

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

CÁLCULO PROBABILÍSTICO DA CAPACIDADE DE LINHAS AÉREAS DE
TRANSMISSÃO

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA À UNIVERSIDADE FEDERAL
DE SANTA CATARINA PARA OBTENÇÃO DO GRAU DE
MESTRE EM ENGENHARIA

PABLO HUMERES FLORES

FLORIANÓPOLIS

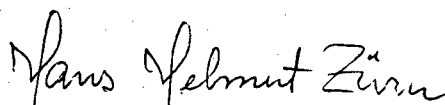
1990

CÁLCULO PROBABILÍSTICO DA CAPACIDADE DE LINHAS AÉREAS DE TRANSMISSÃO.

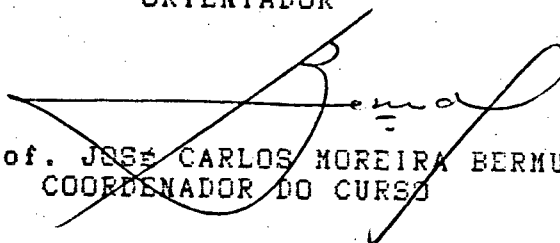
PABLO HUMERES FLORES

ESTA DISSERTAÇÃO FOI JULGADA ADEQUADA PARA OBTENÇÃO DO TÍTULO DE
MESTRE EM ENGENHARIA

ESPECIALIDADE ENGENHARIA ELÉTRICA, SISTEMAS DE POTÊNCIA, E
APROVADA EM SUA FORMA FINAL PELO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO.



Prof. HANS HELMUT ZÖRN - Ph.D.
ORIENTADOR



Prof. JOSÉ CARLOS MOREIRA BERMUDEZ - Ph.D.
COORDENADOR DO CURSO

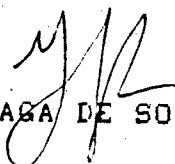
BANCA EXAMINADORA:



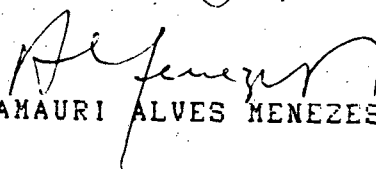
Prof. HANS HELMUT ZÖRN - Ph.D.



Prof. C. CELSO DE BRASIL CAMARGO - M.Sc



Prof. LUIZ GONZAGA DE SOUZA FONSECA - D.Sc



Engo AMAURI ALVES MENEZES JR. - M.Sc

"Ainda que eu tivesse o dom da profecia,
o conhecimento de todos os mistérios e de toda a ciência,
ainda que tivesse toda a fé,
a ponto de transportar os montes,
se não tivesse a caridade, eu nada seria."

(1 Cor 13,2)

A minha esposa Rosiani,
e ao meu filho Daniel.

A G R A D E C I M E N T O S

Ao professor Hans Helmut Zörn pela orientação e apoio na elaboração do presente trabalho.

As Centrais Elétricas do Sul do Brasil - ELETROSUL, especialmente aos amigos da Divisão de Engenharia de Linhas de Transmissão - DELT, pelo apoio, amizade, incentivo e contribuição dados.

Ao Centro de Pesquisas da Eletrobrás - CEPEL, especialmente pela gentileza no fornecimento dos dados meteorológicos necessários ao trabalho.

Aos senhores membros da Banca Examinadora, cujos comentários e sugestões tornaram melhor este trabalho e abriram novas perspectivas de pesquisa.

A Rosângela pela elaboração dos desenhos.

A minha família, amigos e todos que, de uma forma ou de outra, contribuíram para a realização deste trabalho.

A DEUS, verdadeira fonte de ânimo e inspiração.

I N D I C E

DESCRIÇÃO	PÁGINA
CAPÍTULO 1. INTRODUÇÃO.....	1
CAPÍTULO 2. DETERMINAÇÃO DO MODELO PARA CÁLCULO DA AMPACIDADE DE LINHAS AÉREAS DE TRANSMISSÃO.....	4
2.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS.....	4
2.2 MODELO TÉRMICO.....	5
2.2.1 EFEITO JOULE (P_J).....	7
2.2.2 AQUECIMENTO SOLAR (P_s).....	10
2.2.3 PERDAS POR CONVECÇÃO (P_{con}).....	19
2.2.3.1 CONVECÇÃO NATURAL.....	21
2.2.3.2 CONVECÇÃO FORÇADA.....	23
2.2.4 PERDAS POR IRRADIAÇÃO (P_r).....	27
2.3 CÁLCULO DA AMPACIDADE.....	29
CAPÍTULO 3. APLICAÇÃO DE METODOLOGIA ESTATÍSTICA NA DETERMINAÇÃO DA AMPACIDADE.....	31
3.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS.....	31
3.2 ABORDAGEM PROBABILÍSTICA.....	32
3.3 TRATAMENTO DOS DADOS METEOROLÓGICOS.....	34
3.3.1 VENTO.....	34
3.3.2 TEMPERATURA AMBIENTE.....	37
3.3.3 RADIAÇÃO SOLAR.....	39

3.4	CALCULO PROBABILISTICO DA AMPACIDADE.....	41
3.4.1	HISTOGRAMAS E FUNÇÃO DENSIDADE DE PROBABILIDADE.....	45
3.4.2	DISTRIBUIÇÃO DE PROBABILIDADE DA TEMPERATURA DO CABO.....	45
3.4.3	RISCO TÉRMICO.....	51
CAPÍTULO 4. PROGRAMA COMPUTACIONAL PARA CALCULO DA AMPACIDADE DE CONDUTORES AÉREOS DE LINHAS DE TRANSMISSÃO (ACALT).....		
4.1	CONSIDERAÇÕES GERAIS.....	55
4.2	FUNCIONAMENTO.....	55
4.3	APLICAÇÃO.....	64
CAPÍTULO 5. EXEMPLO DE APLICAÇÃO - ANÁLISE DE RESULTADOS.....		
5.1	CONSIDERAÇÕES GERAIS.....	65
5.2	METODOLOGIA DETERMINÍSTICA.....	67
5.3	METODOLOGIA PROBABILÍSTICA.....	72
5.4	CONCLUSÃO.....	85
CAPÍTULO 6. CONCLUSÃO E SUGESTÃO DE NOVOS TRABALHOS.....		
		86

ANEXOS:

1. TABELA DE DADOS DE CABOS ACSR.....	89
2. TABELA DE EMISSIVIDADE (E) E COEFICIENTE DE ABSORÇÃO SOLAR (α_s).....	93
3. CONVECÇÃO MISTA.....	95
4. EXEMPLO DE CÁLCULO DA CORRENTE EFICAZ.....	103
5. EXEMPLO DE CÁLCULO DE TEMPERATURA DO CABO.....	109
BIBLIOGRAFIA.....	115

R E S U M O

A capacidade máxima de energia elétrica que pode ser transportada por uma linha de transmissão, expressa em termos de corrente eficaz, ou ampacidade, está associada, entre outros fatores, ao limite térmico do condutor.

A determinação deste limite tem sido tradicionalmente feita a partir das condições térmicas críticas, utilizando modelos físicos que apresentam algumas limitações. Na prática, a linha estará na maior parte do tempo bem abaixo deste limite. Esta severidade, portanto, leva a não se aproveitar ao máximo a capacidade de transporte de energia da linha, além de provocar o superdimensionamento de projetos futuros.

O trabalho apresenta um modelo térmico mais moderno, que retrata de forma mais adequada o comportamento térmico do cabo. A partir dele, sugere-se substituir a tradicional abordagem determinística, por um enfoque probabilístico, mostrando suas vantagens e limitações. Desta forma, o limite térmico passa a ser expresso não apenas em função da corrente máxima, mas também do risco térmico a ela associada.

Um programa computacional é desenvolvido e um exemplo prático apresentado, mostrando as vantagens da nova metodologia.

A B S T R A C T

The maximum capacity of electric energy that can be transported through a transmission line, expressed in terms of effective current, or ampacity, is associated, among other factors, to the thermal limit of the conductor.

The determination of this limit was traditionally established from critical thermal conditions, using models that presents some limits. In practice, the line is for most of the time below the thermal limit. The severity of that methodology prevents the line from using at best its transport capacity, besides leading to overdesigning future projects.

This work presents a more modern thermal model, that describes better the thermal behaviour of the conductor. It is suggested to replace the traditional deterministic approach by a probabilistic one, presenting its advantages and limits. As a consequence the thermal limit is expressed not only in terms of the maximum current, but also of the associated thermal risk.

A computer program has been developed and a practical example is shown presenting the advantages of the new methodology.

CAPÍTULO 1. INTRODUÇÃO.

A energia elétrica é hoje elemento fundamental no modelo de desenvolvimento de qualquer sociedade. As vantagens que ela oferece em relação a outras fontes de energia são inúmeras e tem levado ao seu crescente uso. Desta forma, a produção e transmissão de energia tem sido cada vez maior, exigindo o desenvolvimento contínuo do setor.

No que tange a transmissão de energia elétrica, tem havido um grande desenvolvimento exigido pelo aumento crescente da potência transmitida e do comprimento das linhas de transmissão. Isto tem levado à elevação das tensões 500 KV, 750 KV e 1000 KV, ao desenvolvimento de transmissão em corrente contínua, às linhas de transmissão compactas e à transmissão hexafásica.

O aprimoramento técnico econômico das linhas de transmissão exige um melhor conhecimento dos fenômenos envolvidos, modelagens adequadas e ferramentas de análise modernas que permitam aproximar-se, o máximo possível, do comportamento real do sistema, estabelecendo assim critérios e limites mais próximos do real, diminuindo o grau de incerteza que encarece a expansão e operação do mesmo.

O desenvolvimento dos materiais também tem sido importante: estruturas mais leves e confiáveis; cabos que permitem flechas menores como ACSR, AACSR ou ACAR; ferragens de melhor qualidade e utilizadas de maneira otimizada.

Dentro de toda esta problemática, um grande desafio a vencer é o limite de carregamento das linhas de transmissão. Basicamente, o limite ocorre por questões de estabilidade,

regulação, perdas e da condição térmica do cabo. No sistema brasileiro o limite de estabilidade é geralmente mais crítico. Há situações porém, normalmente em linhas curtas, em que a condição térmica é limitadora. Pode ocorrer inclusive que uma linha de transmissão, dependendo das condições operativas do sistema, ora seja limitada por uma condição, ora pela outra. Este trabalho visa abordar a questão do limite térmico, que é consequência direta da ampacidade do condutor. Chamamos de ampacidade (expressão oriunda da palavra inglesa "ampacity"), à capacidade máxima de condução de corrente eficaz que o condutor permite para um determinado limite térmico.

A limitação térmica ocorre primeiro em relação ao efeito de recozimento que altas temperaturas provocam no cabo (no caso de cabos ACSR nos fios de alumínio) com a consequente fadiga do material. Uma segunda limitação é o aumento da flecha, o que significa aumento de custo (no caso de projeto) ou então diminuição das distâncias de segurança (no caso de linhas em operação) e podem colocar em risco a vida humana. O que se verifica na prática é que esta segunda limitação ocorre geralmente antes da primeira, além de representar um limite mais rigoroso.

No projeto de uma linha de transmissão, se estabelece a temperatura máxima que o cabo pode atingir considerando sua operação normal e de emergência. Para isto, é utilizado um modelo físico que permite calcular a temperatura do cabo considerando determinadas condições críticas do ponto de vista meteorológico. Normalmente, esta metodologia leva a estabelecer valores muito conservativos; primeiro, pelo modelo térmico utilizado, que não

retrata fielmente o fenômeno e exige ponderações conservativas, e segundo, porque consideram-se condições meteorológicas muito adversas e que ocorrem somente em alguns momentos na vida útil da linha.

O trabalho procurará superar estes problemas desenvolvendo inicialmente um modelo térmico mais moderno e apropriado (capítulo 2). A partir dele procura-se substituir a tradicional abordagem determinística, sugerindo-se um enfoque probabilístico, mostrando suas vantagens e limitações (capítulo 3). Um programa computacional para execução dos cálculos necessários será apresentado (capítulo 4), bem como um exemplo de aplicação (capítulo 5) a partir do qual ficará evidente a vantagem da nova metodologia.

CAPÍTULO 2. DETERMINAÇÃO DO MODELO PARA CÁLCULO DA AMPACIDADE DE LINHAS AÉREAS DE TRANSMISSÃO.

2.1. CONSIDERAÇÕES GERAIS.

Numa perspectiva histórica [1] muitos trabalhos têm sido formulados no sentido de determinar a capacidade de transmitir energia de linhas de transmissão. Programas básicos para cálculo da capacidade térmica e de carregamento de uma linha, datam de 1923 (G.E. Luke). O trabalho desenvolvido por House e Tuttle [2] foi uma grande contribuição para o cálculo da ampacidade de cabos ACSR. O modelo desenvolvido por eles é usado até hoje em muitas empresas [3]. Da mesma forma, os trabalhos desenvolvidos por M.Davis [4/5/6/7/8/9] e por V.Morgan [10/11], auxiliaram muito na determinação mais apurada da ampacidade de linhas de transmissão. Outros trabalhos mais recentes [12/13/14/15/16/17/18] têm procurado melhorar, simplificar e aperfeiçoar a modelagem.

Estudos comparativos [19/20] têm mostrado que o modelo de Morgan e o modelo de Davis permitem uma melhor utilização da linha de transmissão, tendo em vista que levam em consideração, de forma explícita, a rugosidade do cabo.

Quando da ocorrência de condições rigorosas de ampacidade, observa-se que os valores calculados através dos diversos métodos tendem a se aproximar. Por isso, quando se adota metodologia determinística para o cálculo da ampacidade, modelos mais simples nos são mais convenientes. Por outro lado, na metodologia probabilística consideram-se todos os eventos, portanto, a adoção de um modelo que retrate de forma mais fiel o fenômeno é

vantajoso, apesar de exigir um número maior de dados. Desta forma adota-se basicamente o modelo de V.Morgan [10/11] neste trabalho.

Observa-se ainda que neste estudo os cálculos consideram a temperatura média do condutor. Isto é feito para simplificar o problema, apesar de que, segundo Morgan [11], a diferença entre a temperatura superficial e a temperatura do núcleo do condutor pode ser significativa, sendo que esta última é diretamente proporcional à quantidade de calor no cabo e inversamente proporcional à tensão na linha. A maioria dos autores adota esta simplificação.

2.2. MODELO TÉRMICO.

Numa linha de transmissão [13] a corrente eficaz é variável e as condições meteorológicas mudam a todo instante. Apesar disto, pode-se considerar que num determinado momento a corrente é constante, e todas as condições meteorológicas permanecem iguais independentes do tempo. Neste caso o uso de um modelo de ampacidade para estado constante pode perfeitamente ser utilizado na determinação da temperatura do condutor.

Assim sendo, [10] assume-se aqui que o sistema é estável termicamente. Desta forma, no caso de uma condição de aquecimento contínuo, pode-se calcular a ampacidade pela equação de equilíbrio térmico, dada por :

$$\Sigma P_f = \Sigma P_c \quad (1)$$

o que significa que o calor fornecido ao condutor, P_f , é igual ao calor cedido pelo mesmo, P_c .

No caso de condutores de energia elétrica isto pode ser expresso como :

$$P_j + P_m + P_s + k_i.P_i = P_{con} + P_r + P_w , (2)$$

onde :

P_j : calor ganho por efeito Joule (W/m)

P_m : calor ganho por efeito ferromagnético (W/m)

P_s : calor ganho por radiação solar (W/m)

P_i : calor ganho por efeito corona (W/m)

P_{con} : calor cedido por convecção (W/m)

P_r : calor cedido por irradiação (W/m)

P_w : calor cedido por efeito de evaporação de água na superfície do condutor (W/m)

k_i : constante referente à difusão térmica

Existem termos desta equação que podem ser desprezados. É o caso [20] por exemplo de P_m , já que o efeito magnético relacionado aos condutores com núcleos de aço, dependendo do tipo e número de camadas do encordoamento tende a ser desprezível.

O aquecimento por efeito corona, P_i , também pode ser desprezado, já que na prática apenas uma pequena parcela do calor gerado é difundido para o condutor.

No caso de P_w , a dificuldade está em determinar uma modelagem confiável. Pesquisas neste sentido tem sido desenvolvidas, mas ainda não se tem resultados mais conclusivos. Outro problema, é que a chuva, que causa este efeito, é imprevisível, e se se tratar de linha longa, pode estar localizada em apenas alguns pontos da mesma. Sua determinação no futuro poderá ser importante, já que ela contribui significativamente no resfriamento do condutor, além de estar presente num momento crítico do sistema, onde as situações de emergência são comuns, e a necessidade de sobrecarga de algumas linhas pode ser fundamental.

A equação simplificada será então :

$$P_j + P_s = P_{con} + P_r \quad (3)$$

Define-se agora para cada parcela desta equação, o procedimento para sua determinação.

2.2.1 EFEITO JOULE (P_j).

Pela lei de Joule sabe-se que :

$$P_j = R \cdot I^2 \quad , \quad (4)$$

lembrando que I é a corrente eficaz em ampères, e R a resistência ôhmica à corrente alternada, na temperatura do condutor por metro.

Sabe-se que :

$$R = R_{\text{ref}} [1 + \alpha t (T_c - T_{\text{ref}})] , (5)$$

onde :

R_{ref} : resistência à temperatura de referência (Ω/m)

αt : coeficiente de variação da resistência ($1/^\circ\text{C}$)

T_{ref} : temperatura de referência ($^\circ\text{C}$)

T_c : temperatura do condutor ($^\circ\text{C}$)

O valor da resistência a corrente alternada [10/21] depende da temperatura, do efeito pelicular (skin effect) e da densidade de corrente. O efeito de aproximação entre os cabos também pode ser considerado.

Para o cálculo da ampacidade porém, não são necessárias considerações tão minuciosas, já que existem outros cálculos na modelagem que podem ser bem mais significativos.

Observando a figura 1 apresentada a seguir, obtida de dados experimentais do Electric Power Research Institute-EPRI, Anexo 1, notamos que uma aproximação linear a partir de dois pontos nos leva a resultados bastante satisfatórios.

