DA RESISTENCIA DE ATERRAMENTO E DA FORMA DE ONDA APLICADA (COEFICIENTE ALFA).

NUMERO DE ISOLADORES NA CADEIA: 8

TENSAO CRITICA DE DESCARGA

ONDA POSITIVA: 700. KV

ONDA NEGATIVA: 685. KV

TEMPO DE FRENTE DE ONDA DE 20 MICROSEGUNDOS

RESISTENCIA DE ATERRAMENTO (OHM)	VALORES MAXIMOS DA CORRENTE					
	ALFA = 2		ALFA = 0		ALFA = -2	
	ONDA +	ONDA -	ONDA +	ONDA -	ONDA +	ONDA -
	(KA)	(KA)	(KA)	(KA)	(KA)	(KA)
3	577.64	663.12	842.36	824.31	933.33	913.33
10	327.10	320.09	429.18	419.99	477.49	467.26
20	222.01	217.25	296.86	290.50	332.07	324.95
50	134.05	131.18	185.19	181.22	204.38	200.00
100	94.76	92.73	128.63	125.87	144.51	141.41
200	67.44	66.00	90.53	88.59	101.35	99.17
500	44.12	43.17	57.47	56.24	63.77	62.40

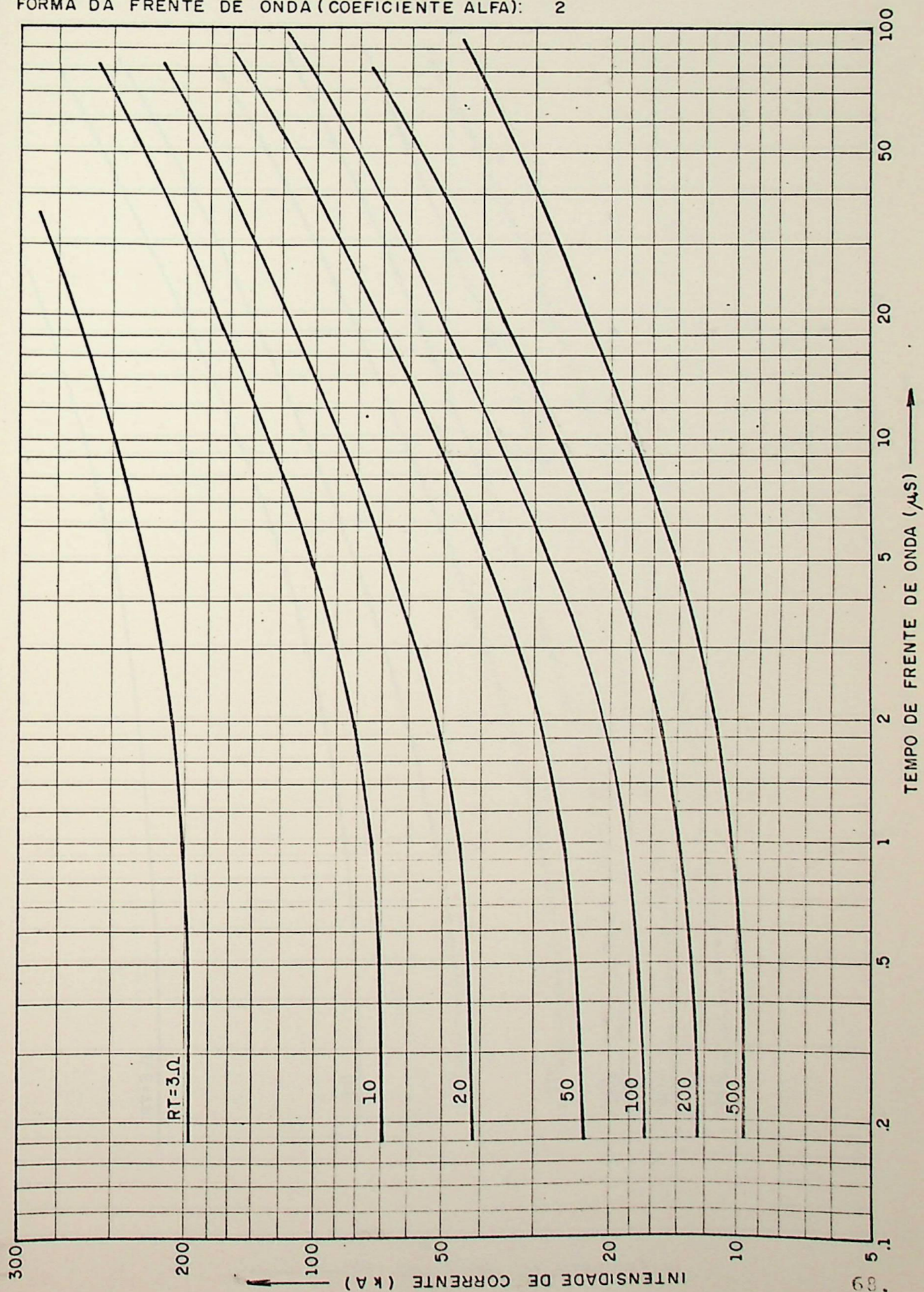
Das tabelas obtidas, verificamos que os valores de correntes correspondentes ao coeficiente alfa igual a 2 acarretam os maiores valores de sobretensões.

Assim, e considerando que a ocorrência de ondas negativas é mais comum, poderemos traçar curvas que relacionem os valores de tempo de frente de ondas com os de intensidade de corrente, para valores distintos de resistências de aterramento e de tensões críticas de descarga para ondas negativas e alfa igual a 2. Estas curvas são mostradas a seguir:

TEMPO DE FRENTE DE ONDA x INTENSIDADE DE CORRENTE

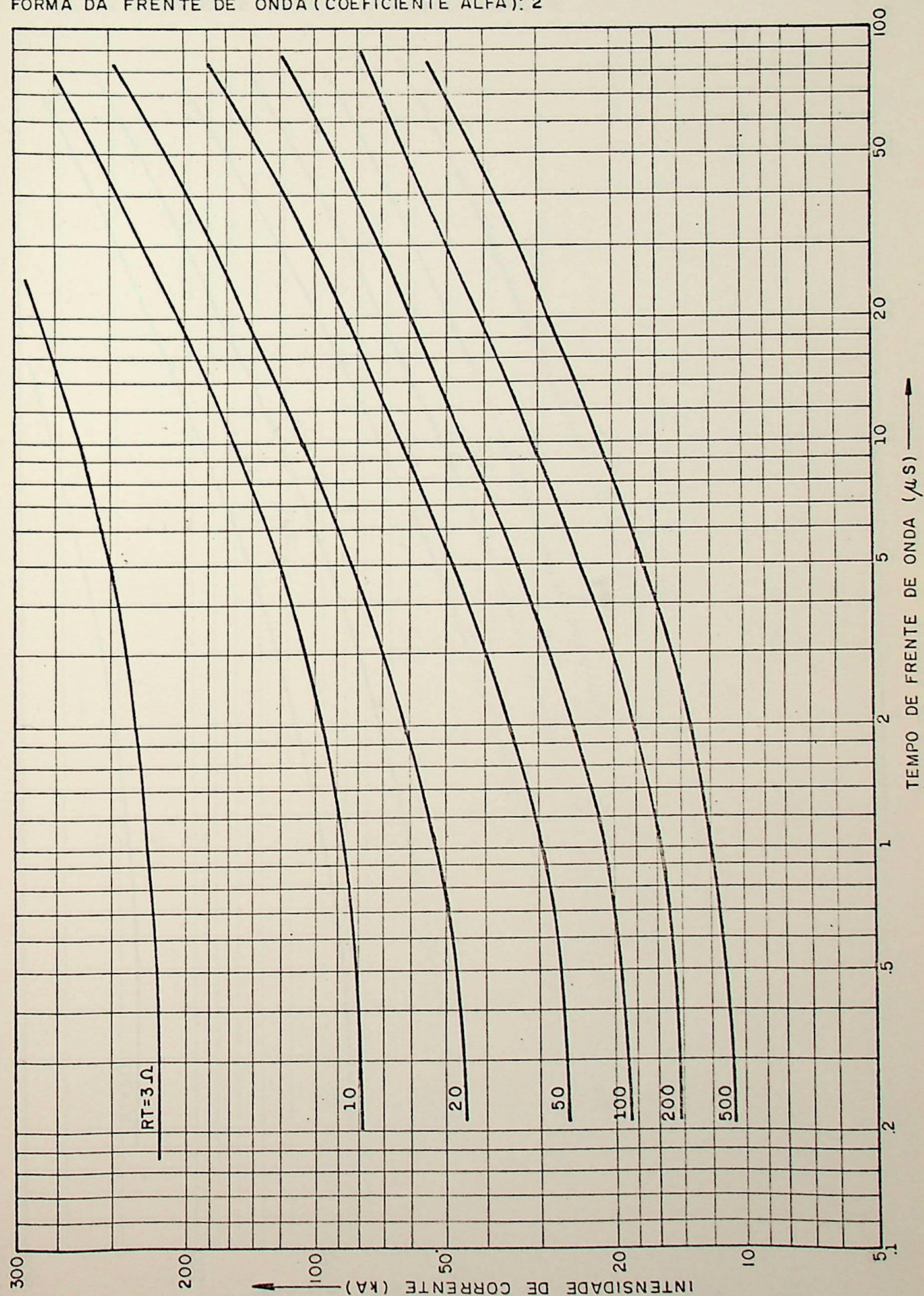
TENSÃO CRÍTICA DE DESCARGA (ONDA NEGATIVA): 375 kV - 4 ISOLADORES

FORMA DA FRENTE DE ONDA (COEFICIENTE ALFA): 2



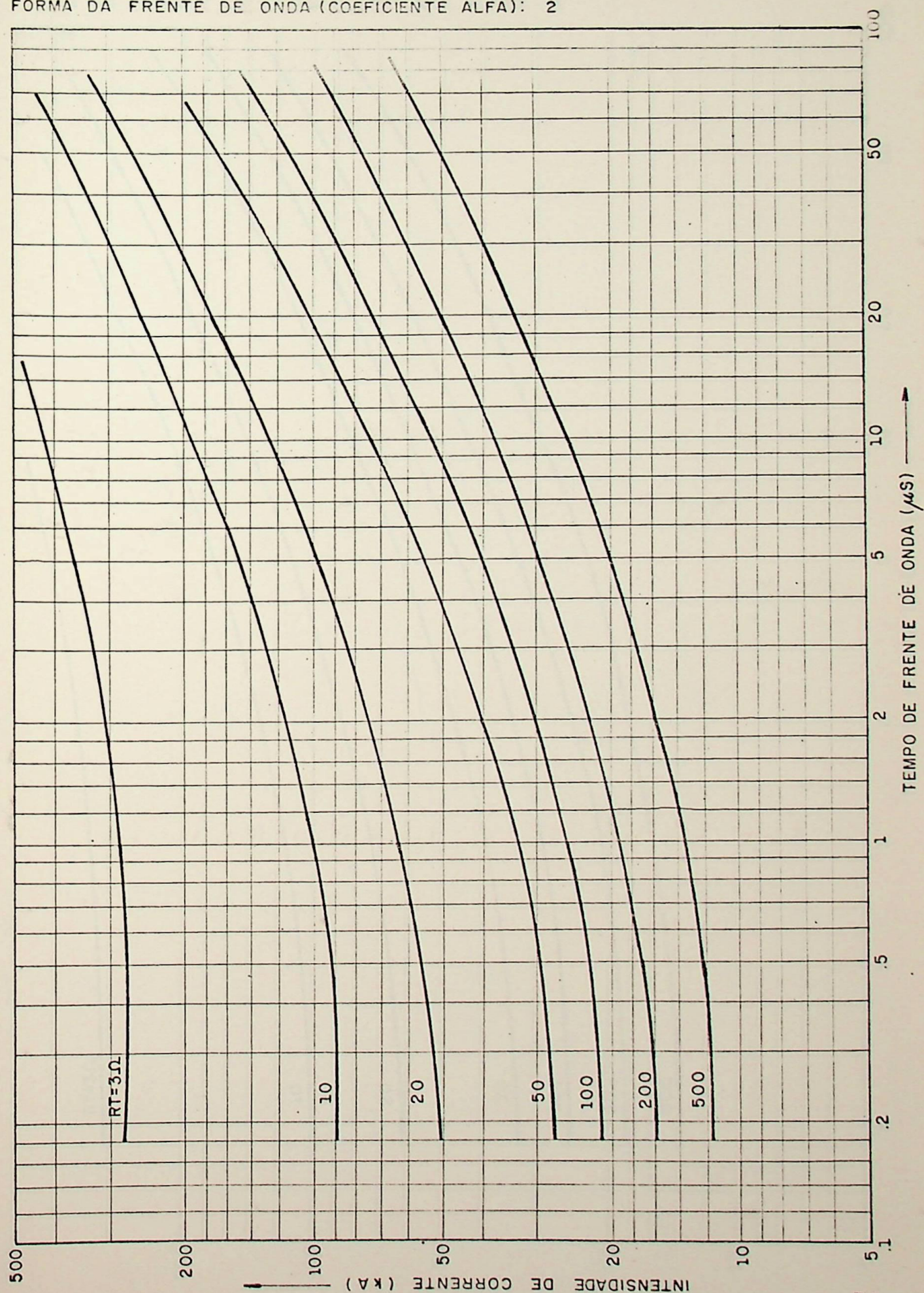
TEMPO DE FRENTE DE ONDA INTENSIDADE DE CORRENTE

TENSÃO CRÍTICA DE DESCARGA (ONDA NEGATIVA): 445 kV - 5 ISOLADORES
FORMA DA FRENTE DE ONDA (COEFICIENTE ALFA): 2



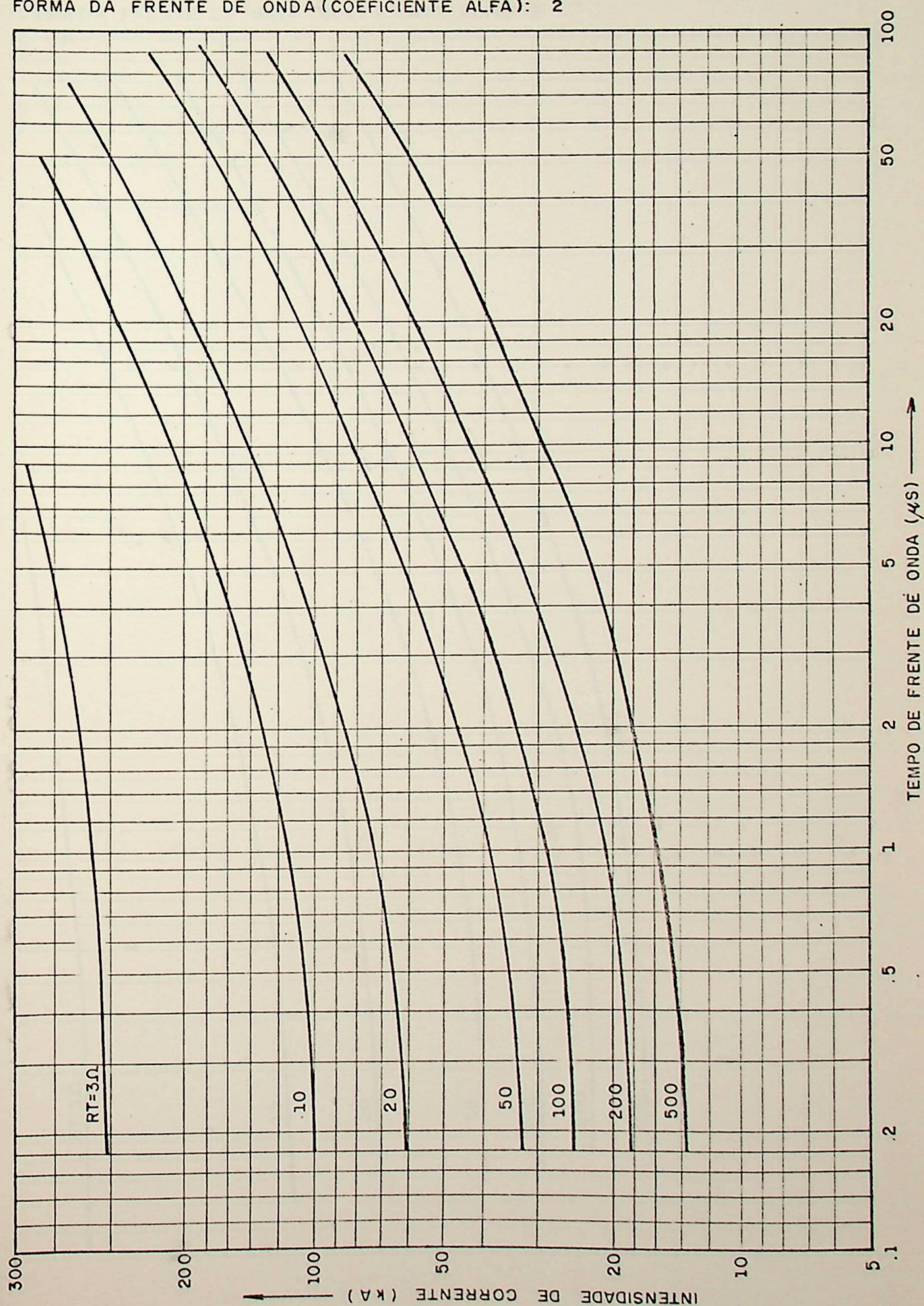
TEMPO DE FRENTE DE ONDA x INTENSIDADE DE CORRENTE

TENSÃO CRÍTICA DE DESCARGA (ONDA NEGATIVA): 525 kV - 6 ISOLADORES
FORMA DA FRENTE DE ONDA (COEFICIENTE ALFA): 2



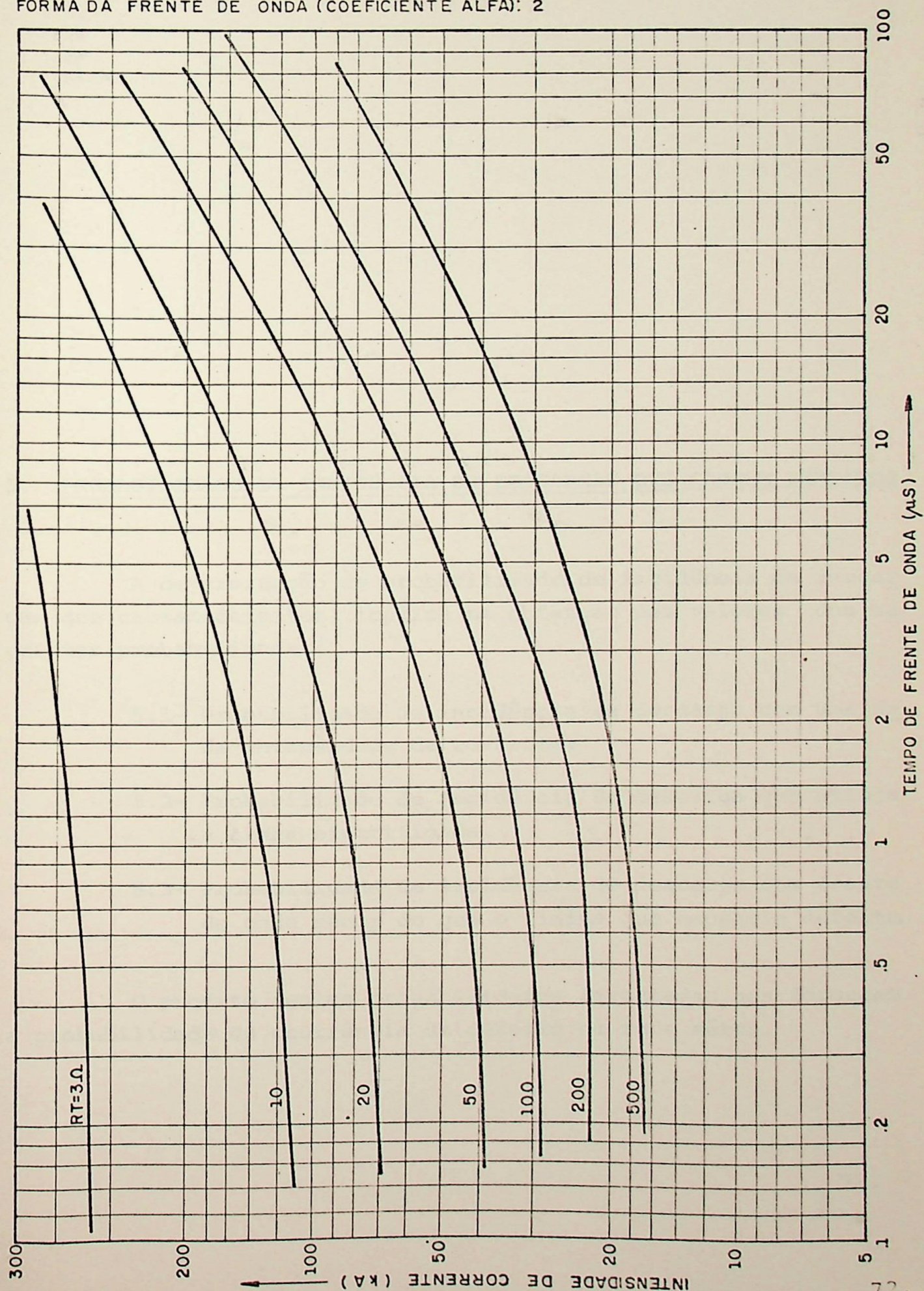
TEMPO DE FRENTE DE ONDA x INTENSIDADE DE CORRENTE

TENSÃO CRÍTICA DE DESCARGA (ONDA NEGATIVA): 605 kV - 7 ISOLADORES
 FORMA DA FRENTE DE ONDA (COEFICIENTE ALFA): 2



TEMPO DE FRETE DE ONDA x INTENSIDADE DE CORRENTE

TENSÃO CRÍTICA DE DESCARGA (ONDA NEGATIVA): 685 kV - 8 ISOLADORES
FORMA DA FRETE DE ONDA (COEFICIENTE ALFA): 2



5. PROBABILIDADE DE INCIDÊNCIA DE DESCARGAS QUE CAUSAM DEFEITOS

A determinação da probabilidade de incidência de descargas que causam defeitos, implica na obtenção dos valores das seguintes probabilidades:

- 5.1- Probabilidade de incidência de descarga com uma dada intensidade de corrente.
- 5.2- Probabilidade de incidência de descarga que atinja a linha eletrificada.
- 5.3- Probabilidade de incidência de descarga com frente de onda menor do que o limite que causaria defeito.

