

**TESE
115**



ESCOLA FEDERAL DE ENGENHARIA DE ITAJUBÁ

**Estudo sobre Descarga Estática
Em Cabos Subterrâneos de Alta Tensão
Utilizando Parâmetros Distribuidos**

MANOEL EDUARDO MIRANDA NEGRISOLI

- 1976 -

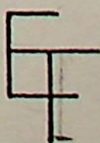
ESTUDO SOBRE DESCARGAS ESTÁTICAS EM
CABOS SUBTERRÂNEOS DE ALTA TENSÃO,
UTILIZANDO PARÂMETROS DISTRIBUIDOS

MANOEL EDUARDO MIRANDA NEGRISOLI

Professor de "INSTALAÇÕES ELÉTRICAS" e
"ELETROMAGNETISMO APLICADO" da Escola
Federal de Engenharia de Itajubá.

ESTUDO SOBRE DESCARGAS ESTÁTICAS
EM CABOS SUBTERRÂNEOS DE ALTA
TENSÃO, UTILIZANDO PARÂMETROS
DISTRIBUIDOS

EDITORA DA EFEI



DIREITOS RESERVADOS © 1976 PELA EDITORA DA EFEI

Itajubá - MG

IMPRESSO NO BRASIL

EDITORA DA EFEI - CAMPUS UNIVERSITÁRIO

ITAJUBÁ - MG

CORPO DE EDITORES DA EFEI

Editor Chefe - Márcio Tadeu de Almeida

Editores Assistentes: Aécio Zózimo Bustamante
Adonias Costa da Silveira
José Carlos Goulart de Siqueira
José Eugênio Rios Ricci

Publicação autorizada pela Editora da EFEI

REF. EDEFEI - 001/T

A meus pais e minha esposa.

AGRADECIMENTOS

Aos professores Hélio Mokarzel,
José Carlos Goulart de Siqueira, Francisco de
Assis Ferreira e Ademir Carnevalli Guimarães,
pela valiosa contribuição que deram a este trabalho.

A Centrais Elétricas de Minas Gerais,
por ter apresentado o problema e nos confiado a pesquisa sobre o assunto.

PREFÁCIO

Para atender a crescente demanda de energia elétrica nos grandes centros urbanos, tornou-se necessário o aparecimento de ramais em alta tensão atravessando áreas densamente construídas. Por motivos estéticos, segurança de operação e de impossibilidade física, os cabos subterrâneos tiveram que ser adotados ao invés de linhas aéreas.

Os cabos subterrâneos conseguem armazenar em sua capacitância maior quantidade de energia que as linhas aéreas, e devido a isto quando ocorre um desligamento destes cabos, esta quantidade de energia armazenada e consequentemente uma tensão estática, devem ser eliminadas para possibilitar manutenção e manobras nos mesmos.

O objetivo principal deste estudo é o de analisar as descargas estáticas, quando utilizamos ou não um elemento dissipador, bem como auxiliar na escolha do valor correto deste elemento.



SUMÁRIO

	Pag.
CAPÍTULO 1 - GENERALIDADES	1
1.1. Introdução	1
1.2. Características Principais	2
CAPÍTULO 2 - DETERMINAÇÃO DAS EXPRESSÕES GERAIS	5
2.1. Equações Básicas	5
2.2. Condições de Contorno	8
2.3. Teorema de Expansão de Heaviside	10
CAPÍTULO 3 - ANÁLISE DE CURTO CIRCUITO NO FINAL DO CABO	12
3.1. Expressões de Corrente e Tensão para Curto Circuito	12
3.2. Curvas Típicas	13
3.3. Programa para Cálculo de Curto Circuito, <u>u</u> tilizando o cabo Exemplo	16
CAPÍTULO 4 - ANÁLISE DE DESCARGA ATRAVÉS DE RESISTÊNCIA DE ATERRAMENTO DE VALOR FIXO E MAIOR QUE A IMPEDÂNCIA NATURAL DO CABO	21
4.1. Expressões de Tensão, Corrente, Potência e Energia Dissipada	21
4.2. Curvas Típicas	25
4.3. Programa para Análise de Descarga, <u>u</u> tilizando cabo Exemplo	28
CAPÍTULO 5 - ANÁLISE DE DESCARGA ATRAVÉS DE RESISTÊNCIA DE ATERRAMENTO DE VALOR VARIÁVEL E MAIOR QUE A IMPEDÂNCIA NATURAL DO CABO	51
5.1. Determinação das Expressões Gerais	51
5.2. Curvas Típicas	66
5.3. Programa para Análise de Descarga, <u>u</u> tilizando Cabo Exemplo	68
CAPÍTULO 6 - CONCLUSÕES E OBSERVAÇÕES	76

III

LISTA DE SÍMBOLOS

z_0	Impedância natural do cabo
β^{-1}	Velocidade de propagação de onda no cabo
E	Tensão estática residual do cabo
ℓ	Comprimento físico do cabo
R	Resistência elétrica por unidade de comprimento de cabo
G	Condutância por unidade de comprimento do cabo
C	Capacitância por unidade de comprimento do cabo
L	Indutância por unidade de comprimento do cabo
RA	Resistência de Aterramento do cabo
$I(x,S)$	Corrente elétrica no domínio das transformada de Laplace
$V(x,S)$	Tensão no domínio das transformadas de Laplace
$i(x,t)$	Corrente elétrica nos domínios do espaço e do tempo
$v(x,t)$	Tensão nos domínios do espaço e do tempo.
T_d	Constante de tempo da descarga
T_f	Tempo total da descarga
$V_{\max}$	Tensão máxima na descarga
$I_{\max}$	Corrente elétrica máxima na descarga

CAPÍTULO 1

GENERALIDADES

1.1 - INTRODUÇÃO

Este trabalho faz análises de descargas em cabo subterrâneos de alta tensão, quando o mesmo após seu desligamento continua com certa carga estática, através de um aterrramento direto ou através de resistor de valor fixo ou variável, com sua resistência maior que a impecância natural do cabo.

Por simplicidade no decorrer do trabalho, sempre que nos referirmos a este resistor de aterramento, será através do seu valor elétrico ou seja, resistência de aterramento.

O estudo é generalizado e serve para qualquer classe de tensão, uma vez que as expressões que definem as descargas são todas literais. Como exemplo ilustrativo de aplicação do estudo, vamos analisar um cabo de 138 KV que alimenta a subestação de Sion em Belo Horizonte, das Centrais Elétricas de Minas Gerais.

Os programas de computador são também gerais, traçando gráficos de descarga e imprimindo tabelas, e para a análise de qualquer outro cabo, basta seguir as instruções do programa e trocar os cartões de dados para o cabo que se quer analisar.

A maneira pela qual o problema foi estudado foi sob a forma de parâmetros distribuídos, por ser uma representação real do mesmo, ou seja, um elemento genérico de comprimento.

to Δx e consequente análise das variações de corrente e tensão neste elemento.

Este estudo se aplica a cabos singelos e as des cargas consequentemente ocorrem em uma fase de cada vez.

1.2 - CARACTERÍSTICAS PRINCIPAIS

Para o início do estudo, necessitamos saber quais são os parâmetros básicos e como introduzi-los no problema.

As grandezas de influência são descritas a se guir.

1.2.1 - Tensão residual do cabo

A tensão residual do cabo é calculada a partir do valor máximo da tensão de serviço em relação a terra. Tem sido observado que sempre que ocorre desligamento a tensão re residual é máxima, uma vez que o disjuntor abre para corrente mínima, e no caso de defeito a correspondente tensão é máxima.

Para o cabo tomado como exemplo ilustrativo a tensão entre fases nominal é:

$$V_{\text{nominal}} = 138 \text{ KV}$$

A tensão de serviço admitidas as variações de + 5% é:

$$V_{\text{serviço}} = 138 + 0,05 \cdot 138 = 144,9 \text{ KV}$$

Esta tensão é entre fases e o seu valor é efi caz. Para sabermos a tensão residual máxima em relação a ter ra, façamos:

$$E = \frac{V_{\text{serviço}} \cdot \sqrt{2}}{\sqrt{3}}$$

$$E = \frac{144,9 \times \sqrt{2}}{\sqrt{3}} = 118,31 \text{ KV}$$

1.2.2 - Parâmetros elétricos do cabo

Os parâmetros elétricos do cabo a serem considerados com suas dimensões são:

1.2.2.1 - Resistência por unidade de comprimento em Ohm por quilômetro.

1.2.2.2 - Condutância por unidade de comprimento em mho por quilômetro.

1.2.2.3 - Capacitância por unidade de comprimento em Faraday por quilômetro.

1.2.2.4 - Indutância por unidade de comprimento em Henry por quilômetro.

Para o cabo exemplo estes parâmetros valem:

$$e = 0,278 \times 10^{-6} \text{ F/km}$$

$$L = 0,385 \cdot 10^{-3} \text{ H/km}$$

$$R = 0,088 \text{ } \Omega/\text{km}$$

1.2.3 - Comprimento Físico do cabo

Seu valor atua diretamente em todas as variáveis que envolvem o problema e sua dimensão deverá ser coerente com a dimensão dos parâmetros elétricos por unidade de comprimento.

Para o cabo exemplo o seu valor é:

$$l = 10 \text{ km}$$

1.2.4 - Corrente nominal do cabo

A corrente de descarga deverá ser tal que o seu valor não ultrapasse por tempo muito longo o valor da corrente nominal do cabo. Este será um dos fatores que influencia rão na escolha do resistor de descarga.

Para o cabo exemplo a sua corrente nominal é:

$$I_N = 314 \text{ A}$$

1.2.5 - Energia Armazenada no cabo

O conhecimento do seu valor é de fundamental importância, pois esta energia deverá ser dissipada pelo resistor de aterramento.

Podemos também através deste valor verificar se a integração da curva de potência tem este mesmo valor.

Esta energia pode ser calculada, pois é a energia armazenada na capacitância do cabo ou:

$$W = \frac{1}{2} C . E^2 \text{ (JOULES)}$$

Para o cabo exemplo:

$$W = \frac{1}{2} . 0,278 \times 10^{-6} . 10 \times 118,310^2$$

$$W = 19460 \text{ JOULES ou}$$

$$W = 4,649 \text{ Kcal}$$

1.2.6 - Nível básico de isolamento

Apenas como citação este valor deverá ser observado de tal forma que a tensão de descarga não venha a ultrapassá-lo sob pena de danificar o isolamento do cabo. Este item não trará maiores problemas pois os NBI dos cabos já são projetados para situações bastante adversas.

Para o cabo exemplo este nível é de 650 KV.

CAPÍTULO 2

DETERMINAÇÃO DAS EXPRESSÕES GERAIS

2.1 - EQUAÇÕES BÁSICAS

Para a análise das descargas, vamos partir da equação de uma linha considerando os parâmetros distribuídos, cuja representação esquemática se encontra na fig.2.1.

Consideremos um cabo como mostrado na fig.2.1. As constantes por unidade de comprimento do cabo são:

R = Resistência por unidade de comprimento do cabo
 $|\Omega/\text{km}|$

L = Indutância por unidade de comprimento do cabo
 $|\text{H}/\text{km}|$

C = Capacitância por unidade de comprimento do cabo
 $|\text{F}/\text{km}|$

G = Condutância por unidade de comprimento do cabo
 $|\text{mho}/\text{km}|$

ℓ = Comprimento do cabo em km

E = Tensão residual estática do cabo $|V|$

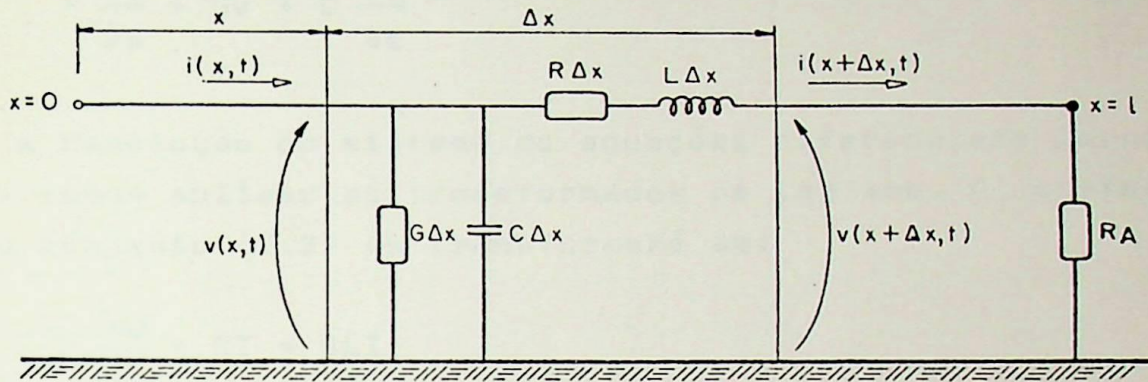


Fig.2.1 - Representação esquemática do cabo

As taxas de variações de tensão e corrente no elemento Δx , são:

$$\frac{\partial v}{\partial x} = \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{v(x+\Delta x, t) - v(x, t)}{\Delta x} \quad (2.1)$$

$$\frac{\partial i}{\partial x} = \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{i(x+\Delta x, t) - i(x, t)}{\Delta x}$$

As variações de tensão e corrente no elemento Δx , são:

$$-\frac{\partial v}{\partial x} \Delta x = R\Delta x i + L\Delta x \frac{\partial i}{\partial t} \quad (2.2)$$

$$-\frac{\partial i}{\partial x} \Delta x = C\Delta x \frac{\partial v}{\partial t} + G\Delta x v$$

Consequentemente as equações básicas diferenciais parciais que representam tensão e corrente no cabo são:

$$- \frac{\partial v}{\partial x} = R i + L \frac{\partial i}{\partial t} \quad (2.3)$$

$$- \frac{\partial i}{\partial x} = G v + C \frac{\partial v}{\partial t}$$

Para a resolução do sistema de equações diferenciais parciais (2.3) vamos aplicar as transformadas de Laplace. O correspondente conjunto (2.3) se transformará em:

$$- \frac{dV}{dx} = R I + S L I \quad (2.4)$$

$$- \frac{dI}{dx} = C(SV - E) + G V$$

onde E é o valor inicial de tensão no cabo (tensão residual devido a carga estática) e V e I são função de x e de s.

Derivando o conjunto de equações (2.4) (diferenciais totais agora) temos:

$$- \frac{d^2 V}{dx^2} = R \frac{dI}{dx} + S L \frac{dI}{dx} = (R+SL) \frac{dI}{dx} \quad (2.5)$$

$$- \frac{d^2 I}{dx^2} = S C \frac{dV}{dx} + G \frac{dV}{dx} = (G+SC) \frac{dV}{dx}$$

Substituindo o conjunto de equações (2.4) em (2.5) temos:

$$\frac{d^2 V}{dx^2} = (R+SL)(G+SC)V - (R+SL)CE \quad (2.6)$$

$$\frac{d^2 I}{dx^2} = (R+SL)(G+SC)I$$

fazendo $n^2 = (R+SL)(G+SC)$, poderemos dizer que as expressões derivadas totais em relação a x, no domínio da frequência

serão:

$$\frac{d^2 V}{dx^2} - n^2 V = -(R+SL)CE \quad (2.7)$$

$$\frac{d^2 I}{dx^2} - n^2 I = 0$$

A solução deste conjunto de equações diferenciais lineares, de segunda ordem, coeficientes constantes, não homogênea e homogênea respectivamente, é:

$$I(x,s) = K_1 \cosh nx + K_2 \sinh nx \quad (2.8)$$

do conjunto (2.4) tiramos que:

$$V(x,s) = \frac{1}{(G+SC)} \left[CE - \frac{dI}{dx} \right]$$

Assim: (2.9)

$$V(x,s) = - \frac{\eta K_1}{(G+SC)} \sinh nx - \frac{\eta K_2}{(G+SC)} \cosh nx + \frac{CE}{(G+SC)}$$

As expressões (2.8) e (2.9) são as expressões transformadas de Laplace da corrente e tensão no cabo. Deve mos determinar as constantes K_1 e K_2 e depois tomar a anti transformada de Laplace para finalmente obtermos as expres sões da tensão e da corrente em função do espaço x e do tem po t .

2.2 - CONDIÇÕES DE CONTORNO

2.2.1 - 1ª Condição

Para $x=0$, ou seja, no início do cabo a corren te será sempre nula.

$$i(o,t)=0 \rightarrow I(o,s)=0 \rightarrow K_1=0$$

As equações (2.8) e (2.9) são então simplificadas:

$$I(x,s) = K_2 \operatorname{senh} nx \quad (2.10)$$

$$V(x,s) = - \frac{K_2}{(G+SC)} \cosh nx + \frac{CE}{(G+SC)} \quad (2.11)$$

2.2.2 - 2ª Condição - Para $x=l$, ou seja, na extremidade onde se encontra o resistor de aterramento,

$$i(l,t) \times RA = v(l,t)$$

$$I(l,s) \times RA = V(l,s)$$

RA = valor da resistência do resistor de aterramento

$$K_2 = \frac{CE}{|RA(G+SC)\operatorname{senh} nl + n\cosh nl|} \quad (2.12)$$

Substituindo o valor da expressão (2.12) nas expressões (2.10) e (2.11) teremos:

$$I(x,s) = \frac{CE \operatorname{senh} nx}{(G+SC) |RA \operatorname{senh} nl + (R+SL) \cosh nl|} \quad (2.13)$$

$$V(x,s) = \frac{-CE(R+SL) \cosh nx}{(G+SC) |RA \operatorname{senh} nl + (R+SL) \cosh nl|} + \frac{CE}{(G+SC)} \quad (2.14)$$

A antitransformada de Laplace das equações (2.13) e (2.14), considerando todos os parâmetros elétricos do cabo, mostrou ser uma tarefa bastante difícil, o que nos obriga a considerar um caso ideal, isto é, um caso sem perdas. Entre os parâmetros a serem desprezados, preferimos desprezar as perdas porque estaríamos analisando uma condição mais crítica. Assim, tomando R e G iguais a zero fazemos com as ex

pressões gerais de corrente e tensão no domínio da frequência que são:

$$I(x,s) = \frac{E \sinh s \beta x}{s |R A \sinh s \beta l + Z_0 \cosh s \beta l|} \quad (2.15)$$

$$V(x,s) = \frac{-E Z_0 \cosh s \beta x}{s |R A \sinh s \beta l + Z_0 \cosh s \beta l|} + \frac{E}{s} \quad (2.16)$$

onde:

$$Z_0 = \sqrt{\frac{L}{C}} = \text{impedância natural do cabo em ohms}$$

$$\frac{1}{\beta} = \frac{1}{\sqrt{LC}} = \text{velocidade de propagação das ondas em } \left| \frac{\text{km}}{\text{s}} \right|$$

A antitransformada de Laplace das equações (2.15) e (2.16) torna-se possível com a aplicação do Teorema da Expansão de Heaviside.

2.3 - TEOREMA DE EXPANSÃO DE HEAVISIDE

Consideremos uma expressão da forma:

$$F(s) = \frac{F_1(s)}{F_2(s)}$$

A antitransformada de Laplace será:

$$f(t) = L^{-1} \left| \frac{F_1(s)}{F_2(s)} \right| = \sum_{k=1}^n \frac{F_1(s_k)}{F_2'(s_k)} e^{s_k t}$$

onde s_k são as raízes do denominador ($F_2(s)$), n é o número destas raízes e $F_2'(s_k)$ é a derivada em relação a s da expressão: $F_2(s)$.

Para o caso em questão onde temos uma raiz nula, ou seja, a expressão da forma:

$$\frac{F_1(S)}{SF_2(S)}$$

A antitransformada de Laplace será:

$$f(t) = L^{-1} \left| \frac{F_1(S)}{SF_2(S)} \right| = \frac{F_1(0)}{F_2(0)} + \sum_{k=1}^n \frac{F_1(S_k)}{S_k F_2'(S_k)} e^{S_k t}$$

O polinômio $F_1(S)$ deverá ter grau menor que $F_2(S)$, e S_k são as raízes que tornam $F_2(S)=0$.

Assim as antitransformadas das equações (2.15) e (2.16) serão encontradas aplicando o teorema de expansão de Heaviside.

Como a pesquisa dos valores das raízes do de nominador das equações 2.15 e 2.16 dependem do valor de RA, deixaremos para encontrar a antitransformada para cada caso particular de RA, que serão vistos nos próximos capítulos.

CAPÍTULO 3

ANÁLISE DE CURTO CIRCUITO NO FINAL DO CABO

3.1 - EXPRESSÕES DE CORRENTE E TENSÃO PARA CURTO CIRCUITO

Uma análise de curto circuito no final do cabo é bastante importante, pois nos possibilita julgar as consequências de tal medida..

No exemplo tomado como base, este efeito seria altamente prejudicial ao cabo tendo em vista os altos valores de corrente, que foram em torno de dez vezes a corrente nominal, e o tempo em que estes valores permaneceriam no cabo. Portanto ficará excluída esta possibilidade de descarga.

Passando ao cálculo das expressões que exprimem estes efeitos, vamos voltar as expressões (2.15) e (2.16), e fazer a resistência de aterramento R_A igual a zero. Isto resultará em:

$$I(x,s) = \frac{E \sinh s \beta x}{s z_0 \cosh s \beta \ell} \quad (3.1)$$

$$V(x,s) = - \frac{E \cosh s \beta x}{s \cosh s \beta \ell} + \frac{E}{s} \quad (3.2)$$

As expressões 3.1 e 3.2 estão no domínio da frequência, e para voltarmos ao domínio do tempo, as antitransformadas para estas expressões são diretas e tabeladas. Assim, as expressões para curto circuito, de corren

te e tensão nos domínios do espaço e do tempo serão:

$$i(x,t) = \frac{4E}{\pi z_0} \sum_{k=1}^{\infty} \frac{(-1)^K}{(2K-1)} \cdot \text{sen} \left| \frac{(2K-1)\pi x}{2l} \right| \cdot \text{sen} \left| \frac{(2K-1)\pi t}{2\beta l} \right| \quad (3.3)$$

$$v(x,t) = - \frac{4E}{\pi} \sum_{k=1}^{\infty} \frac{(-1)^K}{(2K-1)} \cdot \cos \left| \frac{(2K-1)\pi x}{2l} \right| \cdot \cos \left| \frac{(2K-1)\pi t}{2\beta l} \right| \quad (3.4)$$

Através da expressão (3.3) podemos observar que a limitação da corrente está exatamente no valor da impedância natural do cabo z_0 .

Como esta impedância é baixa para os cabos subterrâneos, teremos consequentemente altos valores de corrente de curto circuito. Para o exemplo base do cabo de 138 KV, sua impedância natural é de 37,21 ohms.

Para uma análise quantitativa do efeito usamos os dados do exemplo base, e fizemos um programa que traçará as curvas de corrente e tensão para este caso. Este programa é geral e para estudo de qualquer outro cabo, basta alterar o cartão de dados.