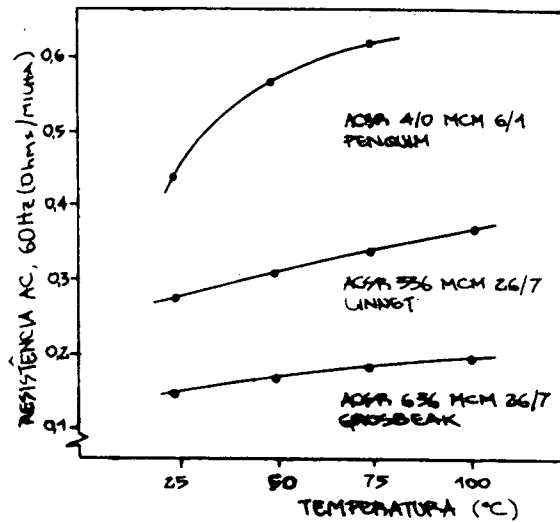


FIGURA 1 - Variação da resistência AC

Observa-se porém, que para cabos de uma camada a aproximação implica pequenos erros. Isto pode ser contornado diminuindo-se o intervalo de temperatura considerado e situando a temperatura do cabo dentro deste intervalo.

Desta forma α_t será calculado como :

$$\alpha_t = \frac{R_{tref2} - R_{tref1}}{R_{tref1} (t_{ref2} - t_{ref1})} \quad (6)$$

Recomenda-se usar como referência as resistências nas temperaturas de 25 e 75°C. É importante observar que α_t está relacionado à temperatura R_{tref1} , e portanto varia de acordo com a referência 1 adotada.

2.2.2. AQUECIMENTO SOLAR (P_s).

O ganho de calor por efeito solar [11] é dado por :

$$P_s = \alpha_s \cdot D \left([I_b (\sin n + \frac{\pi}{2} \cdot F \cdot \sin H_s \cdot \cos^2(\frac{\gamma}{2})] + \right. \\ \left. [\frac{\pi}{2} \cdot I_d \cdot \cos^2(\frac{\gamma}{2})] (1+F) \right) \quad , \quad (7)$$

onde :

α_s : coeficiente de absorção solar do condutor

D : diâmetro do condutor (m)

I_b : intensidade de radiação solar direta sobre uma superfície normal ao Sol (W/m^2)

n : ângulo do raio solar com respeito ao eixo do condutor (Graus)

F : reflectância da superfície da terra sob o condutor

H_s : altura solar (Graus)

γ : inclinação com a horizontal (Graus)

I_d : intensidade de radiação difusa do céu sobre uma superfície horizontal (W/m^2)

O diâmetro D é dado pelo fabricante do cabo, e α_s pode ser obtido a partir da tabela apresentada por Morgan [11], conforme o Anexo 2.

A reflectância (albedo), F, será dada pela tabela 1 [11/19].

F	SUPERFICIE
0,05	Água
0,1 - 0,2	Floresta
0,1 - 0,2	Área urbana
0,1 - 0,2	Gramma
0,1 - 0,2	Culturas diversas
0,6 - 0,8	Gelo e neve

TABELA 1 - Reflectância do solo

Nem sempre têm-se disponíveis os valores de radiação solar. Mas é possível calcular estes valores a partir do conhecimento da altura solar, H_s , e da constante de transparência da atmosfera, CN .

O valor da radiação solar direta será dado por :

$$I_b = CN [I_{bo} + 0,00014.H_g (I_o - I_{bo})] , \quad (8)$$

onde :

I_{bo} : intensidade de radiação solar direta ao nível do mar na atmosfera padrão (W/m^2)

I_o : intensidade de radiação extra-terrestre (W/m^2)

H_g : altitude em relação ao nível do mar (m)

CN : constante de transparência da atmosfera

Sabe-se [11] que I_o tem o valor médio de $1353 W/m^2$, e que I_{bo} será dado por :

$$I_{bo} = 1280 \left[\frac{\text{sen } H_s}{(\text{sen } H_s + 0,314)} \right], \quad (9)$$

sendo H_s a altura solar cuja determinação será abordada mais à frente.

A constante CN será dada segundo a tabela 2 [22] .

CN	CONDIÇÕES DA ATMOSFERA
0,0 - 0,5	Céu muito encoberto
0,5 - 0,7	Céu encoberto
0,7 - 0,9	Atmosfera clara
0,9 - 1,1	Atmosfera muito clara
1,1 - 1,3	Condições raras

TABELA 2 - Constante de transparência da atmosfera

A radiação difusa será calculada a partir [9] de :

$$I_d = I_t - I_b \cdot \text{sen } H_s, \quad (10)$$

onde :

I_t : intensidade da radiação solar total sobre uma superfície normal ao Sol (W/m^2)

sendo que I_t será dado por [22/23] :

$$I_t = \frac{I_b \cdot \text{sen } H_s (CN + CB)(\text{sen}^2 H_s + 0,0222)}{CA \cdot CN \cdot \text{sen}^2 H_s} \quad (11)$$

sendo que :

$$CA = 1,865 + 0,430.\text{sen}^2 H_s$$

$$CB = 1,037 + 0,467.\text{sen}^2 H_s$$

o que corresponde a uma fórmula empírica desenvolvida por M.R. Sharma e R.S. Pal [22] obtida através de medições realizadas na Índia, e considerada válida para os trópicos. Sua generalização para qualquer região do planeta não é recomendável.

Na determinação das outras variáveis da equação (7), utilizam-se relações de trigonometria esférica (figuras 2 e 3).

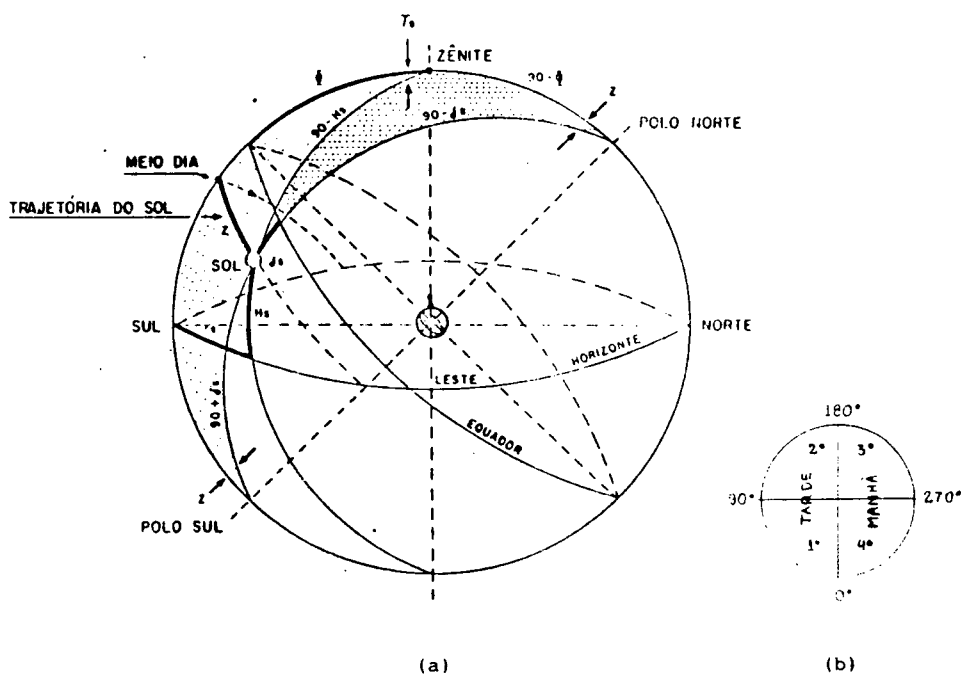


FIGURA 2 - Determinação de H_s e Y_s

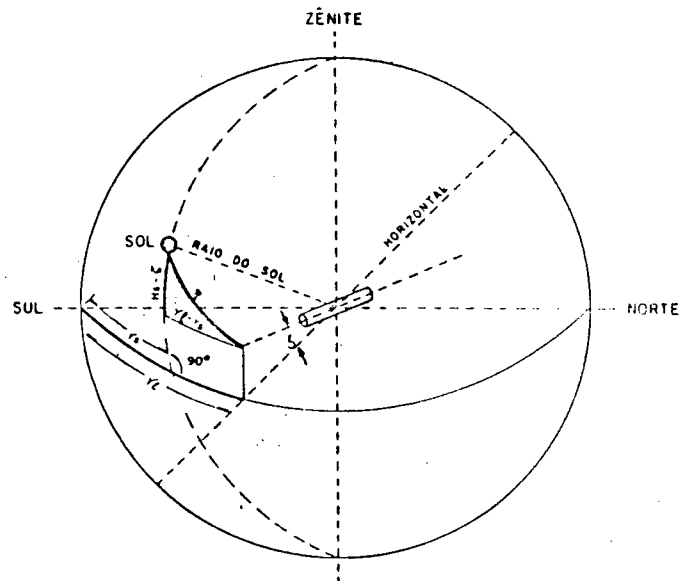


FIGURA 3 - Determinação de n

A altura solar, H_s , será dada por :

$$\text{sen} H_s = \text{sen } \varphi \cdot \text{sen } \delta_s + \cos \varphi \cdot \cos \delta_s \cdot \cos z \quad , \quad (12)$$

onde :

φ : latitude (Graus)

δ_s : declinação solar (Graus)

z : hora angular (Graus)

sendo que δ_s será dado aproximadamente por [11]:

$$\delta_s = 23,45.\text{sen} (360 (284 + N)/365) \quad (13)$$

Sabendo que N é o dia do ano. A hora angular, z, é dada por:

$$z = (H1 - 12) 15 + (LG1 - LG) + \text{CORR}/4, \quad (14)$$

onde :

H1 : hora legal (horas)

LG1 : longitude do local (Graus)

LG : longitude legal (Graus)

CORR : correção devido a perturbações na velocidade da Terra

A correção se deve a perturbações na velocidade da Terra variando ao longo do ano, e não excedendo nunca a 16 minutos [11]. Para a determinação do valor da correção pode-se utilizar um polinômio [19] que expressa de forma aproximada a curva de correção da hora angular (figura 4) apresentada por Hand [50].

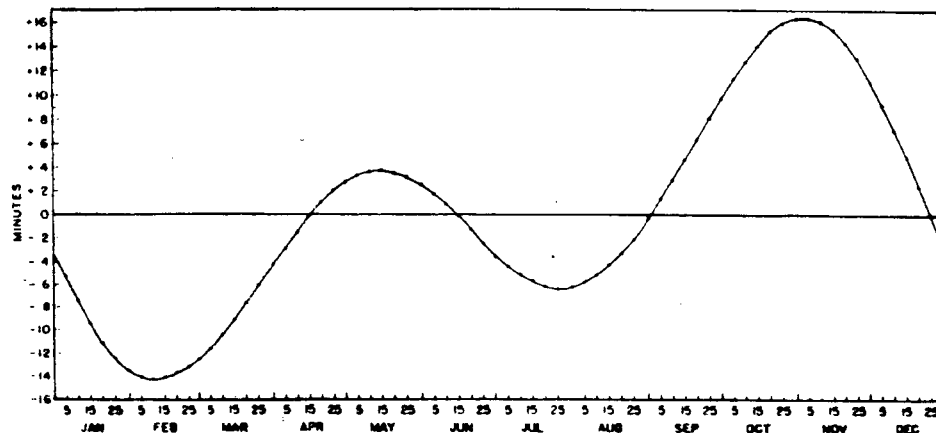


FIGURA 4 - Curva de correção da hora angular

Eis o polinômio:

$$\text{CORR} = A_0 + A_1.N + A_2.N^2 + A_3.N^3 + A_4.N^4 + A_5.N^5, \quad (15)$$

onde :

$$A_0 : -3,2995746$$

$$A_1 : -0,8508616$$

$$A_2 : +1,925202 \times 10^{-2}$$

$$A_3 : -1,491815 \times 10^{-4}$$

$$A_4 : +4,802821 \times 10^{-7}$$

$$A_5 : -5,445097 \times 10^{-10}$$

O ângulo do raio solar com respeito ao eixo do condutor, n , será determinado (figura 3) pela equação :

$$\cos n = \cos(H_s - \bar{\gamma}) \cos (Y_l - Y_s) \quad , \quad (16)$$

onde além dos termos já conhecidos tem-se :

Y_l : azimute da linha (Graus)

Y_s : azimute do sol (Graus)

Precisa-se determinar Y_s que é dado pela expressão :

$$\text{sen } Y_s = \frac{\cos \delta_s \text{ sen } z}{\cos H_s} \quad (17)$$

O sinal, porém, que Y_s assume depende [19] da inclinação da hora solar (figura 2B).

Para isto é necessário considerar a época do ano e o horário do dia. A tabela 3 resume as condições a respeito .

I n v e r n o	Se $\vartheta \neq 0$ $\vartheta \cdot \delta_s \leq 0$	$z \leq 0$ (manhã)	$Y_s = -(\pi - Y_s)$
	Se $\vartheta = 0$ $s \geq 0$	$z > 0$ (tarde)	$Y_s = \pi - Y_s$
V e r o	Se $\vartheta \neq 0$ $\vartheta \cdot \delta_s > 0$	$z \leq 0$ $ z \geq \left \frac{Z}{90} \right $	$Y_s = Y_s$
		$z \leq 0$ $ z < \left \frac{Z}{90} \right $	$Y_s = -(\pi - Y_s)$
	$\cos Z \leq 1$ 90	$z > 0$ $ z \geq \left \frac{Z}{90} \right $	$Y_s = Y_s$
		$z > 0$ $ z < \left \frac{Z}{90} \right $	$Y_s = \pi - Y_s$
Se $\vartheta = 0$ $\delta_s < 0$	$\cos Z > 1$ 90	$Y_s = Y_s$	

TABELA 3 - Determinação do sinal de Y_s

Onde $\cos Z_{90}$ é obtido da expressão :

$$\cos Z_{90} = \frac{\operatorname{tg} \delta_s}{\operatorname{tg} \vartheta} \quad (18)$$

2.2.3. PERDAS POR CONVECÇÃO (Pcon).

As perdas por convecção [19] têm o seu cálculo baseado na equação de definição do coeficiente médio de transferência convectivo de calor, h_c , e da área por onde se dá a transferência de calor, A , dada, segundo Newton, quando não ocorre qualquer irradiação por :

$$P_{con} = h_c \cdot A (T_c - T_a) \quad (19)$$

A primeira vista, a equação parece bastante simples, mas o cálculo de h_c depende de propriedades físicas do fluido, sua velocidade, dimensões e forma geométrica do corpo, etc. Assim, h_c é calculado de forma empírica através de dados experimentais e análise dimensional.

Para uma condição [13] meteorológica sem vento, h_c é função do número de Prandtl e do número de Grashof, e, para a condição de vento o número de Reynolds substitui o número de Grashof.

Morgan [11] coloca esta equação para cabos na forma :

$$P_{con} = \pi \cdot \lambda_f (T_c - T_a) (Nu)_{D,f} \quad , \quad (20)$$

onde :

λ_f : condutividade térmica do ar (W/m.°C)

T_c : temperatura do cabo (°C)

T_a : temperatura ambiente ($^{\circ}\text{C}$)

$(Nu)_{D,f}$: número de Nusselt, baseado no diâmetro D , e na temperatura média da película que envolve o condutor, T_f , sendo $T_f = (T_c + T_a)/2$

Sabe-se também que :

$$\lambda_f = 2,42 \times 10^{-2} + 7,2 \times 10^{-5} \cdot T_f \quad (21)$$

É preciso porém diferenciar dois tipos de convecção. A convecção forçada que ocorre na presença de vento, e a convecção natural no caso de vento nulo.

Morgan coloca ainda que existe a convecção mista, que é uma condição em que acontecem simultaneamente a convecção natural e a forçada. Esta situação ocorre para ventos muito fracos. O procedimento consiste na determinação do número de Reynolds efetivo, determinado considerando-se a condição mista de convecção, a partir do qual é feito o cálculo tal qual a convecção forçada. Uma das dificuldades [19] é determinar o ângulo entre as duas convecções para o cálculo do número de Reynolds efetivo. A princípio, um ângulo de 90° parece adequado, mas seria importante comprovar experimentalmente este valor. A sua contribuição nas perdas térmicas é pequeno, conforme mostrado no Anexo 3. A princípio não será considerada na modelagem por estar numa fase ainda de pesquisa.

2.2.3.1. CONVECÇÃO NATURAL.

Numa condição [11] de vento nulo, o número de Nusselt para um condutor liso horizontal é dado por :

$$\left(Nu \right)_{D,f} = A1 \left(Gr.Pr \right)_{D,f}^{m1}, \quad (22)$$

onde :

Gr : número de Grashof

Pr : número de Prandtl

A1 e m1 : constantes (tabela 4)

Sabe-se que :

$$\left(Gr \right)_{D,f} = \frac{D^3 . g (Tc - Ta)}{(Tf + 273) \nu f^2} \quad (23)$$

e:

$$\left(Pr \right)_{D,f} = 0,715 - 2,5 \times 10^{-4} . Tf \quad (24)$$

sendo que :

g : aceleração da gravidade (m/s^2)

V_f : viscosidade cinemática do ar (m^2/s)

Pode-se determinar V_f pela expressão :

$$V_f = 1,32 \times 10^{-5} + 9,5 \times 10^{-8} \cdot Tf \quad (25)$$

A_1 e m_1 são constantes que variam de acordo com o produto ($Gr.Pr$) e são escolhidos de acordo com a tabela 4.

CONDUTOR	FAIXA DE ($Gr.Pr$) D, f		A_1	m_1
	DE	ATÉ		
Liso	10	-10	0,675	0,058
	10	-2	1,020	0,148
	10	2	0,850	0,188
	10	4	0,480	0,250
	10	7	0,125	0,333
	10	12		
	10	10		
Cabo	10	2	0,850	0,188
	10	4	0,480	0,250
	10	6		

TABELA 4 - Determinação de A_1 e m_1

A tabela expressa [19] a curva obtida de forma experimental que relaciona (Nu) com o produto ($Gr.Pr$).

2.2.3.2. CONVECÇÃO FORÇADA.

Para um vento não turbulento de velocidade U , incidindo sobre um condutor cilíndrico liso, o número de Nusselt será dado por :

$$\left(Nu \right)_{D,f} = B_1 \left(Re \right)_{D,f}^{n_2} \left(Pr \right)_f^{P_2}, \quad (26)$$

onde :

Re : número de Reynolds

B_1 , n_2 e P_2 : constantes

sendo :

$$Re = \frac{D \cdot U}{\nu_f}, \quad (27)$$

onde :

U : velocidade do vento perpendicular ao cabo (m/s)

Já o número de Prandtl para o ar, considerando uma variação de temperatura entre 0 e 50 °C pode ser considerado como constante e igual a 0,7.