O produto destas probabilidades levantadas nos fornecem a probabilidade de ocorrência de defeito na rede aérea.

5.1- Probabilidade de Incidência de Descarga com uma Dada Intensidade de Corrente

Inicialmente, procuramos obter os valores das probabilidades de incidência de descargas com intensidades superiores a um determinado valor. Para tanto, nos utilizamos de dados de referência [9], os quais reproduzimos abaixo.

TABELA 5.1

PARÂMETROS TÍPICOS DE DESCARGAS				
DESCRIÇÃO	UNIDADE	PERCENTAGEM DE CASOS QUE EXCEDE O VALOR TABULADO		
		95%	50%	5%
<u>Corrente Descarga</u> Primeira descarga negativa	kA	14	30	80

Para obter os demais valores para diferentes percentagens, consideramos a distribuição como sendo normal e levantamos as suas características.

Para uma distribuição normal, sabemos que:

$$\frac{\bar{i}}{i} = \sigma^m \quad (5.1)$$

onde: i - valor da intensidade de corrente

$\bar{i}$ - valor da intensidade de corrente média, isto é, para 50% de ser excedido.

σ - desvio padrão da distribuição.

m - número de desvios padrão de afastamento da média.

De [10], considerando o valor de 95%, tiramos que:

$$m = 1,645$$

e então:

$$\frac{30}{14} = \sigma^{1,645}$$

$$1,645 \log \sigma = \log (30/14)$$

$$\log \sigma = 0,20$$

(5.2)

Para um outro valor qualquer de i :

$$\frac{30}{i} = \sigma^m$$

$$m \log \sigma = \log \frac{30}{i}$$

$$m \cdot 0,20 = \log \frac{30}{i}$$

$$m = 4,97 \log \frac{30}{i} \quad (5.3)$$

O valor da probabilidade acumulada será:

$$PAC = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cdot e^{-m^2/2} \quad (5.4)$$

Então, ficamos com:

$$PAC = f(m) \quad (5.5)$$

$$m = f(i) \quad (5.6)$$

e finalmente:

$$PAC = f(i) \quad (5.7)$$

O valor da probabilidade de descarga com uma dada intensidade, será então:

$$PI(i_n) = PAC(i_{n-1}) - PAC(i_n) \quad (5.8)$$

Finalmente, o programa MSØ6, mostrado em anexo, permite o cálculo destas probabilidades cujos valores apresentamos na tabela 5.2, a seguir:

TABELA 5.2

PROBABILIDADE DE INCIDENCIA DE DESCARGA ATMOSFERICA
COM UMA DADA INTENSIDADE DE CORRENTE I

INTENSIDADE DE CORRENTE DE DESCARGA I (KA)	PROBABILIDADE DE INCIDENCIA DE DESCARGA COM INTENSIDADE MAIOR QUE I	PROBABILIDADE DE INCIDENCIA DE DESCARGA COM INTENSIDADE I
5.	.9999	.0001
10.	.9863	.0136
15.	.9094	.0769
20.	.7706	.1388
25.	.6214	.1492
30.	.5000	.1214
35.	.3982	.1018
40.	.3058	.0924
45.	.2294	.0764
50.	.1696	.0598
55.	.1243	.0453
60.	.0906	.0337
65.	.0660	.0247
70.	.0480	.0180
75.	.0350	.0130
80.	.0255	.0094
90.	.0137	.0118
100.	.0075	.0062
120.	.0023	.0052
200.	.0000	.0023

5.2- Probabilidade de Incidência de Descarga na Linha Eletrificada

Na determinação desta probabilidade consideramos que a incidência de uma descarga na linha, implica em termos a distância da ponta da descarga à linha eletrificada menor do que a distância à terra.

Não foi considerado no presente estudo, a influência do ângulo de incidência das descargas.

Do estudo da figura abaixo, podemos determinar a largura de faixa de onde uma descarga atinge a linha eletrificada.

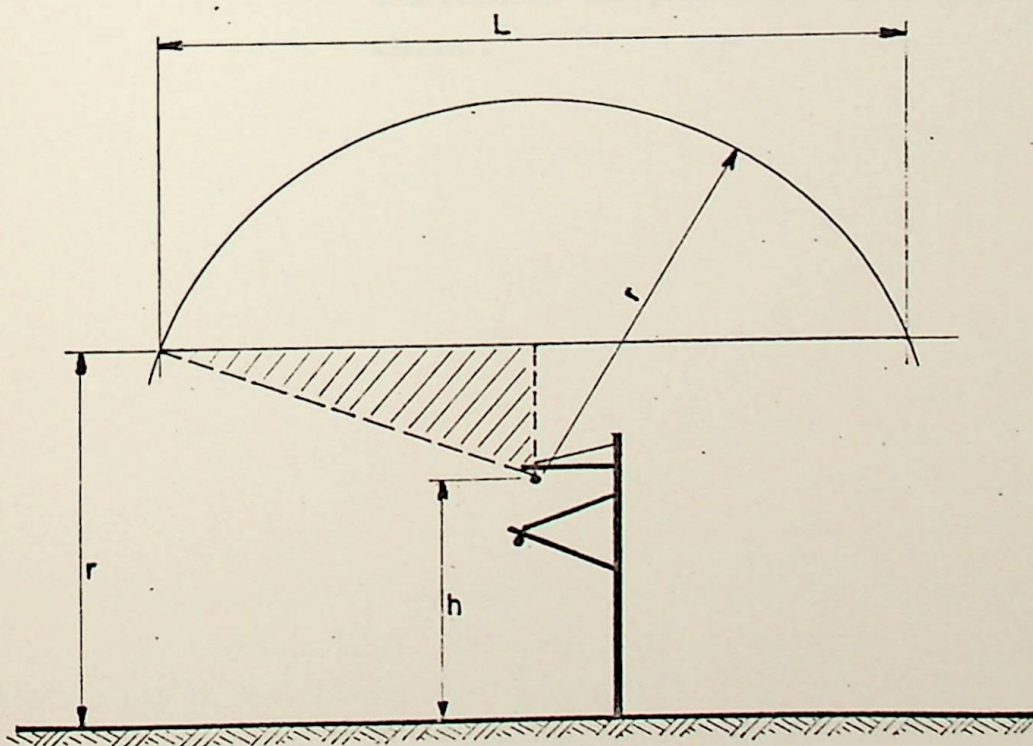


FIGURA 5.1

Do triângulo assinalado, obtemos:

$$r^2 = \left(\frac{L}{2}\right)^2 + (r - h)^2$$

$$r^2 = \frac{L^2}{4} + r^2 - 2rh + h^2$$

$$L^2 = 8rh - 4h^2 \quad (5.9)$$

onde:

L = largura da faixa de atração.

h = altura do cabo de retorno (proteção contra descargas atmosféricas).

r = distância da ponta da descarga ao cabo de retorno.

De [8], retiramos as seguintes relações (aproximada) entre a distância r e a intensidade de corrente I .

$$r = 9,4 I^{2/3} \quad \text{para } 0 < I < 50 \text{ kA} \quad (5.10)$$

$$r = 2I + 30 \quad \text{para } I \geq 50 \text{ kA} \quad (5.11)$$

Combinando com $L = f(r)$. teremos:

a) Para $0 < I < 50 \text{ kA}$:

$$\begin{aligned} L^2 &= 8 (9,4 I^{2/3}) h - 4 h^2 \\ L^2 &= 75,2 \cdot h \cdot I^{2/3} - 4 h^2 \\ L &= \{75,2 \cdot h \cdot I^{2/3} - 4 h^2\}^{1/2} \end{aligned} \quad (5.12)$$

b) Para $I \geq 50 \text{ kA}$:

$$\begin{aligned} L^2 &= 8 (2I + 30)h - 4 h^2 \\ L^2 &= 16 Ih + 240 h - 4 h^2 \\ L &= 2 \cdot \{4Ih + 60h - h^2\}^{1/2} \end{aligned} \quad (5.13)$$

Deste relacionamento, $L = f(I)$, e adotando uma largura de faixa de estudo com 1000 metros, obteremos os valores das probabilidades procuradas, utilizando a seguinte expressão:

$$PL = \frac{L}{1000} \quad (5.14)$$

O programa MSØ 7, em anexo, nos fornece os valores pro
curados que estão apresentados na tabela 5.3, a seguir:

TABELA 5.3

PROBABILIDADE DE INCIDENCIA DE DESCARGA
NA LINHA ELETRIFICADA

ATMOSFERICA

INTENSIDADE DE CORRENTE DE DESCARGA I (KA)	LARGURA DA FAIXA DE ATRACAO L (M)	PROBABILIDADE DE INCIDENCIA DE DESCARGA NA LINHA
5.	42.74	.0427
10.	56.07	.0561
15.	65.19	.0652
20.	72.36	.0724
25.	78.37	.0784
30.	83.60	.0836
35.	88.27	.0883
40.	92.49	.0925
45.	96.37	.0964
50.	99.97	.1000
55.	103.3	.1033
60.	106.5	.1065
65.	109.5	.1095
70.	112.3	.1123
75.	115.0	.1150
80.	117.6	.1176
90.	122.4	.1224
100.	126.9	.1269
120.	135.1	.1351
200.	160.7	.1607

5.3- Probabilidade de Incidência de Descargas com Frente de Onda Menor do que a Limite

Das curvas obtidas nas figuras nº 4.1, 4.2, 4.3, 4.4 e 4.5, como foram determinadas para valores limites de tensões suportáveis, podemos retirar os valores de tempo de frente de onda (valores limites), abaixo dos quais as tensões terão valores superiores aos garantidos pelo fabricante dos isoladores.

De forma análoga à 5.1, obtemos os valores das probabilidades de ocorrência de descargas com frente de onda maiores que o limite. Os dados necessários de [8] estão na tabela a seguir:

TABELA 5.4

PARÂMETROS TÍPICOS DE DESCARGAS				
DESCRIÇÃO	UNIDADE	PERCENTAGEM DE CASOS QUE EXCEDE O VALOR TABULADO		
		95%	50%	5%
<u>Impulso</u>				
Primeira descarga negativa	µs	1,8	5,5	18

Considerando novamente a distribuição como sendo normal, teremos:

$$\frac{\bar{t}}{t} = \sigma^n \quad (5.15)$$

onde:

t - tempo de frente.

$\bar{t}$ - tempo de frente médio.

σ - desvio padrão da distribuição.

n - afastamento da média em desvios padrão.

De [10] e para o valor de 95%, vem que:

$$n = 1,645$$

$$\frac{5,5}{1,8} = \sigma^{1,645}$$

$$1,645 \log \sigma = \log (5,5/1,8)$$

$$\log \sigma = 0,295 \quad (5.16)$$

Para um outro valor qualquer de t :

$$\frac{5,5}{t} = \sigma^n$$

$$n \log \sigma = \log \frac{5,5}{t}$$

$$n = 3,39 \log \frac{5,5}{t} \quad (5.17)$$

O valor da probabilidade acumulada será:

$$PAC = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cdot e^{-n^2/2} \quad (5.18)$$

Ficamos então com:

$$PAC = f(n) \quad (5.19)$$

$$n = f(t) \quad (5.20)$$

e finalmente com:

$$PAC = f(t) \quad (5.21)$$

As probabilidades de ocorrência de descargas com tempos de frente de onda menores do que o limite, serão:

$$PT = 1,0 - PAC \quad (5.22)$$

O programa MSØ8, mostrado em anexo, calcula e tabula estes valores de probabilidades, correlacionando-os com os valores de intensidade de corrente.

Estes valores estão apresentados nas tabelas de 5.5 a 5.18, a seguir, e foram levantados para os cinco valores de tensão crítica de descarga a seco (cadeias com 4, 5, 6, 7 e 8 isoladores) e para resistências de aterramento de 10, 20, 50 e 100Ω.

TABELA 5.5

PROBABILIDADE DE INCIDENCIA DE DESCARGA ATMOSFERICA
COM TEMPO DE FRENTE DE ONDA INFERIOR AO LIMITE.

TENSAO CRITICA DE DESCARGA A SECO = 375. KV

ONDA NEGATIVA E ALFA = 2

RESISTENCIA DE ATERRAMENTO = 10. OHM

INTENSIDADE DE CORRENTE DE DESCARGA I (KA)	TEMPO DE FRENTE DE ONDA LIMITE T (μ s)	PROBABILIDADE DE OCORRENCIA DE FRENTE DE ONDA MAIOR QUE T	PROBABILIDADE DE OCORRENCIA DE FRENTE DE ONDA MENOR QUE T
5.	.00	1.0000	.0000
10.	.00	1.0000	.0000
15.	.00	1.0000	.0000
20.	.00	1.0000	.0000
25.	.00	1.0000	.0000
30.	.00	1.0000	.0000
35.	.00	1.0000	.0000
40.	.00	1.0000	.0000
45.	.00	1.0000	.0000
50.	.00	1.0000	.0000
55.	.00	1.0000	.0000
60.	.00	1.0000	.0000
65.	.00	1.0000	.0000
70.	.20	1.0000	.0000
75.	1.20	.9810	.0190
80.	1.80	.9300	.0691
90.	3.00	.7754	.2246
100.	4.50	.5899	.4101
120.	8.10	.3219	.6781
200.	30.00	.0099	.9901

TABELA 5.6

PROBABILIDADE DE INCIDENCIA DE DESCARGA ATMOSFERICA
COM TEMPO DE FRENTE DE ONDA INFERIOR AO LIMITE.

TENSAO CRITICA DE DESCARGA A SECO = 375' KV

ONDA NEGATIVA E ALFA = 2

RESISTENCIA DE ATERRAMENTO = 20. OHM

INTENSIDADE DE CORRENTE DE DESCARGA I (KA)	TEMPO DE FRENTE DE ONDA LIMITE T (μ S)	PROBABILIDADE DE OCORRENCIA DE FRENTE DE ONDA MAIOR QUE T	PROBABILIDADE DE OCORRENCIA DE FRENTE DE ONDA MENOR QUE T
5.	.20	1.0000	.0000
10.	.20	1.0000	.0000
15.	.20	1.0000	.0000
20.	.20	1.0000	.0000
25.	.20	1.0000	.0000
30.	.20	1.0000	.0000
35.	.20	1.0000	.0000
40.	.20	1.0000	.0000
45.	1.00	.9904	.0096
50.	1.70	.9413	.0587
55.	2.50	.8375	.1625
60.	3.40	.7213	.2787
65.	4.50	.5809	.4191
70.	5.10	.5325	.4675
75.	7.00	.3910	.6090
80.	8.00	.3277	.6723
90.	10.20	.2198	.7802
100.	14.00	.1114	.8886
120.	20.20	.0400	.9600
200.	63.00	.0003	.9997

TABELA 5.7

PROBABILIDADE DE INCIDENCIA DE DESCARGA ATMOSFERICA
COM TEMPO DE FRENTE DE ONDA INFERIOR AO LIMITE.

TENSÃO CRITICA DE DESCARGA A SECO = 445 KV

ONDA NEGATIVA E ALFA = 2

RESISTENCIA DE ATERRAMENTO = 10. OHM

INTENSIDADE DE CORRENTE DE DESCARGA I (KA)	TEMPO DE FRENTE DE ONDA LIMITE T (μ S)	PROBABILIDADE DE OCORRENCIA DE FRENTE DE ONDA MAIOR QUE T	PROBABILIDADE DE OCORRENCIA DE FRENTE DE ONDA MENOR QUE T
5.	.00	1.0000	.0000
10.	.00	1.0000	.0000
15.	.00	1.0000	.0000
20.	.00	1.0000	.0000
25.	.00	1.0000	.0000
30.	.00	1.0000	.0000
35.	.00	1.0000	.0000
40.	.00	1.0000	.0000
45.	.00	1.0000	.0000
50.	.00	1.0000	.0000
55.	.00	1.0000	.0000
60.	.00	1.0000	.0000
65.	.00	1.0000	.0000
70.	.00	1.0000	.0000
75.	.00	1.0000	.0000
80.	.40	.9999	.0001
90.	1.30	.9749	.0251
100.	2.30	.8707	.1293
120.	5.00	.5414	.4586
200.	18.40	.0532	.9468

TABELA 5.8

PROBABILIDADE DE INCIDENCIA DE DESCARGA ATMOSFERICA
COM TEMPO DE FRENTE DE ONDA INFERIOR AO LIMITE.

TENSAO CRITICA DE DESCARGA A SECO = 445' KV

ONDA NEGATIVA E ALFA = 2

RESISTENCIA DE ATERRAMENTO = 20. OHM

INTENSIDADE DE CORRENTE DE DESCARGA I (KA)	TEMPO DE FRENTE DE ONDA LIMITE T (μ S)	PROBABILIDADE DE OCORRENCIA DE FRENTE DE ONDA MAIOR QUE T	PROBABILIDADE DE OCORRENCIA DE FRENTE DE ONDA MENOR QUE T
5.	.00	1.0000	.0000
10.	.00	1.0000	.0000
15.	.00	1.0000	.0000
20.	.00	1.0000	.0000
25.	.00	1.0000	.0000
30.	.00	1.0000	.0000
35.	.00	1.0000	.0000
40.	.00	1.0000	.0000
45.	.20	1.0000	.0000
50.	.80	.9962	.0038
55.	1.40	.9678	.0322
60.	1.80	.9309	.0691
65.	2.50	.8441	.1559
70.	3.00	.7754	.2246
75.	3.50	.7081	.2919
80.	4.60	.5796	.4204
90.	6.10	.4549	.5451
100.	8.40	.3050	.6950
120.	13.60	.1195	.8805
200.	40.20	.0029	.9971

TABELA 5.9

PROBABILIDADE DE INCIDENCIA DE DESCARGA ATMOSFERICA
COM TEMPO DE FRENTE DE ONDA INFERIOR AO LIMITE.