3.2 - CURVAS TÍPICAS

Para a determinação da curva típica de corrente no ponto onde ocorre o curto circuito ($x=l$), façamos valer esta condição na expressão 3.3:

$$i(l,t) = \frac{4E}{\pi z_0} \sum_{k=1}^{\infty} \frac{(-1)^K}{(2K-1)} \text{sen} \left| \frac{(2K-1)\pi}{2} \right| \text{sen} \frac{(2K-1)\pi t}{2\beta l} \quad (3.5)$$

A expressão:

$$(-1)^K \cdot \text{sen} \frac{(2K-1)\pi}{2} = -(-1)^{2K} = -1$$

para qualquer valor de $K=1,2,3,\dots$, assim a expressão (3.5) fica da forma

$$i(l,t) = - \frac{4 E}{\pi z_0} \sum_{k=1}^{\infty} \frac{1}{(2K-1)} \operatorname{sen} \left| \frac{(2K-1)\pi t}{2\beta l} \right| \quad (3.6)$$

Suponhamos a seguinte forma de onda da fig.3.1.

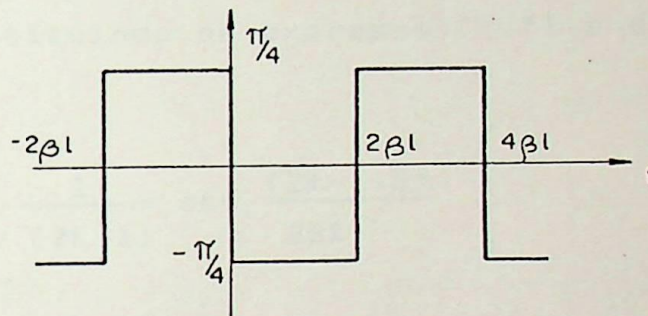


Fig.3.1 - Função ímpar

Como a função da fig.3.1 é ímpar, teremos a sua expansão em série de Fourier da forma:

$$f(t) = \sum_{m=1}^{\infty} B_m \operatorname{sen} m\omega t \quad (3.7)$$

onde

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = \frac{\pi}{2\beta l}$$

$$T = 4\beta l$$

$$B_m = \frac{4}{T} \int_0^{T/2} f(t) \cdot \operatorname{sen} m\omega t dt$$

Assim:

$$B_m = \frac{1}{\beta l} \int_0^{2\beta l} \left(-\frac{\pi}{4}\right) \cdot \operatorname{sen} \frac{m\pi}{2\beta l} t dt$$

$$B_m = \begin{cases} 0 & \text{para } m \text{ par} \\ -\frac{1}{m} & \text{para } m \text{ ímpar} \end{cases}$$

fazendo $m=2K-1$ ($m=1,3,5$)

$$B_K = \frac{-1}{(2K-1)} \quad (K=1,2,3,\dots)$$

Substituindo na expressão (3.7) e definindo o intervalo para $t>0$,

$$-\frac{\pi}{4} = -\sum_{K=1}^{\infty} \frac{1}{(2K-1)} \operatorname{sen} \frac{(2K-1)\pi t}{2\beta l} \quad (3.8)$$

levando este valor na expressão (3.6)

$$i(l,t) = \begin{cases} -\frac{E}{Z_0} & \text{para } 0 < t < 2\beta l \\ \frac{E}{Z_0} & \text{para } 2\beta l < t < 4\beta l \end{cases}$$

ou podemos exprimir estes valores em forma gráfica de acordo com a figura 3.2.

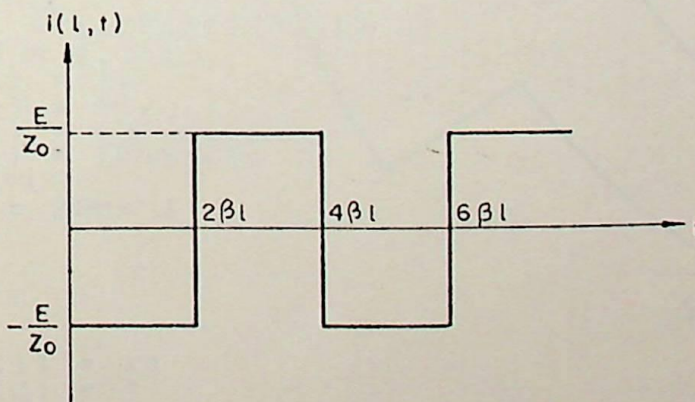


Fig.3.2 - Forma de onda da corrente para $x=l$

3.3 PROGRAMA PARA CURTO CIRCUITO

ESTE PROGRAMA TRACA AS CURVAS DE TENSÃO E CORRENTE PARA QUANDO CURTO CIRCUITADOS O FINAL DO CABO

O PROGRAMA É GERAL, E SERVE PARA CABOS QUALQUER QUE SEJA SUA CLASSE DE TENSÃO. COMO EXEMPLO FOI ANALISADO UM CABO SUBTERRÂNEO CUJA CLASSE É 138 KV

PROGRAMADOR: MANUELL EDUARDO MIRANDA NEGRISOLI

OS DADOS A SEREM INTRODUIZIDOS NO PROGRAMA SÃO:

INDUTANCIA DO CABO EM HENRIES POR KILOMETRO = XL
CAPACITANCIA DO CABO EM FARADAYS POR KILOMETRO = C
COMPRIMENTO DO CABO EM KILOMETROS = COMP
TENSÃO MÁXIMA RESIDUAL DO CABO EM VOLTS = E

COMO EXEMPLO DE DADOS DE ENTRADA USAREMOS OS DADOS DO CABO SUBTERRÂNEO DE 138 KV:

INDUTANCIA 0.385E-3 CAPACITANCIA 0.278E-11 COMPRIMENTO 10.0 TENSÃO 118.31E+3

```

1001 DIMENSION A(3,201), ISYM(12)
      READ(12,1001) XL,C,COMP,E
      FORMAT(4E15.4)
      AUX1 = SQRT(XL/C)
      AUX2 = SQRT(XL*C)
      PI = 3.141592654
      DT = COMP*AUX2/6.25
      X = - COMP/2
      5 X = X + COMP/2
      DO 20 I = 1,200
      T = (I-1)*DT
      CORR = 0
      TENS = 0
      DO 10 K = 1,100
      AUX3 = 2*K-1
      AUX4 = (-1)**K
      AUX5 = AUX3*PI
      AUX6 = AUX5*X
      AUX7 = AUX5*T
      AUX8 = AUX4/AUX5
      AUX9 = AUX6/(2*COMP)
      AUX10 = AUX7/(2*COMP*AUX2)
      AUX11 = 4*E*AUX8
      CORR = CORR + (AUX11/AUX1)*SIN(AUX9)*SIN(AUX10)
      TENS = TENS - AUX11*COS(AUX9)*COS(AUX10)
      10 CONTINUE
      ICORR = 1.2*E*(1/AUX1)
      ITENS = 1.1*E
      A(1,1) = 1.
      A(1,1) = -1.
      A(2,1) = CORR/ICORR
      A(3,1) = TENS/ITENS
      20 CONTINUE
      THAX = 200*DT

```

SEITE 2

```

      ISYM(1) = 12
      ISYM(2) = 3
      ISYM(3) = 5
      WRITE(1,1002) X
      1002 FORMAT(1H1,/,/,10X,'CURVAS DE CORRENTE E TENSÃO A 138.0 KV NO FINAL DO CABO, QUANDO DE UM CURTO CIRCUITO NO FINAL DESTA',/)
      WRITE(1,1003) ICORR
      1003 FORMAT(2X,'CORRENTE *C*',15,4X,'AMPERES')
      ITENS = ITENS/1000
      WRITE(1,1004) ITENS
      1004 FORMAT(2X,'TENSÃO *E*',15,5X,'KVOLTS',/)
      CALL PLOT(4,200,3,0.0,DT,THAX,ISYM,0.0,1,0,20)
      IF(X.LT.COMP) GO TO 5
      STOP
      END

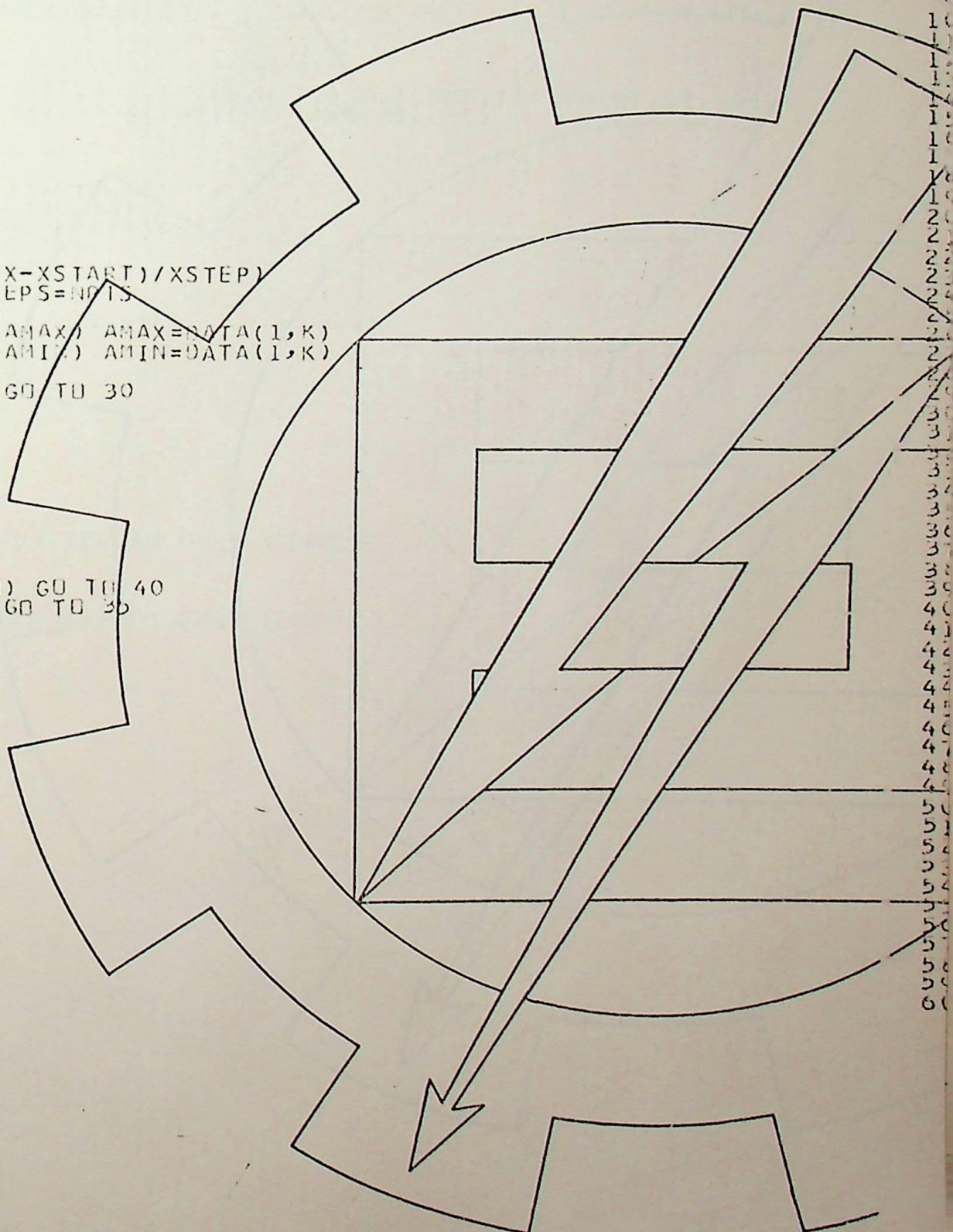
```


SEITE 3

```

SUBROUTINE PLOT(DATA,NS,KURVS,XSTART,XSTEP,XMAX,ISYM,MAN,XDATA,MV,
1 INPTS,INCRNT)
  INTEGER*4 BLANK,DOT,SYMBL,ABAR,BLINE,ALINE
  REAL*4 CENTR1,CENTR2
  DIMENSION ALINE(101),BLINE(101),DATA(KURVS,NS),SYMBL(12),ISYM(12),
1 IY(12),XDATA(MV)
  DATA BLANK/' ',DOT/'.',SYMBL/'A','B','C','D','E','F','H','I','J',
1 '*','+','-'//,ABAR/'|'|/
  DATA CENTR1/1.5/,CENTR2/51.5/,BLINE/101*'-'//
  AMAX=0.0
  AMIN=0.0
  XVAL=XSTART
  ND=1
  IN=INCRNT+1
  DO 5 N=1,12
    IY(N)=0
    BLINE(1)=ABAR
    BLINE(26)=ABAR
    BLINE(51)=ABAR
    BLINE(76)=ABAR
    BLINE(101)=ABAR
    DO 10 I=1,101
      ALINE(I)=BLANK
    NSTEPS=1.0+((XMAX-XSTART)/XSTEP)
    IF(MAN.EQ.1) NSTEPS=ND*15
    DO 20 K=1,NSTEPS
      IF(DATA(1,K).GT.AMAX) AMAX=DATA(1,K)
      IF(DATA(1,K).LT.AMIN) AMIN=DATA(1,K)
    CONTINUE
    IF(AMIN.LT.0.0) GO TO 30
    SCALE=100/AMAX
    CENTR=CENTR1
    T1=AMAX
    T2=0.75*AMAX
    T3=0.50*AMAX
    T4=0.25*AMAX
    T5=0.0
    GO TO 60
    AIMIN=-AMIN
    IF(AMAX.GT.AIMIN) GO TO 40
    IF(AMAX.EQ.0.0) GO TO 30
    SCALE=50/AIMIN
    T1=AIMIN
    T2=0.5*AIMIN
    T3=0.0
    T4=0.5*AIMIN
    T5=AIMIN
    GO TO 50
    SCALE=100/AIMIN
    CENTR=101.5
    T1=0.0
    T2=0.25*AIMIN
    T3=0.5*AIMIN
    T4=0.75*AIMIN
    T5=AIMIN
    GO TO 60
    SCALE=50/AMAX
    T1=AMAX
    T2=0.5*AMAX
    T3=0.0
    T4=0.5*(-AMAX)

```



~~6~~
~~6~~
6
6
6
6
6
7
7
7
7
7
7
8
8
8
8
8
9
9
9
9
9

FEHLERFREI
EICHENBEDARF: 1220 ZELLEN OHNE COMMOD

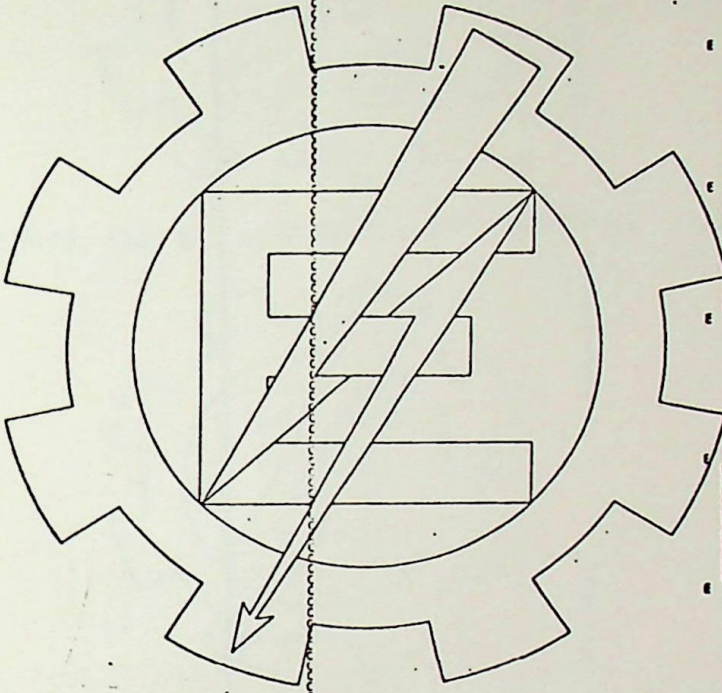
LINHAS DE CORRENTE E TENSÃO A 0,44 KV NO INÍCIO DO CABO, QUANDO DE UM CURTO CIRCUITO NO FINAL DESTA

SEMPRE DE 3000

AMPERES

-1,00 -0,50 0,00 0,50 1,00

0,0000



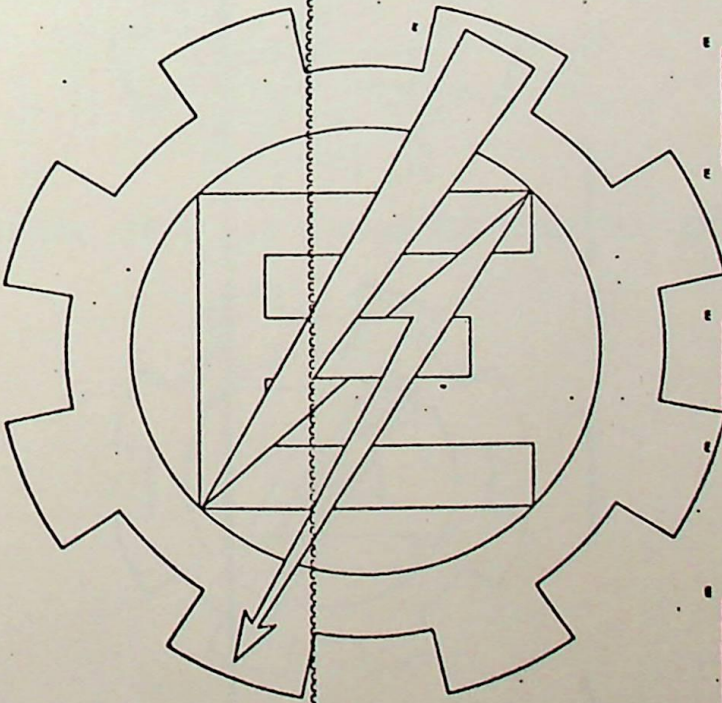
0,0003

0,0007

0,0010

ESCOLA FEDERAL DE ENGENHARIA DE ITAJUBÁ - DCA - LCS

0,0013



0,0017

0,0020

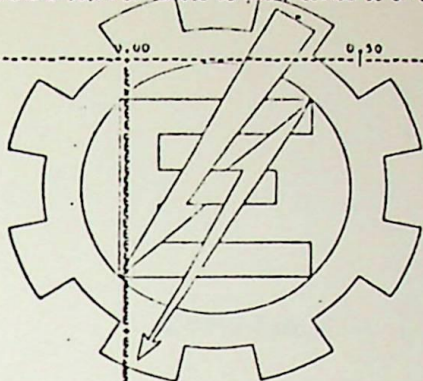
0,0023

ESCOLA FEDERAL DE ENGENHARIA DE ITAJUBÁ - DCA - LCS

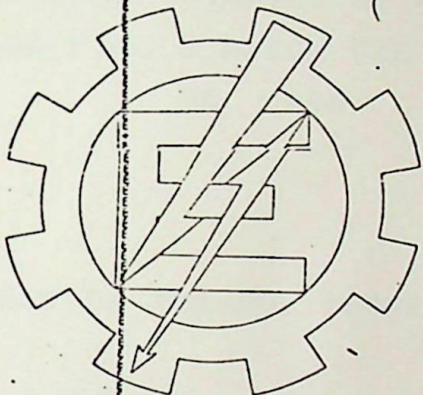
CURVAS DE CORRENTE E TENSÃO EM UM DO INÍCIO DO LAUDO QUANDO DE UM CURTO CIRCUITO NO FINAL DESTA

CORRENTE 0% 100% AMPERES
TENSÃO 0% 100% VOLTS

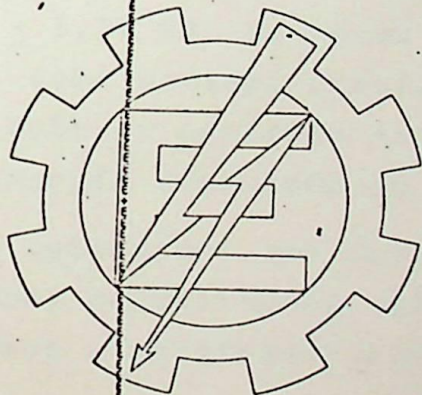
-1.00 -0.50 0.00 0.50 1.00 0.0000



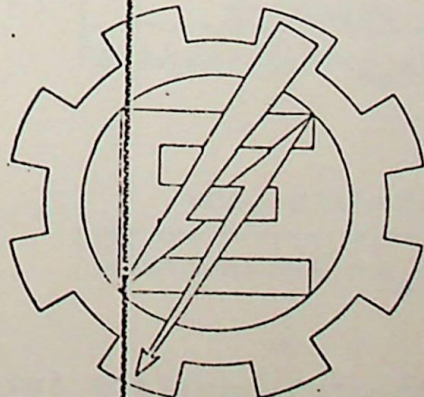
ESCOLA FEDERAL DE ENGENHARIA DE ITAJUBÁ - DCO - CPS



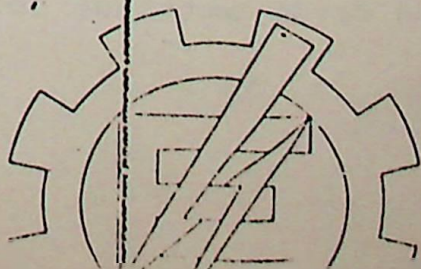
ESCOLA FEDERAL DE ENGENHARIA DE ITAJUBÁ - DCO - CPS



ESCOLA FEDERAL DE ENGENHARIA DE ITAJUBÁ - DCO - CPS



ESCOLA FEDERAL DE ENGENHARIA DE ITAJUBÁ - DCO - CPS



CAPÍTULO 4

ANÁLISE DE DESCARGA ATRAVÉS DE RESISTÊNCIA DE ATERRAMENTO DE VALOR FIXO E MAIOR QUE A IMPEDÂNCIA NATURAL DO CABO

4.1 - EXPRESSÕES DE TENSÃO, CORRENTE, POTÊNCIA E ENERGIA

Como foi observado através do curto circuito direto do cabo exemplo a corrente tem uma forma de onda quadrada de valores $\pm 3,18$ KA, ou seja, em torno de dez vezes a corrente nominal. Como estamos considerando que não há perdas no cabo esta variação de corrente seria infinita não tendo como dissipar a energia acumulada no cabo.