Desta forma pode-se reescrever a equação (26) da seguinte maneira :

$$\left(\text{Nu} \right)_{D,f} = B2 \left(\text{Re} \right)_{D,f}^{n2} \quad (28)$$

B2 e n2 são determinados segundo a faixa de atuação do número de Reynolds.

Antes porém, é importante lembrar que no caso de cabos encordados é necessário fazer uma correção de B2 e n2, o que irá variar segundo o coeficiente de rugosidade definido como :

$$e = \frac{d}{2 (D - d)} \quad , (29)$$

onde :

d : diâmetro dos fios de alumínio da camada externa

D : diâmetro do cabo

Assim sendo, com o auxílio da tabela 5, elaborada como uma aproximação conveniente da figura 5, determina-se B2 e n2.

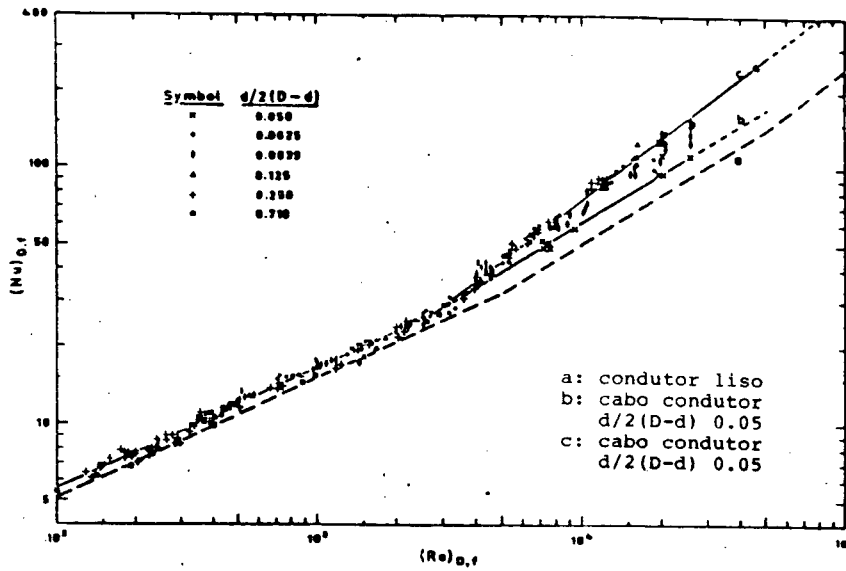


FIGURA 5 - Número de Nusselt (convecção forçada)

CONDUTOR	FAIXA DE e	FAIXA DE (Re) D, f		B2	n2
		DE	ATÉ		
Liso	-	⁻² 9 x 10	1,0	0,800	0,280
	-	1,0	35,0	0,795	0,384
	-	35,0	³ 5 x 10	0,583	0,471
	-	³ 5 x 10	⁴ 5 x 10	0,148	0,633
	-	⁴ 5 x 10	⁵ 2 x 10	0,0208	0,814
Cabo	0,05 (e ≤ 0,718)	² 1 x 10	³ 2,65x10	0,641	0,471
	e ≤ 0,05	³ 2,65x10	⁴ 5 x 10	0,178	0,633
	0,05 (e < 0,718)	³ 2,65x10	⁴ 5 x 10	0,048	0,800

TABELA 5 - Determinação de B2 e n2

É interessante lembrar que na determinação do número de Reynolds, o vento foi considerado perpendicular ao cabo.

Normalmente, porém, ele não atua desta forma, mas com um ângulo de incidência, φ , diferente de 90° . Assim sendo, [11] o vento efetivo passa a ser $U \sin \varphi$, e o número de Reynolds deve ser corrigido através da expressão :

$$\left(Nu \right)_{D,f,\varphi} = \left[\left(Nu \right)_{D,f,\varphi=90^\circ} \right]^{n^2} (\sin \varphi) \quad (30)$$

A figura 6 mostra a variação do número de Nusselt em relação ao ângulo de ataque φ . Observa-se que, à medida que φ diminui, as perdas de calor também diminuem. Porém, ficou demonstrado que para $\varphi = 0$ (no caso de cabos), tem-se:

$$\frac{\left(Nu \right)_{D,f,\varphi=0^\circ}}{\left(Nu \right)_{D,f,\varphi=90^\circ}} = 0,42 \quad (31)$$

Poder-se-ia ainda considerar o efeito da turbulência, já que num feixe de cabos (bundle) isto causa uma variação no número de Nusselt de tal forma que no cabo posterior acontece uma perda de calor maior, (Mc Adams e Kreith) podendo chegar a 30% o aumento [19] da capacidade de condução. Na prática porém isto não é utilizável, apesar de se saber que o cabo posterior possui uma maior capacidade de transmissão.

2.2.4. PERDAS POR IRRADIAÇÃO (Pr).

As perdas por irradiação podem ser determinadas [11] pela expressão de Stefan-Boltzmann :

$$Pr = \pi/2.D.fB \left(Eg \left[(Tc + 273)^4 - (Tg + 273)^4 \right] + Ed \left[(Tc + 273)^4 - (Td + 273)^4 \right] \right) , \quad (32)$$

onde :

D : diâmetro do cabo (m)

Eg : emissividade do condutor voltado para a terra

Ed : emissividade do condutor voltado para o céu

Tc : temperatura do condutor (°C)

Tg : temperatura da terra (°C)

Td : temperatura do céu (°C)

fB : constante de Stefan-Boltzmann (W / m² K⁴)

A emissividade, E, é dada pela expressão :

$$E = \frac{E1.E2}{E2 + [E1 (1 - E2) D1/D2]} \quad (33)$$

Onde E1 é a emissividade do condutor de diâmetro D1 e E2 é a emissividade do meio distante (D2)/2 dele.

Neste caso como a distância à terra e ao céu são muito maiores que D_1 tem-se que $D_1/D_2 \rightarrow 0$, e por consequência $E_g = E_d = E_1$.

Apesar de este fator de emissividade E_1 variar ao longo dos anos [19], e de existirem fórmulas empíricas que procuram determinar esta variação, tem se considerado na prática um valor constante. Morgan [10/11] apresenta uma tabela para determinação da emissividade (Anexo 2).

A temperatura da terra, T_g , é um pouco maior do que a temperatura ambiente durante o dia e um pouco menor à noite.

A temperatura do céu, T_d , é um pouco menor do que a temperatura ambiente (5 a 18°C) para céu claro. Uma relação aproximada seria [11] :

$$T_d = 0,552 (T_a)^{1,5} \quad (34)$$

As perdas por irradiação, porém, são pequenas em relação ao total de perdas, especialmente quando ocorre convecção forçada. Por isso, pode-se simplificar a equação considerando $T_g = T_d = T_a$ na equação (32). Tem-se então :

$$Pr = \pi \cdot D \cdot f_B \cdot E [(T_c + 273)^4 - (T_a + 273)^4] \quad (35)$$

2.3 CÁLCULO DA AMPACIDADE.

Partindo das equações determinadas na seção 2.2, é possível calcular a ampacidade do condutor na forma de capacidade de corrente ou de temperatura do cabo.

No caso do cálculo da corrente, partindo da equação (3), substituindo pela equação (4) e (5), e isolando os termos, tem-se :

$$I = \sqrt{\frac{P_{con} + P_r - P_s}{R_{tref} [1 + \alpha t (T_c - T_{ref})]}} \quad , \quad (36)$$

sendo que P_{con} , P_r e P_s são calculados conforme visto na seção 2.2.

Há ocasiões em que o interesse não é determinar a corrente máxima no cabo mas, a partir de um certo carregamento, determinar a temperatura do condutor.

Isto significa que a incógnita nas equações passa a ser a temperatura do cabo, T_c . Observando as expressões necessárias para o cálculo (4, 5, 6, 20 a 28, 35), percebe-se que é impossível explicitar a temperatura do condutor.

Para operação em tempo real, Davis [5] propõe uma simplificação de forma que na determinação dos coeficientes da equação para o cálculo da temperatura num dado instante, considera-se T_c igual ao valor calculado no instante anterior, já que a variação de T_c será pequena se o intervalo de tempo considerado também o for. O erro introduzido no cálculo do número

de Nusselt e da resistência pode ser considerado desprezível. Estas simplificações, conduzirão a uma equação de 4ª ordem.

Por outro lado, analisando a variação de I em relação a T_c (figura 6), considerando as condições meteorológicas constantes, constata-se que se se adotar uma solução iterativa, partindo de um ponto inicial, por exemplo $T_{c0} = T_a + 1$, chega-se sem dificuldade e com relativa rapidez à solução desejada a partir da equação (3). Esta solução se apresenta como mais adequada ao problema deste trabalho.

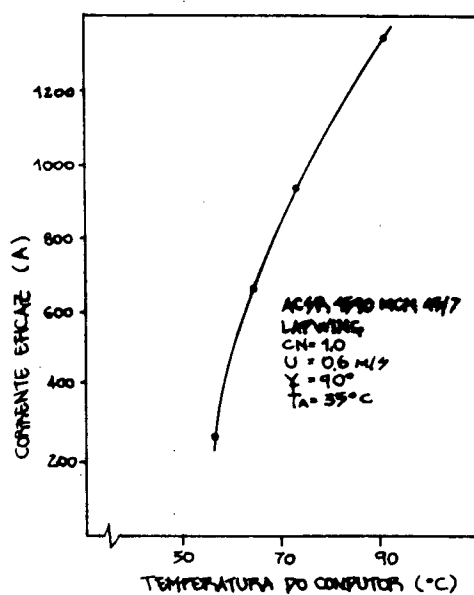


FIGURA 6 - Variação de I x T_c

CAPÍTULO 3. APLICAÇÃO DE METODOLOGIA ESTATÍSTICA NA DETERMINAÇÃO DA AMPACIDADE.

3.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS.

Determinado o modelo térmico a ser adotado, cabe definir o conjunto de dados necessários para o cálculo da ampacidade. Esta definição pode ser feita de acordo com duas metodologias: cálculo determinístico ou cálculo probabilístico.

No cálculo determinístico [24] os dados climatológicos são escolhidos como o pior caso de refrigeração a partir de uma amostragem estatística das variáveis, de forma a garantir a integridade da linha de transmissão para qualquer condição climatológica. Isto significa assumir um alto grau de segurança.

A deficiência do método se deve ao fato de penalizar o carregamento da linha de transmissão, já que na maior parte do tempo as condições meteorológicas permitiriam um melhor desempenho.

Além disto, a carga do sistema não é sempre máxima, o que significa que a perda de vida do cabo condutor não é tão rigorosa quanto a considerada. O fato de assumir a condição mais crítica de refrigeração a partir dos histogramas também não significa que não poderá vir a ocorrer uma situação ainda mais crítica de refrigeração. Portanto, existe um risco, apesar de pequeno, associado à condição limite considerada.

No cálculo probabilístico [25/26/27/28/8/29] os dados meteorológicos são utilizados considerando sua aleatoriedade, de forma a obter uma distribuição de temperatura do condutor. A

partir então de riscos determinados, obtêm-se os valores limites de carregamento. O método permite grande flexibilidade, já que se pode considerar as distribuições para as diversas épocas do ano; diversos períodos do dia; carregamentos constantes ou segundo uma curva de carga, etc.

A aplicação do cálculo probabilístico é mais trabalhosa, mas permite um conhecimento melhor do comportamento da linha de transmissão em relação ao conjunto amostral de dados disponíveis.

3.2 ABORDAGEM PROBABILÍSTICA.

A determinação da função densidade de probabilidade da temperatura do condutor a partir dos dados meteorológicos [19] pode ser abordada através de três métodos: analítico, Monte Carlo, e dos valores históricos.

O método analítico parte das funções densidade de probabilidade de cada dado, às quais são aplicadas, na forma de distribuição, as diversas operações indicadas nas fórmulas, sendo necessária a independência das variáveis. Para o cálculo da ampacidade porém, o método analítico não é aplicável devido à complexidade das operações aritméticas envolvidas.

O método de Monte Carlo consiste em realizar um número elevado de sorteios dos dados, onde a cada sorteio são gerados números aleatórios de acordo com a sua respectiva função densidade de probabilidade. A independência das variáveis também é necessária.

Para aplicar este método portanto, é necessário que se utilize um processo de geração de números aleatórios para a função densidade de probabilidade de cada variável aleatória envolvida. O inconveniente é que como não é possível estabelecer uma correlação satisfatória entre as variáveis, serão geradas todas as combinações de condições meteorológicas e de carregamento, muitas das quais improváveis de ocorrer na natureza, levando a distorções na função densidade de probabilidade do condutor.

O método dos valores históricos ou "força bruta", parte do princípio de que, para evitar a consideração de eventos improváveis, deve-se preservar a correlação temporal das variáveis meteorológicas, de modo que se determine a função densidade da temperatura do condutor a partir de conjuntos de dados de ocorrência simultânea, segundo um ciclo que procure acompanhar as diversas variações climatológicas.

Os três métodos apresentam vantagens e desvantagens, mas além das ponderações já apresentadas, o método dos valores históricos tem a vantagem de não exigir a resolução de expressões analíticas das funções densidade dos dados ou a geração de números aleatórios, bastando que os dados estejam disponíveis de forma conjunta, com sua correlação temporal preservada.

3.3 TRATAMENTO DOS DADOS METEOROLÓGICOS.

Como já foi colocado anteriormente, para a aplicação do método dos valores históricos, é necessário que se tenham dados meteorológicos suficientes para caracterizar um ciclo que acompanhe a variabilidade temporal das grandezas envolvidas.

Na maioria dos estudos de desempenho de linhas de transmissão tem-se adotado [19] períodos de 10 anos, pois se aproximam da periodicidade das manchas solares (11 anos) que segundo Huntington e Visher [30] influenciam o clima da terra.

A medição horária das variáveis também interessa de forma a caracterizar a sua variação durante o dia. Assim sendo, parece interessante usar séries horárias estendidas por períodos de 10 anos.

Os dados meteorológicos necessários para o cálculo da ampacidade são a velocidade e direção do vento, a temperatura ambiente e a radiação solar.

Tecem-se agora alguns comentários quanto a estas variáveis.

3.3.1 VENTO.

O vento [24/31] é o movimento do ar em relação à superfície terrestre e está intimamente ligado às diferenças de pressão da atmosfera, as quais surgem devido a diferenças na densidade do ar, ocasionadas pelas variações na temperatura. O fluxo do vento se faz sempre no sentido das pressões mais baixas e será mais intenso quanto maior for a diferença da densidade, e portanto da pressão.

O vento é gerado pela ação das diferenças de pressão atmosférica, mas sofre influências modificadoras do movimento de rotação da terra (força de Coriolis), da força centrífuga e do atrito com a superfície terrestre.

Pode-se afirmar, pelo comportamento geral da atmosfera, que para o período das maiores temperaturas ambientes, também deverá ocorrer alguma intensidade de vento devido às brisas marítimas e dos vales ou por causa de trovoadas.

Pode-se observar este comportamento na figura 7, em que é mostrada a variação horária do vento e da temperatura para um dia de medição. Por outro lado, com o aumento da intensidade do vento no ponto de medição cresce também sua indeterminação ao longo da linha.

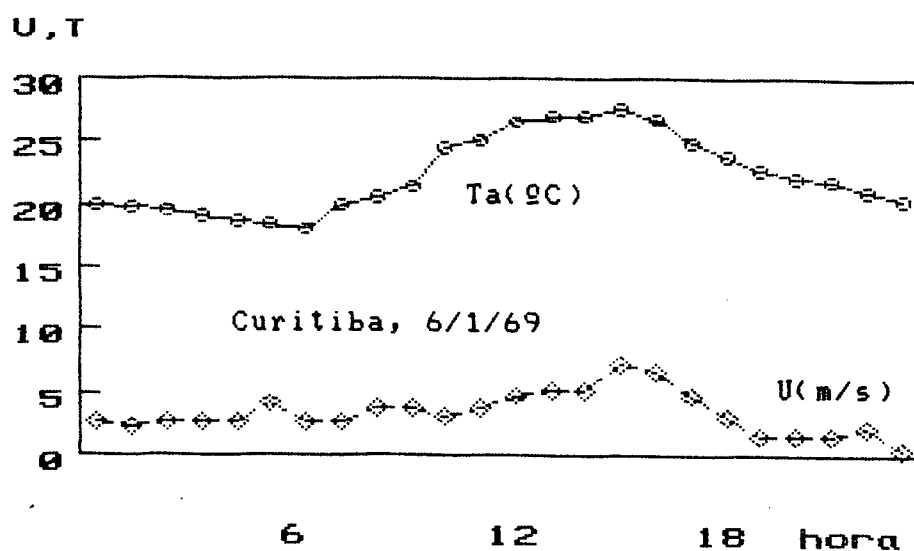


FIGURA 7 - Variação horária da velocidade do vento, U, e da temperatura ambiente, Ta

Outro aspecto importante é a variação da velocidade do vento com a altura em relação ao solo, conforme apresentado [31] na figura 8. Importante observar que a velocidade está sendo expressa de forma percentual em relação à velocidade do vento a 10 m de altura, U_{10} . Verifica-se que à medida que a altura aumenta, o vento tende a ser mais intenso.

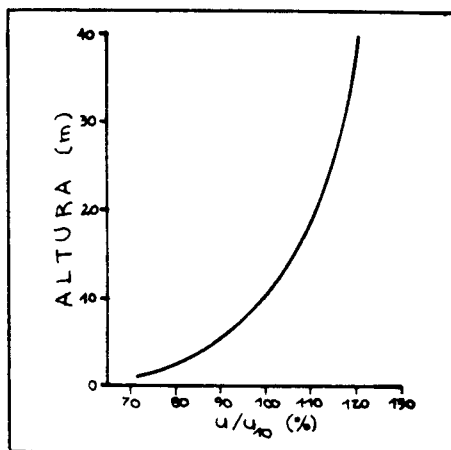


FIGURA 8 - Variação da velocidade do vento com a altura
(Em relação à velocidade a 10m de altura, U/U_{10})

A direção do vento [32] indica de onde o vento está vindo e é expressa em dezenas de graus em relação ao Norte, no sentido horário, variando de 10 a 360 graus.

A medida de intensidade do vento é feita com o uso de um anemômetro que gera anemogramas ou então valores diretos. Em certos casos, como em aeroportos, é comum se considerar o valor médio dos valores assumidos no intervalo de um minuto.

3.3.2 TEMPERATURA AMBIENTE.

A superfície do solo [31] é o principal receptor da radiação solar e atmosférica e é também um emissor da radiação. Do balanço de radiação, variável durante o dia e o ano, resulta a variação diária e anual da temperatura do solo e conseqüentemente, da temperatura ambiente.