TENSÃO CRÍTICA DE DESCARGA A SECO = 445 KV

ONDA NEGATIVA E ALFA = 2

RESISTENCIA DE ATERRAMENTO = 50 OHM

INTENSIDADE DE CORRENTE DE DESCARGA I (KA)	TEMPO DE FRENTE DE ONDA LIMITE T (µs)	PROBABILIDADE DE OCORRENCIA DE FRENTE DE ONDA MAIOR QUE T	PROBABILIDADE DE OCORRENCIA DE FRENTE DE ONDA MENOR QUE T
5.	.02	1.0000	.0000
10.	.02	1.0000	.0000
15.	.02	1.0000	.0000
20.	.02	1.0000	.0000
25.	.25	1.0000	.0000
30.	1.12	.9862	.0138
35.	2.25	.8836	.1164
40.	3.00	.7754	.2246
45.	4.30	.6114	.3886
50.	5.50	.5000	.5000
55.	7.00	.3910	.6090
60.	9.00	.2735	.7265
65.	11.00	.1901	.8099
70.	13.00	.1328	.8672
75.	16.00	.0791	.9209
80.	18.00	.0568	.9432
90.	24.00	.0226	.9774
100.	30.00	.0099	.9901
120.	42.00	.0023	.9977
200.	100.00	.0000	1.0000

TABELA 5.10

PROBABILIDADE DE INCIDENCIA DE DESCARGA ATMOSFERICA
COM TEMPO DE FRENTE DE ONDA INFERIOR AO LIMITE.

TENSÃO CRÍTICA DE DESCARGA A SECO = 525 KV

ONDA NEGATIVA E ALFA = 2

RESISTENCIA DE ATERRAMENTO = 10 OHM

INTENSIDADE DE CORRENTE DE DESCARGA I (KA)	TEMPO DE FRENTE DE ONDA LIMITE T (μ s)	PROBABILIDADE DE OCORRENCIA DE FRENTE DE ONDA MAIOR QUE T	PROBABILIDADE DE OCORRENCIA DE FRENTE DE ONDA MENOR QUE T
5.	.00	1.0000	.0000
10.	.00	1.0000	.0000
15.	.00	1.0000	.0000
20.	.00	1.0000	.0000
25.	.00	1.0000	.0000
30.	.00	1.0000	.0000
35.	.00	1.0000	.0000
40.	.00	1.0000	.0000
45.	.00	1.0000	.0000
50.	.00	1.0000	.0000
55.	.00	1.0000	.0000
60.	.00	1.0000	.0000
65.	.00	1.0000	.0000
70.	.00	1.0000	.0000
75.	.00	1.0000	.0000
80.	.00	1.0000	.0000
90.	.40	.9999	.0001
100.	1.00	.9994	.0006
120.	2.40	.8575	.1425
200.	4.20	.6225	.3775

TABELA 5.11

PROBABILIDADE DE INCIDENCIA DE DESCARGA ATMOSFERICA
COM TEMPO DE FRENTE DE ONDA INFERIOR AO LIMITE.

TENSÃO CRÍTICA DE DESCARGA A SECO = 525 KV

ONDA NEGATIVA E ALFA = 2

RESISTENCIA DE ATERRAMENTO = 20 OHM

INTENSIDADE DE CORRENTE DE DESCARGA I (KA)	TEMPO DE FRENTE DE ONDA LIMITE T (μ S)	PROBABILIDADE DE OCORRENCIA DE FRENTE DE ONDA MAIOR QUE T	PROBABILIDADE DE OCORRENCIA DE FRENTE DE ONDA MENOR QUE T
5.	.00	1.0000	.0000
10.	.00	1.0000	.0000
15.	.00	1.0000	.0000
20.	.00	1.0000	.0000
25.	.00	1.0000	.0000
30.	.00	1.0000	.0000
35.	.00	1.0000	.0000
40.	.00	1.0000	.0000
45.	.00	1.0000	.0000
50.	.20	1.0000	.0000
55.	.50	.9996	.0004
60.	.80	.9982	.0038
65.	1.20	.9810	.0190
70.	1.50	.9598	.0402
75.	2.20	.8836	.1164
80.	2.50	.8441	.1559
90.	3.60	.6952	.3048
100.	5.30	.5157	.4843
120.	9.00	.2735	.7265
200.	30.00	.0099	.9901

TABELA 5.12

PROBABILIDADE DE INCIDENCIA DE DESCARGA ATMOSFERICA
COM TEMPO DE FRENTE DE ONDA INFERIOR AO LIMITE.

TENSAO CRITICA DE DESCARGA A SECO = 525 KV

ONDA NEGATIVA E ALFA = 2

RESISTENCIA DE ATERRAMENTO = 50 OHM

INTENSIDADE DE CORRENTE DE DESCARGA I (KA)	TEMPO DE FRENTE DE ONDA LIMITE T (μ s)	PROBABILIDADE DE OCORRENCIA DE FRENTE DE ONDA MAIOR QUE T	PROBABILIDADE DE OCORRENCIA DE FRENTE DE ONDA MENOR QUE T
5.	.00	1.0000	.0000
10.	.00	1.0000	.0000
15.	.00	1.0000	.0000
20.	.00	1.0000	.0000
25.	.00	1.0000	.0000
30.	.50	.9996	.0004
35.	1.00	.9309	.0691
40.	2.00	.9083	.0917
45.	3.10	.7617	.2383
50.	4.00	.6457	.3543
55.	5.50	.5000	.5000
60.	6.40	.4336	.5664
65.	8.00	.3277	.6723
70.	9.00	.2735	.7265
75.	11.00	.1901	.8099
80.	12.40	.1476	.8524
90.	16.00	.0791	.9209
100.	20.00	.0413	.9587
120.	27.00	.0148	.9852
200.	70.00	.0002	.9998

TABELA 5.13

PROBABILIDADE DE INCIDENCIA DE DESCARGA ATMOSFERICA
COM TEMPO DE FRENTE DE ONDA INFERIOR AO LIMITE.

TENSAO CRITICA DE DESCARGA A SECO = 605 KV

ONDA NEGATIVA E ALFA = 2

RESISTENCIA DE ATERRAMENTO = 10 OHM

INTENSIDADE DE CORRENTE DE DESCARGA I (KA)	TEMPO DE FRENTE DE ONDA LIMITE T (μ S)	PROBABILIDADE DE OCORRENCIA DE FRENTE DE ONDA MAIOR QUE T	PROBABILIDADE DE OCORRENCIA DE FRENTE DE ONDA MENOR QUE T
5.	.05	1.0000	.0000
10.	.07	1.0000	.0000
15.	.08	1.0000	.0000
20.	.09	1.0000	.0000
25.	.10	1.0000	.0000
30.	.12	1.0000	.0000
35.	.13	1.0000	.0000
40.	.14	1.0000	.0000
45.	.15	1.0000	.0000
50.	.16	1.0000	.0000
55.	.18	1.0000	.0000
60.	.20	1.0000	.0000
65.	.22	1.0000	.0000
70.	.24	1.0000	.0000
75.	.26	1.0000	.0000
80.	.28	1.0000	.0000
90.	.30	1.0000	.0000
100.	.35	1.0000	.0000
120.	1.20	.9810	.0190
200.	8.20	.3162	.6838

TABELA 5.14

PROBABILIDADE DE INCIDENCIA DE DESCARGA ATMOSFERICA
COM TEMPO DE FRENTE DE ONDA INFERIOR AO LIMITE.

TENSÃO CRÍTICA DE DESCARGA A SECO = 605 KV
ONDA NEGATIVA E ALFA = 2
RESISTENCIA DE ATERRAMENTO = 20 OHM

INTENSIDADE DE CORRENTE DE DESCARGA I (KA)	TEMPO DE FRENTE DE ONDA LIMITE T (μ S)	PROBABILIDADE DE OCORRENCIA DE FRENTE DE ONDA MAIOR QUE T	PROBABILIDADE DE OCORRENCIA DE FRENTE DE ONDA MENOR QUE T
5.	.00	1.0000	.0000
10.	.00	1.0000	.0000
15.	.00	1.0000	.0000
20.	.00	1.0000	.0000
25.	.00	1.0000	.0000
30.	.00	1.0000	.0000
35.	.00	1.0000	.0000
40.	.00	1.0000	.0000
45.	.00	1.0000	.0000
50.	.00	1.0000	.0000
55.	.10	1.0000	.0000
60.	.20	1.0000	.0000
65.	.60	.9990	.0010
70.	.80	.9962	.0038
75.	1.20	.9810	.0190
80.	1.60	.9509	.0491
90.	2.40	.8575	.1425
100.	3.60	.6952	.3048
120.	6.30	.4403	.5597
200.	22.00	.0304	.9696

TABELA 5.15

PROBABILIDADE DE OCORRENCIA DE DESCARGA ATMOSFERICA
COM TEMPO DE FRENTE DE ONDA INFERIOR AO LIMITE.

TENSÃO CRÍTICA DE DESCARGA A SECO = 605 KV
ONDA NEGATIVA E ALFA = 2
RESISTENCIA DE ATEPRAMENTO = 50 OHM

INTENSIDADE DE CORRENTE DE DESCARGA I (KA)	TEMPO DE FRENTE DE ONDA LIMITE T (μ S)	PROBABILIDADE DE OCORRENCIA DE FRENTE DE ONDA MAIOR QUE T	PROBABILIDADE DE OCORRENCIA DE FRENTE DE ONDA MENOR QUE T
5.	.00	1.0000	.0000
10.	.00	1.0000	.0000
15.	.00	1.0000	.0000
20.	.00	1.0000	.0000
25.	.00	1.0000	.0000
30.	.00	1.0000	.0000
35.	.50	.9996	.0004
40.	1.10	.9862	.0138
45.	2.00	.9083	.0917
50.	2.50	.8441	.1559
55.	3.80	.6699	.3301
60.	4.50	.5899	.4101
65.	6.00	.4624	.5376
70.	7.00	.3910	.6090
75.	8.20	.3162	.6838
80.	9.50	.2497	.7503
90.	12.40	.1478	.8522
100.	16.00	.0791	.9209
120.	24.00	.0226	.9774
200.	65.00	.0003	.9997

TABELA 5.16

PROBABILIDADE DE INCIDENCIA DE DESCARGA ATMOSFERICA
COM TEMPO DE FRENTE DE ONDA INFERIOR AO LIMITE.

TENSÃO CRÍTICA DE DESCARGA A SECO = 685 KV

ONDA NEGATIVA E ALFA = 2

RESISTENCIA DE ATERRAMENTO = 20 OHM

INTENSIDADE DE CORRENTE DE DESCARGA I (KA)	TEMPO DE FRENTE DE ONDA LIMITE T (μ S)	PROBABILIDADE DE OCORRENCIA DE FRENTE DE ONDA MAIOR QUE T	PROBABILIDADE DE OCORRENCIA DE FRENTE DE ONDA MENOR QUE T
5.	.70	1.0000	.0000
10.	.80	1.0000	.0000
15.	.90	1.0000	.0000
20.	.90	1.0000	.0000
25.	.90	1.0000	.0000
30.	.90	1.0000	.0000
35.	.90	1.0000	.0000
40.	.90	1.0000	.0000
45.	.90	1.0000	.0000
50.	.90	1.0000	.0000
55.	.90	1.0000	.0000
60.	.90	1.0000	.0000
65.	.90	1.0000	.0000
70.	.20	1.0000	.0000
75.	.60	.9990	.0010
80.	.80	.9962	.0038
90.	1.60	.9509	.0491
100.	2.50	.8441	.1559
120.	5.00	.5414	.4586
200.	17.00	.0669	.9331

TABELA 5.17

PROBABILIDADE DE INCIDENCIA DE DESCARGA ATMOSFERICA
COM TEMPO DE FRENTE DE ONDA INFERIOR AO LIMITE.

TENSÃO CRÍTICA DE DESCARGA A SECO = 685 KV

ONDA NEGATIVA E ALFA = 2

RESISTÊNCIA DE ATERRAMENTO = 50 OHM

INTENSIDADE DE CORRENTE DE DESCARGA I (KA)	TEMPO DE FRENTE DE ONDA LIMITE T (μ S)	PROBABILIDADE DE OCORRÊNCIA DE FRENTE DE ONDA MAIOR QUE T	PROBABILIDADE DE OCORRÊNCIA DE FRENTE DE ONDA MENOR QUE T
5.	.00	1.0000	.0000
10.	.00	1.0000	.0000
15.	.00	1.0000	.0000
20.	.00	1.0000	.0000
25.	.00	1.0000	.0000
30.	.00	1.0000	.0000
35.	.00	1.0000	.0000
40.	.20	1.0000	.0000
45.	1.20	.9810	.0190
50.	1.50	.9500	.0491
55.	2.50	.8441	.1559
60.	3.10	.7617	.2383
65.	4.20	.6225	.3775
70.	5.00	.5414	.4586
75.	6.00	.4624	.5376
80.	6.80	.4047	.5953
90.	8.80	.3837	.7163
100.	11.20	.1833	.8167
120.	16.50	.0727	.9273
200.	42.00	.0023	.9977

TABELA 5.18

PROBABILIDADE DE INCIDENCIA DE DESCARGA ATMOSFERICA
COM TEMPO DE FRENTE DE ONDA INFERIOR AO LIMITE.

TENSAO CRITICA DE DESCARGA A SECO = 685 KV
ONDA NEGATIVA E ALFA = 2
RESISTENCIA DE ATERRAMENTO = 100 OHM

INTENSIDADE DE CORRENTE DE DESCARGA I (KA)	TEMPO DE FRENTE DE ONDA LIMITE T (μ S)	PROBABILIDADE DE OCORRENCIA DE FRENTE DE ONDA MAIOR QUE T	PROBABILIDADE DE OCORRENCIA DE FRENTE DE ONDA MENOR QUE T
5.	.00	1.0000	.0000
10.	.00	1.0000	.0000
15.	.00	1.0000	.0000
20.	.00	1.0000	.0000
25.	.00	1.0000	.0000
30.	.40	.9999	.0001
35.	2.00	.9083	.0917
40.	2.50	.8441	.1559
45.	4.10	.6346	.3654
50.	5.00	.5414	.4586
55.	7.20	.3910	.6090
60.	8.00	.3277	.6723
65.	10.00	.2280	.7720
70.	11.00	.1901	.8099
75.	14.00	.1114	.8886
80.	15.00	.0937	.9063
90.	18.20	.0550	.9450
100.	22.00	.0304	.9696
120.	32.00	.0076	.9924
200.	60.00	.0001	.9999

5.4- Probabilidade de Incidência de Descargas que causam Defeitos

A combinação das probabilidades já obtidas, nos darão a probabilidade requerida, em função da tensão crítica de descarga a seco (número de isoladores) e da resistência de aterramento, considerando o impulso negativo, coeficiente alfa igual a 2 e a faixa de estudo como tendo 1000 metros de largura.

A obtenção destes valores se resume ao produto das pro babilidades já obtidas, logo:

$$P = P_I \times P_L \times P_T \quad (5.23)$$

O programa MSØ9, mostrado em anexo, calcula e tabula es tes valores, para diferentes valores de tensão crítica de descar ga a seco e resistências de aterramento. A seguir, apresentamos as tabelas com os valores em questão.

TABELA 5.19

PROBABILIDADE DE INCIDENCIA DE DESCARGA ATMOSFERICA
QUE ACARRETE DEFEITO.

TENSAO CRITICA DE DESCARGA A SECO = 375. KV

ONDA NEGATIVA E ALFA = 2

RESISTENCIA DE ATERRAMENTO = 10. OHM

INTENSIDADE DE CORRENTE DE DESCARGA I (KA)	PROBABILIDADE DE INCIDENCIA DE DESCARGA COM INTENSIDADE DE I	PROBABILIDADE DE INCIDENCIA DE DESCARGA SORRE A REDE ELETRIFICADA	PROBABILIDADE DE INCIDENCIA DE DESCARGA TEMPO FRENTE MENOR LIMITE	PROBABILIDADE DE INCIDENCIA DE DESCARGA QUE ACARRETE DEFEITO (x10 ⁻³)
5.	.0001	.0427	.0000	.000
10.	.0136	.0561	.0000	.000
15.	.0769	.0652	.0000	.000
20.	.1388	.0724	.0000	.000
25.	.1492	.0784	.0000	.000
30.	.1214	.0836	.0000	.000
35.	.1018	.0883	.0000	.000
40.	.0924	.0925	.0000	.000
45.	.0764	.0964	.0000	.000
50.	.0598	.1000	.0000	.000
55.	.0453	.1033	.0000	.000
60.	.0337	.1065	.0000	.000
65.	.0247	.1095	.0000	.000
70.	.0180	.1123	.0000	.000
75.	.0130	.1150	.0190	.028
80.	.0094	.1176	.0691	.076
90.	.0118	.1224	.2246	.324
100.	.0062	.1269	.4101	.323
120.	.0052	.1351	.6781	.476
200.	.0023	.1607	.9901	.366

PROBABILIDADE TOTAL DE DEFEITO = 1.5942 E-3 101.

TABELA 5.20

PROBABILIDADE DE INCIDENCIA DE DESCARGA ATMOSFERICA
QUE ACARRETE DEFEITO.

TENSAO CRITICA DE DESCARGA A SECO = 375. KV

ONDA NEGATIVA E ALFA = 2

RESISTENCIA DE ATERRAMENTO = 20. OHM

INTENSIDADE DE CORRENTE DE DESCARGA I (KA)	PROBABILIDADE DE INCIDENCIA DE DESCARGA COM INTENSIDADE DE I	PROBABILIDADE DE INCIDENCIA DE DESCARGA SOBRE A REDE ELETRIFICADA	PROBABILIDADE DE INCIDENCIA DE DESCARGA TEMPO FRENTE MENOR LIMITE	PROBABILIDADE DE INCIDENCIA DE DESCARGA QUE ACARRETE DEFEITO ($\times 10^{-3}$)
5.	.0001	.0427	.0000	.000
10.	.0136	.0561	.0000	.000
15.	.0769	.0652	.0000	.000
20.	.1388	.0724	.0000	.000
25.	.1492	.0784	.0000	.000
30.	.1214	.0836	.0000	.000
35.	.1018	.0883	.0000	.000
40.	.0924	.0925	.0000	.000
45.	.0764	.0964	.0096	.071
50.	.0598	.1000	.0587	.351
55.	.0453	.1033	.1695	.793
60.	.0337	.1065	.2787	1.000
65.	.0247	.1095	.4101	1.109
70.	.0180	.1123	.4675	.945
75.	.0130	.1150	.6090	.910
80.	.0094	.1176	.6723	.743
90.	.0118	.1224	.7802	1.127
100.	.0062	.1269	.8886	.699
120.	.0052	.1351	.9600	.674
200.	.0023	.1607	.9997	.369

PROBABILIDADE TOTAL DE DEFEITO = 8.7929 E-3 102.

TABELA 5.21

PROBABILIDADE DE INCIDENCIA DE DESCARGA ATMOSFERICA
QUE ACARRETE DEFEITO.