Ac colocarmos uma resistência de valor fixo na extremidade do cabo, necessitamos voltar as equações (2.15) e (2.16) e calcularmos a antitransformada de Laplace.

$$i(x,t) = L^{-1} \left| \frac{E \sinh \beta x}{S(RA \sinh \beta l + z_0 \cosh \beta l)} \right| \quad (4.1)$$

$$v(x,t) = L^{-1} \left| \frac{-E z_0 \cosh \beta x}{S(RA \sinh \beta l + z_0 \cosh \beta l)} \right| + L^{-1} \left| \frac{E}{S} \right| \quad (4.2)$$

Estas antitransformadas são possíveis com a aplicação do teorema de expansão de Haviside para uma raiz nula no denominador conforme visto no item 2.3:

$$f(t) = L^{-1} \left| \frac{F_1(S)}{SF_2(S)} \right| = \frac{F_1(0)}{F_2(0)} + \sum_{K=1}^n \frac{F_1(S_K)}{S_K F_2'(S_K)} e^{S_K t}$$

4.1.1 - Antitransformada da corrente

Da expressão (4.1) façamos:

$$F_1(S) = E \operatorname{senhs} \beta x$$

$$F_2(S) = R A \operatorname{senhs} \beta l + z_0 \operatorname{coshs} \beta l$$

para $F_2(S) = 0$ ou $\operatorname{tgh} S \beta l = - \frac{z_0}{RA}$

A função $F_2(S)$, só tem uma raiz real para $RA > z_0$ que é:

$$\alpha_1 = \frac{1}{\beta l} \operatorname{arctgh} \left| - \frac{z_0}{RA} \right|$$

Assim α_1 tem a dimensão de $|\text{tempo}|^{-1}$.

Desse modo a antitransformada da corrente fica:

$$i(x, t) = L^{-1} \left| \frac{F_1(S)}{SF_2(S)} \right| = \frac{F_1(0)}{F_2(0)} + \frac{F_1(\alpha_1)}{\alpha_1 F_2'(\alpha_1)} e^{\alpha_1 t} \quad (4.3)$$

$$F_1(0) = 0$$

$$F_2(0) = z_0$$

$$F_1(\alpha_1) = E \operatorname{senh} \alpha_1 \beta x$$

$$F_2'(\alpha_1) = RA \beta l \operatorname{cosh} \alpha_1 \beta l + L \operatorname{senh} \alpha_1 \beta l$$

$$i(x,t) = \frac{E \sinh \alpha_1 \beta x e^{\alpha_1 t}}{\alpha_1 l (R A \beta \cosh \alpha_1 \beta l + L \sinh \alpha_1 \beta l)} \quad (4.4)$$

Para $x=l$, a expressão (4.4) fica simplificada:

$$i(l,t) = \frac{E e^{\alpha_1 t}}{C \alpha_1 l (z_o^2 - R A^2)} \quad (4.5)$$

4.1.2 - Antitransformada de tensão

Da expressão 4.2 façamos:

$$F_1(S) = -E z_o \cosh S \beta x$$

$$F_2(S) = R A \sinh S \beta l + z_o \cos S \beta l$$

Também para a expressão da tensão a raiz α_1 será a mesma, portanto:

$$v(x,t) = L^{-1} \left| \frac{F_1(S)}{S F_2(S)} \right| + L^{-1} \left| \frac{E}{S} \right|$$

$$v(x,t) = \frac{F_1(0)}{F_2(0)} + \frac{F_1(\alpha_1)}{\alpha_1 F_2'(\alpha_1)} e^{\alpha_1 t} + E$$

$$F_1(0) = -E$$

$$F_2(0) = 1$$

$$F_1(\alpha_1) = -E z_o \cosh \alpha_1 \beta x$$

$$F_2'(\alpha_1) = \beta l (R A \cosh \alpha_1 \beta l + z_o \sinh \alpha_1 \beta l)$$

$$v(x,t) = \frac{-E \cosh \alpha_1 \beta x e^{\alpha_1 t}}{\alpha_1 C l (R A \cosh \alpha_1 \beta l + z_0 \sinh \alpha_1 \beta l)} \quad (4.6)$$

Para $x=l$, a expressão (4.6) fica simplificada

$$v(l,t) = \frac{R A \cdot E \cdot e^{\alpha_1 t}}{C \alpha_1 l (z_0^2 - R A^2)} \quad (4.7)$$

As expressões 4.4 e 4.6 são gerais para qual quer ponto do cabo e em qualquer tempo. Como o ponto do cabo mais importante é onde se encontra a resistência que irá des carregá-lo, as expressões 4.5 e 4.7 são para este ponto ($x=l$).

4.1.3 - Potência de dissipação

A potência instantânea de dissipação da resis tência é dada pelo produto da tensão pela corrente em cada instante no ponto onde a mesma está colocada.

$$P(t) = v(l,t) \times i(l,t)$$

$$P(t) = \left| \frac{E}{C \alpha_1 l (z_0^2 - R A^2)} \right|^2 R A \cdot e^{2 \alpha_1 t} \quad (4.8)$$

4.1.4 - Energia dissipada

A energia dissipada pela resistência de aterra mento RA para um tempo t, será:

$$w = \int_0^t P(t) \cdot dt \quad (4.9)$$

4.2 - CURVAS TÍPICAS

Tomando como base as equações (4.5) e (4.7) , respectivamente de corrente e tensão, podemos esboçar as curvas de descarga, analisando os valores principais.

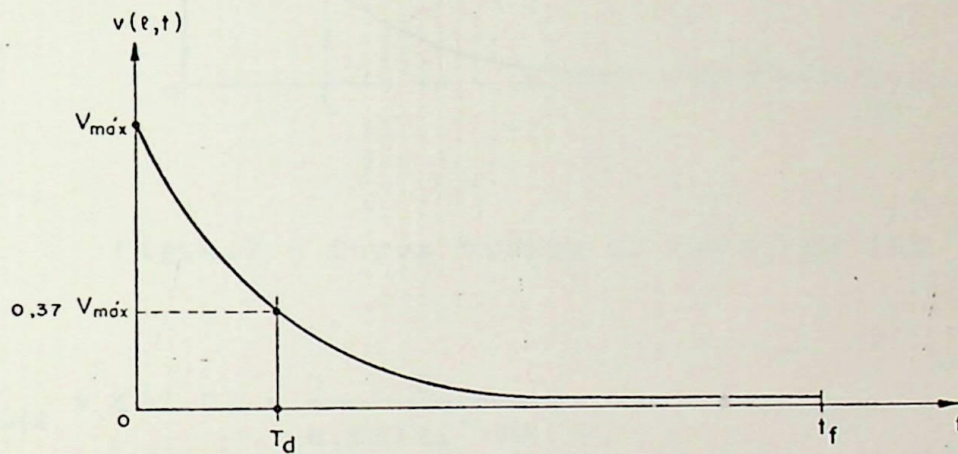


Fig.4.1 - Curva típica de descarga vxt

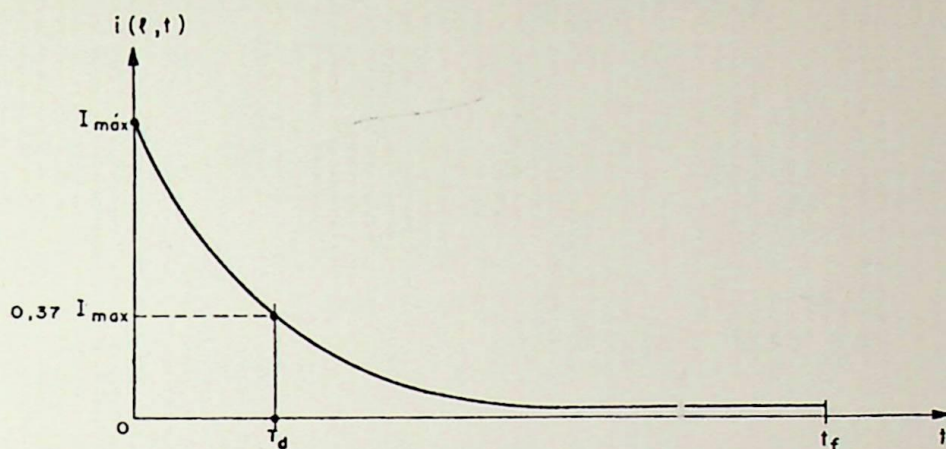
$$V_{\max} = v(\ell, 0) = \frac{E \cdot RA}{\alpha_1 C \ell (z_0^2 - RA^2)} \quad (4.10)$$

$$T_d = \left| \frac{1}{\alpha_1} \right| = \left| \frac{\beta \ell}{\operatorname{artgh} \left| -\frac{z_0}{RA} \right|} \right| \quad (4.11)$$

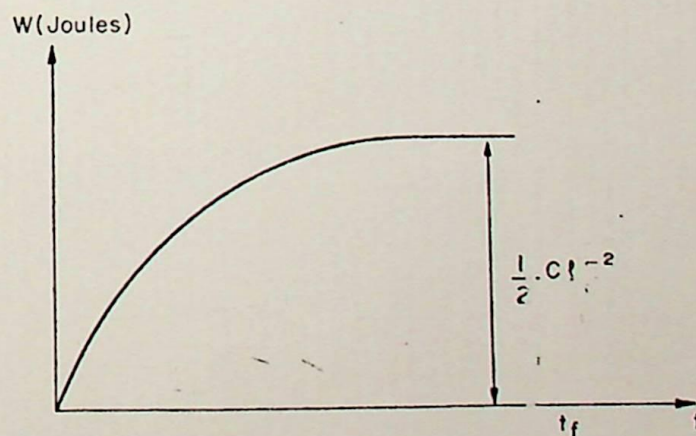
T_d = constante de tempo de descarga

$$t_f \approx 5 \cdot T_d$$

T_f = tempo final de descarga

Fig.4.2 - Curva típica de descarga i_{xt}

$$I_{\max} = i(l, 0) = \frac{E}{\alpha_1 C l (z_0^2 - R A^2)} \quad (4.12)$$

Fig.4.3 - Curva típica de descarga w_{xt}

A figura 4.3 apresenta a quantidade de energia que a resistência deverá dissipar em função do tempo. A energia é obtida através da integração da Potência (eq.4.8) com

forme equação (4.9). O valor final desta energia deverá coincidir com a energia total armazenada no cabo $\frac{1}{2} C \ell E^2$.

ESCOLA FEDERAL DE ENGENHARIA

TR 86 FORTRAN COMPILER MV09(70) 240975 FUKA.

4.3 PROGRAMA PARA VALOR FIXO DE RESISTENCIA

ESTE TRABALHO FOI REALIZADO PARA PESQUISAR UM VALOR DE RESISTENCIA QUE PUDESSE DA MELHOR FORMA POSSIVEL DISSIPAR A ENERGIA ACUMULADA EM CABOS SUBTERRANEOS QUANDO ESTES SAO DESLIGADOS

PROGRAMADOR : MANOEL EDUARDO MIRANDA REORISOLI

OS DADOS A SEREM INTRODUIZIDOS NO PROGRAMA SAO OS SEGUINTE

CAPACITANCIA DO CABO EM FARADAYS POR KILOMETRO = C
INDUTANCIA DO CABO EM HENRIES POR KILOMETRO = XL
TENSÃO MAXIMA RESIDUAL DO CABO EM VOLTS = E
COMPRIMENTO DO CABO EM KILOMETROS = COMP

```

DIMENSION A(5,201), ISYM(12), T(75), CURF(75), TENS(75), POT(75)
DIMENSION EDIP(75)
1001 READ(12,1001) XL,C,COMP,E
      FORMAT(4E15.4)
      AUX1 = SQRT(XL/C)
      AUX2 = SQRT(XL*C)
      AUX3 = COMP*AUX2
      X = COMP
      AUX4 = AUX2*X
      DO 25 N = 1,6
      AUXN = 10**N
      RA = AUX1*AUXN
      AUX5 = - 1./AUXN
      S2 = (1/AUX3)*ALOG(SQRT((1 + AUX5)/(1 - AUX5)))
      AUX6 = S2*AUX3
      AUX7 = S2*AUX4
      F1 = E*SINH(AUX7)
      DF2 = RA*AUX3*COSH(AUX6) + XL*COMP*SINH(AUX6)
      F3 = - E*COSH(AUX7)
      DF4 = RA*C*COMP*COSH(AUX6) + AUX3*SINH(AUX6)
      AUX1 = F1/(S2*DF2)
      AUX7 = F3/(S2*DF4)
      CALL TAB(N,S2,AUX1,AUX7,RA,AUX4)
      EDIP = 0
      DT = ABS(1./((S2*40)))
      DO 24 I = 1,200
      TD = (1-1)*DT
      AUX3 = EXP(S2*TD)
      CURT = AUX1*AUX3
      VOLT = AUX7*AUX3
      POTE = CURT*VOLT
      EDIP = EDIP + POTE*DT
      IF(I.EQ.1) EDIP = POTE*DT/2.
      CORR8 = 1.2*E/(S2*C*COMP*(AUX1**2 - RA**2))
      TENS8 = CORR8*RA
      POT8 = CORR8*TENS8
      EDIS8 = 0.6*C*COMP*(E**2)
      A(1,I) = 1.
      A(2,I) = CURT/CORR8
      A(3,I) = VOLT/TENS8

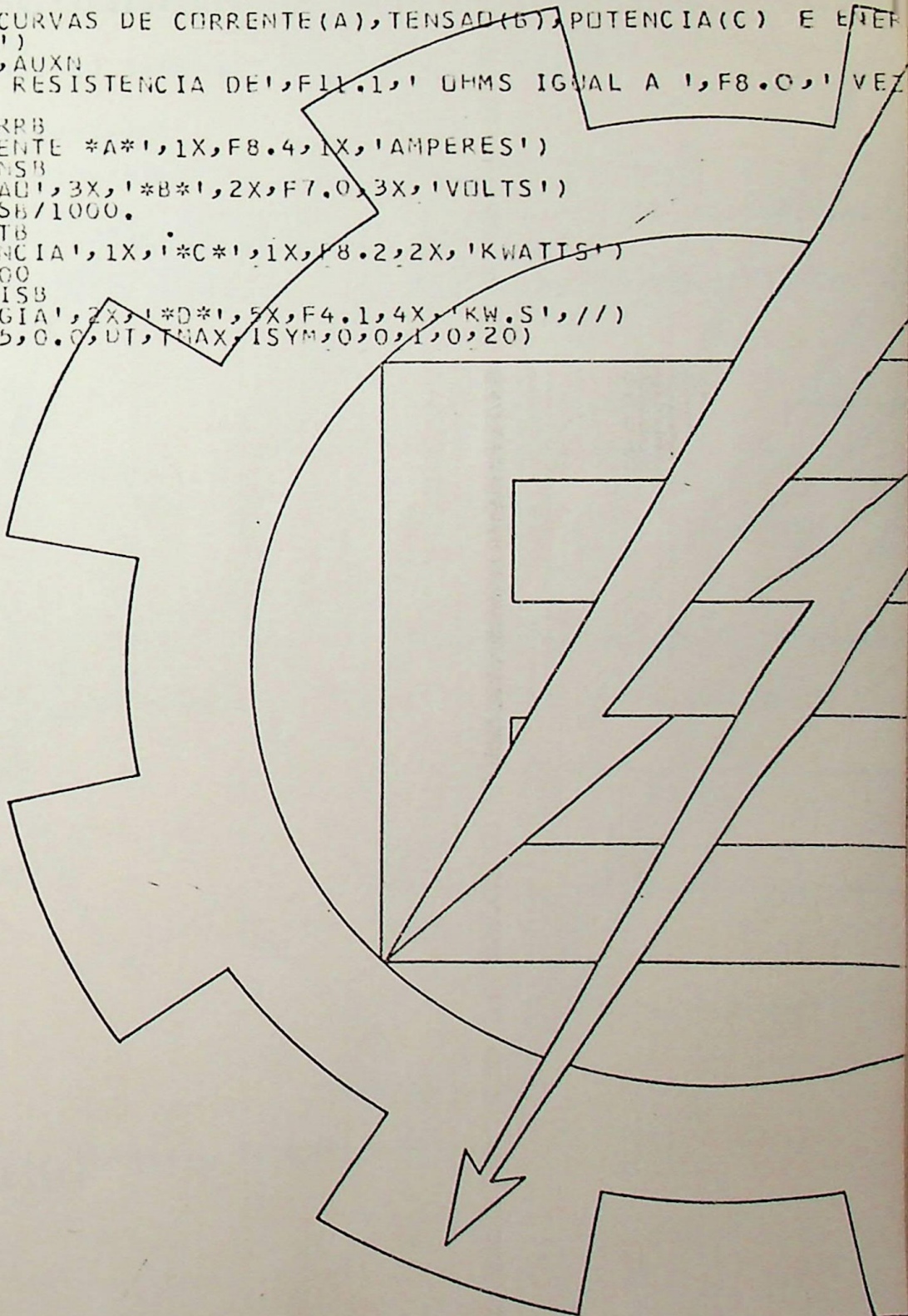
```


SEITE 2

```

A(4,1) = PUTE/POTB
A(5,1) = EDIP/EDISB
24 CONTINUE
THAX = 200*DT
ISYM(1) = 12
ISYM(2) = 1
ISYM(3) = 2
ISYM(4) = 3
ISYM(5) = 4
WRITE(1,1011)
1011 FORMAT(1H1,2X,'CURVAS DE CORRENTE(A), TENSAD(B), POTENCIA(C) E ENER
AGIA DISSIPADA(D)')
WRITE(1,1012) RA,AUXN
1012 FORMAT(23X,'PARA RESISTENCIA DE',F11.1,' OHMS IGUAL A ',F8.0,' VEZ
BES ZU')
WRITE(1,1013) CORRBB
1013 FORMAT(91X,'CORRENTE *A*',1X,F8.4,1X,'AMPERES')
WRITE(1,1014) TENSBB
1014 FORMAT(91X,'TENSAD',3X,'*B*',2X,F7.0,3X,'VOLTS')
POIB = CORRBB*TENSBB/1000.
WRITE(1,1015) POTB
1015 FORMAT(91X,'POTENCIA',1X,'*C*',1X,F8.2,2X,'KWATTS')
EDISB = EDISB/1000
WRITE(1,1016) EDISB
1016 FORMAT(91X,'ENERGIA',2X,'*D*',5X,F4.1,4X,'KW.S',//)
CALL PLOT(A,200,5,0.0,DT,THAX,ISYM,0,0,1,0,20)
25 CONTINUE
STOP
END

```



SUBROUTINE TAB(H,S2,AUX1,AUXT,RA,AUXN)

ESTA SUBROTINA IMPRIME TABELAS COM OS VALORES
CALCULADOS DE CORRENTE, TENSÃO, POTENCIA DIS-
SIDADA, ENERGIA E TEMPO DE DESCARGA.

C
C
C
C

```

DIMENSION T(75), CORR(75), TENS(75), POT(75), EDIS(75)
DT = ABS(1./ (S2*20))
WRITE(1,1001)
1001 FORMAT(1H1,35X,66(1H*))
WRITE(1,1002)
1002 FORMAT(36X,1H*,64X,1H*)
WRITE(1,1003) RA
1003 FORMAT(36X,1H*,15X,'RESISTENCIA IGUAL A ',F11.2,1X,' OHMS',13X,1H*)
WRITE(1,1002)
1004 FORMAT(36X,1H*,23X,'OU ',F8.0,' VEXES 20',21X,1H*)
WRITE(1,1005)
1005 FORMAT(36X,1H*,64(1H-),1H*)
WRITE(1,1011)
1011 FORMAT(36X,1H*,12X,1H|,13X,1H|,11X,1H|,13X,1H|,11X,1H*)
WRITE(1,1006)
1006 FORMAT(36X,1H*,4X,'TEMPO',3X,1H|,3X,'CORRENTE',2X,1H|,3X,'TENSÃO',
A2X,1H|,3X,'POTENCIA',2X,1H|,2X,'ENERGIA',2X,1H*)
WRITE(1,1007)
1007 FORMAT(36X,1H*,1X,'(SEGUNDOS)',1X,1H|,2X,'(AMPERES)',2X,1H|,2X,'(
BOLTS)',2X,1H|,3X,'(VATIS)',3X,1H|,3X,'(W.S)',3X,1H*)
WRITE(1,1011)
WRITE(1,1005)
DO 1 I = 1,74
T(I) = (1 - 1)*DT
AUX8 = EXP(S2*T(I))
CORR(I) = AUX1*AUX8
TENS(I) = AUXT*AUX8
POT(I) = CORR(I)*TENS(I)
IF(1.EQ.1) GO TO 2
EDIS(I) = EDIS(I-1) + DT*POT(I)
GO TO 3
2 EDIS(I) = DT*POT(I)/2.
3 CONTINUE
IF(1.EQ.38) GO TO 4
WRITE(1,1009) T(I), CORR(I), TENS(I), POT(I)
1009 FORMAT(36X,1H*,1X,F10.5,1X,1H|,1X,F11.7,1X,1H|,1X,F9.2,1X,1H|,1X,F
C11.2,1X,1H|,11X,1H*)
WRITE(1,1008) EDIS(I)
1008 FORMAT(36X,1H*,12X,1H|,13X,1H|,11X,1H|,13X,1H|,1X,F8.0,2X,1H*)
GO TO 5
4 WRITE(1,1010)
1010 FORMAT(36X,66(1H*))
WRITE(1,1001)
WRITE(1,1002)
WRITE(1,1003) RA
WRITE(1,1002)
WRITE(1,1004) AUXN
WRITE(1,1002)
WRITE(1,1005)
WRITE(1,1011)
WRITE(1,1006)
WRITE(1,1007)
WRITE(1,1011)

```

```

WRITE(1,1005)
WRITE(1,1009) T(I), CORR(I), TENS(I), POT(I)
WRITE(1,1008) EDIS(I)
5 CONTINUE
1 CONTINUE
WRITE(1,1010)
RETURN
END

```


SEITE 5

```

SUBROUTINE PLOT(DATA,NS,KURVS,XSTART,XSTEP,XMAX,ISYM,MAN,XDATA,MV,
1 INPTS,INCRMT)
  INTEGER*4 BLANK,DOT,SYMBL,ABAR,BLINE,ALINE
  REAL*4 CENTR1,CENTR2
  DIMENSION ALINE(101),BLINE(101),DATA(KURVS,NS),SYMBL(12),ISYM(12),
1 IY(12),XDATA(MV)
  DATA BLANK/' ',DOT/'.',SYMBL/'A','B','C','D','E','F','H','I','J',
1 '*'/'+',ABAR/'|'|
  DATA CENTR1/1.5/,CENTR2/51.5/,BLINE/101*'-'
  AMAX=0.0
  AMIN=0.0
  XVAL=XSTART
  NQ=1
  IN=INCRMT+1
  DO 6 N=1,12
6 IY(N)=0
  BLINE(1)=ABAR
  BLINE(26)=ABAR
  BLINE(51)=ABAR
  BLINE(76)=ABAR
  BLINE(101)=ABAR
  DO 10 I=1,101
10 ALINE(I)=BLANK
  NSTEPS=1.0+((XMAX-XSTART)/XSTEP)
  IF(MAN.EQ.1) NSTEPS=INPTS
  DO 20 K=1,NSTEPS
  IF(DATA(1,K).GT.AMAX) AMAX=DATA(1,K)
  IF(DATA(1,K).LT.AMIN) AMIN=DATA(1,K)
20 CONTINUE
  IF(AMIN.LT.0.0) GO TO 30
  SCALE=100/AMAX
  CENTR=CENTR1
  T1=AMAX
  T2=0.75*AMAX
  T3=0.50*AMAX
  T4=0.25*AMAX
  T5=0.0
  GO TO 60
30 AIMIN=-AMIN
  IF(AMAX.GT.AIMIN) GO TO 40
  IF(AMAX.EQ.0.0) GO TO 35
  SCALE=50/AIMIN
  T1=AIMIN
  T2=0.5*AIMIN
  T3=0.0
  T4=0.5*AIMIN
  T5=AIMIN
  GO TO 50
35 SCALE=100/AIMIN
  CENTR=101.5
  T1=0.0
  T2=0.25*AIMIN
  T3=0.5*AIMIN
  T4=0.75*AIMIN
  T5=AIMIN
  GO TO 60
40 SCALE=50/AMAX
  T1=AMAX
  T2=0.5*AMAX
  T3=0.0
  T4=0.5*(-AMAX)