Na figura 9 observa-se como varia o processo de balanço de radiação, de onde podem-se destacar três regiões. As áreas I e II representam o total diário de radiação solar absorvida pelo solo. A área I é a radiação absorvida para repôr parte da emissão efetiva terrestre, enquanto a área II é o excedente de radiação. A área III indica o déficit de radiação da superfície.

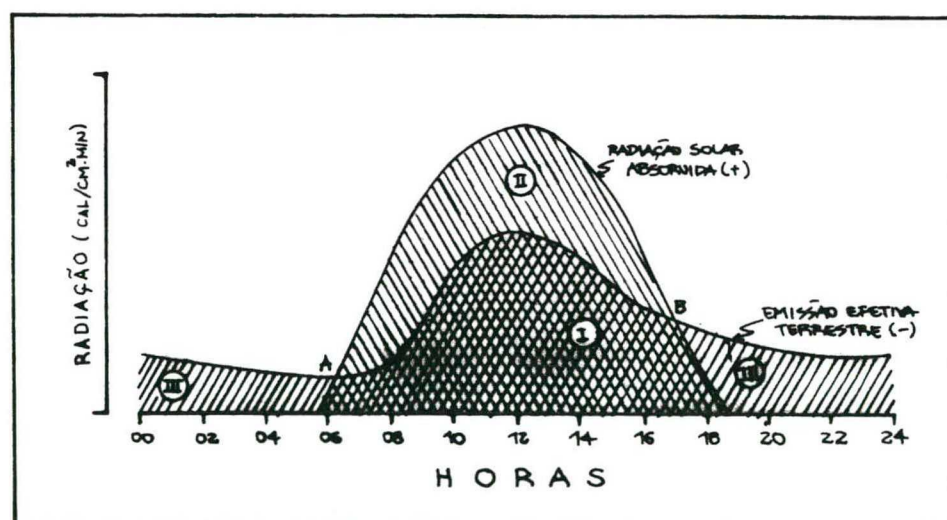


FIGURA 9 - Variação diária da radiação solar absorvida e da emissão efetiva terrestre.

Esta variação no balanço de radiação provoca os fluxos de calor, conforme a figura 10. A energia é repartida em três fluxos: A, fluxo de calor para aquecimento/resfriamento do ar; S, fluxo de calor para/do interior do solo; e E, fluxo de calor latente usado na evaporação.

O fluxo de calor A é o responsável pela variação da temperatura ambiente.

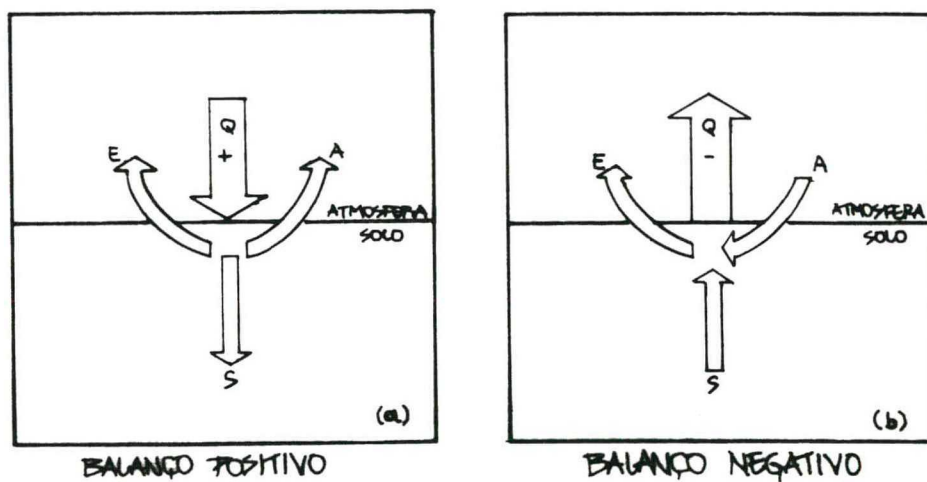


FIGURA 10 - Repartição do balanço de radiação da superfície do solo.

As trocas de calor do ar com a superfície do solo são basicamente por condução e convecção. Porém, o fator preponderante de transporte de calor na atmosfera é a difusão turbulenta, causada pelo movimento friccional, ou convecção forçada, devido às variações na rugosidade das superfícies e às variações da velocidade do vento com a altura, e, o movimento

convectivo, ou convecção livre, devido ao balanço de radiação na superfície terrestre.

A temperatura do ar é influenciada por diversos fatores, dentre os quais os mais importantes são a altitude, a distância até o mar (continentalidade), e as características da superfície do solo (albedo, tipo de vegetação, etc).

As variações diárias da temperatura ocorrem em função da trajetória diária aparente do sol, e das variações sazonais em função da declinação do sol ao longo do ano.

O valor da temperatura ambiente é obtido pela leitura do termômetro de bulbo seco, e expresso em décimos de graus centígrados.

3.3.3 RADIAÇÃO SOLAR.

A radiação solar [31] é a energia recebida pela Terra, na forma de ondas eletromagnéticas provenientes do Sol. Três faixas principais são definidas no espectro de radiação solar: radiação ultra-violeta (9%); radiação visível (41%); e radiação infravermelha (50%).

Ao atravessar a atmosfera terrestre a radiação solar é atenuada por três processos: espalhamento ou difusão, causado pelas partículas da atmosfera (gases, cristais, impurezas, etc); atenuação, consequência da absorção seletiva de certos constituintes atmosféricos (oxigênio, ozônio, gás carbônico, vapor d'água, etc); reflexão e absorção (pequena) pelas nuvens, dependendo da sua espessura, estrutura e constituição.

Como consequência destes processos, a radiação solar se divide, sendo que uma parte atinge a superfície terrestre diretamente, e a outra após um processo de difusão. A radiação solar, portanto, será a soma da radiação solar direta e difusa. Uma parte desta radiação será absorvida pela superfície terrestre, e o restante será refletido.

A disponibilidade de dados de radiação solar obtidos através de medição direta nem sempre é possível. Existem porém modelos capazes de calcular a radiação direta e difusa incidente na Terra, a partir do encobrimento de nuvens e do cálculo das eclípticas, conforme mostrado no item 2.2.2.

As figuras 11 e 12 mostram a variação diária da radiação solar e do ângulo de incidência, comparando a medição direta e o cálculo teórico [20].

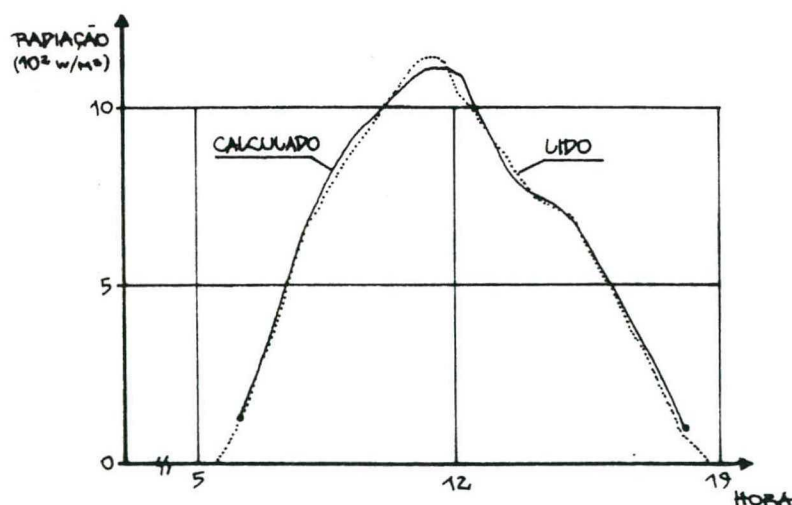


FIGURA 11 - Comparação do valor da radiação solar total medida e calculada.

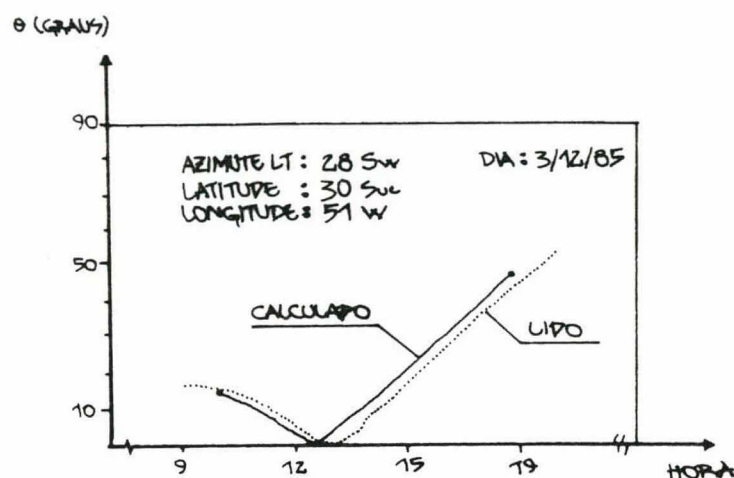


FIGURA 12 - Comparação do ângulo de incidência solar medido e calculado.

3.4 CALCULO PROBABILISTICO DA AMPACIDADE.

Definidos o modelo, a abordagem probabilística através do método dos valores históricos, e tecidos comentários sobre as variáveis envolvidas, deve-se definir como os dados serão tratados e os resultados apresentados.

Uma forma de abordar o problema, seria considerar os dados meteorológicos e o carregamento da linha de forma real, de maneira a ter o histórico térmico do cabo. Para uma linha existente este tipo de abordagem pode ser interessante, de forma a se avaliar sua perda de vida, mas, no caso de uma linha em fase de projeto, seria necessário assumir uma curva de carga. Isto porém limitaria termicamente o seu desempenho no futuro já que as restrições térmicas estariam anarradas a esta curva.

Uma outra maneira seria levantar, com os dados meteorológicos históricos e um valor máximo fixo de temperatura do cabo (podendo variar para períodos do ano), a curva de carga possível na forma anual, diária, de horário de ponta, etc. Com o conhecimento desta curva ter-se-ia o carregamento ótimo da linha.

Porém, a linha de transmissão não é um elo fusível no sistema, de maneira que não interessa tanto seu carregamento ótimo expresso por uma curva de carga, mas sim o seu risco térmico, ou seja, a possibilidade de ultrapassar a temperatura máxima admissível do cabo, para um determinado carregamento.

Assim, parece mais interessante obter uma curva de distribuição da temperatura do condutor, considerando um carregamento fixo. Desta forma, ao adotar um certo carregamento está-se assumindo um certo risco térmico associado.

As figuras 13, 14 e 15 mostram um exemplo de cada um dos três tipos de curva de distribuição. Para obtenção das curvas, consideramos os dados meteorológicos de um ano (1969) da estação Curitiba (pertencente à Aeronáutica), cabo Grosbeak, $Y_1=0,0$, $E=0,7$, $\alpha_s=0,9$, latitude= $-25,520$, longitude= $49,180$, altitude= $909,20$, albedo= $0,2$, $\bar{z}=0$.

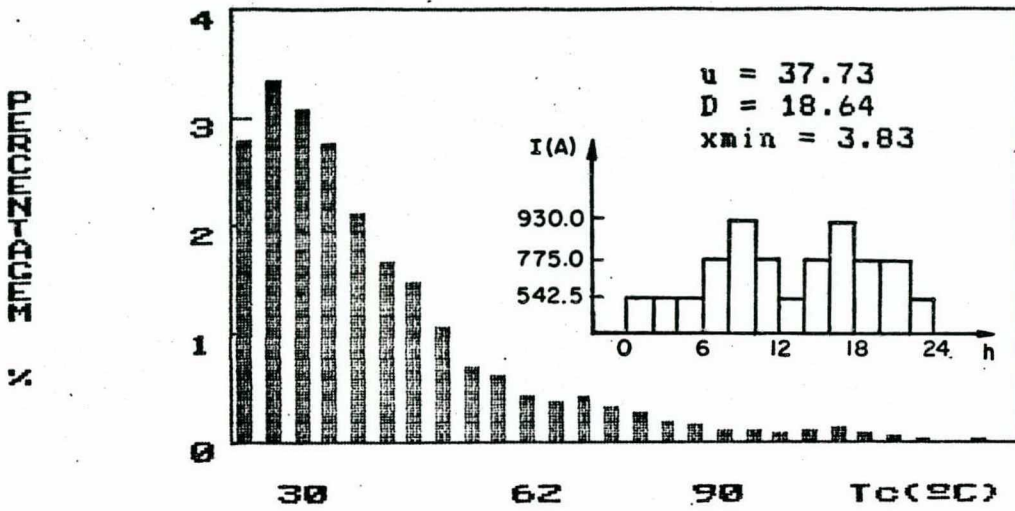


FIGURA 13 - Distribuição da temperatura do cabo para carga variável

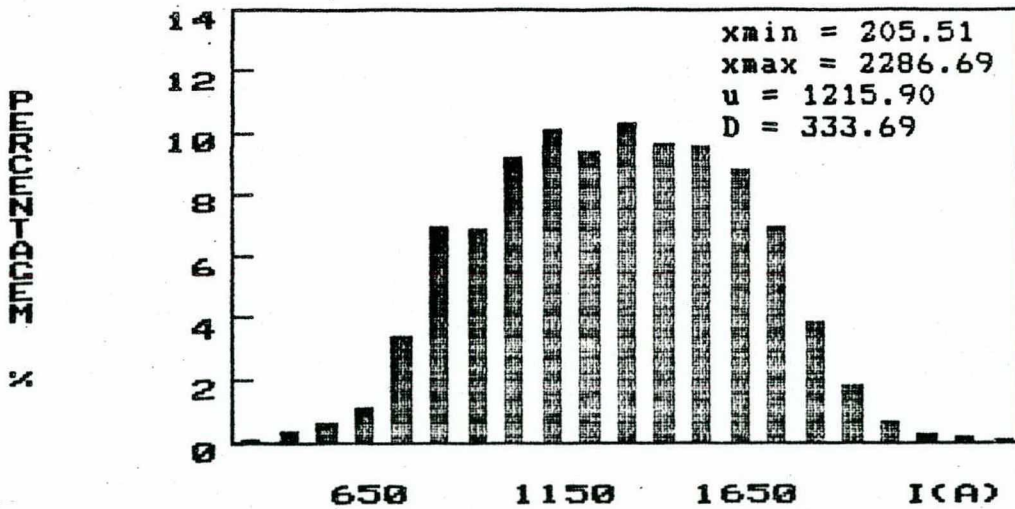


FIGURA 14 - Distribuição da corrente para temperatura constante (60°C)

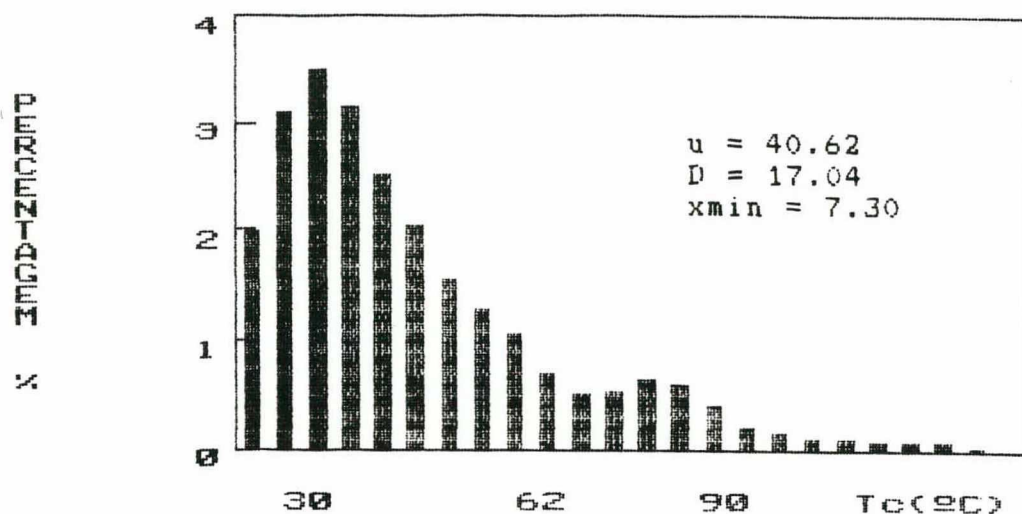


FIGURA 15 - Distribuição da temperatura do cabo para carga constante (775 A)

Note-se que as figuras 13 e 15 são similares, com coeficiente de assimetria positivo. O caso da figura 15 é mais rigoroso, evidenciado pela média e valor mínimo maiores. Além disto, observa-se que a cauda é maior, o que significa maior frequência de temperaturas mais elevadas.

A figura 14 é tipicamente curva de carga e claramente simétrica, o que permite sua modelagem através de distribuições largamente utilizadas em estudos de engenharia.

Discute-se a seguir de forma mais profunda a metodologia adotada.

3.4.1 HISTOGRAMAS E FUNÇÃO DENSIDADE DE PROBABILIDADE.

Como já foi visto anteriormente [32] o volume de dados resultante do cálculo da temperatura do cabo é bastante grande, sendo impossível examiná-los na sua correlação temporal, mesmo que arrolados em ordem crescente ou decrescente. Assim o mais conveniente será fazer a análise através de histogramas de frequência [33].

Se se considerar [34/35] que a variável que determina a distribuição de frequência é uma variável aleatória contínua, tem-se que para um grande número de dados o gráfico de distribuição se torna uma curva contínua.

É possível ajustar-se distribuições teóricas à distribuição de frequência de uma população. O método consiste no emprego da média e do desvio padrão da amostra para a estimativa desses elementos da população. Para verificar a aderência do ajustamento das distribuições teóricas, emprega-se algum teste que determina a qualidade do ajuste.

3.4.2 DISTRIBUIÇÃO DE PROBABILIDADE DA TEMPERATURA DO CABO.

A figura 16 apresenta um histograma da distribuição de probabilidade de temperatura para um cabo condutor. Os dados utilizados são os mesmos da figura 15. Cabe, a partir dela definir uma função de densidade teórica que expresse de forma conveniente a distribuição real.