TENSAO CRITICA DE DESCARGA A SECO = 445. KV

ONDA NEGATIVA E ALFA = 2

RESISTENCIA DE ATERRAMENTO = 10. OHM

INTENSIDADE DE CORRENTE DE DESCARGA I (KA)	PROBABILIDADE DE INCIDENCIA DE DESCARGA COM INTENSIDADE DE I	PROBABILIDADE DE INCIDENCIA DE DESCARGA SOBRE A REDE ELETRIFICADA	PROBABILIDADE DE INCIDENCIA DE DESCARGA TEMPO FRENTE MENOR LIMITE	PROBABILIDADE DE INCIDENCIA DE DESCARGA QUE ACARRETE DEFEITO ($\times 10^{-3}$)
5.	.0001	.0427	.0000	.000
10.	.0136	.0561	.0000	.000
15.	.0769	.0652	.0000	.000
20.	.1388	.0724	.0000	.000
25.	.1492	.0784	.0000	.000
30.	.1214	.0836	.0000	.000
35.	.1018	.0883	.0000	.000
40.	.0924	.0925	.0000	.000
45.	.0764	.0964	.0000	.000
50.	.0598	.1000	.0000	.000
55.	.0453	.1033	.0000	.000
60.	.0337	.1065	.0000	.000
65.	.0247	.1095	.0000	.000
70.	.0180	.1123	.0000	.000
75.	.0130	.1150	.0000	.000
80.	.0094	.1176	.0001	.000
90.	.0118	.1224	.0251	.036
100.	.0062	.1269	.1293	.102
120.	.0052	.1351	.4586	.322
200.	.0023	.1607	.9468	.350

PROBABILIDADE TOTAL DE DEFEITO = .8102 E-3 103.

TABELA 5.22

PROBABILIDADE DE INCIDENCIA DE DESCARGA ATMOSFERICA
QUE ACARRETE DEFEITO.

TENSAO CRITICA DE DESCARGA A SECO = 445. KV
ONDA NEGATIVA E ALFA = 2
RESISTENCIA DE ATERRAMENTO = 20. OHM

INTENSIDADE DE CORRENTE DE DESCARGA I (KA)	PROBABILIDADE DE INCIDENCIA DE DESCARGA COM INTENSIDADE DE I	PROBABILIDADE DE INCIDENCIA DE DESCARGA SOBRE A REDE ELETRIFICADA	PROBABILIDADE DE INCIDENCIA DE DESCARGA TEMPO FRENTE MENOR LIMITE	PROBABILIDADE DE INCIDENCIA DE DESCARGA QUE ACARRETE DEFEITO (10 ⁻³)
5.	.0001	.0427	.0000	.000
10.	.0136	.0561	.0000	.000
15.	.0769	.0652	.0000	.000
20.	.1388	.0724	.0000	.000
25.	.1492	.0784	.0000	.000
30.	.1214	.0836	.0000	.000
35.	.1018	.0883	.0000	.000
40.	.0924	.0925	.0000	.000
45.	.0764	.0964	.0000	.000
50.	.0598	.1000	.0038	.023
55.	.0453	.1033	.0322	.151
60.	.0337	.1065	.0691	.248
65.	.0247	.1095	.1559	.422
70.	.0180	.1123	.2246	.454
75.	.0130	.1150	.2919	.436
80.	.0094	.1176	.4204	.465
90.	.0118	.1224	.5451	.787
100.	.0062	.1269	.6950	.547
120.	.0052	.1351	.8805	.619
200.	.0023	.1607	.9971	.369

PROBABILIDADE TOTAL DE DEFEITO = 4.5194 E-3

TABELA 5.23

PROBABILIDADE DE INCIDENCIA DE DESCARGA ATMOSFERICA
QUE ACARRETE DEFEITO.

TENSAO CRITICA DE DESCARGA A SECO = 445. KV

ONDA NEGATIVA E ALFA = 2

RESISTENCIA DE ATERRAMENTO = 50. OHM

INTENSIDADE DE CORRENTE DE DESCARGA I (KA)	PROBABILIDADE DE INCIDENCIA DE DESCARGA COM INTENSIDADE DE I	PROBABILIDADE DE INCIDENCIA DE DESCARGA SOBRE A REDE ELETRIFICADA	PROBABILIDADE DE INCIDENCIA DE DESCARGA TEMPO FRENTE MENOR LIMITE	PROBABILIDADE DE INCIDENCIA DE DESCARGA QUE ACARRETE DEFEITO ($\times 10^{-3}$)
5.	.0001	.0427	.0000	.000
10.	.0136	.0561	.0000	.000
15.	.0769	.0652	.0000	.000
20.	.1388	.0724	.0000	.000
25.	.1492	.0784	.0000	.000
30.	.1214	.0836	.0138	.140
35.	.1018	.0883	.1164	1.046
40.	.0924	.0925	.2246	1.920
45.	.0764	.0964	.3886	2.862
50.	.0598	.1000	.5000	2.990
55.	.0453	.1033	.6090	2.850
60.	.0337	.1065	.7265	2.607
65.	.0247	.1095	.8099	2.190
70.	.0180	.1123	.8672	1.753
75.	.0130	.1150	.9209	1.377
80.	.0094	.1176	.9432	1.043
90.	.0118	.1224	.9774	1.412
100.	.0062	.1269	.9901	.779
120.	.0052	.1351	.9977	.701
200.	.0023	.1607	1.0000	.370

PROBABILIDADE TOTAL DE DEFEITO = 24.0393 E-3 105.

TABELA 5.24

PROBABILIDADE DE INCIDENCIA DE DESCARGA ATMOSFERICA
QUE ACARRETE DEFEITO.

TENSAO CRITICA DE DESCARGA A SECO = 525. KV

ONDA NEGATIVA E ALFA = 2

RESISTENCIA DE ATERRAMENTO = 10. OHM

INTENSIDADE DE CORRENTE DE DESCARGA I (KA)	PROBABILIDADE DE INCIDENCIA DE DESCARGA COM INTENSIDADE DE I	PROBABILIDADE DE INCIDENCIA DE DESCARGA SORRE A REDE ELETIFICADA	PROBABILIDADE DE INCIDENCIA DE DESCARGA TEMPO FRENTE MENOR LIMITE	PROBABILIDADE DE INCIDENCIA DE DESCARGA QUE ACARRETE DEFEITO (x10 ⁻³)
5.	.0001	.0427	.0000	.000
10.	.0136	.0561	.0000	.000
15.	.0769	.0652	.0000	.000
20.	.1388	.0724	.0000	.000
25.	.1492	.0784	.0000	.000
30.	.1214	.0836	.0000	.000
35.	.1018	.0883	.0000	.000
40.	.0924	.0925	.0000	.000
45.	.0764	.0964	.0000	.000
50.	.0598	.1000	.0000	.000
55.	.0453	.1033	.0000	.000
60.	.0337	.1065	.0000	.000
65.	.0247	.1095	.0000	.000
70.	.0180	.1123	.0000	.000
75.	.0130	.1150	.0000	.000
80.	.0094	.1176	.0000	.000
90.	.0118	.1224	.0001	.000
100.	.0062	.1269	.0096	.008
120.	.0052	.1351	.1425	.100
200.	.0023	.1607	.3775	.140

PROBABILIDADE TOTAL DE DEFEITO = .2473 E-3 106.

TABELA 5.25

PROBABILIDADE DE INCIDENCIA DE DESCARGA ATMOSFERICA
QUE ACARRETE DEFEITO.

TENSAO CRITICA DE DESCARGA A SECO = 525. KV

ONDA NEGATIVA E ALFA = 2

RESISTENCIA DE ATERRAMENTO = 20. OHM

INTENSIDADE DE CORRENTE DE DESCARGA I (KA)	PROBABILIDADE DE INCIDENCIA DE DESCARGA COM INTENSIDADE DE J	PROBABILIDADE DE INCIDENCIA DE DESCARGA SORRE A REDE ELETRIFICADA	PROBABILIDADE DE INCIDENCIA DE DESCARGA TEMPO FRENTE MENOR LIMITE	PROBABILIDADE DE INCIDENCIA DE DESCARGA QUE ACARRETE DEFEITO (x10 ⁻³)
5.	.0001	.0427	.0000	.000
10.	.0136	.0561	.0000	.000
15.	.0769	.0652	.0000	.000
20.	.1388	.0724	.0000	.000
25.	.1492	.0784	.0000	.000
30.	.1214	.0836	.0000	.000
35.	.1018	.0883	.0000	.000
40.	.0924	.0925	.0000	.000
45.	.0764	.0964	.0000	.000
50.	.0598	.1000	.0000	.000
55.	.0453	.1033	.0004	.002
60.	.0337	.1065	.0038	.014
65.	.0247	.1095	.0190	.051
70.	.0180	.1123	.0402	.081
75.	.0130	.1150	.1164	.174
80.	.0094	.1176	.1559	.172
90.	.0118	.1224	.3048	.440
100.	.0062	.1269	.4843	.381
120.	.0052	.1351	.7265	.510
200.	.0023	.1607	.9901	.366

PROBABILIDADE TOTAL DE DEFEITO = 2.1921 E-3

TABELA 5.26

PROBABILIDADE DE INCIDENCIA DE DESCARGA ATMOSFERICA
QUE ACARRETE DEFEITO.

TENSAO CRITICA DE DESCARGA A SECO = 525. KV

ONDA NEGATIVA E ALFA = 2

RESISTENCIA DE ATERRAMENTO = 50. OHM

INTENSIDADE DE CORRENTE DE DESCARGA I (KA)	PROBABILIDADE DE INCIDENCIA DE DESCARGA COM INTENSIDADE DE I	PROBABILIDADE DE INCIDENCIA DE DESCARGA SORRE A REDE ELETRIFICADA	PROBABILIDADE DE INCIDENCIA DE DESCARGA TEMPO FRENTE MENOR LIMITE	PROBABILIDADE DE INCIDENCIA DE DESCARGA QUE ACARRETE DEFEITO (x10 ⁻³)
5.	.0001	.0427	.0000	.000
10.	.0136	.0561	.0000	.000
15.	.0769	.0652	.0000	.000
20.	.1388	.0724	.0000	.000
25.	.1492	.0784	.0000	.000
30.	.1214	.0836	.0004	.004
35.	.1018	.0883	.0691	.621
40.	.0924	.0925	.0917	.784
45.	.0764	.0964	.2383	1.755
50.	.0598	.1000	.3543	2.119
55.	.0453	.1033	.5000	2.340
60.	.0337	.1065	.5670	2.035
65.	.0247	.1095	.6723	1.818
70.	.0180	.1123	.7265	1.469
75.	.0130	.1150	.8099	1.211
80.	.0094	.1176	.8522	.942
90.	.0118	.1224	.9209	1.330
100.	.0062	.1269	.9587	.754
120.	.0052	.1351	.9852	.692
200.	.0023	.1607	.9998	.370

PROBABILIDADE TOTAL DE DEFEITO = 18.2432 E-3

TABELA 5.27

PROBABILIDADE DE INCIDENCIA DE DESCARGA ATMOSFERICA
QUE ACARRETE DEFEITO.

TENSAO CRITICA DE DESCARGA A SECO = 605. KV

ONDA NEGATIVA E ALFA = 2

RESISTENCIA DE ATERRAMENTO = 10. OHM

INTENSIDADE DE CORRENTE DE DESCARGA I (KA)	PROBABILIDADE DE INCIDENCIA DE DESCARGA COM INTENSIDADE DE I	PROBABILIDADE DE INCIDENCIA DE DESCARGA SORRE A REDE ELETRIFICADA	PROBABILIDADE DE INCIDENCIA DE DESCARGA TEMPO FRENTE MENOR LIMITE	PROBABILIDADE DE INCIDENCIA DE DESCARGA QUE ACARRETE DEFEITO ($\times 10^{-3}$)
5.	.0001	.0427	.0000	.000
10.	.0136	.0561	.0000	.000
15.	.0769	.0652	.0000	.000
20.	.1388	.0724	.0000	.000
25.	.1492	.0784	.0000	.000
30.	.1214	.0836	.0000	.000
35.	.1018	.0883	.0000	.000
40.	.0924	.0925	.0000	.000
45.	.0764	.0964	.0000	.000
50.	.0598	.1000	.0000	.000
55.	.0453	.1033	.0000	.000
60.	.0337	.1065	.0000	.000
65.	.0247	.1095	.0000	.000
70.	.0180	.1123	.0000	.000
75.	.0130	.1150	.0000	.000
80.	.0094	.1176	.0000	.000
90.	.0118	.1224	.0000	.000
100.	.0062	.1269	.0000	.000
120.	.0052	.1351	.0190	.013
200.	.0023	.1607	.6838	.253

PROBABILIDADE TOTAL DE DEFEITO = .2661 E-3 109.

TABELA 5.28

PROBABILIDADE DE INCIDENCIA DE DESCARGA ATMOSFERICA
QUE ACARRETE DEFEITO.

TENSAO CRITICA DE DESCARGA A SECO = 605. KV

ONDA NEGATIVA E ALFA = 2

RESISTENCIA DE ATERRAMENTO = 20. OHM

INTENSIDADE DE CORRENTE DE DESCARGA I (KA)	PROBABILIDADE DE INCIDENCIA DE DESCARGA COM INTENSIDADE DE I	PROBABILIDADE DE INCIDENCIA DE DESCARGA SORRE A REDE ELETRIFICADA	PROBABILIDADE DE INCIDENCIA DE DESCARGA TEMPO FRENTE MENOR LIMITE	PROBABILIDADE DE INCIDENCIA DE DESCARGA QUE ACARRETE DEFEITO ($\times 10^{-3}$)
5.	.0001	.0427	.0000	.000
10.	.0136	.0561	.0000	.000
15.	.0769	.0652	.0000	.000
20.	.1388	.0724	.0000	.000
25.	.1492	.0784	.0000	.000
30.	.1214	.0836	.0000	.000
35.	.1018	.0883	.0000	.000
40.	.0924	.0925	.0000	.000
45.	.0764	.0964	.0000	.000
50.	.0598	.1000	.0000	.000
55.	.0453	.1033	.0000	.000
60.	.0337	.1065	.0000	.000
65.	.0247	.1095	.0010	.003
70.	.0180	.1123	.0038	.008
75.	.0130	.1150	.0190	.028
80.	.0094	.1176	.0491	.054
90.	.0118	.1224	.1425	.206
100.	.0062	.1269	.3048	.240
120.	.0052	.1351	.5597	.393
200.	.0023	.1607	.9696	.358

PROBABILIDADE TOTAL DE DEFEITO = 1.2903 E-3

TABELA 5.29

PROBABILIDADE DE INCIDENCIA DE DESCARGA ATMOSFERICA
QUE ACARRETE DEFEITO.

TENSAO CRITICA DE DESCARGA A SECO = 605. KV

ONDA NEGATIVA E ALFA = 2

RESISTENCIA DE ATERRAMENTO = 50. OHM

INTENSIDADE DE CORRENTE DE DESCARGA I (KA)	PROBABILIDADE DE INCIDENCIA DE DESCARGA COM INTENSIDADE DE I	PROBABILIDADE DE INCIDENCIA DE DESCARGA SORBE A REDE ELETRIFICADA	PROBABILIDADE DE INCIDENCIA DE DESCARGA TEMPO FRENTE MENOR LIMITE	PROBABILIDADE DE INCIDENCIA DE DESCARGA QUE ACARRETE DEFEITO (x10 ⁻³)
5.	.0001	.0427	.0000	.000
10.	.0136	.0561	.0000	.000
15.	.0769	.0652	.0000	.000
20.	.1388	.0724	.0000	.000
25.	.1492	.0784	.0000	.000
30.	.1214	.0836	.0000	.000
35.	.1018	.0883	.0004	.004
40.	.0924	.0925	.0138	.118
45.	.0764	.0964	.0917	.675
50.	.0598	.1000	.1559	.932
55.	.0453	.1033	.3301	1.545
60.	.0337	.1065	.4101	1.472
65.	.0247	.1095	.5376	1.454
70.	.0180	.1123	.6090	1.231
75.	.0130	.1150	.6838	1.022
80.	.0094	.1176	.7503	.829
90.	.0118	.1224	.8522	1.231
100.	.0062	.1269	.9209	.725
120.	.0052	.1351	.9774	.687
200.	.0023	.1607	.9997	.369

PROBABILIDADE TOTAL DE DEFEITO = 12.2940 E-3

TABELA 5.30

PROBABILIDADE DE INCIDENCIA DE DESCARGA ATMOSFERICA
QUE ACARRETE DEFEITO.

TENSAO CRITICA DE DESCARGA A SECO = 685. KV

ONDA NEGATIVA E ALFA = 2

RESISTENCIA DE ATERRAMENTO = 20. OHM

INTENSIDADE DE CORRENTE DE DESCARGA I (KA)	PROBABILIDADE DE INCIDENCIA DE DESCARGA COM INTENSIDADE DE I	PROBABILIDADE DE INCIDENCIA DE DESCARGA CORRE A REDE ELETRIFICADA	PROBABILIDADE DE INCIDENCIA DE DESCARGA TEMPO FRENTE MENOR LIMITE	PROBABILIDADE DE INCIDENCIA DE DESCARGA QUE ACARRETE DEFEITO ($\times 10^{-3}$)
5.	.0001	.0427	.0000	.000
10.	.0136	.0561	.0000	.000
15.	.0769	.0652	.0000	.000
20.	.1388	.0724	.0000	.000
25.	.1492	.0784	.0000	.000
30.	.1214	.0836	.0000	.000
35.	.1018	.0883	.0000	.000
40.	.0924	.0925	.0000	.000
45.	.0764	.0964	.0000	.000
50.	.0598	.1000	.0000	.000
55.	.0453	.1033	.0000	.000
60.	.0337	.1065	.0000	.000
65.	.0247	.1095	.0000	.000
70.	.0180	.1123	.0000	.000
75.	.0130	.1150	.0010	.001
80.	.0094	.1176	.0038	.004
90.	.0118	.1224	.0491	.071
100.	.0062	.1269	.1559	.123
120.	.0052	.1351	.4586	.322
200.	.0023	.1607	.9331	.345

PROBABILIDADE TOTAL DE DEFEITO = .8663 E-3 112.

TABELA 5.31

PROBABILIDADE DE INCIDENCIA DE DESCARGA ATMOSFERICA
QUE ACARRETE DEFEITO.

TENSAO CRITICA DE DESCARGA A SECO = 685. KV

ONDA NEGATIVA E ALFA = 2

RESISTENCIA DE ATERRAMENTO = 50. OHM

INTENSIDADE DE CORRENTE DE DESCARGA I (KA)	PROBABILIDADE DE INCIDENCIA DE DESCARGA COM INTENSIDADE DE I	PROBABILIDADE DE INCIDENCIA DE DESCARGA SOBRE A REDE ELETRIFICADA	PROBABILIDADE DE INCIDENCIA DE DESCARGA TEMPO FRENTE MENOR LIMITE	PROBABILIDADE DE INCIDENCIA DE DESCARGA QUE ACARRETE DEFEITO ($\times 10^{-3}$)
5.	.0001	.0427	.0000	.000
10.	.0136	.0561	.0000	.000
15.	.0769	.0652	.0000	.000
20.	.1388	.0724	.0000	.000
25.	.1492	.0784	.0000	.000
30.	.1214	.0836	.0000	.000
35.	.1018	.0883	.0000	.000
40.	.0924	.0925	.0000	.000
45.	.0764	.0964	.0190	.140
50.	.0598	.1000	.0491	.294
55.	.0453	.1033	.1559	.730
60.	.0337	.1065	.2383	.855
65.	.0247	.1095	.3775	1.021
70.	.0180	.1123	.4586	.927
75.	.0130	.1150	.5376	.804
80.	.0094	.1176	.5953	.658
90.	.0118	.1224	.7163	1.035
100.	.0062	.1269	.8167	.643
120.	.0052	.1351	.9273	.651
200.	.0023	.1607	.9977	.369

PROBABILIDADE TOTAL DE DEFEITO = 8.1255×10^{-3} 113.

TABELA 5.32

PROBABILIDADE DE INCIDENCIA DE DESCARGA ATMOSFERICA
QUE ACARRETE DEFEITO.