```

0

30

40

50

80

90

100

110

120

130

140

150

160

170

180

190

200

210

220

230

240

250

260

270

280

290

300

310

320

330

340

350

360

370

380

390

400

410

420

430

440

450

460

470

480

490

500

510

520

530

540

550

560

570

580

590

600


```

T5=-AMAX
50 CENTR=CENTR2
60 VARX = XSTART
  ICNTR=CENTR
  DO 110 J=1,NSTEPS
    IF(MAN.EQ.1) VARX=XDATA(J)
    ALINE(ICNTR)=DOT
    Y=-XSTEP
    IF((VARX.GT.(XSTEP*0.25)).OR.(VARX.LT.(Y*0.25))) GO TO 80
    WRITE(1,5) I5,T4,T3,T2,T1
  5  FORMAT('1+',F8.2,17X,F8.2,17X,F8.2,17X,F8.2,17X,F8.2)
    DO 70 M=1,101
      ALINE(M)=BLINE(M)
    70 DO 81 L=1,KURVS
      IY(L)=(DATA(L,J)*SCALE)+CENTR
      ALINE(IY(L))=SYMBL(ISYM(L))
    81 CONTINUE
    DO 83 M=1,KURVS
      DO 82 N=1,KURVS
        IF(((IY(M).EQ.IY(N)).AND.(M.NE.N)).AND.(.NOT.((ISYM(N).EQ.12)
1. OR.(ISYM(N).EQ.12)))) ALINE(IY(M))=SYMBL(11)
    83 CONTINUE
    IF(NO.EQ.1) GO TO 95
    85 WRITE(1,4) ALINE
  4  FORMAT(6X,101A1,1X,F17.4)
    95 IF(MAN.EQ.1) XVAL=XDATA(J)
    IF(MAN.NE.1) VARX=VARX+XSTEP
    IF(NO.NE.1) GO TO 105
    WRITE(1,4) ALINE,XVAL
    105 NO=NO+1
    IF(NO.EQ.IN) NO=1
    IF(MAN.NE.1) XVAL=XVAL+XSTEP
    DO 90 M=1,101
      ALINE(M)=BLANK
    90 CONTINUE
    110 WRITE(1,9)
  9  FORMAT('11')
    130 RETURN
    END

```

```

FEHLERFREI
RNSPEICHERBEDARF: 3539 ZELLEN OHNE COMMON

TAB FEHLERFREI
RNSPEICHERBEDARF: 1504 ZELLEN OHNE COMMON

PLOT FEHLERFREI
RNSPEICHERBEDARF: 1220 ZELLEN OHNE COMMON

```

11 30

RESISTENCIA IGUAL A

372.14 OHMS

DU 10 VEZES LU

TEMPO
(SEGUNDOS)CORRENTE
(AMPERES)TENSÃO
(VOLTS)POTENCIA
(WATTS)ENERGIA
(W.S)

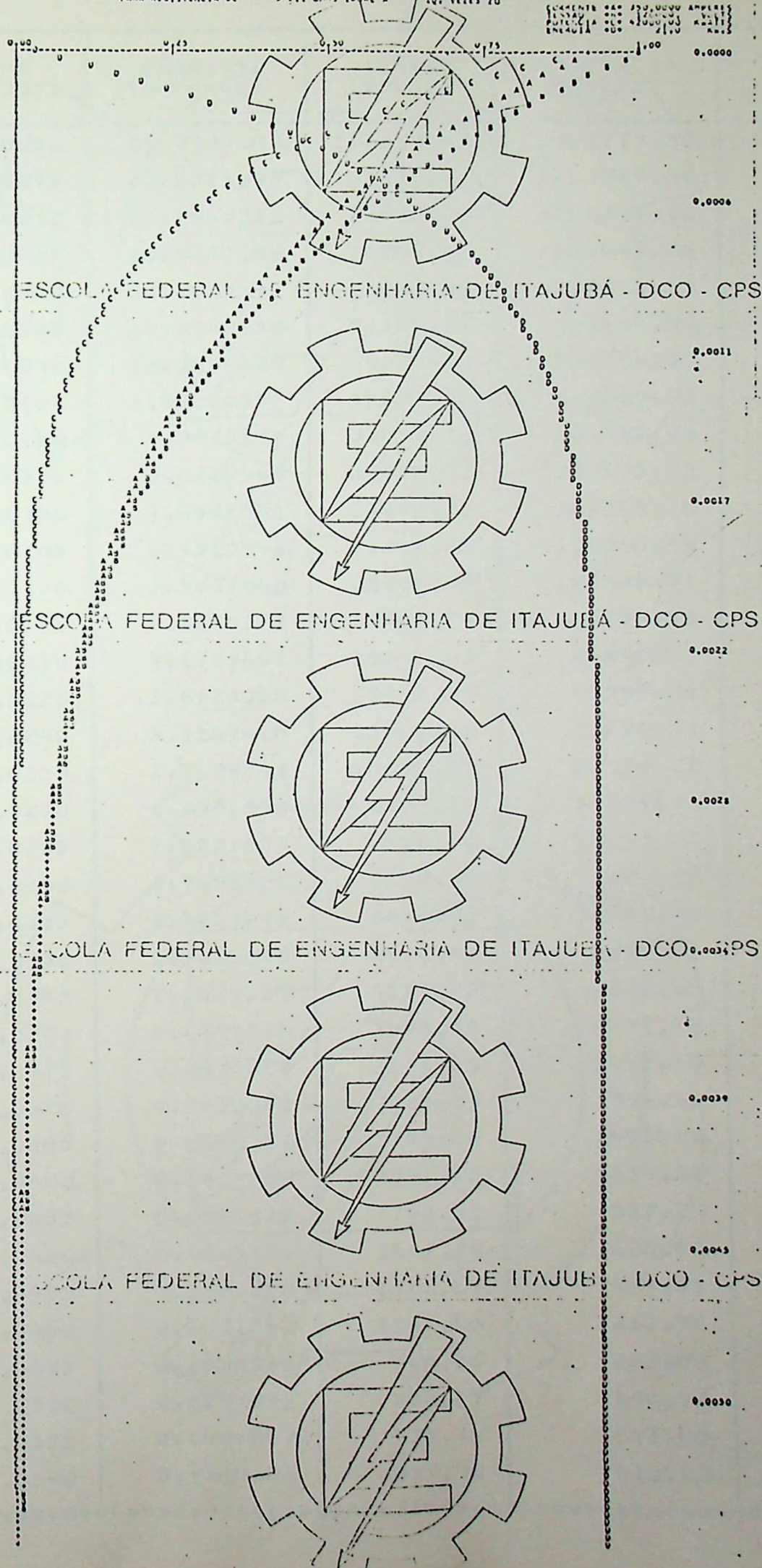
0.0000	320.0547911	119105.63	38120328.32	3812.
0.0002	263.6239642	98105.39	25862930.91	8985.
0.0004	217.1428031	80807.82	17546837.20	12494.
0.0006	178.8570212	66560.10	11904741.07	14875.
0.0008	147.3216407	54824.48	8076832.21	16490.
0.0010	121.3464570	45158.04	5419767.95	17586.
0.0012	99.9511175	37195.95	3717776.43	18330.
0.0014	82.3261218	30637.70	2522344.39	18834.
0.0016	67.8123447	25235.78	1711297.40	19177.
0.0018	55.8559335	20766.30	1161038.43	19409.
0.0020	46.0076307	17121.34	787712.44	19566.
0.0022	37.8957426	14102.57	534427.52	19673.
0.0024	31.2141114	11616.66	362585.07	19746.
0.0026	25.7105596	9567.96	245997.69	19795.
0.0028	21.1773728	7800.98	166898.38	19828.
0.0030	17.4434601	6491.43	113233.06	19851.
0.0032	14.3678965	5346.89	76823.55	19866.
0.0034	11.8346043	4404.15	52121.33	19877.
0.0036	9.7419725	3627.62	35361.98	19884.
0.0038	8.0292476	2988.02	23991.51	19889.
0.0040	6.6135616	2461.16	16277.17	19892.
0.0042	5.4474839	2027.23	11043.33	19894.
0.0044	4.4870046	1669.80	7492.40	19896.
0.0046	3.6958732	1375.39	5083.26	19897.
0.0048	3.0442311	1132.68	3448.76	19897.
0.0050	2.5074840	933.14	2339.83	19898.
0.0052	2.0653741	768.61	1587.47	19898.
0.0054	1.7012153	633.09	1077.03	19898.
0.0056	1.4012636	521.47	730.71	19898.
0.0058	1.1541982	429.52	495.76	19898.
0.0060	0.9506944	353.79	336.35	19899.
0.0062	0.7830716	291.41	228.20	19899.
0.0064	0.6450035	240.03	154.82	19899.
0.0066	0.5312789	197.71	105.04	19899.
0.0068	0.4376059	164.85	71.26	19899.
0.0070	0.3604489	134.14	48.35	19899.
0.0072	0.2968959	110.49	32.80	19899.

RESISTENCIA IGUAL A 372.14 OHMS

DU 10, VEZES 20

TEMPO (SEGUNDOS)	CORRENTE (AMPERES)	TENSÃO (VOLTS)	POTENCIA (WATTS)	ENERGIA (W.S)
0.0074	0.2445464	91.01	22.26	19899.
0.0076	0.2014306	74.96	15.10	19899.
0.0078	0.1659151	61.74	10.24	19899.
0.0080	0.1366616	50.86	6.95	19899.
0.0082	0.1125659	41.69	4.72	19899.
0.0084	0.0927188	34.50	3.26	19899.
0.0086	0.0753709	28.42	2.17	19899.
0.0088	0.0629055	23.41	1.47	19899.
0.0090	0.0518143	19.28	1.00	19899.
0.0092	0.0426786	15.88	0.68	19899.
0.0094	0.0351236	13.08	0.46	19899.
0.0096	0.0289555	10.78	0.31	19899.
0.0098	0.0238502	8.88	0.21	19899.
0.0100	0.0196450	7.31	0.14	19899.
0.0102	0.0161813	6.02	0.10	19899.
0.0104	0.0133282	4.96	0.07	19899.
0.0106	0.0109783	4.09	0.04	19899.
0.0108	0.0090426	3.27	0.03	19899.
0.0110	0.0074483	2.77	0.02	19899.
0.0112	0.0061350	2.28	0.01	19899.
0.0114	0.0050533	1.86	0.01	19899.
0.0116	0.0041623	1.55	0.01	19899.
0.0118	0.0034284	1.28	0.00	19899.
0.0120	0.0028240	1.05	0.00	19899.
0.0122	0.0023260	0.87	0.00	19899.
0.0124	0.0019159	0.71	0.00	19899.
0.0126	0.0015781	0.59	0.00	19899.
0.0128	0.0012999	0.48	0.00	19899.
0.0130	0.0010707	0.40	0.00	19899.
0.0132	0.0008819	0.33	0.00	19899.
0.0134	0.0007264	0.27	0.00	19899.
0.0136	0.0005983	0.22	0.00	19899.
0.0138	0.0004928	0.18	0.00	19899.
0.0140	0.0004059	0.15	0.00	19899.
0.0142	0.0003344	0.12	0.00	19899.
0.0144	0.0002754	0.10	0.00	19899.
0.0146	0.0002269	0.08	0.00	19899.

ESCOLA FEDERAL DE ENGENHARIA DE ITAJUBÁ - DCO - CPS

CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM ENGENHARIA DE ENERGIAS ELÉTRICAS (CEEEN)
PARA RESISTÊNCIA DECARGA HORÁRIA: 300,0000 AMPLIAR
POTÊNCIA: 4000,003 AMPLIAR
ENTRADA: 21,00 AMPLIAR

RESISTENCIA IGUAL A 3721.41 OHMS

DU 100. VEZES 20

TEMPO (SEGUNDOS)	CORRENTE (AMPERES)	TENSÃO (VOLTS)	POTENCIA (WATTS)	ENERGIA (N.S)
0.0000	31.7935003	118317.89	3761775.30	
0.0015	27.5024840	102340.12	2814827.66	2821.
0.0030	23.7903812	88535.85	2106254.12	7044.
0.0045	20.5793133	76584.14	1576049.04	10203.
0.0060	17.8010541	66247.32	1179311.91	12567.
0.0075	15.3959050	57302.70	882444.99	14336.
0.0090	13.3204629	49570.95	660308.07	15660.
0.0105	11.5225552	42880.20	494089.43	16650.
0.0120	9.9673171	37092.51	369712.83	17391.
0.0135	8.6219945	32080.01	276645.42	17946.
0.0150	7.4582551	27755.25	207005.76	18361.
0.0165	6.4515893	24009.03	154896.43	18671.
0.0180	5.5807966	20768.45	115904.51	18904.
0.0195	4.8275377	17965.27	86728.00	19073.
0.0210	4.1759487	15540.43	64896.05	19203.
0.0225	3.6123068	13442.89	48559.84	19305.
0.0240	3.1247416	11628.46	36335.92	19378.
0.0255	2.7029847	10055.92	27189.12	19432.
0.0270	2.3381538	8701.24	20344.83	19473.
0.0285	2.0225653	7526.80	15223.45	19504.
0.0300	1.7495728	6510.86	11391.27	19526.
0.0315	1.5134271	5632.09	8523.76	19544.
0.0330	1.3091548	4871.91	6378.08	19556.
0.0345	1.1324537	4214.33	4772.53	19566.
0.0360	0.9795026	3645.51	3571.15	19573.
0.0375	0.8473824	3155.46	2672.19	19578.
0.0390	0.7330083	2721.83	1999.52	19582.
0.0405	0.6340717	2359.64	1496.18	19585.
0.0420	0.5484869	2041.15	1119.55	19588.
0.0435	0.4744575	1765.65	837.73	19589.
0.0450	0.4104184	1527.34	626.85	19591.
0.0465	0.3550228	1321.19	469.05	19592.
0.0480	0.3071042	1142.86	350.98	19592.
0.0495	0.2655533	988.61	262.63	19593.
0.0510	0.2297972	852.17	196.52	19593.
0.0525	0.1987807	739.75	147.05	19593.
0.0540	0.1719506	639.90	110.03	19594.
				19594.

RESISTENCIA IGUAL A 3721.41 OHMS

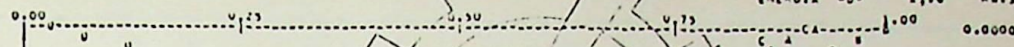
UU 100. VECES 20

TIEMPO (SEGUNDOS)	CORRIENTE (AMPERES)	TENSION (VOLTS)	POTENCIA (WATTS)	ENERGIA (W.S)
0.0555	0.1407418	573.53	82.33	19594.
0.0570	0.1286657	478.82	61.61	19594.
0.0585	0.1112992	414.19	46.10	19594.
0.0600	0.0962708	358.29	34.49	19594.
0.0615	0.0832820	309.93	25.81	19594.
0.0630	0.0720411	268.09	19.31	19594.
0.0645	0.0623175	231.91	14.45	19594.
0.0660	0.0539063	200.61	10.81	19594.
0.0675	0.0466304	173.53	8.09	19594.
0.0690	0.0403365	150.11	6.05	19594.
0.0705	0.0348922	129.85	4.53	19594.
0.0720	0.0301827	112.32	3.39	19594.
0.0735	0.0261088	97.18	2.54	19594.
0.0750	0.0225848	84.05	1.90	19594.
0.0765	0.0195365	72.70	1.42	19594.
0.0780	0.0168996	62.89	1.06	19594.
0.0795	0.0146186	54.40	0.80	19594.
0.0810	0.0126455	47.00	0.60	19594.
0.0825	0.0109387	40.71	0.45	19594.
0.0840	0.0094622	35.21	0.33	19594.
0.0855	0.0081851	30.40	0.25	19594.
0.0870	0.0070803	26.35	0.19	19594.
0.0885	0.0061247	22.79	0.14	19594.
0.0900	0.0052950	19.72	0.10	19594.
0.0915	0.0045829	17.05	0.08	19594.
0.0930	0.0039643	14.75	0.06	19594.
0.0945	0.0034293	12.76	0.04	19594.
0.0960	0.0029664	11.04	0.03	19594.
0.0975	0.0025660	9.55	0.02	19594.
0.0990	0.0022197	8.26	0.02	19594.
0.1005	0.0019201	7.15	0.01	19594.
0.1020	0.0016609	6.18	0.01	19594.
0.1035	0.0014367	5.35	0.01	19594.
0.1050	0.0012428	4.63	0.01	19594.
0.1065	0.0010751	4.00	0.00	19594.
0.1080	0.0009300	3.46	0.00	19594.
0.1095	0.0008044	2.99	0.00	19594.

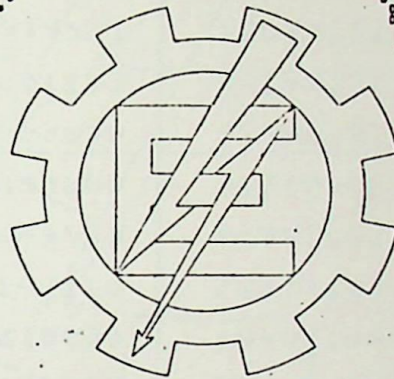
ESCOLA FEDERAL DE ENGENHARIA DE ITAJUBÁ - DCO - CPS

CURVAS DE CUMPRIMENTO DE POTENCIAÇÃO A ENERGIA GISS (PAJUB)

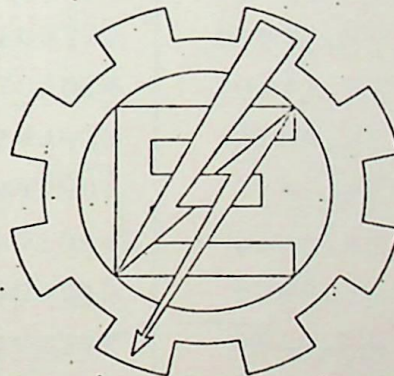
CORRENTE 0-40 35,0000 AMPÉRES
TENSÃO 0-10 120000 VOLTES
POTÊNCIA 0-10 2100 WATTES



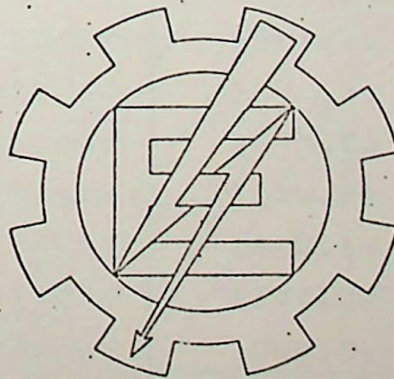
ESCOLA FEDERAL DE ENGENHARIA DE ITAJUBÁ - DCO - CPS



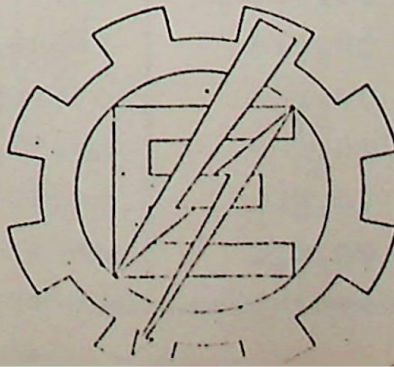
ESCOLA FEDERAL DE ENGENHARIA DE ITAJUBÁ - DCO - CPS



ESCOLA FEDERAL DE ENGENHARIA DE ITAJUBÁ - DCO - CPS



ESCOLA FEDERAL DE ENGENHARIA DE ITAJUBÁ - DCO - CPS



RESISTENCIA IGUAL A 27214,14 OHMS
UU 1000, VEZES LU

TEMPO (SEGUNDOS)	CORRENTE (AMPERES)	TENSÃO (VOLTS)	POTENCIA (WATTS)	ENERGIA (W.S)
0.0000	3.1791702	118310.06	376127.88	
0.0170	2.6974260	100382.39	270774.06	3197.
0.0340	2.2886812	85171.30	194929.96	7600.
0.0510	1.9418741	72265.17	140329.87	11114.
0.0680	1.6476192	61314.73	101023.32	13500.
0.0850	1.3979531	52023.62	72726.58	15217.
0.1020	1.1661193	44140.41	52355.79	16453.
0.1190	1.0063850	37451.75	37690.88	17343.
0.1360	0.8538860	31770.63	27133.62	17984.
0.1530	0.7244955	26961.47	19533.47	18445.
0.1700	0.6146116	22875.96	14062.12	18778.
0.1870	0.5215635	19409.54	10123.31	19017.
0.2040	0.4425302	16468.38	7287.76	19189.
0.2210	0.3754730	13972.90	5246.45	19313.
0.2380	0.3185771	11855.57	3776.91	19402.
0.2550	0.2703026	10059.08	2719.00	19466.
0.2720	0.2293433	8534.81	1957.40	19512.
0.2890	0.1945906	7241.52	1409.13	19545.
0.3060	0.1651040	6144.20	1014.43	19569.
0.3230	0.1400855	5215.16	730.29	19587.
0.3400	0.1188582	4423.20	525.73	19599.
0.3570	0.1008474	3752.95	378.48	19608.
0.3740	0.0855659	3184.26	272.46	19614.
0.3910	0.0725000	2701.74	196.15	19619.
0.4080	0.0615988	2292.35	140.21	19622.
0.4250	0.0522646	1944.98	101.65	19625.
0.4420	0.0443449	1650.26	73.18	19627.
0.4590	0.0376253	1400.19	52.68	19628.
0.4760	0.0319238	1188.02	37.93	19629.
0.4930	0.0270864	1008.00	27.30	19629.
0.5100	0.0229819	855.25	19.66	19630.
0.5270	0.0194995	725.66	14.15	19630.
0.5440	0.0162447	615.70	10.19	19630.
0.5610	0.0140376	522.40	7.33	19631.
0.5780	0.0117105	442.24	5.28	19631.
0.5950	0.0101057	370.07	3.80	19631.
0.6120	0.0085744	312.09	2.74	19631.
				19631.