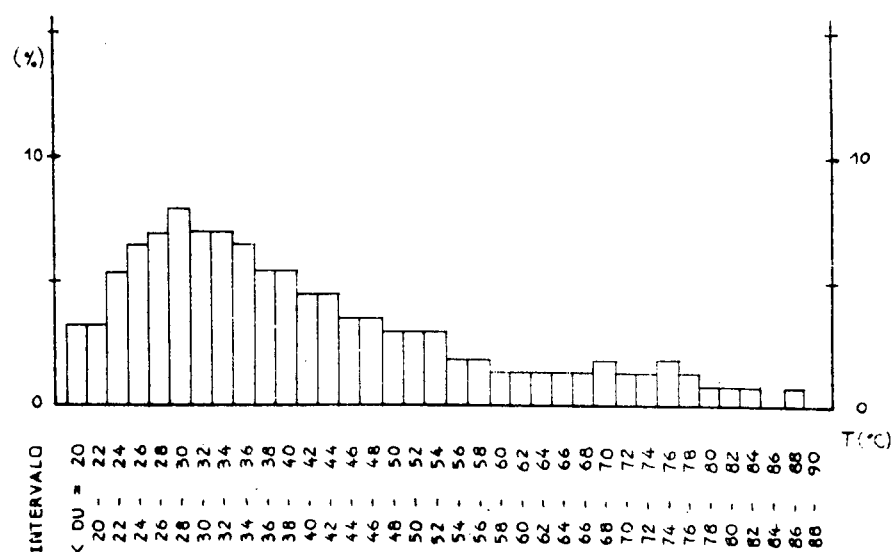


FIGURA 16 - Histograma de frequência da temperatura do condutor.

Observamos que a distribuição tem um coeficiente de assimetria positivo (pontos mais concentrados à esquerda). Isto descarta a possibilidade de se usar distribuições simétricas que são bastante utilizadas em estudos de engenharia elétrica.

As distribuições que melhor se ajustam [34/36] são a distribuição Log-Normal modificada e a distribuição Gama a 2 parâmetros modificada. A estimativa dos parâmetros de cada distribuição será feita pelo método dos momentos.

A distribuição Gama a 2 parâmetros é dada pela expressão:

$$f(x) = \frac{1}{B \cdot T(\alpha)} \cdot x^{\alpha-1} \cdot e^{-x/B} \quad , \quad (37)$$

onde $T(\alpha)$ é a função gama, dada por:

$$T(\alpha) = \int_0^{\infty} x^{\alpha-1} \cdot e^{-x} \cdot dx \quad (38)$$

e:

$$B = \frac{D^2}{u} \quad (39)$$

$$\alpha = \frac{u}{B} \quad (40)$$

sendo:

u : média da população

D : desvio padrão da população

É conveniente ainda corrigir os valores de maneira a deslocar a curva e melhorar a sua aderência. Tem-se então:

$$x' = x - x_{\min}$$

$$u' = u - x_{\min}$$

$$D' = D$$

A distribuição Log-Normal é dada por:

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot \beta} \cdot x^{-1} \cdot e^{-\frac{(\ln x - \alpha)^2}{2 \cdot \beta^2}} \quad , (41)$$

onde:

$$\beta = \left(\ln \left[\left(\frac{D}{u} \right)^2 + 1 \right] \right)^{\frac{1}{2}} \quad (42)$$

$$\alpha = \ln u - \beta^2/2 \quad (43)$$

A correção aplicada na distribuição Gama também deve ser aplicada para esta distribuição de maneira a melhorar sua aderência à curva.

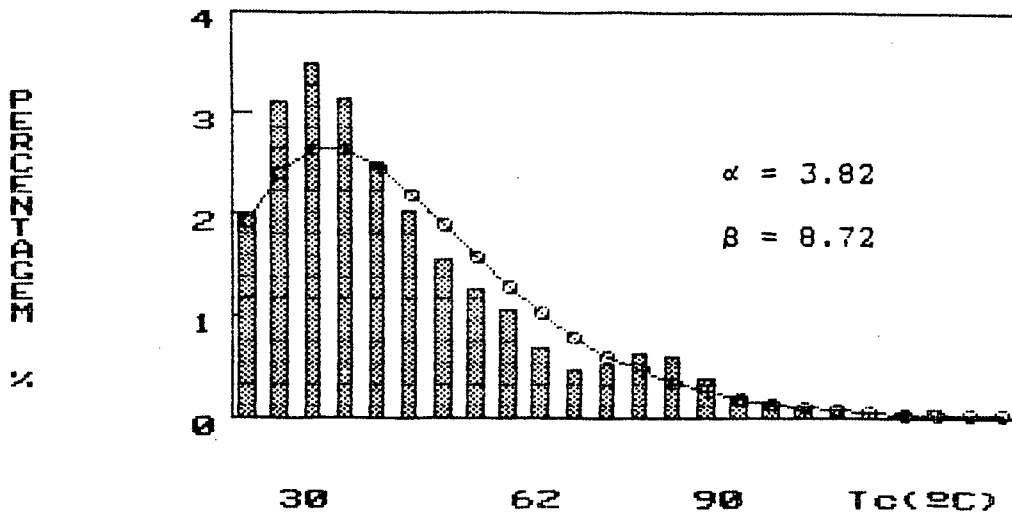


FIGURA 17 (a) - Distribuição gama a dois parâmetros modificada.

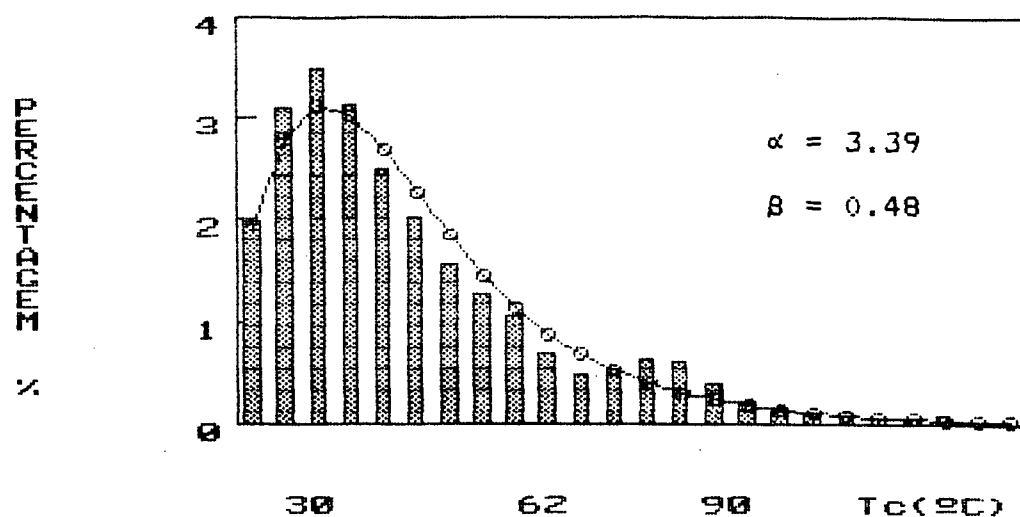


FIGURA 17 (b) - Distribuição log-normal modificada.

Observando as figuras 17 (a) e 17 (b), nota-se que as curvas expressam de maneira conveniente a distribuição real (tomada do exemplo da figura 15).

Para avaliar quão boa é a aderência adota-se o teste de X^2 (qui-quadrado), [35/36] que compara os valores teóricos, ou estimados, E_j , com os valores observados, O_j , de acordo com a expressão a seguir:

$$X^2_o = \sum_{j=1}^k \frac{(O_j - E_j)^2}{E_j} \quad (44)$$

A distribuição amostral de X^2 será, aproximadamente uma distribuição de qui-quadrado, melhorando à medida que aumenta o número de pontos considerado.

Quanto maior for o valor de X^2 , maior será a discrepância entre as frequências esperadas e observadas. Na prática, o que se faz é comparar o valor de X^2 calculado com alguns valores críticos da distribuição de qui-quadrado, X^2 para níveis de significância 0,05 e 0,01 por exemplo, e se forem maiores, rejeita-se a curva para o nível de significância correspondente.

O valor de X^2 crítico é obtido de tabelas [35], para o qual deve-se determinar o número de graus de liberdade, v , pela expressão:

$$v = k - 1 - m \quad , \quad (45)$$

onde:

k : número de classes consideradas

m : número de parâmetros populacionais

No caso em estudo $m = 3$ já que serão conhecidos a média, o desvio padrão, e o valor mínimo. A expressão portanto será:

$$v = k - 4 \quad (46)$$

Para o caso apresentado nas figuras 17 (a) e 17 (b), o valor de X^2 será 0.87 e 0.36 respectivamente (o limite seria de 1.145 para um nível de significância de 0.05), o que demonstra uma boa aderência, além de mostrar que a distribuição log-normal representa de forma mais fiel a curva.

3.4.3 RISCO TÉRMICO.

O risco térmico, ou seja, a probabilidade de ultrapassar uma temperatura máxima, T_m , será calculado pela expressão abaixo:

$$RT = \int_{T_m}^{\infty} f(T_c) \cdot dT_c \quad , \quad (47)$$

onde:

RT : risco térmico

$f(T_c)$: função densidade de probabilidade da temperatura do cabo

T_c : temperatura do cabo

A probabilidade de ultrapassar a temperatura máxima, implica assumir basicamente dois riscos: o risco mecânico e o risco elétrico.

O aspecto mecânico traduz a perda de vida útil que o condutor sofre pelo efeito de recozimento para temperaturas elevadas. A perda de vida significa redução gradativa da resistência mecânica como consequência da temperatura à qual o condutor está submetido e do tempo de duração nesta condição. Estudos [25/37/38] mostram que é possível calcular as perdas provocadas a partir dos pares de temperatura-duração. A figura 18 [25] ilustra a relação de perda de vida para o alumínio.

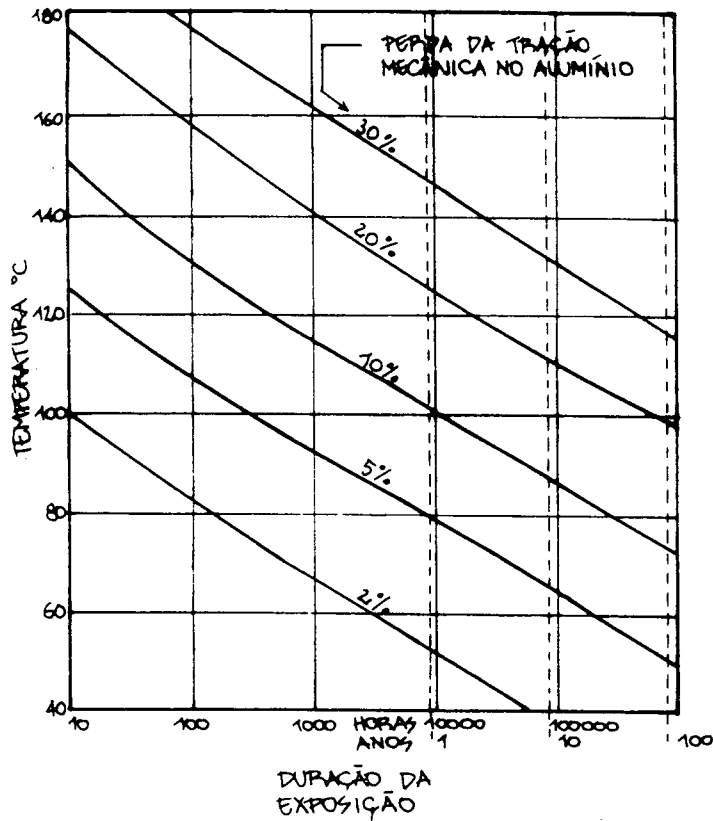


FIGURA 18 - Perda de resistência do alumínio causado por recozimento.

A temperatura mínima a partir da qual ocorre um recozimento significativo no condutor é 90 °C.

Como exemplo, imagine-se um condutor de alumínio que seja submetido durante 50 anos à temperatura de 90 °C. A perda de resistência mecânica (figura 18) será de 12%. Se se considerar um cabo ACSR, a perda será entre 6 a 8%, o que está numa faixa aceitável.

Temperaturas máximas mais elevadas podem ser usadas, pesando a relação custo-benefício, já que à medida que se aumenta a temperatura limite está-se diminuindo a vida útil da linha. Pode acontecer, por exemplo, de se ter uma linha com previsão de vida útil pequena mas carregamentos elevados. Neste caso pode ser conveniente uma utilização mais rigorosa da linha, solucionando melhor, do ponto de vista econômico, o problema.

O aspecto elétrico é mais crítico, sendo consequência do abaixamento do cabo, o que diminui as distâncias de segurança e aumenta o risco de descarga. Aqui está envolvida a vida humana, e não tanto o aspecto econômico, dificultando a determinação de um risco aceitável. Este problema fica atenuado pelo fato de que as normas brasileiras para projetos de linhas de transmissão adotam critérios conservadores neste aspecto. De qualquer maneira, é preciso que seja avaliado com mais cuidado se o aumento da flecha com consequente redução da folga (clearance) possível de ocorrer é aceitável.

É interessante observar, ainda, que o risco real da temperatura do condutor exceder à temperatura de projeto é menor que a considerada, já que está-se admitindo um carregamento constante na linha, o que não ocorre na prática, visto que a corrente é consequência da curva de carga do sistema e das regras de despacho de geração.

Quanto ao valor numérico a ser adotado como limite de risco, não existem valores adotados como definitivos. Falta experiência prática para determinar limites convenientes. É claro que a faixa não vai de 0 a 100%. Estabelece-se como [29] razoável a faixa de risco anual entre 0,1 e 1,0% para o regime normal.

Alguns autores [39] recomendam 0,5% para o regime normal, e 3% para o regime de emergência. Estes valores podem ser considerados conservadores. Conclui-se, portanto, que esta questão ainda não está definida. De qualquer maneira a escolha final dependerá da situação do empreendimento, cabendo ao projetista pesar os diversos aspectos envolvidos.

VALORES DE RISCO TÉRMICO (%)		
TEMPERATURA °C	DISTRIBUIÇÃO (MODIFICADA)	
	Gama 2 parâmetros	Log-Normal
60.0	7.536	7.196
65.0	5.148	5.182
70.0	3.475	3.745
75.0	2.321	2.716
80.0	1.536	1.979
85.0	1.007	1.448
90.0	0.656	1.065
95.0	0.424	0.787
100.0	0.272	0.585
105.0	0.174	0.437
110.0	0.111	0.327
115.0	0.070	0.247
120.0	0.044	0.187
125.0	0.028	0.142
130.0	0.017	0.109

Corrente Constante: 775 A
Cabo: Grosbeak
Local: Curitiba

TABELA 6 - Comparação do risco térmico.

Na tabela 6 é apresentado um quadro onde se exemplificam valores de risco térmico para diversos valores de temperatura e distribuição. Os dados se referem à estação de Curitiba, $I = 775$ A, cabo Grosbeak. Foram considerados dados para 1 ano.

CAPÍTULO 4. PROGRAMA COMPUTACIONAL PARA CÁLCULO DA AMPACIDADE DE CONDUTORES AÉREOS DE LINHAS DE TRANSMISSÃO (ACALT).

4.1. CONSIDERAÇÕES GERAIS.

Em vista dos cálculos envolvidos na determinação da ampacidade, e especialmente na definição dos gráficos de distribuição, torna-se necessário desenvolver um programa computacional.

O programa, em linguagem FORTRAN e executado em computador IBM, basicamente realiza os cálculos de acordo ao modelo descrito no capítulo 2 e organiza as informações e resultados de acordo com o capítulo 3. Ele foi elaborado de maneira a atender à versatilidade do tipo de tratamento desejado, determinístico ou probabilístico, com temperatura ou carga, constante ou variável.

A saída do programa também permite uma série de opções de acordo com a análise que se deseja realizar.

Os dados meteorológicos podem ser lidos em cartão ou diretamente de fita.

O programa foi chamado de ACALT e sua descrição mais minuciosa é feita a seguir.

4.2 FUNCIONAMENTO.

O funcionamento do programa obedece o fluxograma apresentado nas figuras 19 e 20.

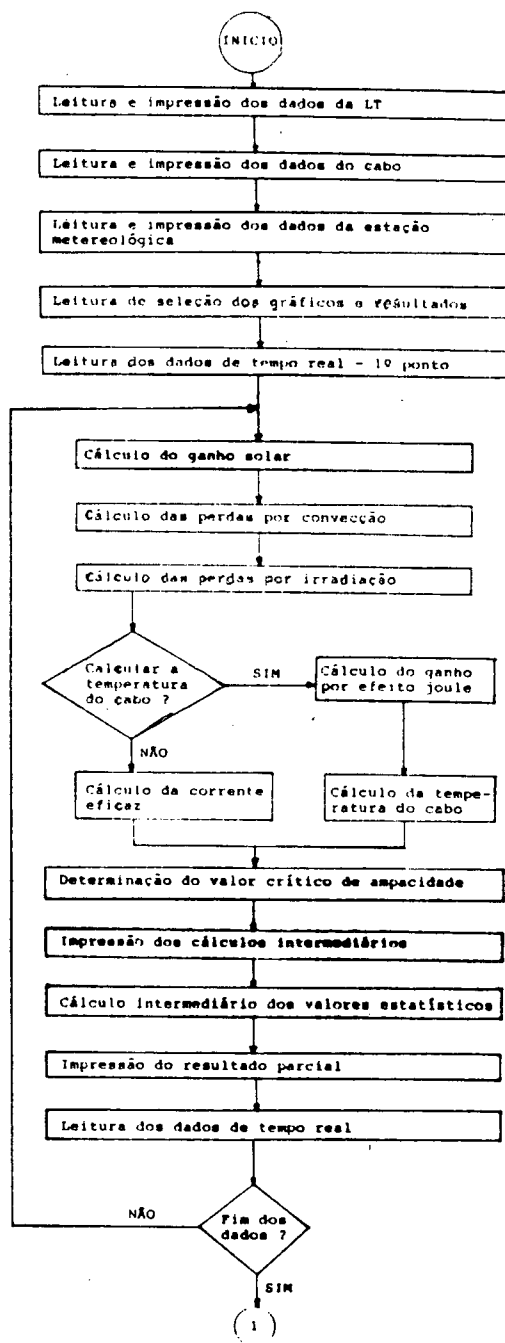


FIGURA 19 - Fluxograma

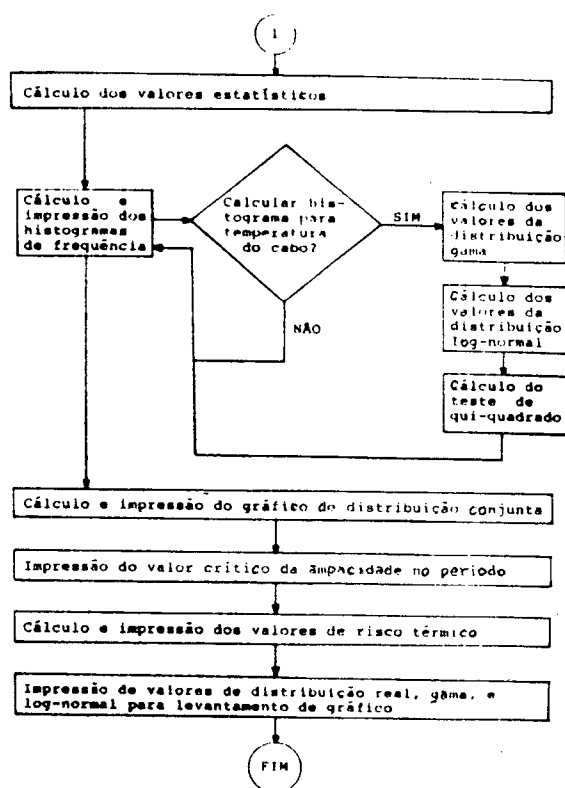


FIGURA 20 - Fluxograma

Pode-se dividir o programa basicamente em quatro partes:

- 1º) Leitura e impressão de dados.
- 2º) Cálculo da ampacidade.
- 3º) Cálculo dos valores estatísticos e de risco térmico.
- 4º) Impressão de resultados.