TENSAO CRITICA DE DESCARGA A SECO = 685. KV

ONDA NEGATIVA E ALFA = 2

RESISTENCIA DE ATERRAMENTO = 100. OHM

INTENSIDADE DE CORRENTE DE DESCARGA I (KA)	PROBABILIDADE DE INCIDENCIA DE DESCARGA COM INTENSIDADE DE I	PROBABILIDADE DE INCIDENCIA DE DESCARGA SORRE A REDE ELETRIFICADA	PROBABILIDADE DE INCIDENCIA DE DESCARGA TEMPO FRENTE MENOR LIMITE	PROBABILIDADE DE INCIDENCIA DE DESCARGA QUE ACARRETE DEFEITO (x10 ⁻³)
5.	.0001	.0427	.0000	.000
10.	.0136	.0561	.0000	.000
15.	.0769	.0652	.0000	.000
20.	.1388	.0724	.0000	.000
25.	.1492	.0784	.0000	.000
30.	.1214	.0836	.0001	.001
35.	.1018	.0883	.0917	.824
40.	.0924	.0925	.1559	1.332
45.	.0764	.0964	.3660	2.696
50.	.0598	.1000	.4586	2.742
55.	.0453	.1033	.6090	2.850
60.	.0337	.1065	.6723	2.413
65.	.0247	.1095	.7720	2.088
70.	.0180	.1123	.8099	1.637
75.	.0130	.1150	.8886	1.328
80.	.0094	.1176	.9063	1.002
90.	.0118	.1224	.9450	1.365
100.	.0062	.1269	.9696	.763
120.	.0052	.1351	.9924	.697
200.	.0023	.1607	.9999	.370

PROBABILIDADE TOTAL DE DEFEITO = 22.1084 E-3

6. NÚMERO DE DEFEITOS NA REDE AÉREA PROVOCADOS POR DESCARGA
ATMOSFÉRICAS DIRETAS

Neste item, procuramos levantar o número de defeito esperados na rede aérea, provocados pela incidência de descarga atmosféricas diretas para todas as cadeias estudadas, em função da resistência de aterramento das estruturas.

Do item 5, podemos compor a tabela 6.1, a seguir, onde apresentamos as probabilidades totais de ocorrência de defeito na rede, para as cadeias estudadas, em função da resistência de aterramento.

TABELA 6.1

PROBABILIDADE TOTAL DE DEFEITO NA REDE $(\times 10^{-3})$					
RESISTÊNCIA DE ATERRAMENTO (Ω)	TENSÃO CRÍTICA DE DESCARGA A SECO (kV) NÚMERO DE ISOLADORES NA CADEIA				
	375 4	445 5	525 6	605 7	685 8
10	1,5942	0,8102	0,2473	0,2661	
20	8,7929	4,5194	2,1921	1,2903	0,8663
50	-	24,0393	18,2432	12,2940	8,1255
100	-	-	-	-	22,1084

Estas probabilidades expressam na realidade, o número de falhas correspondentes à incidência de 1 (uma) descarga atmosférica direta na faixa considerada no estudo de 1 km de largura. Assim, teremos para a probabilidade referente a 4 isoladores com resistência de aterramento de 10 Ω :

$$p = 1,5942 \times 10^{-3} \text{ falha.km/descarga}$$

Da referência [11] podemos obter a expressão abaixo, que relaciona o nível isoquerrânico da região com o número de descargas esperadas por km^2 e durante 1 (um) ano.

$$N = k \cdot q^{\alpha} \quad (6.1)$$

onde: n - número de descargas, por km^2 e por ano

q - nível isoquerrânico

k - coeficiente semi-empírico

α - coeficiente semi-empírico

Os coeficientes k e α , semi-empíricos, para linhas de alta tensão apresentam os seguintes valores:

$$\alpha = 1,0$$

$$0,1 < k < 0,2$$

No estudo em questão, o valor do nível isoquerânico adotado foi de 140, o maior do Brasil segundo [6], na região entre os Estados do Pará e Maranhão. Os valores adotados para α e k foram:

$$\alpha = 1,0$$

$$k = 0,125$$

Assim, teremos para a região estudada:

$$n = 0,125 \times 140^1$$

$$n = 17,5 \text{ descargas/km}^2 \cdot \text{ano}$$

O número de defeitos esperados para a cadeia de 4 (quatro) isoladores e resistência de 10Ω , será então:

$$d = p \cdot n \tag{6.2}$$

$$d = 1,5942 \times 10^{-3} \times 17,5$$

$$d = 0,0279 \text{ defeitos/km.ano}$$

Como normalmente este valor é expresso em defeito/100 km e por ano, teremos finalmente:

$$d = 2,79 \text{ defeito/100km.ano}$$

Generalizando para os outros valores da tabela 6.1, podemos obter a tabela 6.2, a seguir:

TABELA 6.2

NÚMERO DE DEFEITOS POR 100 km E POR ANO					
RESISTÊNCIA DE ATERRAMENTO (Ω)	TENSÃO CRÍTICA DE DESCARGA A SECO (kV) NÚMERO DE ISOLADORES DA CADEIA				
	375	445	525	605	685
	4	5	6	7	8
10	2,79	1,42	0,43	0,47	
20	15,39	7,91	3,84	2,26	1,52
50	-	42,07	31,93	21,57	14,22
100	-	-	-	-	38,69

Com os valores da tabela 6.2, podemos obter a figura 6.1, com o correlacionamento entre o número de defeitos por 100 km e por ano com a resistência de aterramento das estruturas, para cada cadeia estudada. Esta figura se encontra a seguir.

GRÁFICO — NUMEROS DE DEFEITOS POR 100 km POR ANO
VERSUS RESISTÊNCIA DE ATERRAMENTO PARA
DIVERSOS VALORES DE TENSÃO CRÍTICA DE
DESCARGA A SÊCO DAS CADEIAS

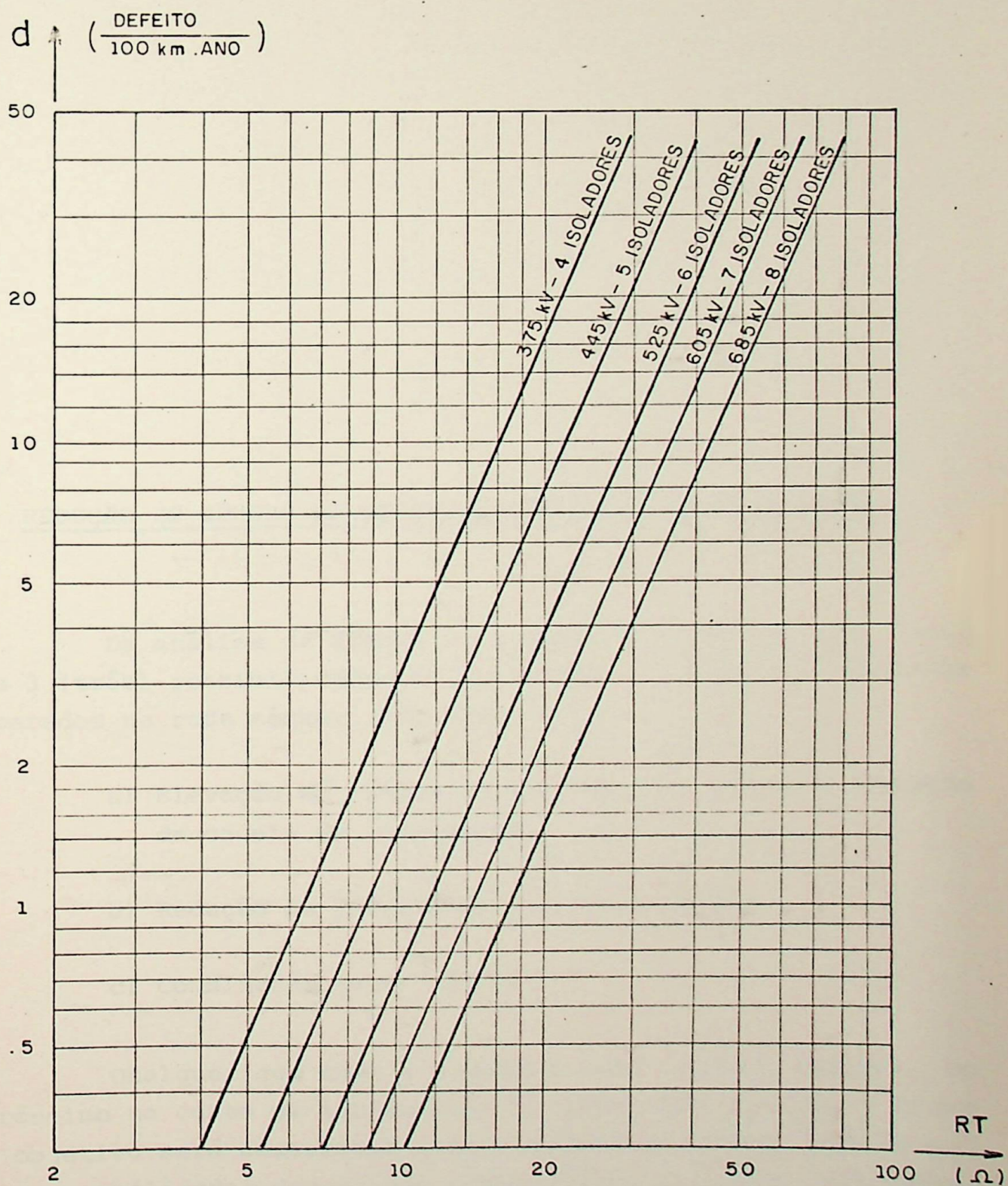


FIG. 6.1

7. REDUÇÃO DO NÚMERO DE DEFEITOS ESPERADOS NA REDE AÉREA

Da análise da figura 6.1, podemos verificar que existem 3 (três) possibilidades de se reduzir o número de defeitos esperados na rede aérea. São elas:

- a) Elevação do número de unidades de disco na formação da cadeia de isoladores.
- b) Redução da resistência de aterramento.
- c) Combinação de a) com b).

Qualquer que seja a possibilidade, haverá sempre um acrêscimo no custo de implantação da rede eletrificada. O nosso objetivo será determinar qual o acrêscimo menor, isto é, qual das possibilidades deverá ser adotada para se obter uma esperada redução do número de defeitos.

No caso de se reduzir a resistência de aterramento das estruturas, duas hipóteses podem ser abordadas:

b.1) Utilização de uma ou mais hastes de aterramento.

b.2) Utilização de contrapeso enterrado.

7.1- Levantamento dos Custos Unitários

Os custos adotados no presente estudo foram obtidos de [12] e sofreram correções através de índices inflacionários. Para tanto, fixamos estes índices em torno de 41% para cada um dos dois últimos anos. Assim, e considerando que este estudo [12] foi realizado a aproximadamente 2 anos, o fator de correção devido à inflação, será:

$$FC = 1,41 \times 1,41 \approx 2$$

7.1.1- Custo do Acréscimo de uma Unidade de Disco na Cadeia

O custo de uma unidade de disco, adotado em [12] foi de Cr\$112,50. Este valor se refere apenas ao custo direto. Para se ter o custo total, devemos multiplicar por 1,78, valor também obtido de [12]. Assim, teremos para acréscimos de uma unidade de disco, já corrigido, o valor:

$$\text{Cr\$}112,50 \times 1,78 \times 2 = \text{Cr\$}400,00$$

Considerando-se que utilizamos 2 (duas) cadeias por estrutura, o acréscimo de custo por estrutura para colocação de mais uma unidade de disco será de Cr\$800,00.

7.1.2- Custo da Haste de Aterramento

Também de [12] obtemos os custos dos materiais e total para se colocar uma haste no solo. Para valores da época:

- Custo da haste.....\$132,00
- Custo do cabo..... $45,00\$/\text{kg} \times 0,3\text{kg/m} \times 3\text{m} = \$40,50$
- Custo do conector.....\$30,00
- Custo do material.....\$202,00
- Custo total - $\$202,50 \times 1,78$\$360,00
- Custo total corrigido.....\$720,00

7.1.3- Custo do Contrapeso por Metro

Utilizamos para contrapeso, o cabo de aço galvanizado de 1/2" de diâmetro, enterrado a uma profundidade de 0,60m. Estes valores foram adotados tendo em vista simplificar o trabalho, uma vez que os valores de resistência de aterramento já foram determinados em [13]. Então, de [12] obtemos:

- Custo de 1 m de cabo contrapeso.....\$8,00
- Custo de instalação de 1 m.....\$8,00
- Custo total (material) - $\$8,00 \times 1,78 \approx$\$14,00
- Custo total (instalação) $\$8,00 \times 1,38 \approx$\$11,00
- Custo total.....\$25,00
- Custo total corrigido (1 metro).....\$50,00

7.2- Resistências de Aterramento Necessárias

Da figura 6.1, podemos obter os valores de resistências de aterramento necessárias para um esperado número de defeitos em função do número de isoladores das cadeias. Estes valores estão mostrados na tabela 7.1, abaixo:

TABELA 7.1

RESISTÊNCIAS DE ATERRAMENTO (OHM)					
NÚMERO DE DEFEITOS POR 100km/ano	Nº DE ISOLADORES DA CADEIA				
	4	5	6	7	8
1	6,2	8,6	11,6	14,2	17,0
2	7,5	11,2	16,2	18,6	23,0
3	10,0	13,6	18,0	22,0	26,0
4	11,0	15,0	20,2	25,0	29,0
5	12,1	16,6	23,0	27,0	32,0

Com estes valores, ou com a figura 6.1, podemos determinar as resistências de aterramento necessárias nas estruturas, de acordo com as cadeias utilizadas e para um esperado número de defeitos por 100km de rede e por ano.

7.3- Resistências de Aterramento para Estruturas Aterradas com Hastes

Os valores de resistências de aterramento para estruturas aterradas por hastes podem ser levantados pela expressão a baixo obtida de [13].

REDUÇÃO DA RESISTÊNCIA DE ATERRAMENTO
EM FUNÇÃO DO Nº DE HASTES E DO ESPAÇAMENTO

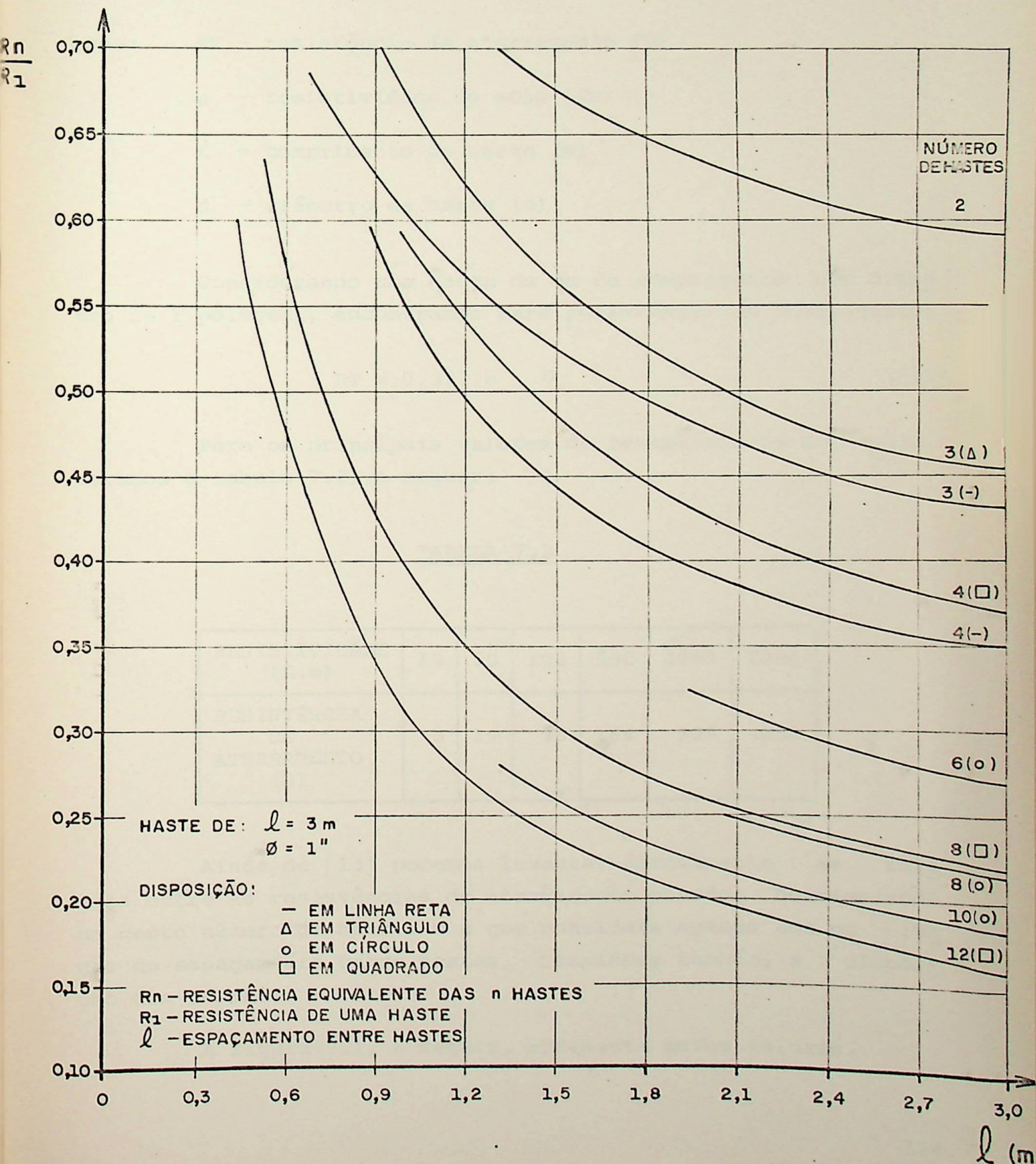


FIG. 7.1

$$R_T = \frac{\rho}{2\pi\ell} \ln \frac{4\ell}{d} \quad (7.1)$$

onde: R_T - resistência de aterramento (Ω)

ρ - resistividade do solo (Ωm)

ℓ - comprimento de haste (m)

d - diâmetro de haste (m)

Considerando uma haste de 3m de comprimento com diâmetro de 1 polegada, encontramos para resistência de aterramento:

$$R_T = 0,327 \cdot \rho \quad \Omega \quad (7.2)$$

Para os principais valores de resistividade do solo, teremos a tabela 7.2, a seguir:

TABELA 7.2

RESISTIVIDADE ($\Omega\cdot\text{m}$)	10	50	100	500	1000	2000
RESISTÊNCIA DE ATERRAMENTO (Ω)	3	16	33	164	327	654

Ainda de [13] podemos levantar diretamente as relações entre as resistências de aterramento obtidas considerando um certo número de hastes e a que considera apenas uma em função do espaçamento entre hastes. Considera também, a disposição das mesmas.

A figura 7.1, a seguir, apresenta estes valores.

7.4- Resistência de Aterramento para Estruturas Aterradas por Contrapeso

Os valores de resistências de aterramento para estruturas aterradas por contrapeso podem ser levantadas pelas expressões abaixo, obtidas de [13].

$$RT = \frac{\rho}{4\pi\ell} \left[\ln \frac{4\ell}{a} - 1 + \ln \frac{2\ell + \sqrt{S^2 + 4\ell^2}}{S} + \frac{S}{2\ell} - \frac{\sqrt{S^2 + 4\ell^2}}{2\ell} \right] \quad (7.3)$$

Para elevados valores de S/ℓ , teremos:

$$RT = \frac{\rho}{4\pi\ell} \left(\ln \frac{4\ell}{a} - 1 \right) + \frac{\rho}{4\pi S} \left(1 - \frac{\ell^2}{3S^2} + \frac{2}{5} \cdot \frac{\ell^4}{S^4} - \dots \right) \quad (7.4)$$

E para reduzidos valores de S/ℓ :

$$RT = \frac{\rho}{4\pi\ell} \left(\ln \frac{4\ell}{a} + \ln \frac{4\ell}{S} - 2 + \frac{S}{2\ell} - \frac{S^2}{16\ell^2} + \frac{S^4}{512\ell^4} \right) \quad (7.5)$$

onde: RT - resistência de aterramento (Ω)

ρ - resistividade do solo ($\Omega.m$)

ℓ - metade do comprimento (m)

a - raio do condutor (m)

S - dobro da profundidade (m)

Considerando-se o contrapeso constituído de cabo de aço galvanizado de 1/2" de diâmetro, enterrado a 0,60m de profundidade em solo homogêneo, podemos determinar os valores de resis

tência de aterramento, em função do comprimento do cabo e da resistividade do solo.