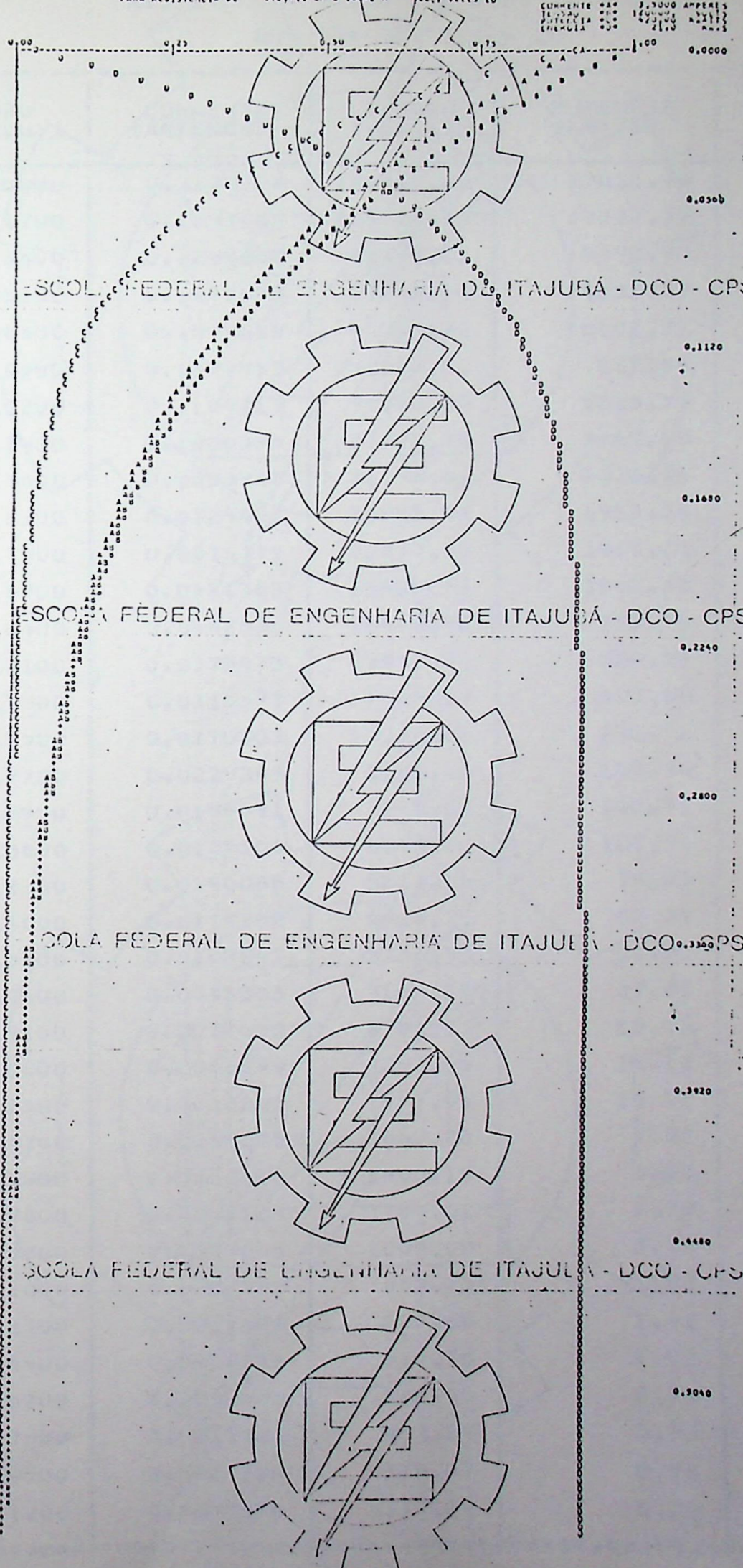
RESISTENCIA IGUAL A 37214,14 OHMS

OU 1000, VEZES ZU

TEMPO (SEGUNDOS)	CORRENTE (AMPERES)	TENSÃO (VOLTS)	POTENCIA (WATTS)	ENERGIA (W.S)
0.6290	0.0012751	210.79	1.97	19631.
0.6460	0.0011727	229.71	1.42	19631.
0.6630	0.0012373	194.90	1.02	19631.
0.6800	0.0014437	165.37	0.73	19631.
0.6970	0.0017703	140.31	0.53	19631.
0.7140	0.0011990	119.05	0.38	19631.
0.7310	0.0017143	101.01	0.27	19631.
0.7480	0.00123030	85.70	0.20	19631.
0.7650	0.0019540	72.72	0.14	19631.
0.7820	0.0016579	61.70	0.10	19631.
0.7990	0.0014067	52.35	0.07	19631.
0.8160	0.0011935	44.42	0.05	19631.
0.8330	0.0010127	37.69	0.04	19631.
0.8500	0.0008592	31.97	0.03	19631.
0.8670	0.0007290	27.13	0.02	19631.
0.8840	0.0006185	23.02	0.01	19631.
0.9010	0.0005248	19.53	0.01	19631.
0.9180	0.0004453	16.57	0.01	19631.
0.9350	0.0003778	14.06	0.01	19631.
0.9520	0.0003206	11.93	0.00	19631.
0.9690	0.0002720	10.12	0.00	19631.
0.9860	0.0002308	8.59	0.00	19631.
1.0030	0.0001958	7.29	0.00	19631.
1.0200	0.0001661	6.15	0.00	19631.
1.0370	0.0001410	5.25	0.00	19631.
1.0540	0.0001196	4.45	0.00	19631.
1.0710	0.0001015	3.78	0.00	19631.
1.0880	0.0000861	3.20	0.00	19631.
1.1050	0.0000731	2.72	0.00	19631.
1.1220	0.0000620	2.31	0.00	19631.
1.1390	0.0000526	1.96	0.00	19631.
1.1560	0.0000446	1.66	0.00	19631.
1.1730	0.0000379	1.41	0.00	19631.
1.1900	0.0000321	1.20	0.00	19631.
1.2070	0.0000273	1.01	0.00	19631.
1.2240	0.0000231	0.86	0.00	19631.
1.2410	0.0000196	0.73	0.00	19631.

CURVAS DE CARACTERÍSTICAS PARA RESISTÊNCIA DE

CORRENTE 3.000 AMPERES
TENSÃO 14.000 VOLTS
FREQÜÊNCIA 60 HZ



RESISTENCIA IGUAL A 372141.38 OHMS

DU-10000. VEZES 20

TEMPO (SEGUNDOS)	CORRENTE (AMPERES)	TENSÃO (VOLTS)	POTENCIA (WATTS)	ENERGIA (W.S)
0.0000	0.3179168	118310.00	37612.74	3197.
0.1700	0.2691424	100332.33	27077.37	7800.
0.3400	0.2288680	85171.25	19492.97	11114.
0.5100	0.1941873	72202.14	14032.97	13500.
0.6800	0.1647618	61314.70	10102.32	15217.
0.8500	0.1397953	52022.60	7272.65	16453.
1.0200	0.1186119	44140.39	5235.58	17343.
1.1900	0.1006385	37451.74	3769.09	17984.
1.3600	0.0853886	31770.63	2713.36	18445.
1.5300	0.0724495	26961.47	1953.35	18778.
1.7000	0.0614712	22872.96	1406.21	19017.
1.8700	0.0521563	19409.54	1012.33	19189.
2.0400	0.0442530	16460.36	728.78	19313.
2.2100	0.0375473	13972.91	524.64	19402.
2.3800	0.0318577	11852.57	377.69	19466.
2.5500	0.0270303	10059.08	271.90	19512.
2.7200	0.0229343	8534.81	195.74	19545.
2.8900	0.0194591	7241.52	140.91	19569.
3.0600	0.0165104	6144.20	101.44	19587.
3.2300	0.0140086	5212.16	73.03	19599.
3.4000	0.0118858	4422.21	52.57	19608.
3.5700	0.0100847	3752.95	37.85	19614.
3.7400	0.0085566	3104.26	27.25	19619.
3.9100	0.0072600	2701.75	19.61	19622.
4.0800	0.0061599	2292.35	14.12	19625.
4.2500	0.0052265	1944.98	10.17	19627.
4.4200	0.0044345	1650.26	7.32	19628.
4.5900	0.0037625	1400.19	5.27	19629.
4.7600	0.0031924	1188.02	3.79	19629.
4.9300	0.0027086	1008.00	2.73	19630.
5.1000	0.0022982	852.25	1.97	19630.
5.2700	0.0019499	722.66	1.41	19630.
5.4400	0.0016545	612.70	1.02	19631.
5.6100	0.0014038	522.40	0.73	19631.
5.7800	0.0011911	442.24	0.53	19631.
5.9500	0.0010106	370.07	0.38	19631.
6.1200	0.0008574	312.09	0.27	19631.

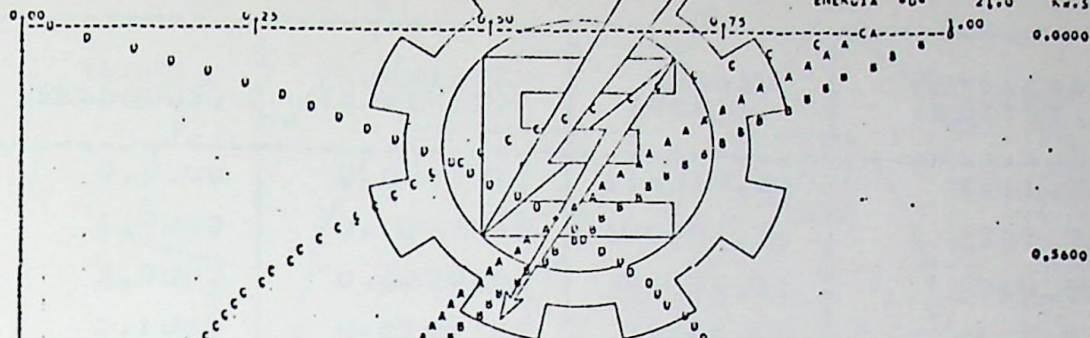
RESISTENCIA IGUAL A 372141.38 OHMS

OU 10000, VEZES 20

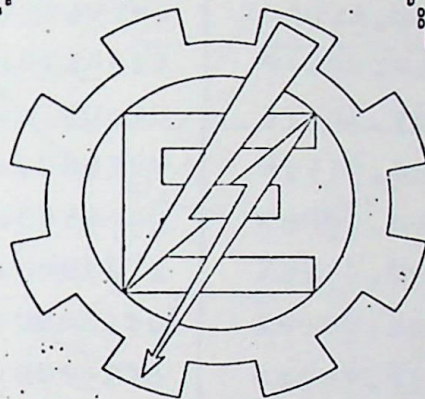
TEMPO (SEGUNDOS)	CORRENTE (AMPERES)	TENSÃO (VOLTS)	POTENCIA (WATTS)	ENERGIA (J.S)
6.2200	0.0001275	210.74	0.20	
6.4600	0.0006173	229.71	0.14	19631.
6.6300	0.0005237	194.90	0.10	19631.
6.8000	0.0004444	165.37	0.07	19631.
6.9700	0.0003770	140.31	0.05	19631.
7.1400	0.0003199	119.05	0.04	19631.
7.3100	0.0002714	101.01	0.03	19631.
7.4800	0.0002303	85.70	0.02	19631.
7.6500	0.0001954	72.72	0.01	19631.
7.8200	0.0001658	61.70	0.01	19631.
7.9900	0.0001407	52.35	0.01	19631.
8.1600	0.0001194	44.42	0.01	19631.
8.3300	0.0001013	37.69	0.00	19631.
8.5000	0.0000859	31.98	0.00	19631.
8.6700	0.0000729	27.13	0.00	19631.
8.8400	0.0000619	23.02	0.00	19631.
9.0100	0.0000525	19.53	0.00	19631.
9.1800	0.0000445	16.57	0.00	19631.
9.3500	0.0000378	14.06	0.00	19631.
9.5200	0.0000321	11.93	0.00	19631.
9.6900	0.0000272	10.12	0.00	19631.
9.8600	0.0000231	8.59	0.00	19631.
10.0300	0.0000196	7.29	0.00	19631.
10.2000	0.0000166	6.18	0.00	19631.
10.3700	0.0000141	5.25	0.00	19631.
10.5400	0.0000120	4.45	0.00	19631.
10.7100	0.0000101	3.78	0.00	19631.
10.8800	0.0000086	3.20	0.00	19631.
11.0500	0.0000073	2.72	0.00	19631.
11.2200	0.0000062	2.31	0.00	19631.
11.3900	0.0000053	1.96	0.00	19631.
11.5600	0.0000045	1.66	0.00	19631.
11.7300	0.0000038	1.41	0.00	19631.
11.9000	0.0000032	1.20	0.00	19631.
12.0700	0.0000027	1.01	0.00	19631.
12.2400	0.0000023	0.86	0.00	19631.
12.4100	0.0000020	0.73	0.00	19631.

CURVAS DE CUMPRIMENTO DE TENSÃO (U) POTÊNCIA (P) E ENERGIA (E) DISSIPADA (U).
PARA RESISTÊNCIA DE 220Ω, 250Ω, 300Ω, 350Ω, 400Ω, 450Ω, 500Ω, 550Ω, 600Ω, 650Ω, 700Ω, 750Ω, 800Ω, 850Ω, 900Ω, 950Ω, 1000Ω.

CORRENTE (A) 0,7500 AMPERES
TENSÃO (V) 120000 VOLTS
POTÊNCIA (W) 4500 WATTS
ENERGIA (J) 2100 J



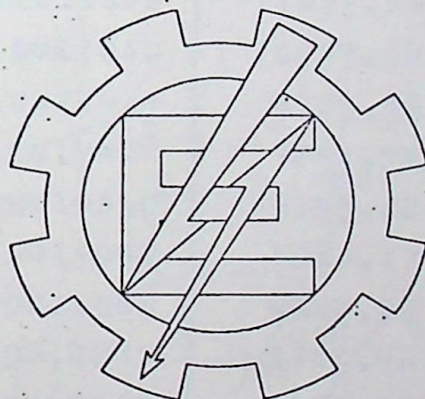
ESCOLA FEDERAL DE ENGENHARIA DE ITAJUBÁ - DCO - CPS



1,1200

1,6800

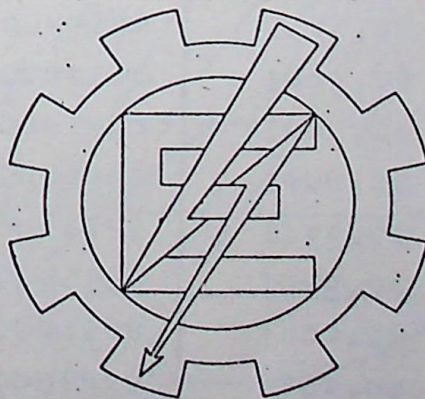
ESCOLA FEDERAL DE ENGENHARIA DE ITAJUBÁ - DCO - CPS



2,2400

2,8000

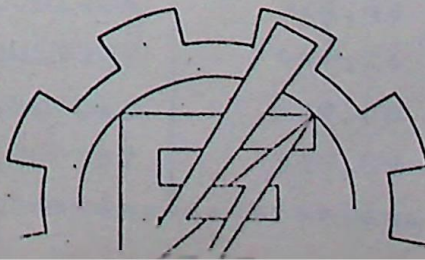
ESCOLA FEDERAL DE ENGENHARIA DE ITAJUBÁ - DCO - CPS



3,3600

3,9200

ESCOLA FEDERAL DE ENGENHARIA DE ITAJUBÁ - DCO - CPS



4,4800

RESISTENCIA IGUAL A 3721413,83 OHMS

DU 100000, VEZES 20

TEMPO (SEGUNDOS)	CORRENTE (AMPERES)	TENSÃO (VOLTS)	POTENCIA (WATTS)	ENERGIA (W.S)
0,0000	0,0317917	118310,06	3761,28	
1,7000	0,0269742	100382,38	2707,74	3197.
3,4000	0,0228868	85171,31	1949,30	7800.
5,1000	0,0194187	72265,19	1403,30	11114.
6,8000	0,0164762	61314,75	1010,23	13500.
8,5000	0,0139795	52023,65	727,27	15217.
10,2000	0,0116612	44140,43	523,56	16453.
11,9000	0,0100639	37451,78	376,91	17343.
13,6000	0,0085389	31770,66	271,34	17984.
15,3000	0,0072450	26961,50	195,33	18445.
17,0000	0,0061471	22875,99	140,62	18778.
18,7000	0,0052156	19409,56	101,23	19017.
20,4000	0,0044253	16460,41	72,88	19189.
22,1000	0,0037547	13972,93	52,46	19313.
23,8000	0,0031858	11855,59	37,77	19402.
25,5000	0,0027030	10059,10	27,19	19466.
27,2000	0,0022934	8534,83	19,57	19512.
28,9000	0,0019459	7241,54	14,09	19545.
30,6000	0,0016510	6144,22	10,14	19569.
32,3000	0,0014009	5213,17	7,30	19587.
34,0000	0,0011886	4423,22	5,26	19599.
35,7000	0,0010085	3752,96	3,78	19608.
37,4000	0,0008557	3184,27	2,72	19614.
39,1000	0,0007260	2701,75	1,96	19619.
40,8000	0,0006160	2292,35	1,41	19622.
42,5000	0,0005226	1944,99	1,02	19625.
44,2000	0,0004435	1650,26	0,73	19627.
45,9000	0,0003763	1400,20	0,53	19628.
47,6000	0,0003192	1188,02	0,38	19629.
49,3000	0,0002709	1008,00	0,27	19629.
51,0000	0,0002298	855,26	0,20	19630.
52,7000	0,0001950	725,66	0,14	19630.
54,4000	0,0001654	615,70	0,10	19630.
56,1000	0,0001404	522,40	0,07	19631.
57,8000	0,0001191	443,24	0,05	19631.
59,5000	0,0001011	370,08	0,04	19631.
61,2000	0,0000857	319,09	0,03	19631.
				19631.

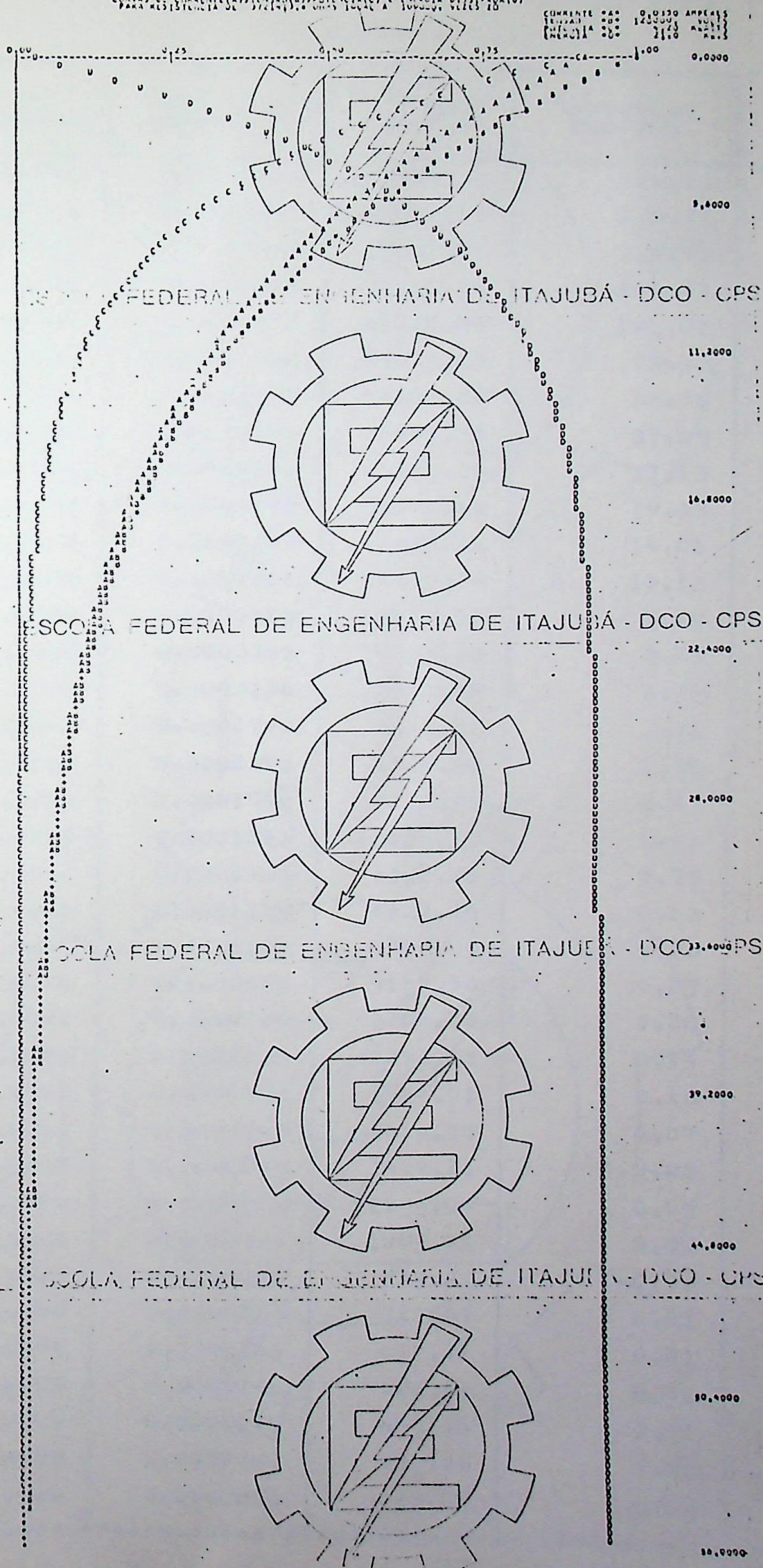
RESISTENCIA IGUAL A 3721413.83 OHMS

OU 100000 VEZES 20

TEMPO (SEGUNDOS)	CORRENTE (AMPERES)	TENSÃO (VOLTS)	POTENCIA (WATTS)	ENERGIA (W.S)
62.9000	0.0000728	210.74	0.02	
64.6000	0.0000617	229.71	0.01	19631.
66.3000	0.0000524	194.90	0.01	19631.
68.0000	0.0000444	165.37	0.01	19631.
69.7000	0.0000377	140.31	0.01	19631.
71.4000	0.0000320	119.05	0.00	19631.
73.1000	0.0000271	101.01	0.00	19631.
74.8000	0.0000230	85.70	0.00	19631.
76.5000	0.0000195	72.72	0.00	19631.
78.2000	0.0000166	61.70	0.00	19631.
79.9000	0.0000141	52.35	0.00	19631.
81.6000	0.0000119	44.42	0.00	19631.
83.3000	0.0000101	37.69	0.00	19631.
85.0000	0.0000086	31.98	0.00	19631.
86.7000	0.0000073	27.13	0.00	19631.
88.4000	0.0000062	23.02	0.00	19631.
90.1000	0.0000052	19.53	0.00	19631.
91.8000	0.0000045	16.57	0.00	19631.
93.5000	0.0000038	14.06	0.00	19631.
95.2000	0.0000032	11.93	0.00	19631.
96.9000	0.0000027	10.12	0.00	19631.
98.6000	0.0000023	8.59	0.00	19631.
100.3000	0.0000020	7.29	0.00	19631.
102.0000	0.0000017	6.18	0.00	19631.
103.7000	0.0000014	5.25	0.00	19631.
105.4000	0.0000012	4.45	0.00	19631.
107.1000	0.0000010	3.78	0.00	19631.
108.8000	0.0000009	3.20	0.00	19631.
110.5000	0.0000007	2.72	0.00	19631.
112.2000	0.0000006	2.31	0.00	19631.
113.9000	0.0000005	1.96	0.00	19631.
115.6000	0.0000004	1.66	0.00	19631.
117.3000	0.0000004	1.41	0.00	19631.
119.0000	0.0000003	1.20	0.00	19631.
120.7000	0.0000003	1.01	0.00	19631.
122.4000	0.0000002	0.86	0.00	19631.
124.1000	0.0000002	0.73	0.00	19631.