Estes passos não acontecem necessariamente de maneira seqüencial como apresentado. Mesmo assim, esta divisão interessa para compreender o funcionamento do programa. Descreve-se agora cada uma das partes.

10) Leitura e impressão de dados.

Os dados de entrada podem ser separados em quatro grupos:

a) Dados da linha de transmissão.

NOLT : Nome da linha ou da micro-região
 ϑ : Latitude (Graus)
 LG1 : Longitude (Graus)
 LG : Longitude legal (Graus)
 Y1 : Azimute da linha (Graus)
 γ : Inclinação em relação à horizontal (Graus)
 Hg : Altitude em relação ao mar (m)
 F : Reflectância (albedo)

b) Dados do cabo.

NOCA : Nome do cabo condutor
 R_{ref} : Resistência à temperatura de referência (Ω/km)
 T_{ref} : Temperatura de referência ($^{\circ}\text{C}$)
 α_t : Coeficiente de variação da resistência para temperatura de referência ($1/^{\circ}\text{C}$)

α_s : Coeficiente de absorção solar do cabo
E : Emissividade do cabo
D : Diâmetro do cabo (mm)
d : Diâmetro dos fios da camada externa (mm)

c) Dados da estação meteorológica.

NOEM : Nome da estação meteorológica
IANO1 e IANO2 : Ano inicial e final do período total
IMES1 e IMES2 : Mês inicial e final de cada ano do período total
IDIA1 e IDIA2 : Dia inicial e final de cada mês do período total
XHORA1 e XHORA2 : Hora inicial e final de cada dia do período total

Caso se esteja fazendo um cálculo determinístico da ampacidade, estes dados podem ser desconsiderados.

d) Dados de seleção dos gráficos e resultados.

Através destes dados seleciona-se os gráficos de distribuição desejados, para cada variável, ou de distribuição conjunta. É lógico que quando se estiver aplicando metodologia determinística os gráficos não devem ser elaborados, já que não faz sentido a distribuição de um único ponto.

O gráfico de distribuição é selecionado de acordo com o valor que a variável IGRAF(1) assume:

- . Se IGRAF(1) = 0 , não determina o gráfico
- . Se IGRAF(1) = 1 , determina o gráfico

sendo que:

- IGRAF(1) : Temperatura ambiente
- IGRAF(2) : Velocidade do vento
- IGRAF(3) : Direção do vento
- IGRAF(4) : Temperatura do cabo
- IGRAF(5) : Corrente eficaz

O gráfico de distribuição conjunta pode ser a composição de qualquer uma destas variáveis. Basta informar IZD1 (eixo Y) e IZD2 (eixo X), de acordo ao valor I colocado acima.

Existe ainda a possibilidade de selecionar o tipo de impressão de resultados através da variável KPING, de maneira que:

- . Se KPING = 0 : Imprime dados de tempo real, resultados, e gráficos selecionados
- . Se KPING = 1 : Imprime dados de tempo real, resultados, cálculos intermediários, e gráficos selecionados
- . Se KPING = 2 : Imprime gráficos

e) Dados de tempo real.

KEST : Seleção do tipo de dado de entrada, se em cartão ou fita.

TCK : Temperatura constante do cabo no período (°C)

AIDAD : Corrente eficaz constante no período (A)

HL : Hora

DIA : Dia

MES : Mês

CN : Constante de transparência da atmosfera

VEL : Velocidade do vento (m/s)

DIR : Direção do vento (Graus)

Ta : Temperatura ambiente (°C)

Tc : Temperatura do cabo (°C)

IDAD : Corrente eficaz (A)

Dependendo da maneira que interesse determinar a ampacidade, se em termos de temperatura ou corrente, considera-se a variável correspondente, Tc ou IDAD, igual a 0 (zero). Desta forma o programa entenderá que é esta a variável que se quer determinar.

Pode-se também considerar valores fixos de temperatura ou corrente para o período. Inclusive este valor fixo, TCK ou AIDAD será preponderante em relação aos valores de cada ponto, Tc e IDAD.

Após o cálculo da ampacidade para o primeiro ponto, novos dados de tempo real serão lidos e os cálculos correspondentes realizados, de maneira sucessiva até que um cartão bandeira avise

que os dados terminaram.

29) Cálculo da ampacidade.

O cálculo da ampacidade é realizado de acordo com o modelo apresentado no capítulo 2. Estes cálculos fazem parte do programa principal.

Conforme já foi explicado, dependendo do interesse, a ampacidade será calculada em termos de temperatura do cabo ou corrente eficaz.

No cálculo do ganho solar o programa permite considerar o dia crítico de ganho solar no ano ou para um determinado mês. Neste caso, nos dados de entrada o dia e/ou mês será(ão) igual(is) a 0 (zero).

Existe também dentro do programa uma subrotina (subroutine MISTA), a qual faz o cálculo considerando as perdas por convecção mista. A princípio ela não é utilizada, mas pode ser, bastando alterar cartões comentário no programa.

Nos cálculos é determinado ainda, o valor crítico de ampacidade; a maior temperatura do cabo ou a menor capacidade de corrente para o período, de acordo ao caso selecionado.

30) Cálculo dos valores estatísticos e de risco térmico.

O cálculo dos valores estatísticos, média, desvio padrão, máximo e mínimo é feito através das subrotinas HISTO e GRAFIC. A primeira vai contabilizando os valores parciais (somatórios, seleção parcial de valores extremos, etc), enquanto na segunda

são determinados definitivamente.

A partir da subrotina GRAFIC são chamadas mais duas subrotinas; LOGANT, que faz o cálculo do teste de aderência para as distribuições log-normal modificada e gama a dois parâmetros modificada, e calcula os pontos de cada distribuição para possível elaboração de gráficos comparativos; e AREA, que faz os cálculos de risco térmico para cada uma das distribuições anteriormente citadas, de acordo a uma faixa de temperaturas (50, 65, ..., 125, 1200C).

Todos estes cálculos são realizados de acordo com o apresentado no capítulo 3.

49) Impressão de resultados.

Os resultados serão impressos de acordo com a seleção feita nos dados de entrada.

É possível através da variável KPING, conforme já apresentado, imprimir ou não dados de tempo real, resultados e cálculos intermediários.

De acordo com o que foi selecionado dos gráficos, estes serão ou não impressos. Além disto, para cada gráfico são impressas outras informações como nome da LT, período, etc, que ajudam a identificar o caso considerado. A responsável pela impressão dos gráficos é a subrotina GRAFIC, que utiliza ainda a subrotina CONJUN, cuja função é eliminar os zeros quando da impressão do gráfico de distribuição conjunta.

O programa imprime também o valor crítico da ampacidade, colocando a hora, dia, mês e ano em que ocorreu, além das condições meteorológicas naquele momento.

Caso se tenha selecionado o cálculo da distribuição de temperatura do condutor, serão impressos junto com o gráfico, os resultados do teste de aderência para as distribuições log-normal modificada e gama a dois parâmetros modificada. Além disto, será impressa a tabela com os valores de risco térmico para cada uma das distribuições acima colocadas, para diversas temperaturas, e a tabela com os valores para o levantamento de gráficos para cada tipo de distribuição.

Pode-se observar portanto, que o programa possui grande versatilidade o que facilita sua utilização em estudos com enfoques diversos.

4.3 APLICAÇÃO.

No capítulo 5 será apresentado um exemplo de aplicação, mostrando a metodologia determinística (figuras 22 e 23), gráficos de distribuição das variáveis meteorológicas (figuras 26,27,28), gráfico de distribuição conjunta (figura 29), gráficos de distribuição de temperatura (figuras 30 e 31).

No Anexo 4, é apresentada uma entrada e saída completa para o caso do cálculo probabilístico da corrente eficaz. Acrescenta-se também, como ilustração, um exemplo de impressão de dados e resultados para cada hora de um dia. No Anexo 5 apresenta-se o caso do cálculo da temperatura do cabo.

CAPÍTULO 5. EXEMPLO DE APLICAÇÃO - ANÁLISE DE RESULTADOS.

5.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS.

Mostra-se a seguir um exemplo de aplicação da metodologia proposta, comparando-a com a abordagem tradicional.

Estuda-se a capacidade de transmissão, sob o ponto de vista do limite térmico da LT 230 KV Joinville-Curitiba (29 Circuito), parte do sistema da ELETROSUL, construída em circuito simples, com 95 Km de extensão, cabo condutor ACSR 636 MCM 26/7 código GROSBK e cabo para-raios de aço galvanizado 3/8" EHS, 7 fios.

Partindo de Curitiba a LT percorre inicialmente (50 Km) uma região de planalto (800 a 900 m), descendo então rapidamente pela Serra do Mar (20 Km). O trecho final (25 km) é de planície costeira (0 a 100 m). A variação da altitude é de 909,2 m em Curitiba a 4,0 m em Joinville. Cada trecho apresenta comportamento meteorológico bem definido e distinto. Os dados meteorológicos disponíveis são da estação de Curitiba, sendo portanto as conclusões válidas para o trecho inicial (figura 21). Para o restante da LT seria necessário utilizar dados de outra estação.

O tipo de vegetação é de mata primitiva de folhosas. O albedo (reflectância) portanto será de 0,2 (Tabela 1, cap.2).

O azimute da LT será de $-50,17^\circ$, obtido a partir da média ponderada dos principais encaminhamentos no trecho considerado. A figura 21 mostra a planta de localização da LT.

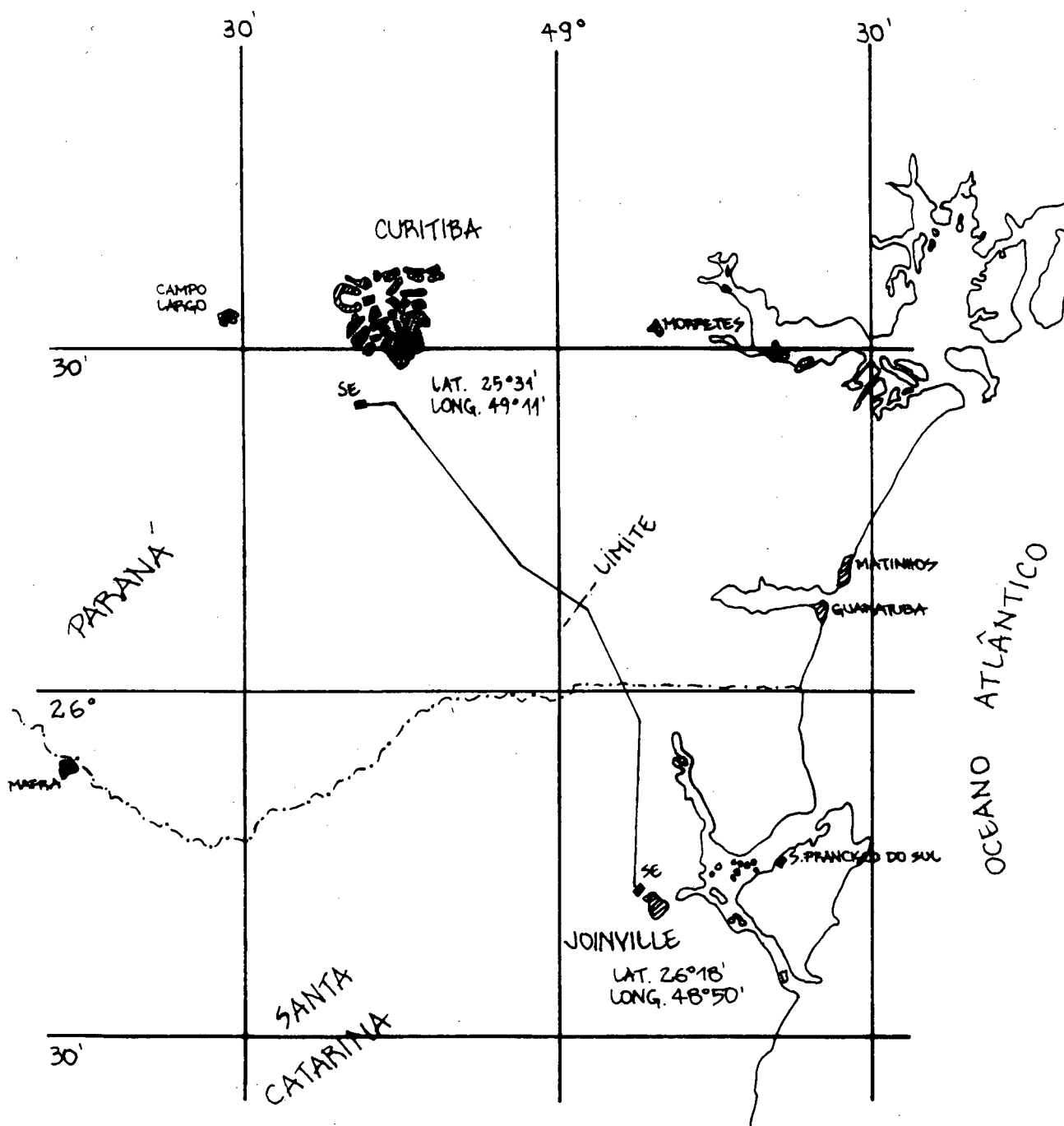


FIGURA 21 - Planta de localização da LT

A latitude da LT será considerada como $-25,529$ e a longitude $49,189$ correspondente à localização da estação Curitiba. A longitude legal (Brasília) é de $47,759$.

A inclinação da LT em relação à horizontal será considerada igual a zero.

As características do cabo condutor são:

. Resistência AC a 25°C	$0,092211$ (Ω/km)
. α_t	$0,003908$ ($1/^{\circ}\text{C}$)
. α_s	$0,9$
. Emissividade	$0,7$
. Diâmetro Total	$25,15$ mm
. Diâmetro dos fios da camada externa ..	$3,97$ mm

Com estes dados principais, realizam-se os cálculos utilizando duas metodologias: determinística e probabilística.

5.2 METODOLOGIA DETERMINÍSTICA.

Neste caso consideram-se as condições críticas do ponto de vista térmico.

Seguindo as recomendações para aplicação desta metodologia [19], adota-se:

. Hora do dia	$15:00$ hrs
. CN	$0,9$

- . Velocidade do vento 0,61 m/s
- . Direção do vento 39,83º
- . Temperatura ambiente 30ºC

Para a radiação solar, o programa calculará o dia de maior ganho solar no ano.

Se se adotar uma temperatura de projeto de 60ºC, a corrente eficaz máxima será de 484 A, conforme calculado e cujo resultado está mostrado na figura 22.

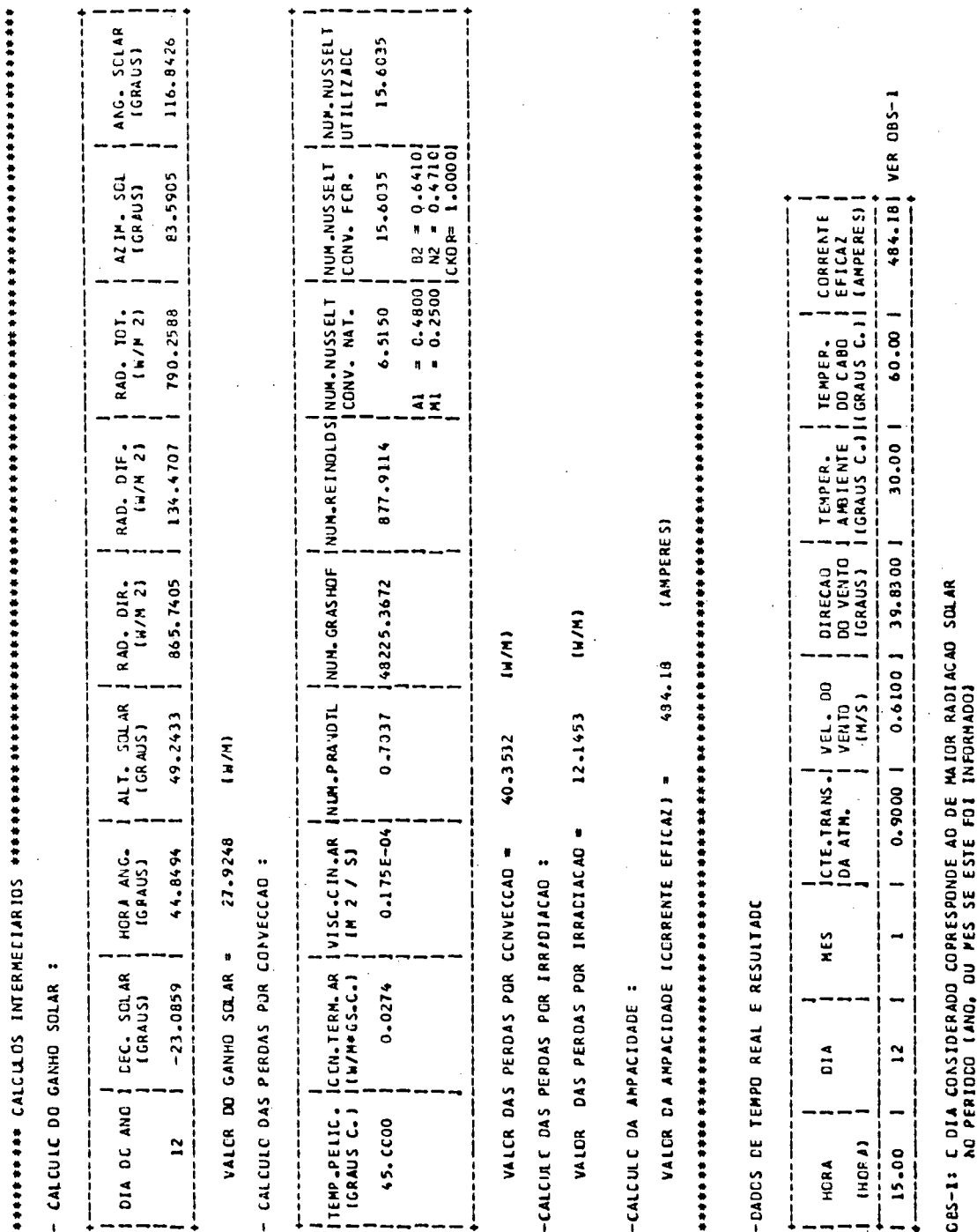


FIGURA 22 - Calculo deterministico da ampacidade - Operacao

Normal

Poder-se-ia ainda estabelecer outros limites considerando horário dia/noite e Inverno/Verão. Para efeito comparativo de metodologias adotar-se-á o limite para o período Verão/dia.