Assim, encontramos a tabela 7.3.

TABELA 7.3

VALORES DE RESISTÊNCIAS DE ATERRAMENTO (Ω)						
COMPRIMENTO DO CONTRAPESO (m)	RESISTIVIDADES DO SOLO (Ω .m)					
	10	50	100	500	1000	2000
15	1,00	5,0	10,0	50	100	200
23	0,75	3,7	7,5	37	75	150
30	0,60	3,0	6,0	30	60	120
38	0,50	2,5	5,0	25	50	100
46	0,40	2,1	4,2	21	42	84
54	0,36	1,8	3,6	18	36	72
60	0,33	1,6	3,3	16	33	66
70	0,30	1,5	3,0	15	30	60
76	0,27	1,3	2,7	13	27	54
83	0,25	1,2	2,5	12	25	50
91	0,23	1,1	2,3	11	23	46

A figura 7.2, a seguir, também apresenta estes valores.

RESISTÊNCIA DE ATERRAMENTO DO CONTRAPESO EM FUNÇÃO DO SEU COMPRIMENTO

TIPO - CABO DE AÇO GALVANIZADO DE 1/2" DE DIÂMETRO
SOLO - HOMOGENEO
PROFUNDIDADE - 0,60 m

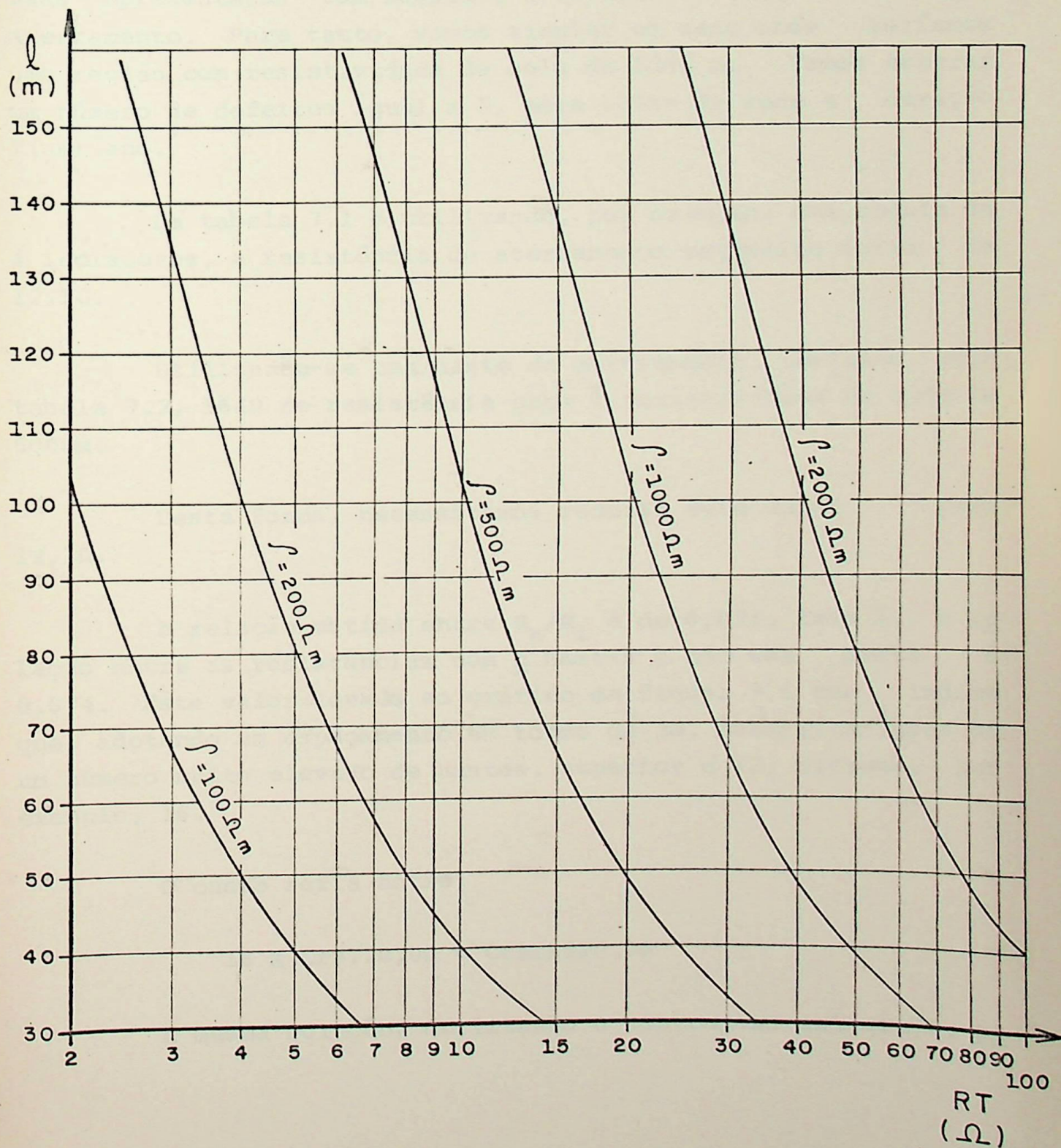


FIG. 7.2

7.5- Acréscimo de Custo para Reduzir o Número de Defeitos na Rede Aérea

Inicialmente, vamos pesquisar a melhor solução entre duas apresentadas com respeito a redução da resistência de aterramento. Para tanto, vamos simular um caso onde teríamos uma região com resistividade de solo de $500\Omega\text{ m}$. Vamos esperar um número de defeitos igual a 5, para 100km de rede e duração 1(um) ano.

Da tabela 7.1 e utilizando, por exemplo, uma cadeia de 4 isoladores, a resistência de aterramento requerida seria de $12,1\Omega$.

Utilizando-se uma haste de aterramento, teríamos pela tabela 7.2, 164Ω de resistência para a resistividade do solo de $500\Omega\text{m}$.

Desta forma, necessitamos reduzir este valor para $12,1\Omega$.

A relação obtida entre R_n/R_1 é de 0,074, isto é, a relação entre as resistências com n hastes e com uma haste é 0,074. Este valor levado ao gráfico da figura 7.1 nos indica que, adotando um espaçamento em torno de 3m, necessitaríamos de um número muito elevado de hastes, superior a 12, digamos, por exemplo, 16.

O custo seria então:

$$16 \times \text{Cr\$}720,00 = \text{Cr\$}11520,00$$

A mesma solução, utilizando o contrapeso enterrado, pe

la tabela 7.3 e ainda para 500Ωm, encontraríamos o comprimento de 82m.

O custo para o contrapeso seria:

$$82 \times \text{Cr\$}50,00 = \text{Cr\$}4100,00$$

A simples comparação de custos nos indica a solução de contrapeso para o problema. Porém, ainda persiste a dúvida quanto ao número de isoladores a ser utilizado em cada cadeia.

Então, para se conseguir 1(um) defeito por 100km e por ano, com a resistividade do solo ainda fixada em 500Ωm, podemos determinar o acréscimo do custo para a obtenção da resistência de aterramento necessária, de acordo com o número de isoladores da cadeia. A tabela 7.4 nos informa estes acréscimos.

TABELA 7.4

1 DEFEITO/100km.ano	UNIDADE	Nº DE ISOLADORES DA CADEIA				
		4	5	6	7	8
Resistência necessária (quadro 7.1)	Ω	6,2	8,6	11,6	14,2	17,0
Comprimento do contrapeso (quadro 7.3)	m	150	120	87	73	57
Custo do contrapeso	Cr\$	7500	6000	4350	3650	2850
Acréscimo de custo devido ao contrapeso	Cr\$	4650	3150	1500	800	0
Acréscimo de custo devido ao aumento do nº de iso- ladores	Cr\$	0	800	1600	2400	3200
Acréscimo total	Cr\$	4650	3950	3100	3200	3200

Analogamente, para dois defeitos por 100km e por ano, teremos a tabela 7.5:

TABELA 7.5

2 DEFEITOS/100km.ano	UNIDADE	Nº DE ISOLADORES DA CADEIA				
		4	5	6	7	8
Resistência necessária (quadro 7.1)	Ω	7,5	11,2	16,2	18,6	23,0
Comprimento do contrapeso (quadro 7.3)	m	130	91	60	53	42
Custo do contrapeso	Cr\$	6500	4550	3000	2650	2100
Acréscimo de custo devido ao contrapeso	Cr\$	4400	2450	900	550	0
Acréscimo de custo devido ao aumento do nº de isola dores	Cr\$	0	800	1600	2400	3200
Acréscimo total	Cr\$	4400	3250	2500	2950	3200

Para três defeitos por 100km e por ano, tabela 7.6.

TABELA 7.6

3 DEFEITOS/100km.ano	UNIDADE	Nº DE ISOLADORES DA CADEIA				
		4	5	6	7	8
Resistência necessária (quadro 7.1)		10,0	13,6	18,0	22,0	26,0
Comprimento do contrapeso (quadro 7.3)	m	100	74	54	43	36
Custo do contrapeso	Cr\$	5000	3700	2700	2150	1800
Acréscimo de custo devido ao contrapeso	Cr\$	3200	1900	900	350	0
Acréscimo de custo devido ao aumento do nº de isola dores	Cr\$	0	800	1600	2400	3200
Acréscimo total	Cr\$	3200	2700	2500	2750	3200

Para quatro defeitos por 100km e por ano, tabela 7.7.

TABELA 7.7

4 DEFEITOS/100km.ano	UNIDADE	Nº DE ISOLADORES DA CADEIA				
		4	5	6	7	8
Resistência necessária (quadro 7.1)	Ω	11,0	15,0	20,2	25,0	29,0
Comprimento do contrapeso (quadro 7.3)	m	91	70	49	38	32
Custo do contrapeso	Cr\$	4550	3500	2450	1900	1600
Acréscimo de custo devido ao contrapeso	Cr\$	2950	1900	850	300	0
Acréscimo de custo devido ao aumento do nº de isola dores	Cr\$	0	800	1600	2400	3200
Acréscimo total	Cr\$	2950	2700	2450	2700	3200

E finalmente, para cinco defeitos por 100km e por ano, tabela 7.8.

TABELA 7.8

5 DEFEITOS/100km.ano	UNIDADE	Nº DE ISOLADORES DA CADEIA				
		4	5	6	7	8
Resistência necessária (quadro 7.1)	Ω	12,1	16,6	23,0	27,0	32,0
Comprimento do contrapeso (quadro 7.3)	m	83	58	42	34	28
Custo do contrapeso	Cr\$	4150	2900	2100	1700	1400
Acrêscimo de custo devido ao contrapeso	Cr\$	2750	1500	700	300	0
Acrêscimo de custo devido ao aumento do nº de isola dores	Cr\$	0	800	1600	2400	3200
Acrêscimo total	Cr\$	2750	2300	2300	2700	3200

Com os acréscimos totais, podemos então compor a figura 7.3 onde salientamos por uma linha tracejada, os valores mínimos.

Verificamos que existe uma tendência à escolha de ca-
deias com 6(seis) unidades de disco, para o caso de manter o ní-
vel de defeitos em torno dos valores estudados, isto é, de 1
a 5.

ACRÉSCIMO DE CUSTO POR ESTRUTURA EM
FUNÇÃO DO NÚMERO DE ISOLADORES DAS
CADEIAS E DO NÚMERO DE DEFEITO POR
100 km E POR ANO.

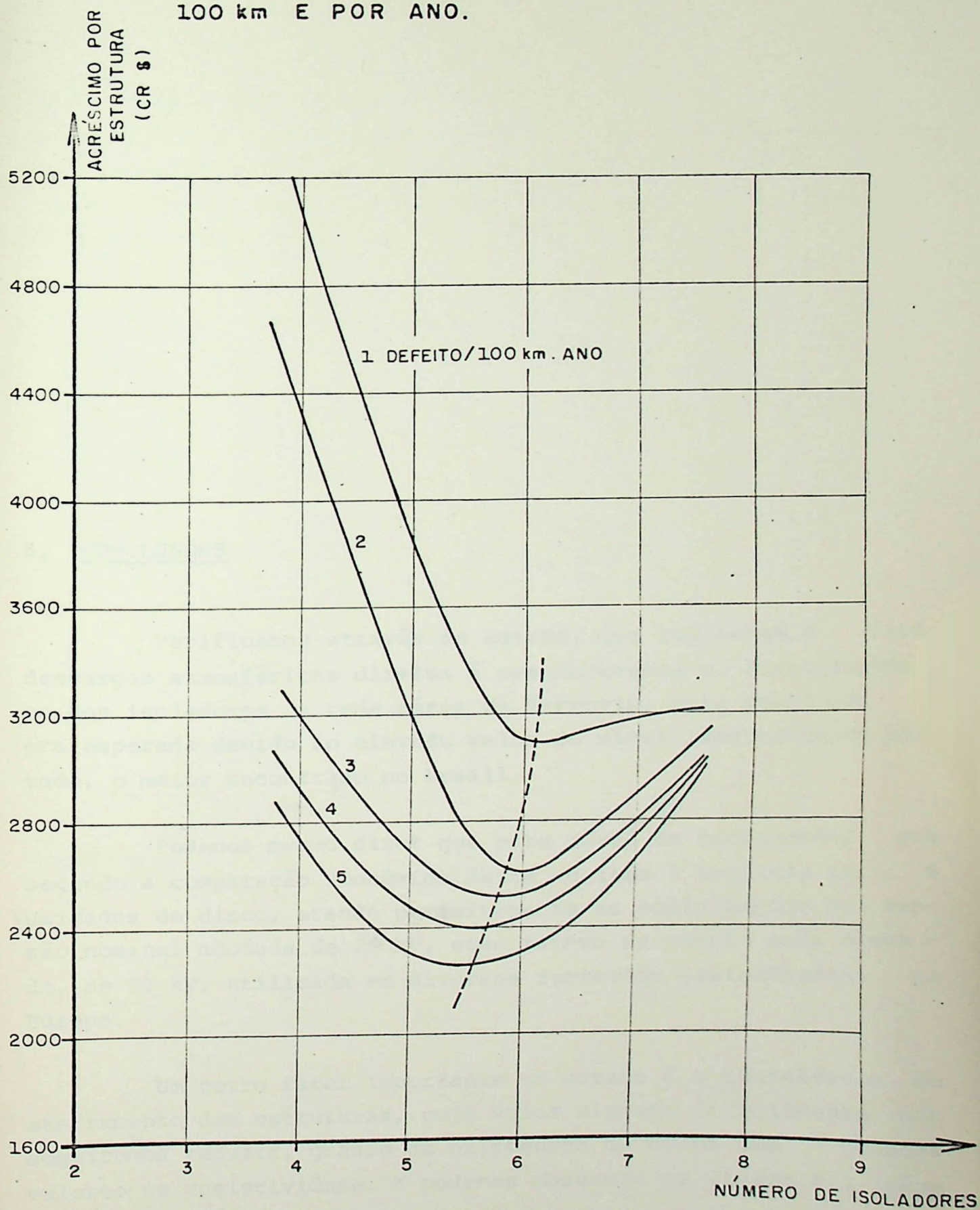


FIG. 7.3

8. CONCLUSÕES

Verificamos através do estudo, que realmente o fator descargas atmosféricas diretas é preponderante no dimensionamento dos isoladores da rede aérea da ferrovia. Esta conclusão já era esperada devido ao elevado valor do nível isoquerâunico adotado, o maior encontrado no Brasil.

Podemos mesmo dizer que este nível de isolamento, que segundo a comparação econômica feita no item 7 concluiu por 6 unidades de disco, atende perfeitamente as solicitações da tensão nominal adotada de 25 kV, como também da tensão mais elevada, de 50 kV, utilizada em diversas ferrovias eletrificadas na Europa.

Um outro fator importante no estudo é a resistência de aterramento das estruturas, cujo valor elevado dificilmente conseguiremos reduzir, quando da existência de solos com grandes valores de resistividade. E podemos observar na figura 6.1 (número

ro de defeito versus resistência de aterramento) que, devido a inclinação das retas, a uma variação da resistência, teremos uma variação proporcionalmente maior no número de defeitos. Isto em outras palavras reforça a importância da resistência de aterramento na redução do número de defeitos esperados.

REFERÊNCIAS:

- 1 - "Transmission and Distribution Reference Book" da Westing - house (tabela 2-A)
- 2 - "Electromagnetic" de J.D. Kraus e K.L.Carver
- 3 - Catálogo da FICAP
- 4 - "Standard Handbook for Electric Engineer" (Quadro 2-1)
- 5 - "Circuit Analysis of AC Power Systems" de Edith Clark
- 6 - Publicação do Instituto de Eletrotécnica da UFRJ - Professor Ernani da Motta Rezende
- 7 - Catálogo de Isoladores da VIFOSA - Vidraria Industrial Figueiras Oliveira S.A.

- 8 - "Lightning Protection of UHV Transmission Lines" - M. Darveniza, F. Popolansky e E.R. Whitehead - Revista ELECTRA nº 41 - Junho/Julho de 1975.
- 9 - "Parameters of Lightning Flashes", - K. Berger, R.B. Anderson e H. Kroninger - Revista ELECTRA nº 41 - Junho/Julho de 1975.
- 10- "Mathematical Handbook of Formulas and Tables" - Murray R. Spiegel
- 11- "Transitórios" - Capítulo 8 - Apostila COPPE - Carlos M. Portela
- 12- AMZA - ESTRADA DE FERRO PONTA DA MADEIRA-CARAJÁS
"Estimativas de Custos para Diferentes Alternativas"
Relatório nº 29 - PTEL
- 13- "Earth Resistences" - G.F. Tagg

ANEXOS

RELAÇÃO DOS PROGRAMAS DE COMPUTADOR

- MSØ1 - Determina a matriz de Impedância de Surto das Ondas.
- MSØ2 - Determina a matriz de Velocidade de Propagação das Ondas.
- MSØ3 - Determina a matriz de Atenuação.
- MSØ4 - Determina as Sobretensões provocadas pela Incidência de uma Descarga Atmosférica Direta com Intensidade Máxima de 10 kA, sobre os Isoladores da Rede.
- MSØ5 - Determina os valores de Correntes de Descargas que acarretam Sobretensões nos Isoladores com valores pré-fixados.
- MSØ6 - Determina as probabilidades de Incidência de Descarga Atmosférica com uma dada Intensidade de Corrente I.
- MSØ7 - Determina as probabilidades de Incidência de Descargas Atmosféricas na Rede Aérea.

MSØ8 - Determina as probabilidades de Incidência de Descarga Atmosférica com tempo de frente de onda menor do que o limite que acarreta defeito.