CUNYAS DE CONSERVACAO E MANUTENCAO DA PISCICULTURA VETERINARIA

CURRENTS	0.00	0.0100	AMPERES
TENSION	0.00	120.000	VOLTS
PHASE	0.00	2.00	ANGLE
PHASE	0.00	2.10	ANGLE



RESISTENCIA IGUAL A 37214138.26 OHMS

DU 1000000. VEZES 20

TEMPO (SEGUNDOS)	CORRENTE (AMPERES)	TENSÃO (VOLTS)	POTENCIA (WATTS)	ENERGIA (W.S)
0.0000	0.0031792	118310.34	376.13	
17.0000	0.0026974	100382.60	270.77	3197.
34.0000	0.0022387	85171.57	194.93	7800.
51.0000	0.0019419	72262.44	140.33	11114.
68.0000	0.0016476	61314.99	101.02	13500.
85.0000	0.0013980	52023.87	72.73	15217.
102.0000	0.0011861	44190.64	52.36	16453.
119.0000	0.0010064	37451.97	37.69	17344.
136.0000	0.0008539	31770.83	27.13	17984.
153.0000	0.0007245	26961.66	19.53	18446.
170.0000	0.0006147	22870.13	14.06	18778.
187.0000	0.0005216	19409.69	10.12	19017.
204.0000	0.0004425	16468.52	7.29	19189.
221.0000	0.0003755	13973.03	5.25	19313.
238.0000	0.0003186	11852.68	3.78	19402.
255.0000	0.0002703	10052.18	2.72	19466.
272.0000	0.0002293	8534.90	1.96	19512.
289.0000	0.0001946	7241.00	1.41	19546.
306.0000	0.0001651	6144.27	1.01	19570.
323.0000	0.0001401	5213.23	0.73	19587.
340.0000	0.0001189	4423.26	0.53	19599.
357.0000	0.0001008	3753.00	0.38	19608.
374.0000	0.0000856	3184.30	0.27	19615.
391.0000	0.0000726	2701.78	0.20	19619.
408.0000	0.0000616	2292.38	0.14	19623.
425.0000	0.0000523	1945.01	0.10	19625.
442.0000	0.0000443	1650.28	0.07	19627.
459.0000	0.0000376	1400.21	0.05	19628.
476.0000	0.0000319	1188.04	0.04	19629.
493.0000	0.0000271	1006.01	0.03	19629.
510.0000	0.0000230	852.27	0.02	19630.
527.0000	0.0000195	722.67	0.01	19630.
544.0000	0.0000165	612.71	0.01	19630.
561.0000	0.0000140	522.41	0.01	19631.
578.0000	0.0000119	443.25	0.01	19631.
595.0000	0.0000101	370.08	0.00	19631.
612.0000	0.0000086	312.09	0.00	19631.
				19631.

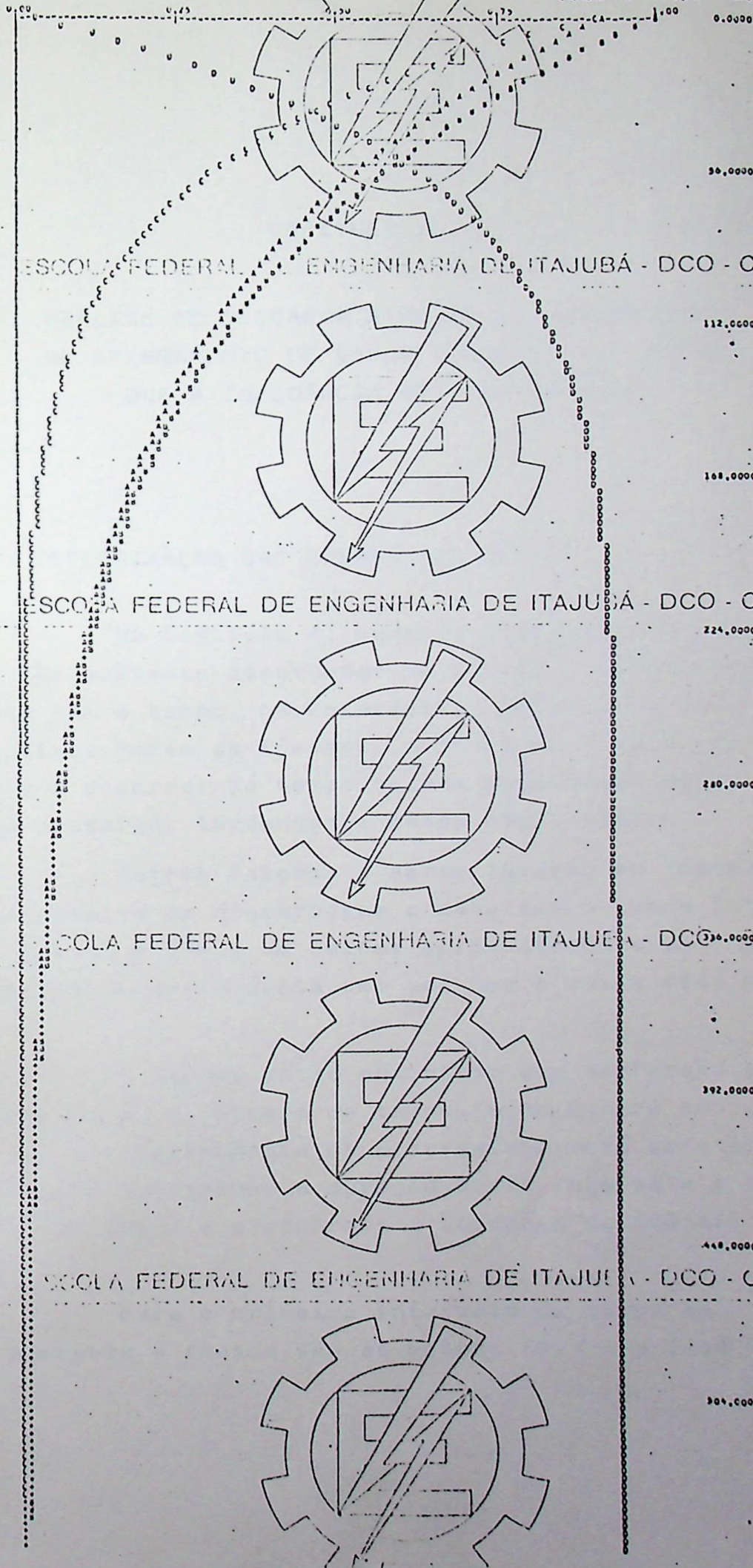
RESISTENCIA IGUAL A 37214133.26 OHMS
 00-1000000. VECES 20

TIEMPO (SEGUNDOS)	CORRIENTE (AMPERES)	TENSION (VOLTS)	POTENCIA (WATTS)	ENERGIA (W.S)
629.0000	0.0000073	210.74	0.00	
646.0000	0.0000062	229.72	0.00	19631.
663.0000	0.0000052	194.91	0.00	19631.
680.0000	0.0000044	165.37	0.00	19631.
697.0000	0.0000038	140.31	0.00	19631.
714.0000	0.0000032	119.05	0.00	19631.
731.0000	0.0000027	101.01	0.00	19631.
748.0000	0.0000023	85.71	0.00	19631.
765.0000	0.0000020	72.72	0.00	19631.
782.0000	0.0000017	61.70	0.00	19631.
799.0000	0.0000014	52.35	0.00	19631.
816.0000	0.0000012	44.42	0.00	19631.
833.0000	0.0000010	37.69	0.00	19631.
850.0000	0.0000009	31.98	0.00	19631.
867.0000	0.0000007	27.13	0.00	19631.
884.0000	0.0000006	23.02	0.00	19631.
901.0000	0.0000005	19.53	0.00	19631.
918.0000	0.0000004	16.57	0.00	19631.
935.0000	0.0000004	14.06	0.00	19631.
952.0000	0.0000003	11.93	0.00	19631.
969.0000	0.0000003	10.12	0.00	19631.
986.0000	0.0000002	8.59	0.00	19631.
1003.0000	0.0000002	7.29	0.00	19631.
1020.0000	0.0000002	6.18	0.00	19631.
1037.0000	0.0000001	5.25	0.00	19631.
1054.0000	0.0000001	4.45	0.00	19631.
1071.0000	0.0000001	3.78	0.00	19631.
1088.0000	0.0000001	3.20	0.00	19631.
1105.0000	0.0000001	2.72	0.00	19631.
1122.0000	0.0000001	2.31	0.00	19631.
1139.0000	0.0000001	1.96	0.00	19631.
1156.0000	0.0000000	1.66	0.00	19631.
1173.0000	0.0000000	1.41	0.00	19631.
1190.0000	0.0000000	1.20	0.00	19631.
1207.0000	0.0000000	1.01	0.00	19631.
1224.0000	0.0000000	0.86	0.00	19631.
1241.0000	0.0000000	0.73	0.00	19631.

ESCOLA FEDERAL DE ENGENHARIA DE ITAJUBÁ - DCO - CPS

CURVAS DE CONSTITUIÇÃO DE RESISTÊNCIA E DEFORMAÇÃO PARA RESISTÊNCIA DE SEÇÃO DE 100000 CM²

COMPRIMENTO 940 0,0035 ANCHURA
TENSÃO 170000 170000
DEFORMAÇÃO 0,001 0,001



CAPÍTULO 5

ANÁLISE DE DESCARGA ATRAVÉS DE RESISTÊNCIA DE ATERRAMENTO DE VALOR VARIÁVEL E MAIOR QUE A IMPEDÂNCIA NATURAL DO CABO

5.1 - DETERMINAÇÃO DAS EXPRESSÕES GERAIS

No Capítulo 4, pudemos observar que as curvas de descarga são bastante acentuadas no início, depois decrescendo lentamente com o tempo, característica própria de uma exponencial negativa. Porém se fôssemos diminuindo o valor da resistência com o decorrer do tempo talvez pudéssemos melhorar as curvas de descarga, tornando-as menos não lineares.

Outros fatores a serem levados em consideração para esta maneira de descarregar o cabo são o tempo total de descarga que se reduz e um melhor aproveitamento da potência de dissipação da resistência uma vez que a mesma fica mais uniforme.

Tentemos então encontrar uma expressão geral para um determinado intervalo de tempo, onde dentro deste intervalo o valor da resistência de aterramento será constante. Depois poderemos determinar a duração deste intervalo e o número deles, de tal forma a efetuarmos a descarga da melhor maneira possível.

Para o primeiro intervalo de tempo as expressões de corrente e tensão são as mesmas (4.4) e (4.6).

$$i_1(x,t) = \frac{E \sinh \alpha_1 \beta x}{\alpha_1 \ell F_1} \cdot e^{\alpha_1 t} \quad (5.1)$$

$$v(x,t) = \frac{-E z_0 \cosh \alpha_1 \beta x}{\alpha_1 \ell F_1} \cdot e^{\alpha_1 t} \quad (5.2)$$

onde:

$$\alpha_1 = \frac{1}{\beta \ell} \operatorname{arc} \operatorname{tgh} \left| \frac{-z_0}{RA_1} \right|$$

RA_1 = valor inicial da resistência de aterramento

$$F_1 = RA_1 \beta \cosh \alpha_1 \beta \ell + L \sinh \alpha_1 \beta \ell$$

$0 \leq t \leq t_1$, intervalo de validade das expressões (5.1) e (5.2).

t_1 = tempo onde haverá a primeira mudança no valor de RA_1

Façamos então para o tempo t_1 a primeira mudança no valor da resistência de aterramento de RA_1 para RA_2 , e calculemos as variações de corrente e tensão para este intervalo de tempo, $t_1 < t \leq t_2$.

Para o tempo $t=t_1$ as condições iniciais do problema são:

$$i(x,t_1) = \frac{E \sinh \alpha_1 \beta x}{\alpha_1 \ell F_1} e^{\alpha_1 t_1} \quad (5.3)$$

$$v(x,t_1) = \frac{-E z_0 \cosh \alpha_1 \beta x}{\alpha_1 \ell F_1} e^{\alpha_1 t_1} \quad (5.4)$$

Vamos voltar às expressões (2.3)

e cal

cular as transformadas de Laplace para as condições iniciais (5.3) e (5.4).

$$- \frac{dV}{dx} = RI + L |SI - i(x, t_1)| \quad (5.5)$$

$$- \frac{dI}{dx} = GV + C |SV - v(x, t_1)| \quad (5.6)$$

derivando estas expressões em relação a x obtemos:

$$- \frac{d^2V}{dx^2} = (R+SL) \frac{dI}{dx} - L \frac{di}{dx} (x, t_1) \quad (5.7)$$

$$- \frac{d^2I}{dx^2} = (G+SC) \frac{dV}{dx} - C \frac{dv}{dx} (x, t_1) \quad (5.8)$$

Como estamos tratando de um caso ideal, $R=0$ e $G=0$, temos:

$$\frac{d^2V}{dx^2} = -SL \frac{dI}{dx} + L \frac{di}{dx} (x, t_1)$$

$$\frac{d^2I}{dx^2} = -SC [-SLI + Li(x, t_1)] + C \frac{dv}{dx} (x, t_1)$$

Finalmente obtemos as expressões:

$$\frac{d^2V}{dx^2} - S^2 \beta^2 V = L \frac{di}{dx} (x, t_1) - S \beta^2 v(x, t_1) \quad (5.11)$$

$$\frac{d^2I}{dx^2} - S^2 \beta^2 I = C \frac{dv}{dx} (x, t_1) - S \beta^2 i(x, t_1) \quad (5.12)$$

Substituindo as expressões (5.3) e (5.4) e suas derivadas temos:

$$\frac{d^2 V}{dx^2} - S^2 \beta^2 V = \frac{E L e^{\alpha_1 t_1} \cdot \beta (\alpha_1 + S) \cosh \alpha_1 \beta x}{\alpha_1 l F_1} \quad (5.13)$$

$$\frac{d^2 I}{dx^2} - S^2 \beta^2 I = - \frac{E \beta^2 e^{\alpha_1 t_1} \cdot (\alpha_1 + S) \sinh \alpha_1 \beta x}{\alpha_1 l F_1} \quad (5.14)$$

Vamos então resolver as expressões (5.13) e (5.14) que são equações diferenciais lineares de coeficientes constantes e não homogêneas.

$$(D^2 - S^2 \beta^2) I = - \frac{E \beta^2 e^{\alpha_1 t_1} (\alpha_1 + S) \sinh \alpha_1 \beta x}{\alpha_1 l F_1}$$

$$I(x, S) = \frac{1}{(D - S\beta)} \left\{ \frac{1}{(D - S\beta)} \left| \frac{-E \beta^2 e^{\alpha_1 t_1} (\alpha_1 + S) \sinh \alpha_1 \beta x}{\alpha_1 l F_1} \right| \right\}$$

$$I(x, S) = \frac{1}{(D - S\beta)} \left\{ \frac{-E e^{\alpha_1 t_1} \beta}{2 \alpha_1 l F_1 (\alpha_1 - S)} \left| (\alpha_1 + S) e^{\alpha_1 \beta x} + (\alpha_1 - S) e^{-\alpha_1 \beta x} \right| + K_1 e^{S\beta x} \right\}$$

$$I(x, S) = \frac{-E e^{\alpha_1 t_1} \sinh \alpha_1 \beta x}{\alpha_1 l F_1 (\alpha_1 - S)} + \frac{K_1}{2S\beta} e^{S\beta x} + K_2 e^{-S\beta x} \quad (5.15)$$

Devemos agora determinar as constantes de integração K_1 e K_2 , vamos aplicar as mesmas condições de contorno 2.2, só que agora a validade estará limitada ao intervalo considerado.

A primeira condição nos dá:

$$\text{para } x=0 \quad i(0,t)=0 \quad \text{ou} \quad I(0,S)=0$$

substituindo na expressão (5.15) obtemos:

$$K_2 = - \frac{K_1}{2S\beta}$$

A expressão (5.15) se torna:

$$I(x,S) = \frac{-Ee^{\alpha_1 t_1} \sinh \alpha_1 \beta x}{\alpha_1 \mathcal{L}F_1(\alpha_1 - S)} + \frac{K_1}{S\beta} \sinh S\beta x \quad (5.16)$$

Para a determinação da constante K_1 , necessitamos da expressão de $V(x,S)$ que podemos obter a partir da expressão (5.6), ou seja:

$$\frac{dI}{dx} = -SCV + Cv(x, t_1)$$

$$V(x,S) = - \frac{1}{SC} \frac{dI}{dx} + \frac{v(x, t_1)}{S} \quad (5.17)$$

Derivando a expressão (5.16) e substituindo na (5.17), temos:

$$V(x,S) = \frac{Ez_0 e^{\alpha_1 t_1} \cosh \alpha_1 \beta x}{\alpha_1 \mathcal{L}F_1(\alpha_1 - S)} - \frac{K_1}{SC} \cosh S\beta x \quad (5.18)$$

A segunda condição de contorno nos dá:

$$\text{para } x=l \quad i(l,t) \cdot RA_2 = v(l,t) \quad \text{ou}$$

$$I(l,S) \cdot RA_2 = V(l,S)$$

Desta maneira podemos extrair o valor de K_1 :

$$K_1 = \frac{S\beta E e^{\alpha_1 t_1} |RA_2 \beta \sinh \alpha_1 \beta l + L \cosh \alpha_2 \beta l|}{\alpha_1 l F_1(\alpha_1 - S) |L \cosh S \beta l + RA_2 \beta \sinh S \beta l|} \quad (5.19)$$

Para maior simplificação as expressões que permanecerão constantes serão denominadas por uma só constante.

$$F_2 = RA_2 \beta \sinh \alpha_1 \beta l + L \cosh \alpha_1 \beta l$$

Assim, substituindo estes valores nas expressões (5.16) e (5.18) obtemos:

$$I(x,S) = \frac{-E e^{\alpha_1 t_1} \sinh \alpha_1 \beta x}{\alpha_1 l F_1(\alpha_1 - S)} + \frac{E e^{\alpha_1 t_1} F_2 \sinh S \beta x}{\alpha_1 l F_1(\alpha_1 - S) |L \cosh S \beta l + RA_2 \beta \sinh S \beta l|} \quad (5.20)$$

$$V(x,S) = \frac{E z_0 e^{\alpha_1 t_1} \cosh \alpha_1 \beta x}{\alpha_1 l F_1(\alpha_1 - S)} - \frac{E z_0 e^{\alpha_1 t_1} F_2 \cosh S \beta x}{\alpha_1 l F_1(\alpha_1 - S) |L \cosh S \beta l + RA_2 \beta \sinh S \beta l|} \quad (5.21)$$

Estas são as expressões finais no domínio da frequência de corrente e tensão para o segundo valor de resistência de aterramento RA_2 . Levemos agora retorná-las ao domínio do tempo ($t_1 < t \leq t_2$), portanto $t - t_1$.

Podemos dividir antitransformada em duas partes:

$$i(x,t) = i_1(x,t) + i_2(x,t)$$

$$v(x,t) = v_1(x,t) + v_2(x,t)$$

$$i_1(x,t) = \frac{E e^{\alpha_1 t_1} \sinh \alpha_1 \beta x}{\alpha_1 \ell F_1} L^{-1} \left| \frac{1}{S - \alpha_1} \right|$$

$$i_2(x,t) = \frac{-E e^{\alpha_1 t_1} F_2}{\alpha_1 \ell F_1} L^{-1} \left| \frac{\sinh S \beta x}{(S - \alpha_1)(L \cosh S \beta \ell + R A_2 \beta \sinh S \beta \ell)} \right|$$

$$v_1(x,t) = \frac{-E z_0 e^{\alpha_1 t_1} \cos \alpha_1 \beta x}{\alpha_1 \ell F_1} L^{-1} \left| \frac{1}{S - \alpha_1} \right|$$

$$v_2(x,t) = \frac{E z_0 e^{\alpha_1 t_1} F_2}{\alpha_1 \ell F_1} L^{-1} \left| \frac{\cosh S \beta x}{(S - \alpha_1)(L \cosh S \beta \ell + R A_2 \beta \sinh S \beta \ell)} \right|$$

As antitransformadas $i_1(x,t)$ e $v_1(x,t)$ são diretas e as $i_2(x,t)$ e $v_2(x,t)$ são conseguidas com a aplicação do teorema de ex pansão de Heaviside.

$$i_1(x,t) = \frac{E e^{\alpha_1 t_1} \sinh \alpha_1 \beta x}{\alpha_1 \ell F_1} e^{\alpha_1 (t - t_1)}$$

$$v_1(x,t) = \frac{-E z_0 e^{\alpha_1 t_1} \cosh \alpha_1 \beta x}{\alpha_1 \ell F_1} e^{\alpha_1 (t - t_1)}$$

$$i_2(x, t) = - \frac{E e^{\alpha_1 t_1} F_2}{\alpha_1 l F_1} \sum_{K=1}^n \frac{F_1(S_K)}{F_2'(S_K)} e^{S_K(t-t_1)} \quad (5.22)$$

onde

$$F_1(S) = \sinh S \beta x$$

$$F_2(S) = (S - \alpha_1) \cdot (L \cosh S \beta l + R A_2 \beta \sinh S \beta l)$$

$$F_2(S) = 0$$

As raízes são duas, a saber:

$$S_1 = \alpha_1$$

$$S_2 = \frac{1}{\beta l} \operatorname{arctg} h \left| - \frac{z_0}{R A_2} \right| = \alpha_2$$

$$F_2'(S) = (L \cosh S \beta l + R A_2 \beta \sinh S \beta l) + (S - \alpha_1) \cdot \beta l \cdot |L \sinh S \beta l + R A_2 \beta \cosh S \beta l|$$

$$F_2'(\alpha_1) = L \cosh \alpha_1 \beta l + R A_2 \beta \sinh \alpha_1 \beta l = F_2$$

$$F_2'(\alpha_2) = (\alpha_2 - \alpha_1) \cdot |L \sinh \alpha_2 \beta l + R A_2 \beta \cosh \alpha_2 \beta l| \beta l \quad F_2'(\alpha_2) = (\alpha_2 - \alpha_1) \cdot F_3 \beta l$$

$$F_3 = L \sinh \alpha_2 \beta l + R A_2 \beta \cosh \alpha_2 \beta l$$

Substituindo estes valores em (5.22), temos:

$$i_2(x, t) = - \frac{E e^{\alpha_1 t_1} F_2 \cdot \sinh \alpha_1 \beta x}{\alpha_1 l F_1 \cdot F_2} e^{\alpha_1(t-t_1)} - \frac{E e^{\alpha_1 t_1} F_2}{\alpha_1 l F_1} \cdot \frac{\sinh \alpha_2 \beta x}{(\alpha_2 - \alpha_1) \beta l F_3} e^{\alpha_2(t-t_1)} \quad (5.23)$$

$$v_2(x, t) = \frac{Ez_0 e^{\alpha_1 t_1} F_2}{\alpha_1 \ell F_1} \sum_{K=1}^n \frac{F_1(S_K)}{F_2'(S_K)} S_K(t-t_1) \quad (5.24)$$

onde:

$$F_1(S) = \cosh S\beta x$$

$$F_2(S) = (S - \alpha_1)(L \cosh S\beta \ell + RA_2 \beta \sinh S\beta \ell)$$

$$F_2(S) = 0$$

As raízes são as mesmas, a saber:

$$S_1 = \alpha_1$$

$$S_2 = \alpha_2$$

$$F_2'(\alpha_1) = F_2$$

$$F_2'(\alpha_2) = (\alpha_2 - \alpha_1)\beta \ell F_3$$

Substituindo estes valores em (5.24), temos:

$$v_2(x, t) = \frac{Ez_0 e^{\alpha_1 t_1} F_2}{\alpha_1 \ell F_1} \cdot \frac{\cosh \alpha_1 \beta x}{F_2} e^{\alpha_1(t-t_1)} + \\ + \frac{Ez_0 e^{\alpha_1 t_1} F_2}{\alpha_1 \ell F_1} \cdot \frac{\cosh \alpha_2 \beta x}{(\alpha_2 - \alpha_1)\beta \ell F_3} e^{\alpha_2(t-t_1)} \quad (5.25)$$

Juntando as expressões antitransformadas de Laplace, finalmente obtemos as variações de tensão e corrente, no espaço e no

tempo para o intervalo de tempo compreendido entre t_2 e t_1 , on de t_2 será o tempo onde haverá a segunda mudança no valor da resistência de aterramento.

$$i(x,t) = \frac{-E e^{\alpha_1 t_1} F_2 \operatorname{senh} \alpha_2 \beta x}{\alpha_1 \ell F_1 (\alpha_2 - \alpha_1) \beta \ell F_3} \cdot e^{\alpha_2 (t-t_1)} \quad (5.26)$$

$$v(x,t) = \frac{E z_0 e^{\alpha_1 t_1} F_2 \cosh \alpha_2 \beta x}{\alpha_1 \ell F_1 (\alpha_2 - \alpha_1) \beta \ell F_3} \cdot e^{\alpha_2 (t-t_1)} \quad (5.27)$$

$t_1 < t \leq t_2$, com a resistência de aterramento fixa e de valor RA_2 .