Para a condição de emergência, a temperatura do cabo pode chegar a 90°C, o que provoca um abaixamento de 1m na flecha de um vão de 400,0m. Portanto a corrente na emergência pode ser de 836 A conforme calculado (figura 23).

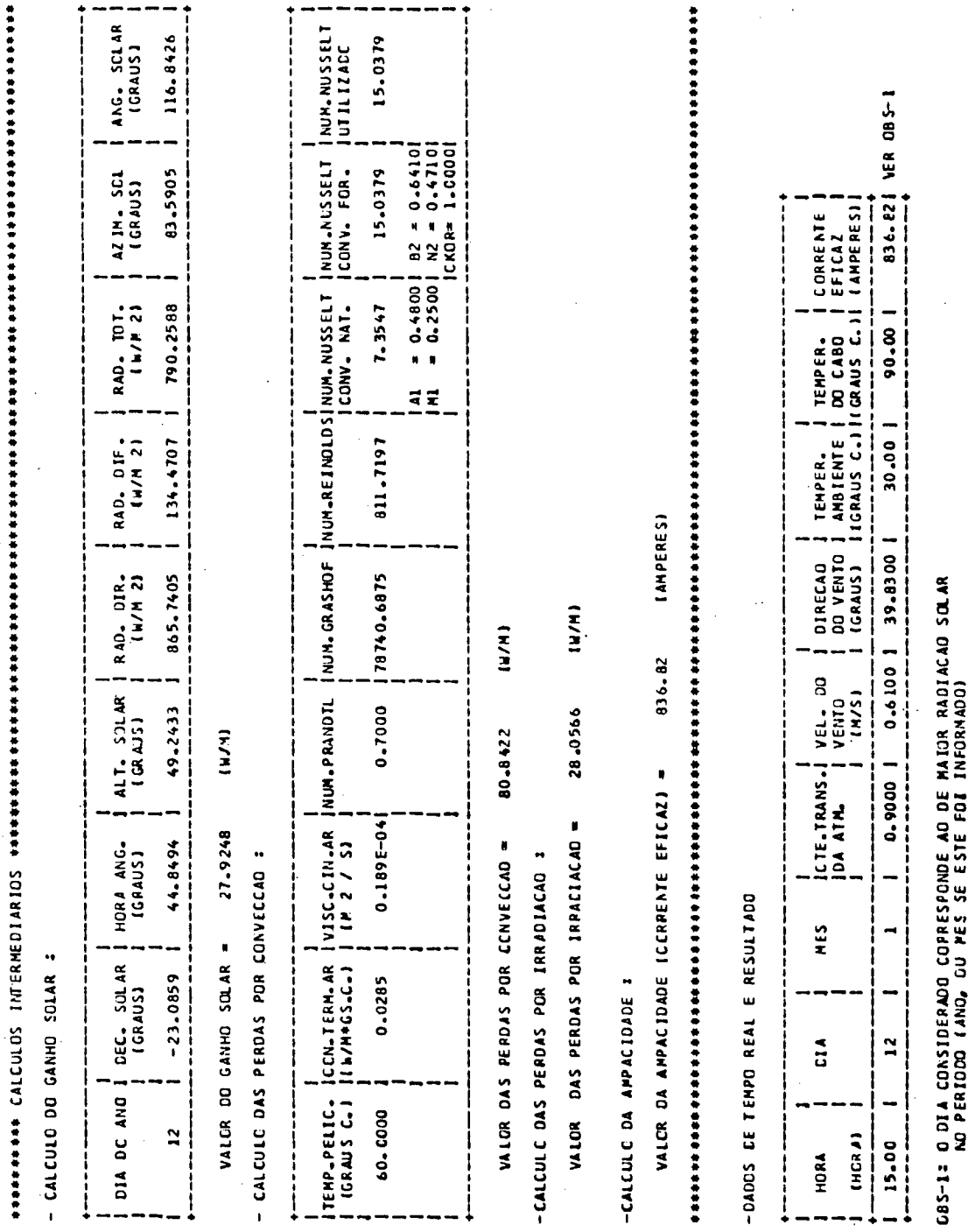


FIGURA 23 - Calculo deterministico da ampacidade - Operacao de emergencia

5.3 METODOLOGIA PROBABILÍSTICA.

Para o cálculo probabilístico, precisa-se de dados meteorológicos que caracterizem a região atravessada. O ideal seria ter uma série de estações meteorológicas ao longo da linha, de forma a adotarmos como limite a região mais agressiva termicamente.

Para o presente caso, têm-se disponíveis 10 anos de dados meteorológicos horários coletados pela Diretoria de Eletrônica e Proteção ao Voo - DEPV / Ministério da Aeronáutica, no aeroporto de Curitiba, e que foram arquivados em fita pelo CEPTEL, o qual gentilmente cedeu o arquivo para uso neste trabalho.

Nestes dados tem-se uma série de medições, entre eles, temperatura ambiente, velocidade e direção do vento, de interesse no presente estudo. Não é comum a medição direta da radiação solar em aeroportos. O que se tem é a quantidade de nuvens presentes no céu, quantificando o encobrimento em "oitavos", variando de 0/8 (céu limpo) até 8/8 (céu totalmente encoberto).

Já foi visto no capítulo 2 que se pode calcular a radiação solar a partir do cálculo das eclípticas. Necessita-se porém a constante de transparência da atmosfera (CN), a qual se pode calcular estabelecendo uma relação com a quantidade de nuvens no céu. Adota-se então CN variando de 0,0 a 1,0 de acordo ao número de nuvens presentes no céu.

Analisando o gráfico de distribuição da velocidade de vento (figura 24), percebe-se que existe uma presença exagerada de vento nulo e a inexistência de vento na faixa de 1 m/s. Esta distorção aparece pelo critério adotado na medição, onde ventos

abaixo de 2 nós são considerados como nulos, já que para a Aeronáutica estes dados não são relevantes.

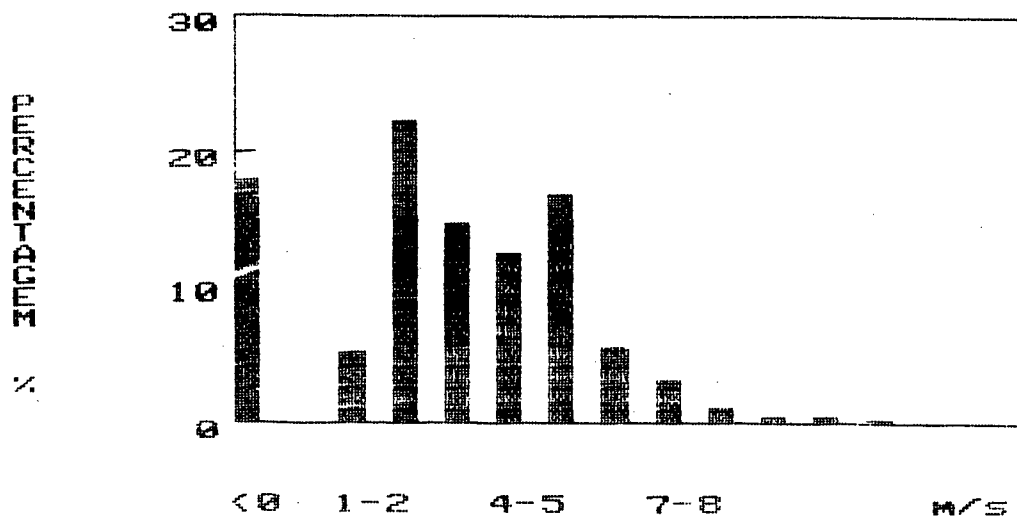


FIGURA 24 - Histograma da velocidade de vento

Este erro causa por sua vez distorção na distribuição de temperatura do cabo.

Para evitar o problema e considerar válidos os dados, far-se-á uma correção dos valores, realizando um sorteio randômico das velocidades de vento nulo de maneira a corrigi-las segundo uma distribuição de Rayleigh, comumente utilizada na modelagem de vento e que expressa de maneira adequada o comportamento eólico. A figura 25 mostra o gráfico da distribuição real (desconsiderando vento nulo) e de Rayleigh.

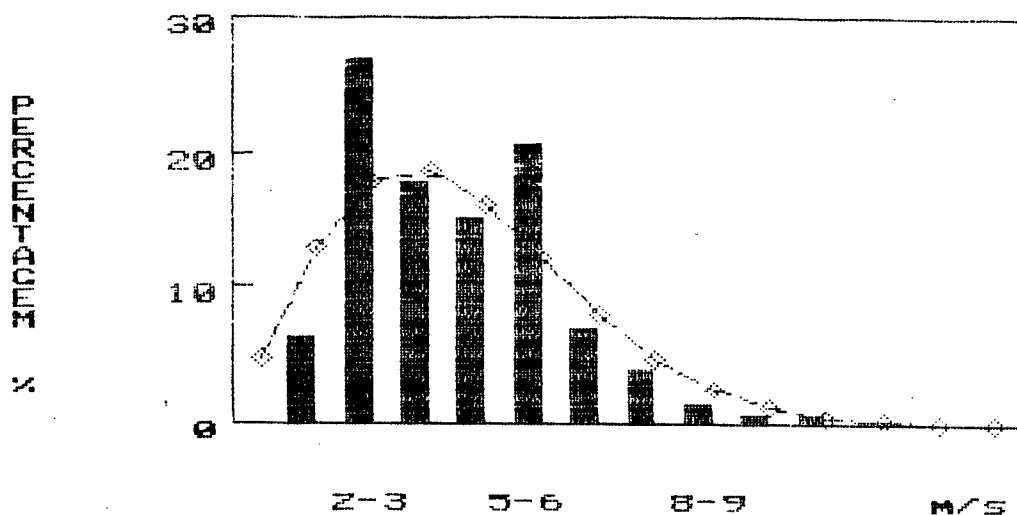


FIGURA 25 - Gráficos comparativos de histograma e densidade de probabilidade de velocidade de vento

A nova distribuição de vento, fazendo a correção e considerando o vento nulo será conforme a figura 26, o que atende as necessidades.

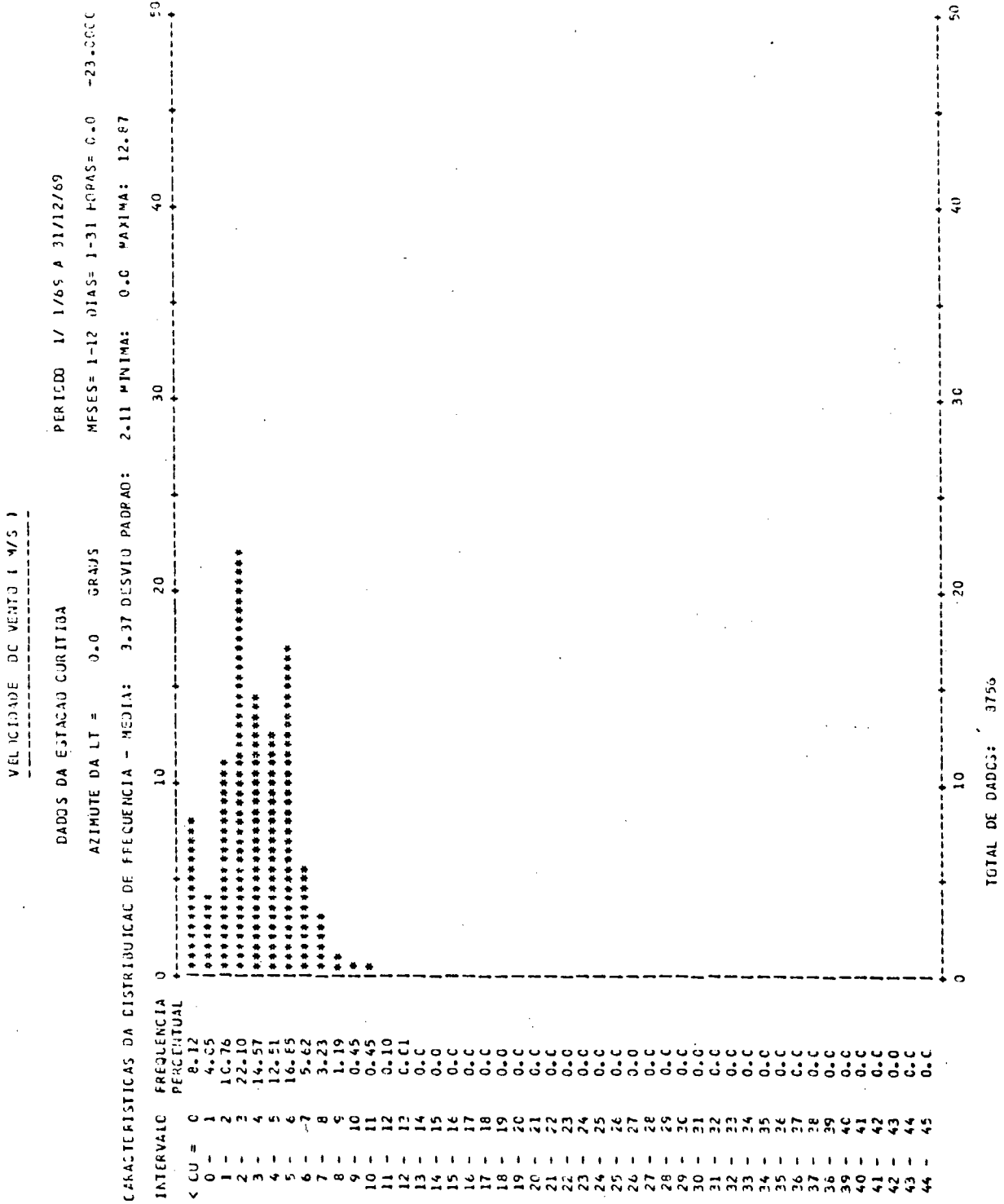


FIGURA 26 - Distribuicão de velocidade de vento corrigida

Utiliza-se nos cálculos um (1) ano de dados (1969) de forma a agilizar o processamento, considerando que os resultados são suficientemente satisfatórios, especialmente numa abordagem acadêmica como a apresentada neste estudo.

As figuras 27, 28 e 29 mostram a distribuição das outras variáveis meteorológicas e a distribuição conjunta temperatura ambiente x velocidade do vento.

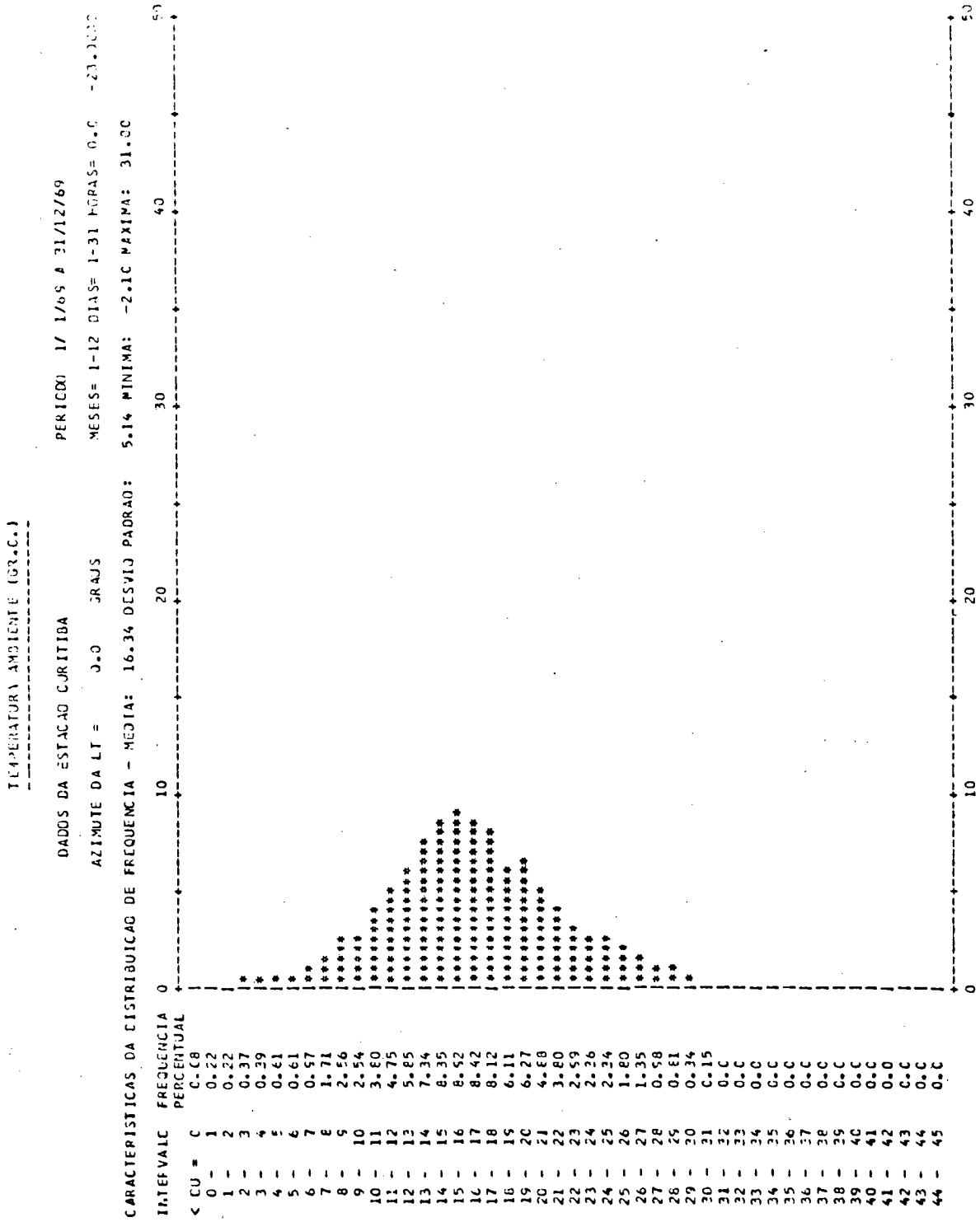


FIGURA 27 - Distribuicão da temperatura ambiente

DIREÇÃO DO VENTO (GRAUS)