MSØ9 - Determina as probabilidades de Incidência de Descarga que acarretam defeitos e a soma destas probabilidades.


```

01 FTN4,L
02 PROGRAM HS01
03 C-----
04 C
05 C CALCULO DA MATRIZ IMPEDANCIA DE SURTO DE UM CIRCUITO
06 C A DOIS CONDUTORES A PARTIR DOS PARAMETROS UNITARIOS.
07 C
08 C-----
09 DOUBLE PRECISION X(2,2),B(2,2),DIS,R,S,P,Q,RAD1,RAD21,RAD22,V(2),
10 *A,F,C,D
11 INTEGER DADOS(35)
12 100 READ(5,*)IT
13 GO TO (101,102,103,1000),IT
14 C IDENTIFICACAO DO CASO (ATE 79 CARACTERES)
15 101 READ(5,2)(DADOS(L),L=1,35)
16 2 FORMAT(35A2)
17 WRITE(6,3)(DADOS(L),L=1,35)
18 3 FORMAT(1H1,/,2X,35A2,/)
19 GO TO 100
20 C LE AS MATRIZES REATANCIA E SUSCEPTANCIA (OBTIDAS DO ZLTS)
21 102 READ(5,*)(X(I,J),J=1,2),I=1,2)
22 READ(5,*)(B(I,J),J=1,2),I=1,2)
23 WRITE(6,11)
24 11 FORMAT(/,10X,"REATANCIAS",25X,"SUSCEPTANCIAS",/)
25 DO 12 I=1,2
26 WRITE(8,13)(X(I,J),J=1,2),(B(I,J),J=1,2)
27 13 FORMAT(2X,20I7,8,2X,20I7,12,/)
28 12 CONTINUE
29 GO TO 100
30 C CALCULA A MATRIZ Z SURTO AO QUADRADO
31 103 DIS=B(1,1)*B(2,2)-B(1,2)*B(2,1)
32 IF(DIS.EQ.0) GO TO 990
33 R=(X(1,1)*B(2,2)-X(1,2)*B(1,2))/DIS
34 S=(X(1,2)*B(1,1)-X(1,1)*B(2,1))/DIS
35 P=(X(2,1)*B(2,2)-X(2,2)*B(1,2))/DIS
36 Q=(X(2,2)*B(1,1)-X(2,1)*B(2,1))/DIS
37 C CALCULA A MATRIZ Z DE SURTO (2 SOLUCOES)
38 DO 100 I=1,2
39 V(I)=0.
40 100 CONTINUE
41 M=1
42 RAD1=(R+Q)**2-4.*S*P-(R-Q)**2
43 IF(RAD1.LT.0) GO TO 992
44 RAD21=R+Q+DSORT(RAD1)
45 IF(RAD21.LT.0) GO TO 994
46 V(1)=DSORT(RAD21)
47 GO TO 300
48 M=2
49 RAD22=R+Q-DSORT(RAD1)
50 IF(RAD22.LT.0) GO TO 994
51 V(2)=DSORT(RAD22)
52 300 IF(V(M).EQ.0) GO TO 996
53 F=S/V(M)
54 C=P/V(M)
55 D=(V(M)**2-(R-Q))/(2.*V(M))
56 A=(V(M)**2+(R-Q))/(2.*V(M))
57 IF(A.GT.0) GO TO 400
58 A=-A
59 F=-F

```



```

0050      C=-C
0051      D=-D
0052      400 WRITE(8,410) M,A,F,C,D
0053      410 FORMAT(///,12X," MATRIZ Z DE SURTO (",I1,")"
0054      *,///,2F20.10,///,2F20.10,/)
0055      GO TO (200,100),M
0056      990 WRITE(8,991)
0057      991 FORMAT(/," MATRIZ B SEM INVERSA",/)
0058      GO TO 100
0059      992 WRITE(8,993)
0060      993 FORMAT(/," RADICAL 1 DA BICUADRA NEGATIVO",/)
0061      GO TO 100
0062      996 WRITE(8,997) M
0063      997 FORMAT(/," SEM A ",I1," SOLUCAO",/)
0064      GO TO (200,100),M
0065      994 WRITE(8,995)
0066      995 FORMAT(/," RADICAL 2 DA BICUADRA NEGATIVO",/)
0067      GO TO (200,100),M
0068      1000 STOP
0069      END
0070      ENDS
**** LIST END ****

```



```

0001 FT04,L
0002 PROGRAM MS02
0003 C-----
0004 C
0005 C DETERMINACAO DA MATRIZ VELOCIDADE DE PROPAGACAO DA
0006 C ONDA DE UM CIRCUITO A DOIS CONDUTORES A PARTIR DOS
0007 C PARAMETROS UNITARIOS.
0008 C
0009 C-----
0010 DOUBLE PRECISION X(10,10),B(10,10),FREQ,DIS,R,S,P,Q,V(2),RAD1,
0011 *RAD21,RAD22,F,C,D,A,COF,PI,VM,RAD3
0012 WRITE(6,19)FREQ
0013 19 FORMAT(1H1,"FREQUENCIA =",D10.2,///)
0014 DO 17 I=1,2
0015 WRITE(8,13)(X(I,J),J=1,2),(B(I,J),J=1,2)
0016 13 FORMAT(2X,2017.8,2X,2020.12,/)
0017 17 CONTINUE
0018 PI=3.14159265
0019 Q=X(1,1)*B(1,1)+X(1,2)*B(2,1)
0020 P=-X(1,1)*B(1,2)-X(1,2)*B(2,2)
0021 S=-X(2,1)*B(1,1)-X(2,2)*B(2,1)
0022 R=X(2,1)*B(1,2)+X(2,2)*B(2,2)
0023 RAD3=R*Q-S*P
0024 IF(RAD3.LE.0)GO TO 980
0025 COF=2.*PI*FREQ/DSQRT(RAD3)
0026 C EXTRAI A RAIZ QUADRADA DA MATRIZ OBTIDA
0027 V(1)=0.
0028 V(2)=0.
0029 NM=1
0030 RAD1=(R+Q)**2-4.*S*P-(R-Q)**2
0031 IF(RAD1.LT.0) GO TO 952
0032 RAD21=R+Q+DSQRT(RAD1)
0033 IF(RAD21.LT.0) GO TO 934
0034 V(1)=DSQRT(RAD21)
0035 GO TO 831
0036 861 NM=2
0037 RAD22=R+Q-DSQRT(RAD1)
0038 IF(RAD22.LT.0) GO TO 934
0039 V(2)=DSQRT(RAD22)
0040 801 IF(V(NM).EQ.0) GO TO 935
0041 F=S/V(NM)
0042 C=P/V(NM)
0043 D=(V(NM)**2-(R-Q))/(2.*V(NM))
0044 A=(V(NM)**2+(R-Q))/(2.*V(NM))
0045 IF(A.GT.0) GO TO 871
0046 A=-A
0047 F=-F
0048 C=-C
0049 D=-D
0050 871 A=COF*A
0051 F=COF*F
0052 C=COF*C
0053 D=COF*D
0054 VM=(A+D)/2.
0055 WRITE(8,811)NM,A,F,C,D,VM
0056 811 FORMAT(///,12X," MATRIZ VELOCIDADE DE PROPAGACAO (",11,")
0057 *EM KM/S",///,2F20.5,///,2F20.5,///,12X," VELOCIDADE MEDIA
0058 *(APROX.) =",F15.5,/)
0059 GO TO (851,839),NM

```



```

000 980 WRITE(8,979)
001 979 FORMAT(//," MATRIZ XB SEM INVERSA OU SEM RAIZ",/)
002 GO TO 839
003 982 WRITE(8,982)
004 983 FORMAT(//," RADICAL 1 DA BIQUADRADA NEGATIVO (V)",/)
005 GO TO 839
006 986 WRITE(8,987) HH
007 987 FORMAT(//," SEM A ",I1," SOLUCAO PARA V ",/)
008 GO TO(861,839),HH
009 984 WRITE(8,985)
010 985 FORMAT(//," RADICAL 2 DA BIQUADRADA NEGATIVO (V)",/)
011 GO TO (861,839),HH
012 839 STOP
013 END
014 ENDS
*** LIST END ****

```


FTN4,L

PROGRAM MS23

```

C -----
C
C DETERMINACAO DA MATRIZ ATENUACAO DE UM CIRCUITO
C A DOIS CONDUTORES A PARTIR DOS PARAMETROS UNITARIOS.
C -----
C
      DOUBLE PRECISION FREQ,VAO,R(2,2),X(2,2),V(2,2),U,A,B,C,D,PEX,PI
      *ATEN(4)
      PI=3.14159265
      100 READ(5,*)IT
      GO TO (101,102,103,104,105),IT
C LER OS VALORES DE FREQUENCIA, VAO, TENSÃO, R, X E VELOCIDADE DE PROPAGA
      101 READ(5,*)FREQ,VAO,U
      READ(5,*) ((R(I,J),J=1,2),I=1,2)
      READ(5,*) ((X(I,J),J=1,2),I=1,2)
      READ(5,*) ((V(I,J),J=1,2),I=1,2)
      GO TO 100
C ESCRIVE OS VALORES LIDOS DE F, VAO E U
      102 WRITE(6,202)
      202 FORMAT(1H1,/,5X,"MATRIX ATENUACAO PARA SISTEMA A DOIS CONDUTORES
      *,/)
      WRITE(6,220) FREQ,VAO,U
      220 FORMAT(//,5X,"FREQUENCIA = ",F10.2,2X,"HZ",//,5X,"VAO
      *10.2,5X,"M",//,5X,"TENSÃO = ",F10.2,2X,"KV",/)
      GO TO 100
C ESCRIVE OS VALORES DE R, X, E VELOCIDADE.
      103 WRITE(6,230)
      230 FORMAT(//3X,"I",2X,"J",5X,"R(OHM/KM)",10X,"X(OHM/KM)",10X,"V(KM/S
      *G)",/)
      DO 240 I=1,2
      DO 240 J=1,2
      WRITE(6,250)I,J,R(I,J),X(I,J),V(I,J)
      250 FORMAT(1H ,2X,2I3,3F19.10)
      240 CONTINUE
      GO TO 100
C CALCULA A MATRIZ ATENUACAO
      104 A=R(1,1)*X(2,2)*V(2,2)-R(1,2)*X(1,2)*V(2,2)
      B=R(1,2)*X(1,1)*V(1,1)-R(1,1)*X(2,1)*V(1,1)
      C=R(2,1)*X(2,2)*V(2,2)-R(2,2)*X(1,2)*V(2,2)
      D=R(2,2)*X(1,1)*V(1,1)-R(2,1)*X(2,1)*V(1,1)
      PEX=2.*PI*VAO*FREQ/((X(1,1)*X(2,2)-X(1,2)*X(2,1))*V(1,1)*V(2
      *D+6)
      ATEN(1) =1.-A*PEX+(A**2+B*C)*PEX**2/2.
      ATEN(4) =1.-D*PEX+(D**2+C*B)*PEX**2/2.
      ATEN(2) =-B*PEX+(B*(A+D))*PEX**2/2.
      ATEN(3) =-C*PEX+(C*(A+D))*PEX**2/2.
      WRITE(6,260) (ATEN(I),I=1,4)
      260 FORMAT(////////,12X,"MATRIX ATENUACAO",//2F20.10,///,2F20.10,/)
      GO TO 100
      105 STOP
      END
      ENDS
** LIST END ****

```


PROGRAM MSG4

```

C -----
C DETERMINACAO DAS SOBRETENSÕES DEVIDAS A INCIDENCIA DE DESCARGAS
C ATMOSFERICAS SOBRE ESTRUTURA DE LINHA A DOIS CONDUTORES.
C PARA UM NOVO CASO (SUB-CASO), O ITEM 1 E OBRIGATORIO.
C -----
      DIMENSION D(11,140,2),AIR(140),A(9,140,2),UK(3,140,2),UM(140)
      DOUBLE PRECISION VAO,VPRO,DELT,ALFA,AIR,AID,TEMP,PERI,
      *RT,Z11,Z12,Z21,Z22,A,D,ATEN1,ATEN2,AUX1,AUX2,
      *UK,FREQ,RES,AKV,CRAST,DHAST,PI
      INTEGER IP(50)
      WRITE(8,10)
17  FORMAT(1H1,
      *///12X,"SOBRETENSÕES EM SISTEMAS A DOIS CONDUTORES",////)
      ATEN1=1.
      ATEN2=1.
      PI=3.14159265
      DOIS=2.
      NZ=1.
      ZERO=0.
      TPRD=0
180  READ(5,*)IT
      GO TO (101,102,103,104,105,106,107,109),IT
C 1
C ZERA AS MATRIZES DE TENSÃO E CORRENTE
C
101  DO 50 J1=1,2
      DO 50 J2=1,140
      DO 50 J3=1,0
      55  A(J3,J2,J1)=0.
      DO 50 J4=1,11
      56  U(J4,J2,J1)=0.
      DO 50 J5=1,3
      57  UK(J5,J2,J1)=0.
      50  CONTINUE
      GO TO 100
C 2
C LE DADOS GERAIS - FREQUENCIA, RESISTIVIDADE, TENSÃO, VAO, VEL, PROPAGACAO,
C   TEMPERANCIAS DE SURTO E ATENUACOES
C
102  READ(5,*) FREQ,RES,AKV,VAO
      READ(5,*) VPRO,ATEN1,ATEN2
      READ(5,*) Z11,Z12,Z21,Z22
      GO TO 100
C 3
C LE OS DADOS DE CORRENTE DE DESCARGA
C
103  READ(5,*) ALFA,AID,PERI
      GO TO 100
C 4
C ESCRIVE DADOS GERAIS E DE DESCARGA ATMOSFERICA
C
104  WRITE(8,60) AKV,VAO,FREQ,RES,VPRO,AID,ALFA,PERI
      60  FORMAT(1H1,///,5X,"TENSÃO NOMINAL",9X,F5.2,2X,"KV",///,5X,"VAO",20X,
      *F5.2,2X,"=",///,5X,"FREQUENCIA",8X,F10.2,2X,"HZ",///,5X,"RESISTIVIDA
      *DE",8X,F7.2,2X,"OHM/M",///,5X,"VEL. PROPAGACAO",4X,F9.2,2X,"KM/SEG"
      *///,5X,"DESCARGA MAXIMA",7X,F6.2,2X,"A",///,5X,"COEF. ALFA",12X,F6.
      *2,///,5X,"TEMPO DE FRENTE",8X,F5.2,2X,"MICROSEG",///)
      GO TO 100
C 5

```


C CALCULA E ESCRVE A RESISTENCIA DE TERRA
 C NO CASO DE JA SE TER O VALOR XX DE RT, FAÇA RT=XX
 C COMPRIMENTO EM METROS
 C DIAMETRO EM POLEGADAS

105 READ(5,*) RT,CHAST,DHAST
 IF(RT.EQ.0) GO TO 114
 WRITE(4,116)RT
 116 FORMAT(//,5X,"RESISTENCIA DE TERRA = ",F10.4,2X," OHM ",//)
 GO TO 114
 114 RT=RES*LOG(4*CHAST/(DHAST*0.2254))/(2.*PI*CHAST)
 WRITE(4,72) RT,CHAST,DHAST
 72 FORMAT(//,5X,"RESISTENCIA DE TERRA = ",F10.4,2X," OHM ",2X," PARA HAS
 *TE DE ",F4.2,1X," DE COMPRIMENTO",/48X,"E " ",F4.2,2X," POLEGADAS
 *DE DIAMETRO",//)
 GO TO 102

C 6
 C CALCULA OS VALORES DE SOBRETENSÕES
 C
 C DEFINE O TEMPO RELATIVO AO PERCURSO DE 1 VAO
 C E CALCULA A CORRENTE DE DESCARGA INCIDENTE
 C
 C PARA IMPRIMIR RESULTADOS FAÇA IMPR DIFERENTE DE 0

106 READ(5,*)IMPR
 DELT=VAO/(VPRD*1.0-3)
 NVAO=2.*PERI/DELT
 DO 201 NT=1, NVAO+1
 TEMP=DELT*NT
 IF(ALFA.EQ.0.) GO TO 210
 AIR(NT)=AIO*(DEXP(ALFA*TEMP/PERI)-1.)/(DEXP(ALFA)-1.)
 GO TO 211
 210 AIR(NT)=AIO+TEMP/PERI
 211 CONTINUE
 IF(AIR(NT).LE.0.1)GO TO 217
 AIR(NT)=AIO

C
 C CALCULA OS VALORES DO NO 1 PARA O INSTANTE 1

217 IF(NT.GT.1) GO TO 225
 A(2,1,1)=RT*AIR(1)/(711+2.*RT)
 A(9,1,1)=AIR(1)-2.*A(2,1,1)
 U(9,1,1)=RT*A(9,1,1)
 U(2,1,1)=U(9,1,1)
 U(6,1,1)=Z21*A(2,1,1)
 U(17,1,1)=U(5,1,1)
 U(11,1,1)=OABS(U(11,1,1)-U(9,1,1))
 UK(NT)=U(11,1,1)/1000.
 DO 218 J=0,11
 218 UK(M=3,1,1)=U(M,1,1)/1000.
 IF(IMPR.EQ.0)GO TO 500
 WRITE(4,230)TEMP,NT,A(9,1,1),(UK(I,1,1),I=1,3),DOIS,ZERO,ZERO,ZERO
 +,2F50
 230 FORMAT(1H1,/,5X,"SITUACAO APOS PERCORRER 1 VAO (",F9.4," MICROSEG
 *)",//," ESTABILIZACAO",3X,"1 R/TERRA",3X,"U RETORNO",3X,"U CATENARIA",
 *3X,"U ISOLADOR",/,2X,"(4)",10X,"(A)",6X,"(KV-RT)",6X,"(KV-OT)",8X,
 *"(KV)",//,2(3X,I3,5X,4F12.4,/))
 GO TO 500

200 CONTINUE

C VALORES DO NO 1 PARA O INSTANTE SEGUINTE

```

U(4,1,2)=U(3,2,1)*ATEN1
U(9,1,2)=U(7,2,1)*ATEN2
A(4,1,2)=A(3,2,1)*ATEN1
A(8,1,2)=A(7,2,1)*ATEN2
A(5,1,2)=-A(6,1,2)
A(2,1,2)=(RT*AIR(NT))+Z12*A(8,1,2)-U(4,1,2)-2.*RT*A(4,1,2))/(Z11
+2.*RT)
A(9,1,2)=AIR(NT)-2.*A(4,1,2)-2.*A(2,1,2)
U(9,1,2)=RT*A(9,1,2)
U(2,1,2)=U(9,1,2)-U(4,1,2)
U(6,1,2)=Z22*A(1,1,2)+Z21*A(2,1,2)
U(10,1,2)=U(6,1,2)+U(8,1,2)
U(11,1,2)=DARS(U(10,1,2)-U(9,1,2))
U(NT)=U(11,1,2)/1000.
DO 225 M=9,11

```

225 UK(M=9,1,2)=U(M,1,2)/1000.

IF (IMPR.50.0) GO TO 241

WRITE(8,240) NT,TEMP,A(9,1,2),(UK(I,1,2),I=1,3)

240 FORMAT(///,5X,"SITUACAO APOS PERCORRER ",I3," VAOS (",F8.4," MIC
*ROSEG)",//," ESTACAO",3X,"I P/TERRA",3X,"U RETORNO",3X,"U CATENA
*RIA",3X,"U ISOLADOR",/4X,"(A)",10X,"(A)",6X,"(KV-0T)",6X,"(KV-0T)"
*,2X,"(KV)",//,5X,"1",5X,4F12.4)

C VALORES DOS OUTROS NOS PARA O INSTANTE SEGUINTE

241 DO 350 K=2,NT

```

U(1,K,2)=U(2,K-1,1)*ATEN1
U(6,K,2)=U(5,K-1,1)*ATEN2
U(4,K,2)=U(3,K+1,1)*ATEN1
U(8,K,2)=U(7,K+1,1)*ATEN2
A(1,K,2)=A(2,K-1,1)*ATEN1
A(5,K,2)=A(6,K-1,1)*ATEN2
A(3,K,2)=A(4,K+1,1)*ATEN1
A(7,K,2)=A(8,K+1,1)*ATEN2
AUX1=U(1,K,2)+Z11*A(1,K,2)-Z11*A(4,K,2)-Z12*A(8,K,2)+Z12*A(5,K,
AUX2=U(6,K,2)-U(8,K,2)+Z21*A(1,K,2)-Z21*A(4,K,2)+Z22*A(5,K,2)-Z
*A(9,K,2)
A(9,K,2)=(AUX1+U(4,K,2))/(2.*RT+Z11)
A(2,K,2)=((2.*Z22*RT+Z12*Z21)*A(9,K,2)-2.*Z22*U(4,K,2)-Z12*AUX2)/(
+2.*Z11*Z22-2.*Z12*Z21)
A(6,K,2)=(RT*A(9,K,2)-U(4,K,2)-Z11*A(2,K,2))/Z12
U(6,K,2)=Z22*A(6,K,2)+Z21*A(2,K,2)
U(9,K,2)=RT*A(9,K,2)
U(2,K,2)=U(9,K,2)-U(4,K,2)
U(3,K,2)=U(9,K,2)-U(1,K,2)
U(7,K,2)=U(6,K,2)+U(8,K,2)-U(5,K,2)
U(10,K,2)=U(6,K,2)+U(8,K,2)
U(11,K,2)=DARS(U(10,K,2)-U(9,K,2))
A(3,K,2)=A(9,K,2)+A(1,K,2)+A(2,K,2)+A(4,K,2)
A(7,K,2)=A(6,K,2)+A(8,K,2)-A(5,K,2)
DO 245 M=9,11