No instante $t=t_2$, fazamos a segunda mudança no valor de RA_1 , isto é, de RA_2 para RA_3 . Neste instante novamente paramos o tempo em $t=t_2$, tomando-o como referência. As condições iniciais são:

$$i(x,t_2) = - \frac{E e^{\alpha_1 t_1} F_2 \operatorname{senh} \alpha_2 \beta x}{\alpha_1 \ell F_1 (\alpha_2 - \alpha_1) \beta \ell F_3} e^{\alpha_2 (t_2-t_1)} \quad (5.28)$$

$$v(x,t_2) = \frac{E z_0 e^{\alpha_1 t_1} F_2 \cosh \alpha_2 \beta x}{\alpha_1 \ell F_1 (\alpha_2 - \alpha_1) \beta \ell F_3} e^{\alpha_2 (t_2-t_1)} \quad (5.29)$$

Tomando estes valores e o de suas derivadas e levando-os as expressões (5.11) e (5.12) temos:

$$\frac{d^2 V}{dx^2} - S^2 \beta^2 V = \frac{-E L e^{\alpha_1 t_1} F_2 \beta e^{\alpha_2 (t_2 - t_1)} (\alpha_2 + S) \cosh \alpha_2 \beta x}{\alpha_1 \ell F_1 (\alpha_2 - \alpha_1) \beta \ell F_3} \quad (5.30)$$

$$\frac{d^2 I}{dx^2} - S^2 \beta^2 I = \frac{E e^{\alpha_1 t_1} F_2 \beta^2 e^{\alpha_2 (t_2 - t_1)} (\alpha_2 + S) \sinh \alpha_2 \beta x}{\alpha_1 \ell F_1 (\alpha_2 - \alpha_1) \beta \ell F_3} \quad (5.31)$$

Passemos então a solução da equação diferencial de 2ª ordem, linear, de coeficientes constantes e não homogênea (5.31)

$$(D^2 - S^2 \beta^2) I = \frac{E e^{\alpha_1 t_1} F_2 \beta^2 e^{\alpha_2 (t_2 - t_1)} (\alpha_2 + S) \sinh \alpha_2 \beta x}{\alpha_1 \ell F_1 (\alpha_2 - \alpha_1) \beta \ell F_3}$$

$$I(x, S) = \frac{1}{D + S\beta} \left\{ \frac{1}{D - S\beta} \left| \frac{E e^{\alpha_1 t_1} F_2 \beta^2 e^{\alpha_2 (t_2 - t_1)} (\alpha_2 + S) \sinh \alpha_2 \beta x}{\alpha_1 \ell F_1 (\alpha_2 - \alpha_1) \beta \ell F_3} \right| \right\}$$

$$I(x, S) = \frac{1}{D + S\beta} \left\{ e^{S\beta x} \left| \frac{E e^{\alpha_1 t_1} F_2 \beta^2 e^{\alpha_2 (t_2 - t_1)} (\alpha_2 + S)}{2\alpha_1 \ell F_1 (\alpha_2 - \alpha_1) \beta \ell F_3} \right. \right.$$

$$\left. \cdot \int (e^{\alpha_2 \beta x} - e^{-\alpha_2 \beta x}) e^{-S\beta x} dx + K_1 \right\}$$

$$I(x, S) = \frac{1}{D + S\beta} \left\{ \frac{E e^{\alpha_1 t_1} F_2 \beta e^{\alpha_2 (t_2 - t_1)}}{2\alpha_1 \ell F_1 (\alpha_2 - \alpha_1) \beta \ell F_3 (\alpha_2 - S)} \left| (\alpha_2 + S) e^{\alpha_2 \beta x} + \right. \right. \\ \left. \left. + (\alpha_2 - S) e^{-\alpha_2 \beta x} \right| + K_1 e^{S\beta x} \right\}$$

$$I(x, S) = e^{-S\beta x} \left\{ \frac{E e^{\alpha_1 t_1} F_2 \beta e^{\alpha_2 (t_2 - t_1)}}{2\alpha_1 \ell F_1 (\alpha_2 - \alpha_1) \beta \ell F_3 (\alpha_2 - S)} \cdot \right. \\ \left. \int (\alpha_2 + S) e^{(\alpha_2 + S)\beta x} dx + \int (\alpha_2 - S) e^{-(\alpha_2 - S)\beta x} dx \right| + K_1 \int e^{2S\beta x} dx + K_2 \left. \right\}$$

$$I(x, S) = \frac{E e^{\alpha_1 t_1} F_2 e^{\alpha_2 (t_2 - t_1)} \sinh \alpha_2 \beta x}{\alpha_1 \ell F_1 (\alpha_2 - \alpha_1) \beta \ell F_3 (\alpha_2 - S)} + \frac{K_1}{2S\beta} e^{S\beta x} + K_2 e^{-S\beta x}$$

(5.32)

Para determinarmos as constantes K_1 e K_2 voltemos a aplicar a primeira condição de contorno que é:

$$\text{para } x=0 \quad i(0, t)=0 \quad \text{ou} \quad I(0, S)=0$$

Substituindo esta condição na expressão (5.32) obtemos:

$$K_2 = - \frac{K_1}{2S\beta}$$

levando este valor na expressão (5.32), temos:

$$I(x, S) = \frac{E e^{\alpha_1 t_1} F_2 e^{\alpha_2 (t_2 - t_1)} \sinh \alpha_2 \beta x}{\alpha_1 \ell F_1 (\alpha_2 - \alpha_1) \beta \ell F_3 (\alpha_2 - S)} + \frac{K_1}{S \beta} \sinh S \beta x \quad (5.33)$$

Para determinarmos o valor de K_1 , necessitamos da expressão da tensão, que pode ser obtida a partir da expressão (5.33), conforme (5.6), da forma:

$$V(x, S) = - \frac{1}{SC} \frac{dI}{dx} + \frac{v(x, t_2)}{S}$$

então:

$$V(x, S) = \frac{-E e^{\alpha_1 t_1} \cdot z_0 F_2 e^{\alpha_2 (t_2 - t_1)} \cosh \alpha_2 \beta x}{\alpha_1 \ell F_1 (\alpha_2 - \alpha_1) \beta \ell F_3 (\alpha_2 - S)} - \frac{K_1}{SC} \cosh S \beta x \quad (5.34)$$

Podemos agora aplicar a segunda condição de contorno:

$$\text{para } x = \ell \quad i(\ell, t) \times RA_3 = v(\ell, t) \quad \text{ou}$$

$$I(\ell, S) \cdot RA_3 = V(\ell, S)$$

Para o intervalo $t_2 < t \leq t_3$ e para a resistência de aterramento com valor fixo RA_3 .

A partir desta condição a constante K_1 fica determinada:

$$K_1 = \frac{-S \beta E e^{\alpha_1 t_1} F_2 e^{\alpha_2 (t_2 - t_1)} (RA_3 \beta \sinh \alpha_2 \beta \ell + L \cosh \alpha_2 \beta \ell)}{\alpha_1 \ell F_1 (\alpha_2 - \alpha_1) \beta \ell F_3 (\alpha_2 - S) (L \cosh S \beta \ell + RA_3 \beta \sinh S \beta \ell)}$$

Para maior simplificação, como temos uma expressão constante no denominador vamos chamá-la:



$$F_4 = RA_3 \beta \sinh \alpha_2 \beta l + L \cosh \alpha_2 \beta l$$

Substituindo os valores de F_4 e K_1 nas expressões de corrente e tensão (5.33) e (5.34), temos:

$$I(x, S) = \frac{E e^{\alpha_1 t_1} F_2 e^{\alpha_2 (t_2 - t_1)} \sinh \alpha_2 \beta x}{\alpha_1 l F_1 (\alpha_2 - \alpha_1) \beta l F_3 (\alpha_2 - S)} - \frac{-E e^{\alpha_1 t_1} F_2 e^{\alpha_2 (t_2 - t_1)} F_4 \sinh S \beta x}{\alpha_1 l F_1 (\alpha_2 - \alpha_1) \beta l F_3 (\alpha_2 - S) (L \cosh S \beta l + RA_3 \beta \sinh S \beta l)} \quad (5.35)$$

$$V(x, S) = \frac{-E z_0 e^{\alpha_1 t_1} F_2 e^{\alpha_2 (t_2 - t_1)} \cosh \alpha_2 \beta x}{\alpha_1 l F_1 (\alpha_2 - \alpha_1) \beta l F_3 (\alpha_2 - S)} + \frac{E z_0 e^{\alpha_1 t_1} F_2 e^{\alpha_2 (t_2 - t_1)} F_4 \cosh S \beta x}{\alpha_1 l F_1 (\alpha_2 - \alpha_1) \beta l F_3 (\alpha_2 - S) (L \cosh S \beta l + RA_3 \beta \sinh S \beta l)} \quad (5.36)$$

As expressões (5.35) e (5.36) estão no domínio da frequência. Vamos voltar aos domínios do espaço e do tempo da mesma maneira que obtivemos as expressões (5.26) e (5.27). Desta forma:

$$i(x, t) = \frac{E e^{\alpha_1 t_1} F_2 e^{\alpha_2 (t_2 - t_1)} F_4 e^{\alpha_3 (t - t_2)} \sinh \alpha_3 \beta x}{\alpha_1 l F_1 (\alpha_2 - \alpha_1) \beta l F_3 (\alpha_3 - \alpha_2) \beta l F_5} \quad (5.37)$$

$$v(x,t) = - \frac{Ez_0 e^{\alpha_1 t_1} F_2 e^{\alpha_2 (t_2 - t_1)} F_4 e^{\alpha_3 (t - t_2)} \cosh \alpha_3 \beta x}{\alpha_1 \ell F_1 (\alpha_2 - \alpha_1) \beta \ell F_3 (\alpha_3 - \alpha_2) \beta \ell F_5} \quad (5.38)$$

onde:

As expressões (5.37) e (5.38) são válidas para o intervalo $t_2 < t \leq t_3$ e para uma resistência de aterramento de valor fixo e igual a RA_3 .

$$\alpha_3 = \frac{1}{\beta \ell} \operatorname{arctgh} \left| \frac{-z_0}{RA_3} \right|$$

$$F_5 = RA_3 \beta \cosh \alpha_3 \beta \ell + L \sinh \alpha_3 \beta \ell$$

Desta forma, com as expressões de corrente:

5.1	para	$0 \leq t \leq t_1$	e	RA_1
5.26	para	$t_1 < t \leq t_2$	e	RA_2
5.37	para	$t_2 < t \leq t_3$	e	RA_3

e as expressões de corrente:

5.2	para	$0 \leq t \leq t_1$	e	RA_1
5.27	para	$t_1 < t \leq t_2$	e	RA_2
5.38	para	$t_2 < t \leq t_3$	e	RA_3

conseguimos uma lei de formação para um tempo t genérico com preendido no intervalo $t_K < t \leq t_{K+1}$, e para uma resistência de aterramento de valor fixo RA_{K+1} . Esta lei de formação nos possibilita escrever:

$$v(x,t) = - \frac{(-1)^{K+1} Ez_0 e^{\alpha_1 t_1} F_2 e^{\alpha_2 (t_2 - t_1)} F_4 e^{\alpha_3 (t_3 - t_2)} \dots F_{2K} e^{\alpha_{K+1} (t - t_K)} \cosh \alpha_{K+1} \beta x}{\alpha_1 \ell F_1 (\alpha_2 - \alpha_1) \beta \ell F_3 (\alpha_3 - \alpha_2) \beta \ell F_5 \dots (\alpha_{K+1} - \alpha_K) \beta \ell F_{2K+1}}$$

(5.39)

$$i(x,t) = \frac{(-1)^k E e^{\alpha_1 t_1} F_2 e^{\alpha_2 (t_2 - t_1)} F_4 e^{\alpha_3 (t_3 - t_2)} \dots F_{2k} e^{\alpha_{k+1} (t - t_k)} \sinh \alpha_{k+1} \beta x}{\alpha_1 \ell F_1 (\alpha_2 - \alpha_1) \beta \ell F_3 (\alpha_3 - \alpha_2) \beta \ell F_5 \dots (\alpha_{k+1} - \alpha_k) \beta \ell F_{2k+1}}$$

(5.40)

Sendo:

$$\alpha_k = \frac{1}{\beta \ell} \operatorname{arctgh} \left| \frac{-z_0}{RA_k} \right|$$

$$F_{2K} = RA_{K+1} \beta \sinh \alpha_K \beta \ell + L \cosh \alpha_K \beta \ell$$

$$F_{2K+1} = RA_{K+1} \beta \cosh \alpha_{K+1} \beta \ell + L \sinh \alpha_{K+1} \beta \ell$$

Desta forma podemos dividir a resistência de aterramento em quantas partes quisermos e daí para a análise das curvas de descarga da energia armazenada no cabo.

5.2 - CURVAS TÍPICAS

As curvas típicas de descarga dependem da maneira que iremos variar a resistência de aterramento, que deverá ser analisada para cada caso.

Para o cabo de 138 KV tomado como exemplo, a variação da resistência foi da forma da figura 5.1.

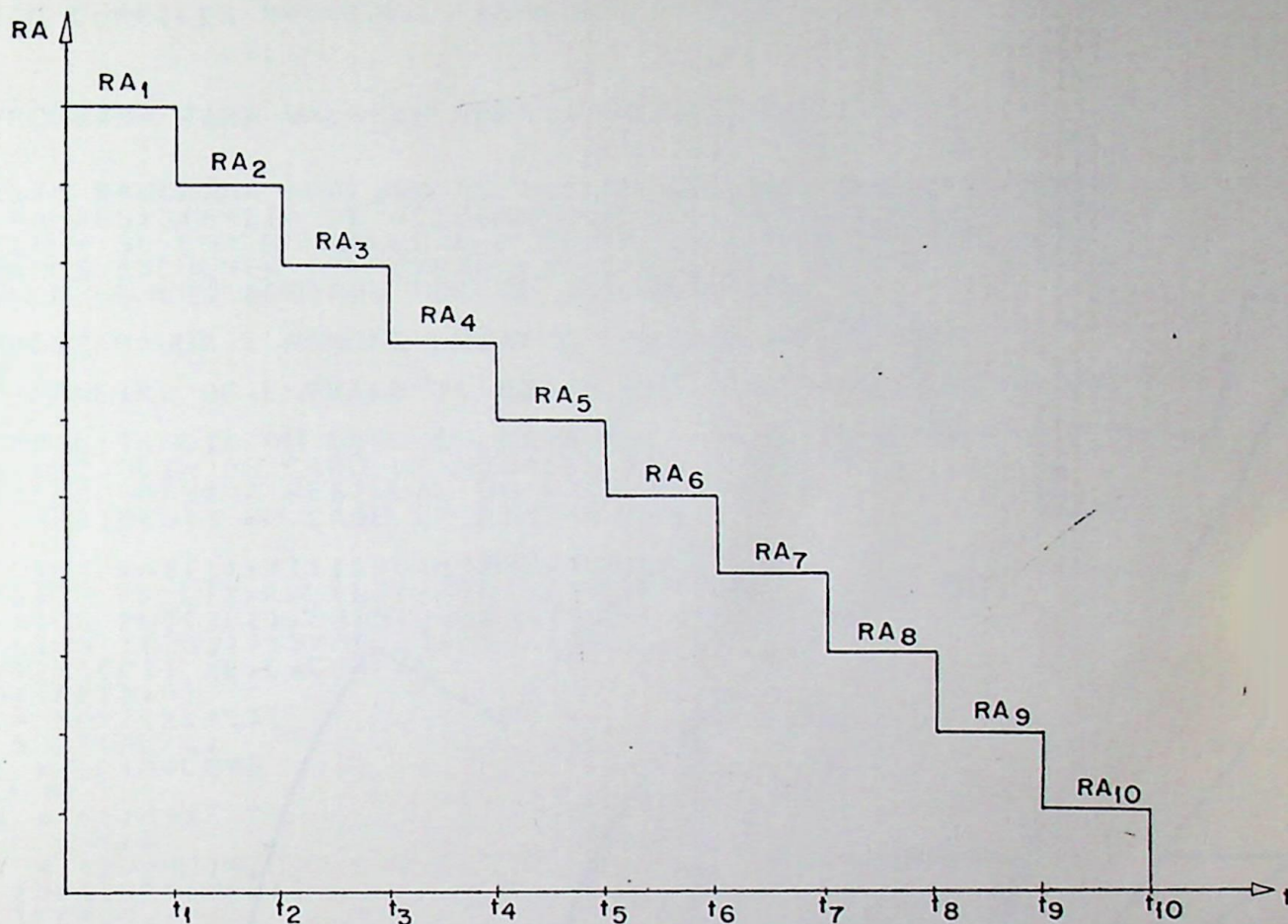


Fig.5.1 - Variação da resistência de aterramento

Esta variação de dez valores ou dez degraus possibilitou que a tensão decrescesse quase que segundo uma reta, como pode ser observado no programa a seguir.

A Lei de variação da resistência depende muito também do formato físico da mesma, porque esta variação deverá ser efetuada por operador no campo, portanto não adianta estabelecer uma variação impossível de ser conseguída praticamente.

O valor da resistência de aterramento sempre varia no sentido de decrescer.

ESCOLA FEDERAL DE ENGENHARIA

TR 86 FORTRAN COMPILER MV09(70) 240975 FOKA D.

5.3 PROGRAMA PARA VALORES VARIÁVEIS DE RESISTENCIA

ESTE PROGRAMA ANALISA AS DESCARGAS PARA QUANDO USAMOS UMA RESISTENCIA DE ATERRAMENTO VARIÁVEL, ISTO É, INICIA - SE COM UM VALOR E A VARIACAO É EM DEGRAUS. PODEROS ESCOLHER UM NUMERO QUALQUER DE DEGRAUS E NO CASO O NUMERO ADOITADO FOI DE DEZ DEGRAUS.