```

245 UK(M=9,K,2)=U(M,K,2)/1000.

IF (A(9,K,2).LT.5.0-0) GO TO 351

IF (IMPR.50.0) GO TO 350

WRITE(8,250) K,A(9,K,2),(UK(I,K,2),I=1,3)

250 FORMAT(3X,I3,6X,4F12.4)

350 CONTINUE

351 DO 350 M=1,NT


```

00 370 L1=1,11
370 U(L1,NX,1)=U(L1,NX,2)
00 380 L2=1,9
380 A(L2,NX,1)=A(L2,NX,2)
300 CONTINUE
L3=K
IF(INPR.EQ.4)GO TO 500
WRITE(8,390) L3,7500,ZERO,ZERO,ZERO
390 FORMAT(3X,I3.6X,4F12.4)
500 CONTINUE
GO TO 100

C 7
C TABELA DE VALORES MAXIMOS
C PLOTAGEM DOS VALORES MAXIMOS
C
100 WRITE(8,700)
700 FORMAT("1",17X,"GRAFICO DOS VALORES MAXIMOS DE TENSAO",//)
WRITE(8,704)PERT,ALFA,RT
704 FORMAT(/,40X,"TEMPO DE FRENTA =",F7.2," MICROSEG",/
*40X,"COEFICIENTE ALFA =",F7.2,/
*40X,"RES. ATERRAMENTO =",F7.2," OHM",//)
WRITE(8,705)
705 FORMAT(2X,"TEMPO",34X,"MAXIMA TENSAO",/
*1X,"(MICROSEG)",1X,"(KV)",34X,"(KV)",/
*17X,1H",8X,2H50,7X,3H120,7X,3H180,7X,3H240,7X,3H300,
*7X,3H360)
WRITE(8,710)
710 FORMAT(17X,1HI,5(12H.....1))
00 720 I=1,59
IP(I)=IH
720 CONTINUE
00 730 I=1,NVAC+1
TE=I*DELT
XX=UM(I)/6.
IX=XX+1
IF(IX)=1H*
WRITE(8,740)TE,UM(I),IP
740 FORMAT(1H ,F8.4,F7.2,2H T,59A1,1HI)
IF(IX)=1H
730 CONTINUE
GO TO 100

100 STOP
END
ENDS
* LIST END ***

```



```

001 FTN4,L
002 PROGRAM MS05
003 C*****
004 C
005 C
006 C DETERMINACAO DAS CORRENTES DE DESCARGAS QUE ACARRETAM
007 C SOBRETENSOES COM VALORES PREFIXADOS
008 C
009 C
010 C
011 C*****
012 DIMENSION RT(10),FONDA(10),ALFA(5),ISOL(10),VMAX(10,5,10),
013 * VCRT(10,2),CORR(5,2)
014 INTEGER FONDA,ALFA,RT
015 C----- LE AS QUANTIDADES DE DADOS
016 WRITE(1,600)
017 600 FORMAT(//,2X,"ESCREVA AS QUANTIDADES DIFERENTES DE:",/,
018 *20X,"RESISTENCIAS DE ATERRAMENTO",/,20X,"FRENTE DE ONDA",
019 * /,20X,"COEFICIENTES ALFA",/,20X,"NUMEROS DE ISOLADORES DAS ",
020 * "CADEIAS")
021 READ(1,*)NRT,NFON,NALFA,NISOL
022 C----- LE OS DADOS GERIAIS
023 WRITE(1,601)NRT
024 601 FORMAT(//2X,"ESCREVA OS VALORES DAS",I3," RESISTENCIAS DE",
025 * "ATERRAMENTO")
026 READ(1,*)(RT(I),I=1,NRT)
027 WRITE(1,602)NFON
028 602 FORMAT(//2X,"ESCREVA OS VALORES DAS",I3," FRENTE DE ONDA"
029 READ(1,*)(FONDA(I),I=1,NFON)
030 WRITE(1,6003)NALFA
031 6003 FORMAT(//2X,"ESCREVA OS VALORES DOS",I3," COEFICIENTES ALFA")
032 READ(1,*)(ALFA(I),I=1,NALFA)
033 WRITE(1,604)NISOL
034 604 FORMAT(//2X,"ESCREVA O NUMERO DE ISOLADORES DE CADA UMA DAS",I3
035 * " CADEIAS")
036 READ(1,*)(ISOL(I),I=1,NISOL)
037 C----- LE OS VALORES DE CORRENTE DE DESCARGA
038 WRITE(1,605)
039 605 FORMAT(//2X,"ESCREVA O VALOR MAXIMO DA CORRENTE DE DESCARGA")
040 READ(1,*)DESC
041 C--- LE OS VALORES DE V MAXIMO PARA A DESCARGA ESTUDADA (CADA COLUNA
042 C EM UMA LINHA)
043 WRITE(1,608)
044 608 FORMAT(//2X,"ESCREVA 1 PARA ENTRADA PELO CRT",/
045 *2X,"ESCREVA 0 ENTRADA POR FITA")
046 READ(1,*)MM
047 IF(MM.EQ.0) GO TO 640
048 C----- ENTRADA PELO CRT
049 DO 150 K=1,NFON
050 DO 150 L=1,NALFA
051 WRITE(1,104)FONDA(K),ALFA(L)
052 104 FORMAT(//2X,"ESCREVA OS VALORES DE VMAX PARA",/,7X,
053 * "FRENTE DE ONDA DE",I3,2X,"MICROSEGUNDOS",/,7X,

```



```

0054      * "COEFICIENTE ALFA =" .I3)
0055      READ(1,*) (VMAX(K,L,M),M=1,NRT)
0056      150  CONTINUE
0057      GO TO 660
0058      C---- ENTRADA POR FITA DE PAPEL
0059      640  DO 620 K=1,NFON
0060          WRITE(1,606) FONDA(K)
0061      606  FORMAT(/2X,"COLOQUE A FITA COM AS TENSOES PARA FRENTE DE
0062      * ONDA DE",I3," MICROSEGUNDOS")
0063      DO 630 L=1,NALFA
0064      630  READ(5,*) (VMAX(K,L,M),M=1,NRT)
0065      620  CONTINUE
0066      C--- LE OS VALORES DE V CRITICA PARA AS CADEIAS
0067      660  DO 180 N=1,NISOL
0068          WRITE(1,105) ISOL(NISOL)
0069      105  FORMAT(/2X,"ESCREVA OS VALORES DE V CRITICA DE DESCARGA PARA",
0070      * I3,2X,"ISOLADORES",/10X,"ONDA POSITIVA",/10X,"ONDA NEGATIVA")
0071      READ(1,*) (VCRT(N,J),J=1,2)
0072      180  CONTINUE
0073      C----- RESOLVE
0074          DO 250 N=1,NISOL
0075          DO 250 K=1,NFON
0076              WRITE(8,300) ISOL(N), (VCRT(N,J),J=1,2), FONDA(K), (ALFA(I),
0077      * I=1,NALFA)
0078      300  FORMAT(1H1,///,9X,"VALORES MAXIMO DE INTENSIDADE DE DESCARGA
0079      * "SUPOORTAVEIS PELAS",/,9X,"CADEIAS DE ISOLADORES PARA IMPULSOS
0080      * "POSITIVOS E NEGATIVOS, EM",/,9X,"EM FUNCAO DA RESISTENCIA DE"
0081      * "ATERRAMENTO E DA FORMA DE ONDA APLICADA",/,9X,
0082      * "(COEFICIENTE ALFA).")
0083      *,////,9X,"NUMERO DE ISOLADORES NA CADEIA:",I4,
0084      *,/,9X,"TENSAO CRITICA DE DESCARGA",/,26X,"ONDA POSITIVA:"
0085      *,F6.0,2X,"KV",/26X,"ONDA NEGATIVA:",F6.0,2X,"KV",/,9X,
0086      * "TEMPO DE FRENTE DE ",
0087      * "ONDA DE",I3,2X,"MICROSEGUNDOS",////,10X,"RESISTENCIA",11X,
0088      * "VALORES MAXIMOS DA CORRENTE",/,14X,"DE",9X,3("ALFA =",I3,7X),
0089      *,/,10X,"ATERRAMENTO",2X,3("ONDA + ONDA - "),/,13X,
0090      * "(OHM)",6X,6("(KA)",4X)///)
0091      DO 240 M=1,NRT
0092      DO 290 L=1,NALFA
0093      DO 290 J=1,2
0094      290  CORR(L,J)=DESC*VCRT(N,J)/VMAX(K,L,M)
0095          WRITE(8,310) RT(M),((CORR(L,J),J=1,2),L=1,NALFA)
0096      310  FORMAT(14X,I3,4X,6F8.2,/)
0097      240  CONTINUE
0098      250  CONTINUE
0099      STOP
0100      END

```

** NO ERRORS*


```

001 FTN4,L
002 PROGRAM MS06
003 C-----
004 C
005 C
006 C DETERMINA E TABULA AS PROBABILIDADES DE INCIDENCIA DE DESCARGA
007 C ATMOSFERICA COM UMA DADA INTENSIDADE DE CORRENTE I
008 C
009 C
010 C-----
011 DIMENSION CORR(20),PAC(20),P(20)
012 C
013 C LE OS DADOS DE ENTRADA
014 C
015 READ(5,*)(CORR(I),I=1,20)
016 C
017 C DETERMINA AS PROBABILIDADES
018 C
019 PI=3.1416
020 FAT=1./SQRT(2.*PI)
021 XMED=30.
022 PAC(0)=1.0
023 DO 100 I=1,20
024 AM=4.97*0.434294*ALOG(XMED/CORR(I))
025 PAC(I)=FAT*EXP(-AM**2/2.)
026 P(I)=PAC(I-1)-PAC(I)
027 100 CONTINUE
028 C
029 C ESCRIVE A TABELA COM AS PROBABILIDADES
030 C
031 WRITE(8,10)
032 10 FORMAT(1H1,/////,10X,"PROBABILIDADE DE INCIDENCIA DE DESCARGA
033 * ATMOSFERICA",//,10X,"COM UMA DADA INTENSIDADE DE CORRENTE I",,
034 * 12X,"INTENSIDADE",9X,"PROBABILIDADE",7X,"PROBABILIDADE",/,
035 * 12X,"DE CORRENTE",9X,"DE INCIDENCIA",7X,"DE INCIDENCIA",/,
036 * 12X,"DE DESCARGA",9X,"DE DESCARGA",9X,"DE DESCARGA",/,
037 * 20X,"I",11X,"COM INTENSIDADE",5X,"COM",/,
038 * 18X,"(KA)",10X,"MAIOR QUE 1",9X,"INTENSIDADE I",/)
039 WRITE(8,12)(CORR(I),PAC(I),P(I),I=1,20)
040 12 FORMAT(/,18X,F4.0,15X,F6.4,14X,F6.4)
041 STOP
042 END

```

** NO ERRORS*


```

001 FTN4,L
002 PROGRAM MS07
003 C-----
004 C
005 C
006 C DETERMINA E TABULA AS PROBABILIDADES DE INCIDENCIA DE
007 C DESCARGA ATMOSFERICA NA LINHA ELETRIFICADA
008 C
009 C
010 C-----
011 DIMENSION CORR(20),ELE(20),P(20)
012 C
013 C
014 C LE OS DADOS DE ENTRADA
015 C
016 C
017 READ(5,*)(CORR(I),I=1,20)
018 H=10.2
019 C
020 C DETERMINA AS LARGURAS DE FAIXA E AS PROBABILIDADES
021 C
022 DO 100 I=1,20
023 FLE(I)=SQRT(75.2*H*CORR(I)**(2./3.)-4.*H**2)
024 P(I)=ELE(I)/1000.
025 100 CONTINUE
026 C
027 C ESCRVE A TABELA COM AS PROBABILIDADES
028 C
029 WRITE(8,10)
030 10 FORMAT(1H1,////////,10X,"PROBABILIDADE DE INCIDENCIA DE DESCARGA
031 * ATMOSFERICA",//,
032 * 10X,"NA LINHA ELETRIFICADA",////,
033 * 12X,"INTENSIDADE",9X,"LARGURA",13X,"PROBABILIDADE",/,
034 * 12X,"DE CORRENTE",9X,"DA FAIXA",12X,"DE INCIDENCIA",/,
035 * 12X,"DE DESCARGA",9X,"DE ATRACAO",10X,"DE DESCARGA",/,
036 * 19X,"I",19X,"L",12X,"NA LINHA",/,18X,"(KA)",16X,"(M)",/)
037 WRITE(8,12)(CORR(I),FLE(I),P(I),I=1,20)
038 12 FORMAT(/,18X,F4.0,15X,F5.2,15X,F6.4)
039 STOP
040 END

```

* NO ERRORS*


```

0001 FTN4.L
0002 PROGRAM MS08
0003 C-----
0004 C
0005 C
0006 C DETERMINA E TABULA AS PROBABILIDADES DE INCIDENCIA DE DESCARGA
0007 C ATMOSFERICA COM TEMPO DE FRENTE DE ONDA MENOR DO QUE O LIMITE
0008 C
0009 C
0010 C-----
0011 DIMENSION CORR(20),PAC(20),PT(20),TEMP(20)
0012 C
0013 C LE OS DADOS DE ENTRADA (POR FITA)
0014 C
0015 READ(5,*)VCRIT,RT
0016 READ(5,*)(CORR(I),I=1,20)
0017 READ(5,*)(TEMP(I),I=1,20)
0018 C
0019 C DETERMINA AS PROBABILIDADES
0020 C
0021 PI=3.1416
0022 FAT=1./SQRT(2.*PI)
0023 XMED=5.5
0024 DO 100 I=1,20
0025 AM=3.39*.434294*ALOG(XMED/TEMP(I))
0026 PAC(I)=FAT*EXP(-AM**2/2.)
0027 PT(I)=1.-PAC(I)
0028 100 CONTINUE
0029 C
0030 C ESCRIVE AS TABELAS DE PROBABILIDADES
0031 C
0032 WRITE(8,10) VCRIT,RT
0033 10 FORMAT(1H1,//////.10X,"PROBABILIDADE DE INCIDENCIA DE DESCARGA
0034 * ATMOSFERICA",/,10X,"COM TEMPO DE FRENTE DE ONDA INFERIOR AO
0035 * LIMITE.",/,15X,"TENSÃO CRÍTICA DE DESCARGA A SECO =",F4.0,2X,
0036 * "KV",/,15X,"ONDA NEGATIVA E ALFA =2",/,15X,"RESISTENCIA DE
0037 * ATERRAMENTO =",F4.0,2X,"OHM",//////.10X,"INTENSIDADE",9X,
0038 * "TEMPO DE FRENTE",5X,"PROBABILIDADE",7X,"PROBABILIDADE",/,
0039 * 10X,"DE CORRENTE",9X,"DE ONDA INFERIOR",4X,"DE OCORRENCIA",
0040 * 7X,"DE OCORRENCIA",/,10X,"DE DESCARGA",9X,"AO LIMITE",11X,
0041 * " DE FRENTE DE",8X,"DE FRENTE DE",/,17X,"I",19X,"T",12X,
0042 * "ONDA MAIOR",10X,"ONDA MENOR",/,16X,"(KA)",16X,"( S)",10X,
0043 * "QUE T",15X,"QUE T",//)
0044 WRITE(8,12)(CORR(I),TEMP(I),PAC(I),PT(I),I=1,20)
0045 12 FORMAT(/,14X,F4.0,11X,F6.2,10X,F6.4,10X,F6.4)
0046 STOP
0047 END

```

* NO ERRORS*


```

0001 FTN4,L
0002 PROGRAM MS09
0003 C-----
0004 C
0005 C
0006 C DETERMINA E TABULA AS PROBABILIDADES DE INCIDENCIA DE DESCARGA
0007 C ATMOSFERICA COM UMA DADA INTENSIDADE, COM TEMPO DE FRENTE DE
0008 C ONDA MENOR QUE O LIMITE E QUE ATINJA A LINHA.
0009 C
0010 C
0011 C
0012 C-----
0013 DIMENSION CORR(20),PI(20),PT(20),PL(20),P(20)
0014 C
0015 C LE OS DADOS DE ENTRADA (POR FITA)
0016 C
0017 READ(5,*)VCRIT,RT
0018 READ(5,*)(CORR(I),I=1,20)
0019 READ(5,*)(PI(I),I=1,20)
0020 READ(5,*)(PT(I),I=1,20)
0021 READ(5,*)(PL(I),I=1,20)
0022 C
0023 C DETERMINA AS PROBABILIDADES
0024 C
0025 PTOT=0.
0026 DO 100 I=1,20
0027 P(I)=PI(I)*PT(I)*PL(I)*1000.
0028 PTOT=PTOT+P(I)
0029 100 CONTINUE
0030 C
0031 C ESCRIVE AS TABELAS DE PROBABILIDADES
0032 C
0033 WRITE(8,10)VCRIT,RT
0034 10 FORMAT(1H1,////,10X,"PROBABILIDADE DE INCIDENCIA DE DESCARGA
0035 * ATMOSFERICA",/,10X,"COM UMA DADA INTENSIDADE DE CORRENTE, COM
0036 * TEMPO DE FRENTE DE ONDA",/,10X,"MENOR DO QUE O LIMITE, E QUE
0037 * ATINJA A LINHA ELETRIFICADA",/,15X,"TENSÃO CRÍTICA DE DESCARGA
0038 * A SECO =",F4.0,2X,"KV",/,15X,"ONDA NEGATIVA E ALFA =2",/,15X,
0039 * "LARGURA DA FAIXA DE ESTUDO DE 1000 METROS",/,15X,"RESISTENCIA
0040 * DE ATERRAMENTO =",F4.0,2X,"OHM",///,7X,"INTENSIDADE",3X,
0041 * "PROBABILIDADE",2X,"PROBABILIDADE",2X,"PROBABILIDADE",2X,
0042 * "PROBABILIDADE",/,7X,"DE CORRENTE",3X,"DE INCIDENCIA",2X,
0043 * "DE INCIDENCIA",2X,"DE INCIDENCIA",2X,"DE OCORRENCIA",/,7X
0044 * "DE DESCARGA",3X,4("DE DESCARGA",4X),/,12X,"I",8X,"COM UMA
0045 * CERTA",2X,"SOBRE A LINHA",2X,"TEMPO FRENTE",3X,"QUE ACARRETAM",
0046 * 10X,"(KA)",7X,"INTENSIDADE",4X,"ELETRIFICADA",3X,"MENOR LIMITE"
0047 * 3X,"DEFEITOS.")
0048 WRITE(8,12)(CORR(I),PI(I),PL(I),PT(I),P(I),I=1,20)
0049 12 FORMAT(/,11X,F4.0,10X,3(F6.4,9X))F5.3," E-3")
0050 WRITE(8,15)PTOT
0051 15 FORMAT(/,30X,"PROBABILIDADE TOTAL DE DEFEITO = ",F8.4,1X,"E-3")
0052 STOP
0053 END

```