PROGRAMADOR : MANOEL EDUARDO MIRANDA NEGRISOLI

A MANEIRA DE ENTRADA DE DADOS É A MESMA DOS ANTERIORES

CAPACITANCIA DO CABO EM FARADAYS POR KILOMETRO = C
 INDUTANCIA DO CABO EM HENRIES POR KILOMETRO = XL
 TENSÃO MÁXIMA RESIDUAL DO CABO EM VOLTS = E
 COMPRIMENTO DO CABO EM KILOMETROS = COMP

```

DIMENSION RA(11),R(11),CTE(20),AUX1(11),AUXV(11)
DIMENSION RB(11),RBL(11),RBX(11),CORR(20),TENS(20)
DIMENSION PBT(20),EDIS(20),A(4,20),TE(11)
DIMENSION I(20),ISYM(12),B(4,20),NSYM(12)
1001 READ(12,1001) XL,C,COMP,E
FORMAT(4E12.4)
BETA = SORT(XL*C)
ZD = SORT(XL/C)
BETAL = BETA*COMP
X = COMP
BETAX = BETA*X
DO 4 N = 1,10
  RA(1) = (10**N)*ZD
  TE = 15*(10**(N-1))
  DT = 1E/200.
  TE(1) = 19*DT
  AB = 10**N
  AUX1 = 1./AB
  R(1) = (1/BETAL)*ALOG(SORT((1 - AUXN)/(1 + AUXN)))
  RB(1) = RA(1)*BETA
  RBL(1) = R(1)*BETAL
  RBX(1) = R(1)*BETAX
  CTE(1) = RB(1)*COSH(RBL(1)) + XL*SINH(RBL(1))
  AUX1(1) = E/(COMP*R(1)*CTE(1))
  AUXV(1) = -ZD*AUX1(1)
  CORR(1) = 1.7*E/(R(1)*C*COMP*(ZD**2 - RA(1)**2))
  TENS(1) = CORR(1)*RA(1)/1.4
  PBT(1) = CORR(1)*TENS(1)
  EDIS(1) = 0.5*C*COMP*(E**2)
  DO 3 I = 2,11
    IF(I.EQ.11) GO TO 1
    RA(I) = RA(1)*(11 - I)/10.
    AUX1(I) = AUX1(1)*(11 - I)
    R(I) = (1/BETAL)*ALOG(SORT((1 - AUXN)/(1 + AUXN)))
    RB(I) = RA(I)*BETA
    RBL(I) = R(I)*BETAL
    RBX(I) = R(I)*BETAX
    CTE(2*I - 1) = RB(I)*COSH(RBL(I)) + XL*SINH(RBL(I))
    CTE(2*(I - 1)) = RB(I)*COSH(RBL(I - 1)) + XL*SINH(RBL(I - 1))
    TE(I) = DT*(20*I - 1)
  IF(I.EQ.2) GO TO 101
  
```


SEITE 2

```

    AUX1(1) = AUX1(I-1)*CTE(2*(I-1))*EXP(R(I-1)*(TE(I-1) - TE(I-2)))/(
1 BETAL*CTE(2*(I-1))*(R(I-1)-R(I)))
    GO TO 102
101 AUX1(2) = AUX1(1)*CTE(2)*EXP(R(1)*TE(1))/(BETAL*CTE(3)*(R(1)-R(2)))
102 CONTINUE
    AUXV(1) = -Z0*AUX1(1)
1 CONTINUE
    J = (1 - 2)*20
    DO 2 K = 1, 20
    T(J+K) = (J + K - 1)*DT
    IF(1.EQ.2) GO TO 5
    CORR(J+K) = AUX1(I-1)*SINH(RBX(I-1))*EXP(R(I-1)*(T(J+K)-TE(I-2)))
    TENS(J+K) = AUXV(I-1)*COSH(RBX(I-1))*EXP(R(I-1)*(T(J+K)-TE(I-2)))
    POT(J+K) = CORR(J+K)*TENS(J+K)
    EDIS(J+K) = EDIS(J+K-1) + POT(J+K)*DT
    GO TO 6
5 CORR(J+K) = AUX1(1)*SINH(RBX(1))*EXP(R(1)*T(J+K))
    TENS(J+K) = AUXV(1)*COSH(RBX(1))*EXP(R(1)*T(J+K))
    POT(J+K) = CORR(J+K)*TENS(J+K)
    IF((J+K).EQ.1) GO TO 7
    EDIS(J+K) = EDIS(J+K-1) + POT(J+K)*DT
    GO TO 8
7 EDIS(1) = POT(1)*DT/2
8 CONTINUE
6 CONTINUE
    A(1,(J+K)) = 1
    A(2,(J+K)) = CORR(J+K)/CORR1
    A(3,(J+K)) = TENS(J+K)/TENS1
    A(4,(J+K)) = RA(I-1)/RA(1)
    B(1,(J+K)) = 1
    B(2,(J+K)) = POT(J+K)/POT1
    B(3,(J+K)) = EDIS(J+K)/EDIS1
    B(4,(J+K)) = A(4,(J+K))
2 CONTINUE
3 CONTINUE
    ISYM(1) = 12
    ISYM(2) = 1
    ISYM(3) = 2
    ISYM(4) = 10
    NSYM(1) = 12
    NSYM(2) = 3
    NSYM(3) = 4
    NSYM(4) = 10
    WRITE(1,1002)
1002 FORMAT(1H,2(/),21X,'CURVAS DE CORRENTE(A), TENSAD(B), POTENCIA(C) E
2 ENERGIA DISSIPADA(D)',/)
    WRITE(1,1003) RA(1)
1003 FORMAT(20X,'PARA VALOR INICIAL DE RESISTENCIA DE ',F11.1,' OHMS')
    WRITE(1,1004)
1004 FORMAT(/,32X,'A RESISTENCIA VARIADA CONFORME GRAFICO *R*',/)
    CORR1 = CORR1*1000
    WRITE(1,1005) CORR1
1005 FORMAT(91X,'CORRENTE *A*',3X,F5.2,1X,' AMPERES')
    TENS1 = TENS1/1000
    WRITE(1,1006) TENS1
1006 FORMAT(91X,'TENSAD',3X,'*B*',4X,F4.0,1X,' KVOLTS',/)
    CALL PLOT(A,200,4,0.0,DT,TE,ISYM,0,0,1,0,20)
    WRITE(1,1002)
    WRITE(1,1003) RA(1)
    WRITE(1,1004)
    POT1 = POT1/1000

```

SEITE 3

```

    WRITE(1,1007) POT1
1007 FORMAT(91X,'POTENCIA',1X,'*C*',3X,F5.2,3X,' KWATTS')
    EDIS1 = 20
    WRITE(1,1008) EDIS1
1008 FORMAT(91X,'ENERGIA',2X,'*D*',4X,F4.1,5X,' KW.S',///)
    CALL PLOT(B,200,4,0.0,DT,TE,NSYM,0,0,1,0,20)
4 CONTINUE
    STOP
    END

```



```

      TD=-AMAX
50  CENTR=CENTR2
60  VARX = XSTART
      ICNTR=CENTR
      DO 110 J=1,NSTEPS
      IF(MAN.EQ.1) VARX=XDATA(J)
      ALINE(ICNTR)=DOT
      Y=-XSTEP
      IF((VARX.GT.(XSTEP*0.25)).OR.(VARX.LT.(Y*0.25))) GO TO 80
      WRITE(1,5)15,T4,13,T2,11
5  FORMAT('1',F8.2,17X,F8.2,17X,F8.2,17X,F8.2,17X,F8.2)
      DO 70 M=1,101
70  ALINE(M)=BLANK(M)
80  DO 81 L=1,KURVS
      IY(L)=(DATA(L,J)*SCALE)+CENTR
      ALINE(IY(L))=SYMBL(ISYM(L))
81  CONTINUE
      DO 83 M=1,KURVS
      DO 82 N=1,KURVS
82  IF(((IY(M).EQ.IY(N)).AND.(M.NE.N)).AND.(.NOT.((ISYM(N).EQ.12)
1.DR.(ISYM(M).EQ.12)))) ALINE(IY(M))=SYMBL(11)
83  CONTINUE
      IF(ND.EQ.1) GO TO 95
85  WRITE(1,4)ALINE
4  FORMAT(6X,101A1,1X,F12.4)
95  IF(MAN.EQ.1) XVAL=XDATA(J)
      IF(MAN.NE.1) VARX=VARX+XSTEP
      IF(ND.NE.1) GO TO 105
      WRITE(1,4)ALINE,XVAL
05  ND=ND+1
      IF(ND.EQ.10) ND=1
      IF(MAN.NE.1) XVAL=XVAL+XSTEP
      DO 90 M=1,101
90  ALINE(M)=BLANK
10  CONTINUE
20  WRITE(1,9)
9  FORMAT('1')
30  RETURN
      END

```

610
620
640
650
660
670
680
690
700
710
720
730
740
750
760
770
780
790
800
810
820
830
840
850
860
870
880
890
900
910
920
930
940

11 30

FEHLERFREI
NSPEICHERBEDARF: 7190 ZELLEN OHNE COMMON

PLOT FEHLERFREI
NSPEICHERBEDARF: 1220 ZELLEN OHNE COMMON

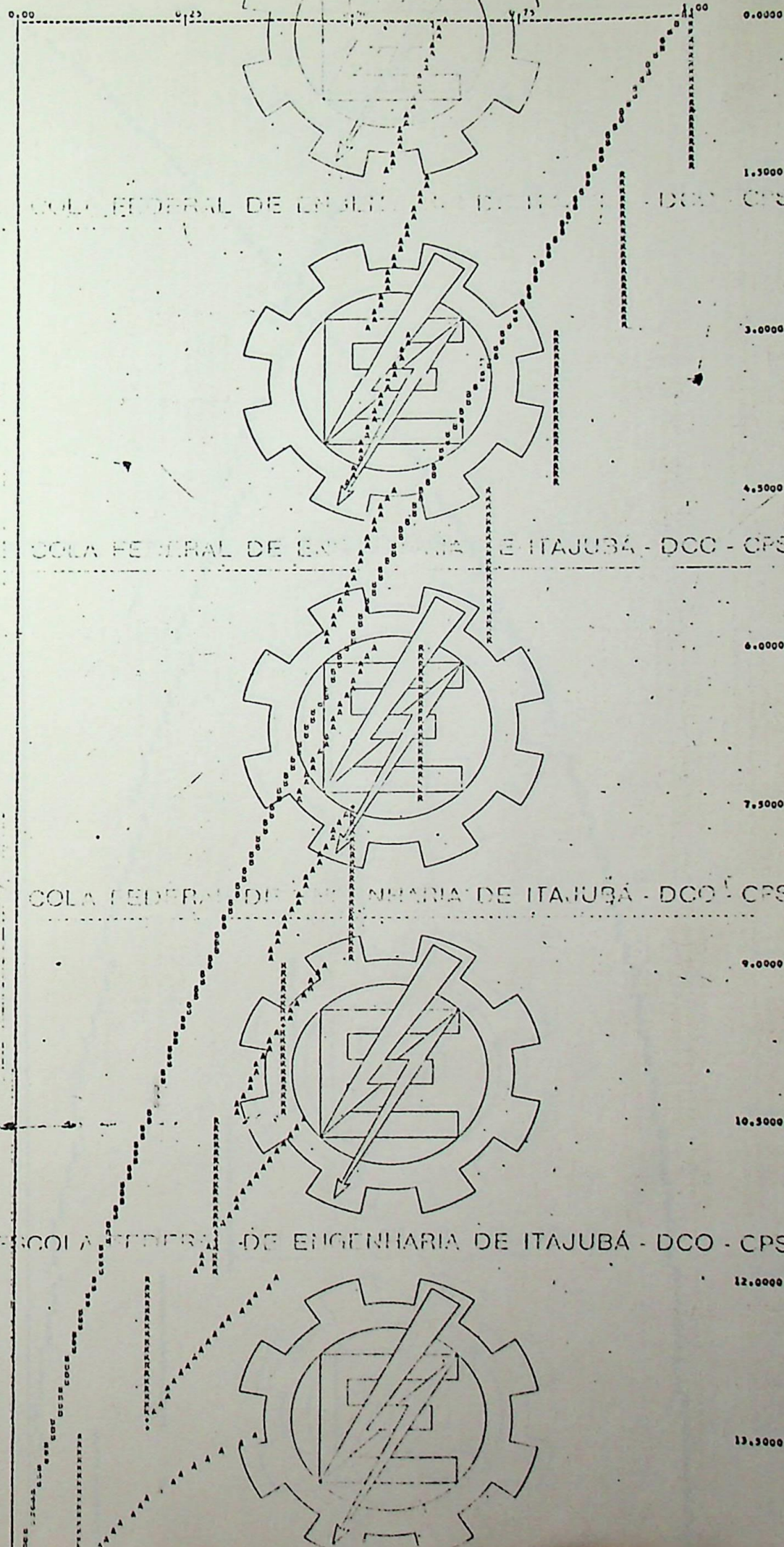
6 FORTRAN COMPILER MV09(10) 240975

STARTE D:

RAMMLAENGE 15648

DER COMPILATION

CORRIENTE : 50.00 AMPERES
TENSÃO : 110 VOLTS



CURVAS DE CORRENTE (A), TENSÃO (V), POTÊNCIA (C) E ENERGIA DISSIPADA (D)
PARA VALOR INICIAL DE RESISTÊNCIA DE 3721413,8 OHMS
A RESISTÊNCIA VARIADA CONFORME GRÁFICO "B"

POLEMYIA 55: 56.08 K-WATT

0.0000

1.5000

3,000

4,500

6.0000

7.5000

9.0000

10.5000

12.0000

13.5000

COLA PEDER DE ENCOMENDAS DE ITAQUI 1000 - CPS

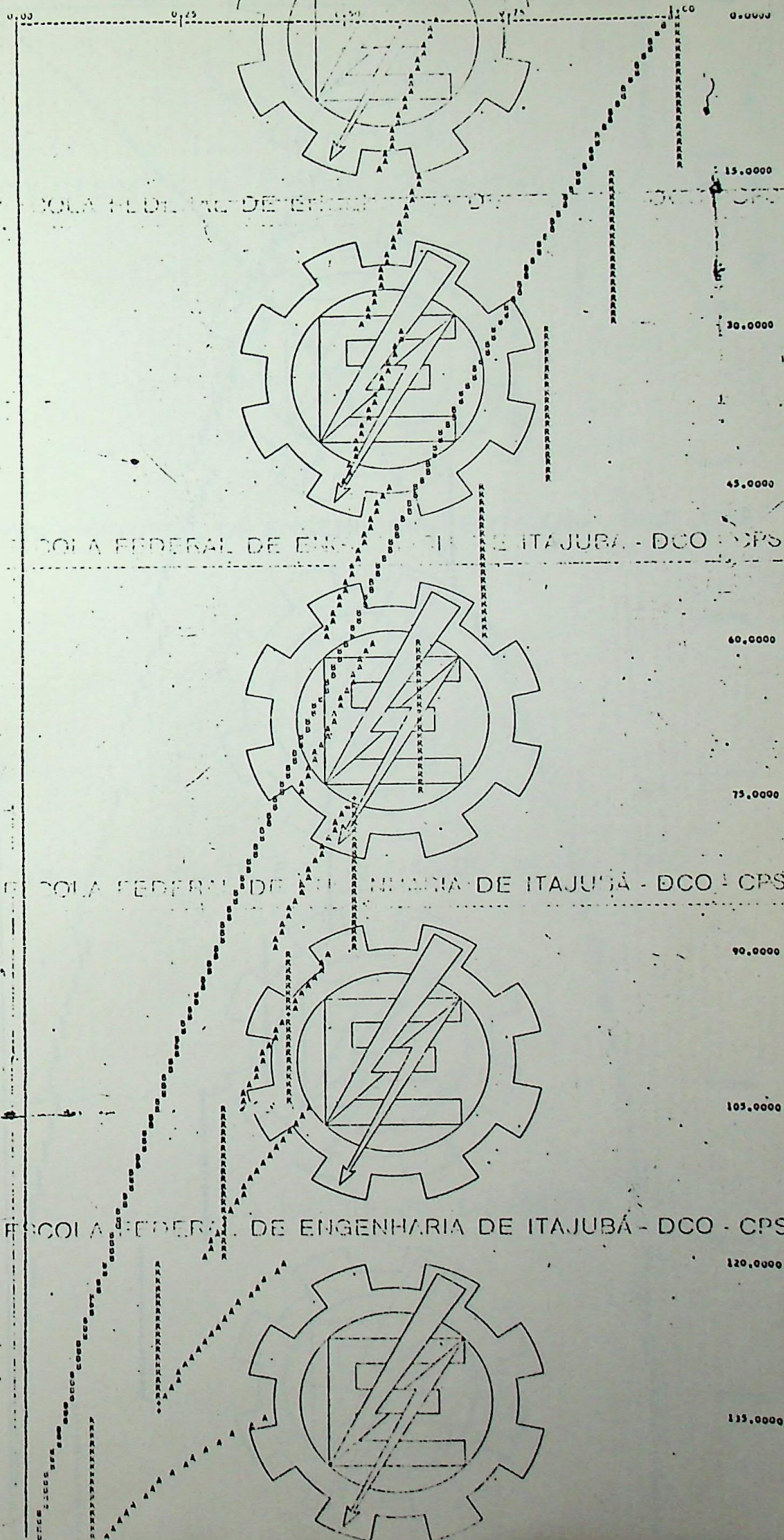
ESCOLA FEDERAL DE ENGENHARIA DE ITAJUBÁ - DCO - CPS

CONSIGLIO REGIONALE DELL'EMILIA-ROMAGNA DE ITALIA A.DCOI-CPS

RAIÃO DE FÉRIAS DE ITAJUBÁ, GO - GO

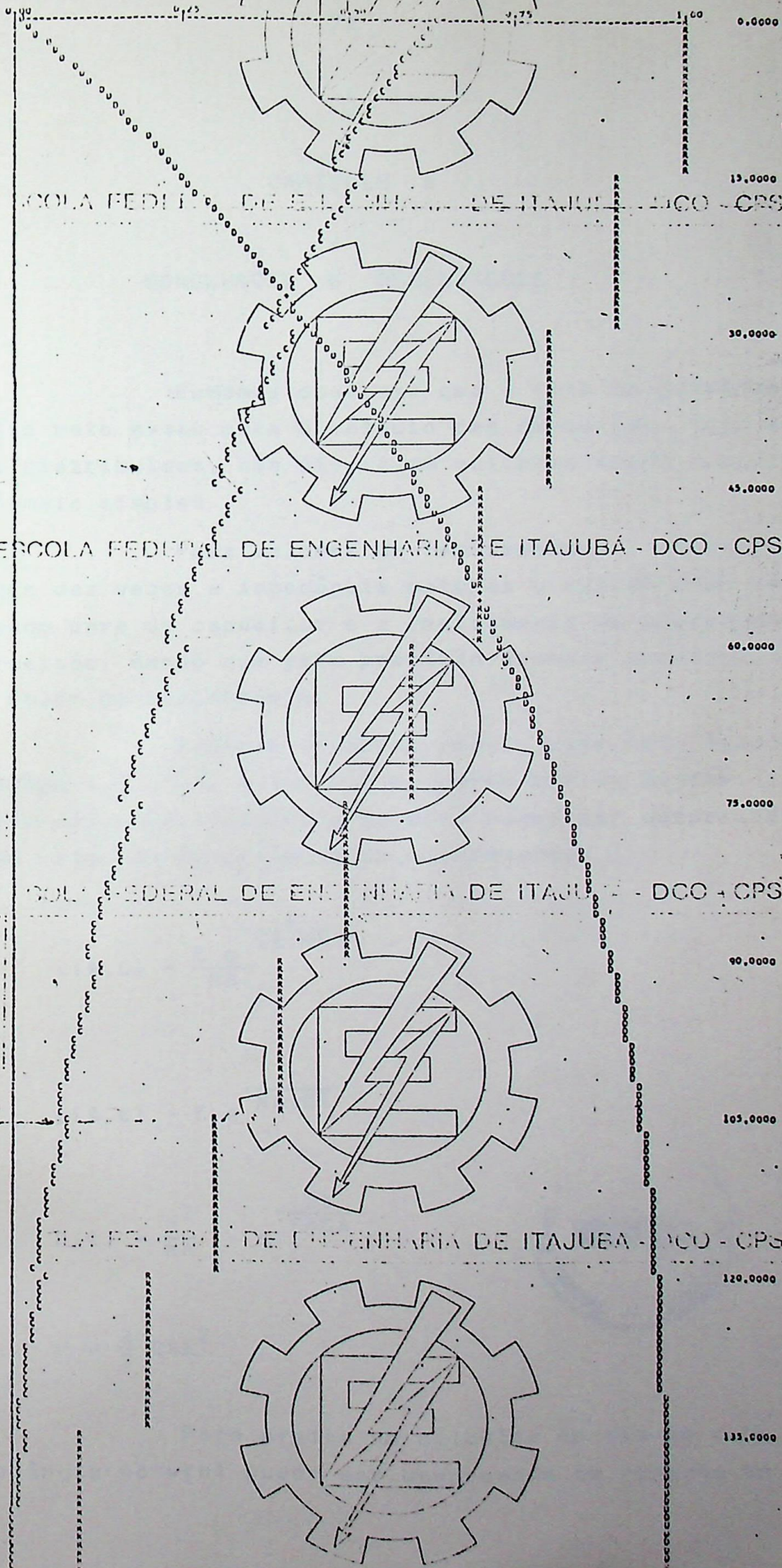
CURVAS DE CORRENTE (A), TENSÃO (V), POTÊNCIA (W) E ENERGIA (J) GASTADA (J)
PARA VALOR INICIAL DE RESISTÊNCIA DE 37214130,3 OHMS
A RESISTÊNCIA VARIADA CONFORME GRÁFICO 040

CURRENTS : 2.00 AMPERES
VOLTAGE : 120.0 VOLT



CURVAS DE CORRENTE (A) - TENSÃO (V) - POTÊNCIA (C) E ENERGIA DISSIPADA (D)
 PARA VALOR INICIAL DE RESISTÊNCIA DE 372(4138,3 OHMS)
 A RESISTÊNCIA VARIADA CONFORME GRÁFICO "R"

POTÊNCIA "C" 0,60 KW
 ENERGIA "D" 20,0 KWH



CAPÍTULO 6

CONCLUSÕES E OBSERVAÇÕES

Pudemos observar que o fato de considerarmos o processo mais exato para o cálculo das descargas, isto é, parâmetros distribuídos, não difere em muito se fosse realizado um estudo mais simples.

Para valores de resistência de aterramento maiores que dez vezes a impedância natural o estudo pode ser simplificado para um capacitor e a resistência de aterramento, com boa precisão, sendo que esta precisão aumenta proporcionalmente com o valor da resistência.

Podemos observar melhor este fato fazendo as expressões 4.5, 4.7, 4.8 e 4.9 passarem por um limite, isto é, quando o valor da impedância natural puder ser desprezado em face do valor da resistência de aterramento.

$$i(\ell, t) = \frac{E}{RA} e^{-\frac{t}{C\ell \cdot RA}} \quad (6.1)$$

$$v(\ell, t) = E e^{-\frac{t}{RA \cdot C\ell}} \quad (6.2)$$

$$P(t) = \frac{E^2}{RA} e^{-\frac{2t}{RAC\ell}} \quad (6.3)$$

$$W = \frac{1}{2} C\ell E^2 \quad (6.4)$$

Para efeito de cálculos no fim do cabo, quando a impedância natural puder ser desprezada em relação ao valor



da resistência de aterramento, podemos considerar o seguinte cir
cuito:

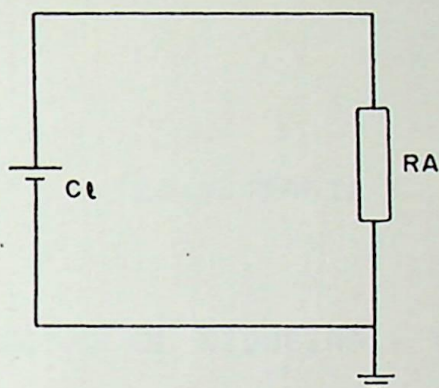


Fig.6.1 - Circuito simplificado do cabo
subterrâneo

Como podemos observar para este caso a indutân
cia praticamente nos influi no resultado.

Os estudos para valores de resistência de ater
ramento próximos e menores que a impedância natural são os obje-
tivos mais próximos de continuação deste trabalho.

BIBLIOGRAFIA

1. JOSÉ CARLOS GOULART DE SIQUEIRA - Circuitos II
2. E.J. BERG - Heaviside's Operational Calculus
3. RUBENS DARIO FUCHS - Linhas Aéreas de Transmissão de Energia Elétrica
4. P T I - Transmission Line Theory
5. SPIEGEL - Mathematical Handbook
6. SPIEGEL - Transformadas de Laplace
7. KREIDER - An Introduction to Linear Analysis