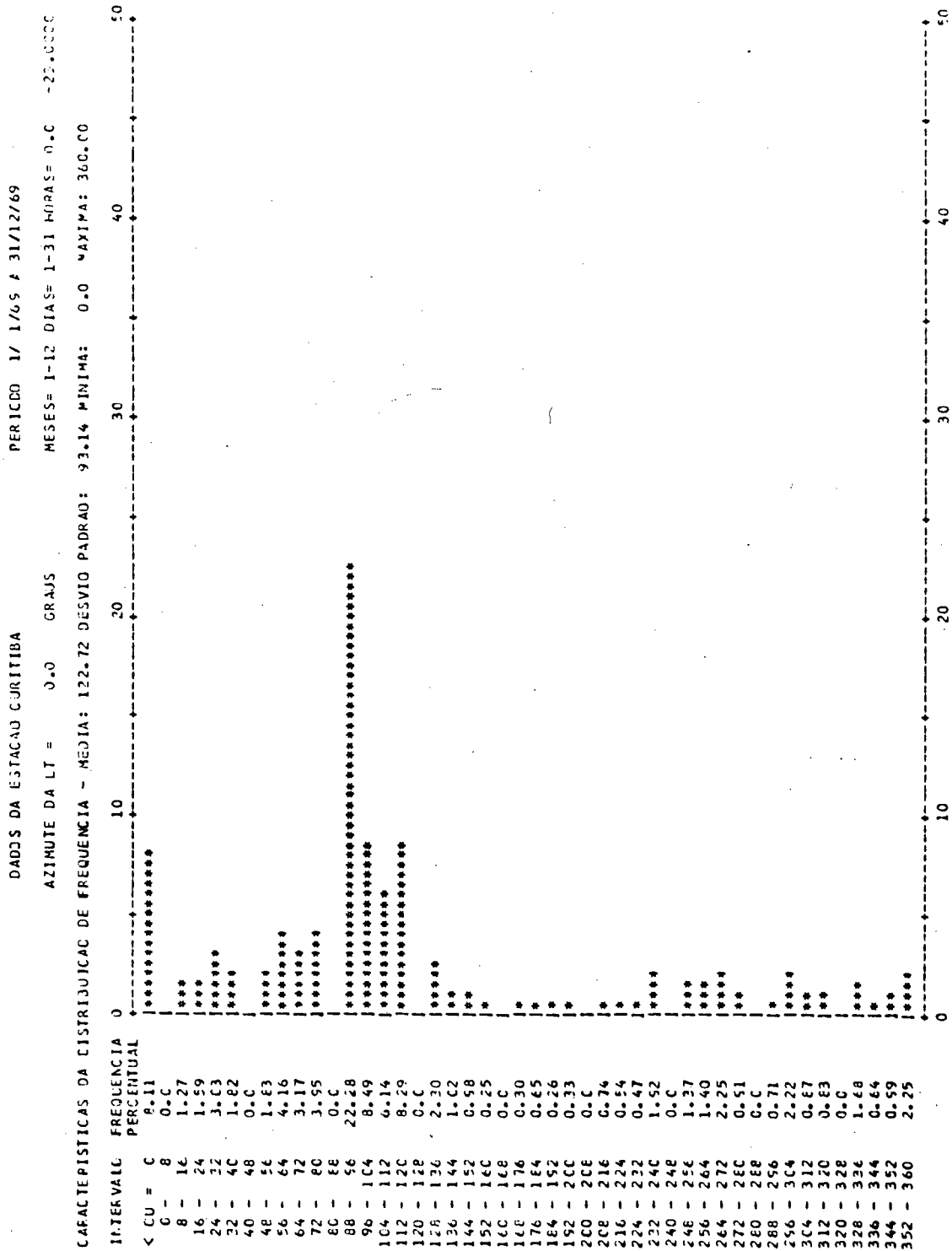


FIGURA 28 - Distribuicão de direçao do vento

DISTRIBUICAO CONJUNTA TEMPERATURA AMBIENTE (GR.C.) X VELOCIDADE DO VENTO (M/S)

DADOS DA ESTACAO CURITIBA PERIODO 1/ 1/65 A 31/12/69

AZIMUTE DA LT = J.0300 GRAUS MESES=12- 1 DIAS=31- 0 HORAS=24.0000-

TEMPERATURA AMBIENTE (GR.C.)	VELOCIDADE DO VENTO (M/S)																									
	<0U=	0	1	3	5	7	9	11	13	15	17	19	21	23	25	27	29	31	33	35	37	39	41	43	45	
<CU= 0	4	2	7	3	6	1																				
1	2	7	7	3	2	1																				
2	10	13	2	7	2																					
3	11	17	3	2	1																					
4	17	20	10	4	2																					
5	16	22	7	8	1																					
6	23	34	13	12	2	1																				
7	42	47	27	27	5	2																				
8	52	77	56	34	4	1																				
9	51	60	67	40	4																					
10	61	93	50	78	4	2																				
11	67	145	125	73	3	3																				
12	59	184	160	93	13	3																				
13	57	240	182	139	23	2																				
14	82	271	158	143	31	5	1																			
15	169	252	157	180	38	5	2																			
16	80	275	180	160	37	3	2																			
17	95	236	152	155	30	2	1																			
18	47	187	153	130	17	1																				
19	55	176	147	136	28	7																				
20	27	141	118	108	26	5	2																			
21	27	94	102	82	21	6	1																			
22	18	67	73	80	20	4																				
23	15	52	63	56	17	3	1																			
24	8	52	63	59	14	8	1																			
25	6	34	41	36	15	6																				
26	8	20	29	36	11	3	1																			
27	5	19	24	28	7	3																				
28	4	14	26	18	8	1																				
29	1	9	5	10	3	2																				
30	1	5	3	4	1																					
31																										
32																										
33																										
34																										
35																										
36																										
37																										
38																										
39																										
40																										
41																										
42																										
43																										
44																										
45																										

TOTAL DE DADOS : RT56

FIGURA 29 - Distribuicão conjunta temperatura ambiente x velocidade do vento

Inicialmente determinar-se-á o risco térmico considerando a corrente eficaz no cabo igual àquela calculada segundo a metodologia determinística, ou seja, 484 A. Chamar-se-á esta corrente de 1 pu.

TEMPERATURA DO CABO (GR. C-1)

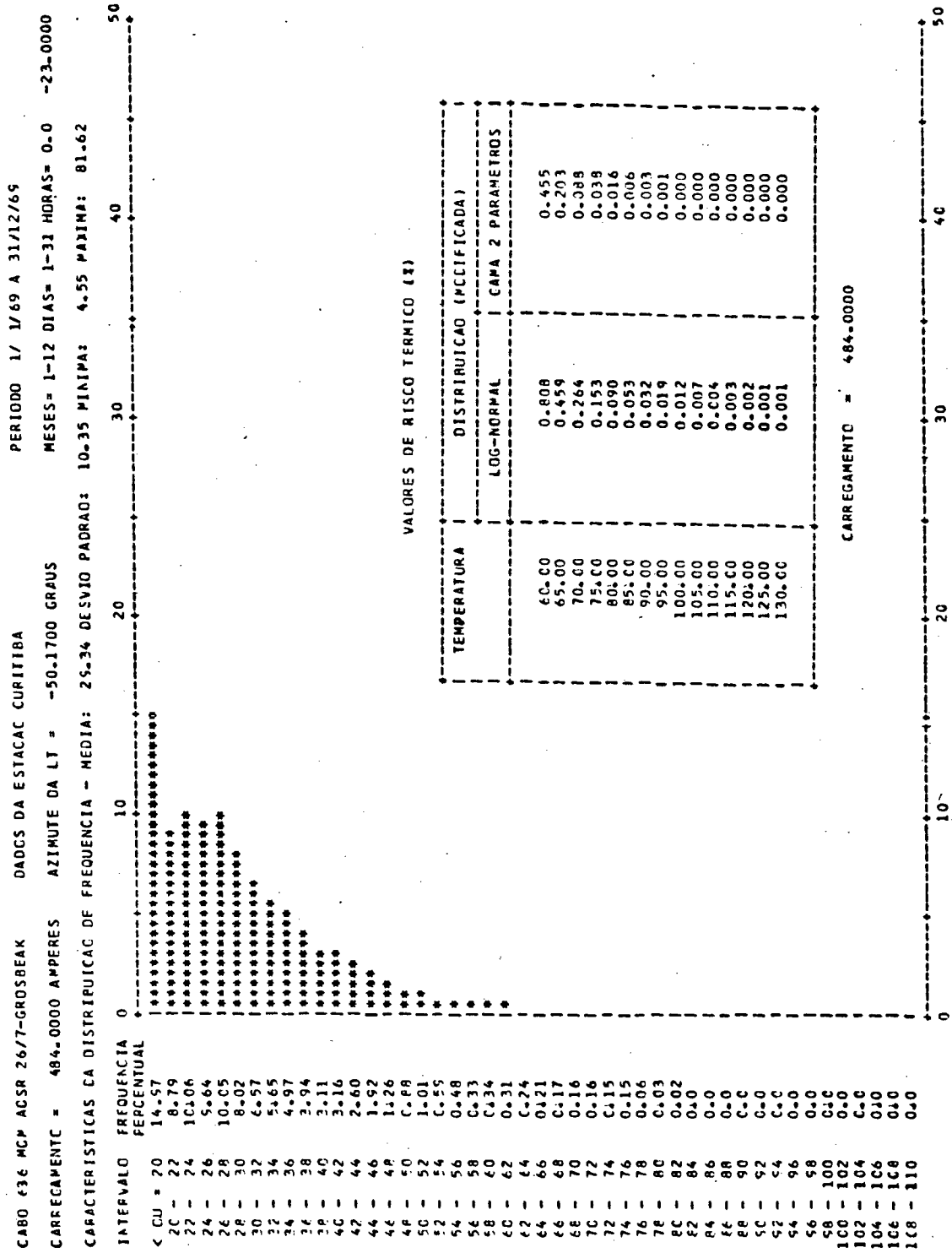


FIGURA 30 - Risco térmico para 1,0 pu - Operação Normal

Observando a figura 30, vê-se que a distribuição Log-Normal modificada apresentou uma melhor aderência. O risco portanto que se está assumindo para uma temperatura de 60°C é de 0,808%.

Pelas sugestões apresentadas no capítulo 3, considera-se como aceitável um risco entre 0,1 a 1,0%. Se se realizar os cálculos para outros carregamentos tem-se:

TEMPERATURA (°C)	CORRENTE (A)				
	484 1.0 pu	508 1.05pu	520 1.075pu	532 1.10pu	557 1.15pu
60	0.808	0.994	1.117	1.200	1.534
65	0.459	0.573	0.647	0.705	0.914
70	0.264	0.333	0.378	0.418	0.549
75	0.153	0.196	0.222	0.250	0.332
80	0.090	0.116	0.132	0.151	0.202
85	0.053	0.069	0.079	0.092	0.124
90	0.032	0.042	0.048	0.056	0.077
95	0.019	0.026	0.029	0.035	0.048
100	0.012	0.016	0.018	0.022	0.030
105	0.007	0.010	0.011	0.014	0.019
110	0.004	0.006	0.007	0.009	0.012
115	0.003	0.004	0.004	0.006	0.008
120	0.002	0.002	0.003	0.004	0.005
125	0.001	0.002	0.002	0.002	0.003
130	0.001	0.001	0.001	0.002	0.002

TABELA 7 - Risco térmico (Distribuição Log-Normal Modificada) - Operação Normal

Portanto, aumentando o risco, poder-se-ia estabelecer a corrente eficaz como 520 A, com risco de 1,117 o que representa 7,5% de ganho em termos de transmissão.

Para a condição de emergência, viu-se no capítulo 3 que se pode considerar um risco de até 3,0%. Considerando o carregamento de forma determinística a corrente seria de 836 A, cujo risco associado é de 1,836%, conforme pode ser visto na figura 31.

TEMPERATURA DO CABO (GR. C.)

CABO #36 MCM ACSR 26/7-GROSEBEAK DADOS DA ESTACAC CURITIBA PERIODO 1/ 1/69 A 31/12/69
 CARREGAMENTO = 836.0000 AMPERES AZIMUTE CA LT = -50.1700 GRAUS MESES= 1-12 DIAS= 1-31 HCRAS= 0.0 -23.0000
 CARACTERISTICAS DA DISTRIBUICAO DE FREQUENCIA - MEDIA: 50.20 DESVIO PADRAO: 18.65 MINIMA: 12.23 MAXIMA: 123.46

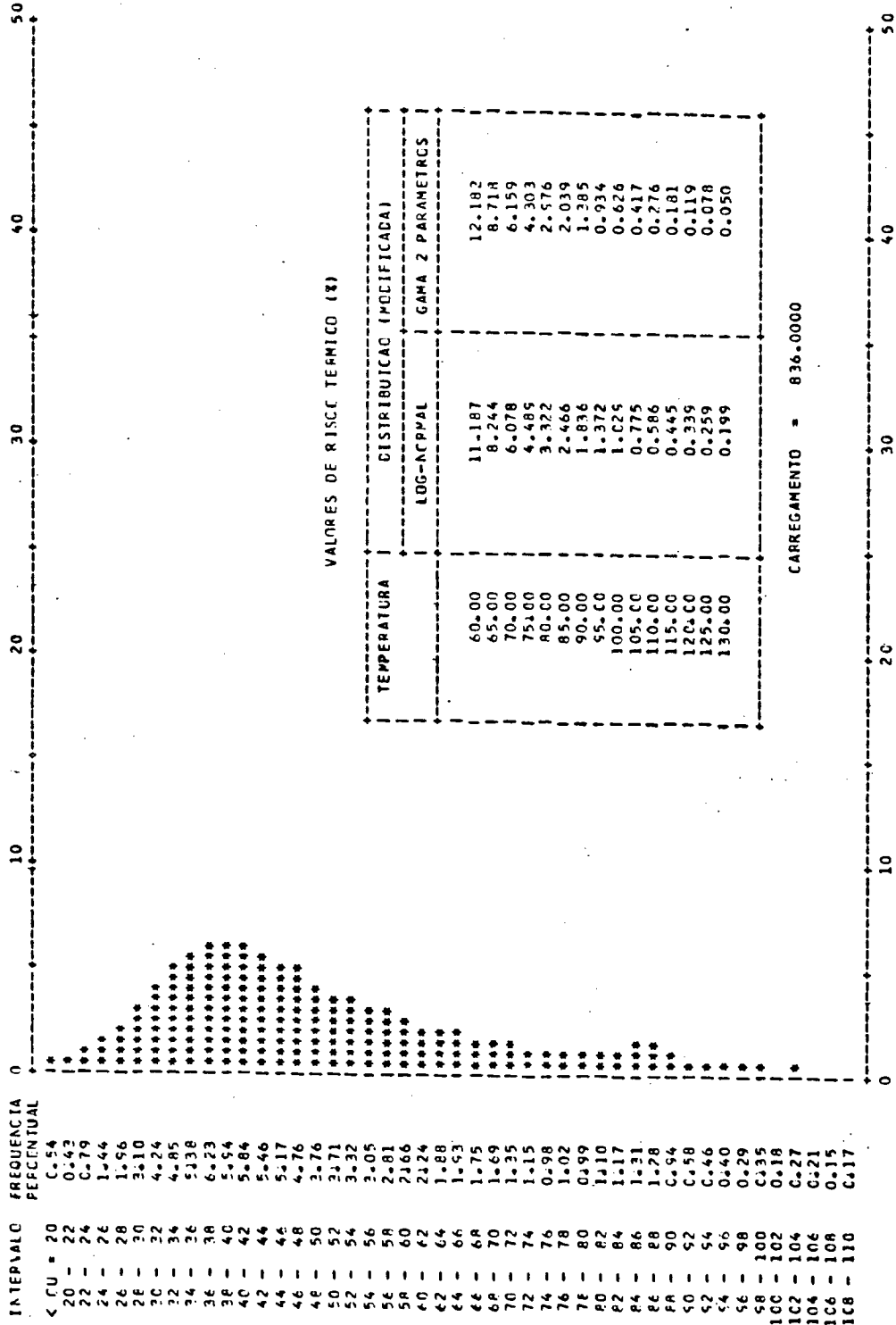


FIGURA 31 - Risco termico para 1,0 pu - Operação de emergência

Para outros carregamentos tem-se:

TEMPERATURA (°C)	CORRENTE (A)			
	836 1.0 pu	878 1.05pu	900 1.075pu	920 1.10pu
60	11.187	13.972	15.542	17.019
65	8.244	10.562	11.893	13.157
70	6.078	7.982	9.095	10.163
75	4.489	6.038	6.960	7.853
80	3.322	4.575	5.333	6.074
85	2.466	3.474	4.095	4.707
90	1.836	2.646	3.152	3.655
95	1.372	2.020	2.432	2.845
100	1.029	1.548	1.882	2.220
105	0.775	1.190	1.461	1.738
110	0.586	0.918	1.138	1.364
115	0.445	0.710	0.889	1.074
120	0.339	0.551	0.696	0.848
125	0.259	0.430	0.547	0.672
130	0.199	0.336	0.432	0.533

TABELA 8 - Risco térmico (Distribuição Log-Normal
Modificada) - Operação de emergência

Poder-se-ia portanto a princípio considerar uma corrente máxima de emergência de 900 A, com risco de 3,152%. O ganho é de 7,5%.

Como no caso anterior, poder-se-ia considerar períodos do ano Verão/Inverno, horário de ponta, dia/noite, etc, podendo inclusive variar o risco para cada caso. Isto levaria à utilização ótima da LT.

5.4 CONCLUSÃO.

Considerando o exposto, poder-se-ia assumir como corrente máxima 520 A para a operação normal, e 900 A para a condição de emergência, aceitando-se um risco de 1,116% e 3,152% respectivamente.

Cabe fazer um comentário sobre o que aconteceria caso as condições meteorológicas mais adversas ocorressem junto com o carregamento máximo e de emergência.

No primeiro caso, a temperatura do cabo atingiria 61,999°C. Nesta condição, o abaixamento de cabo seria menor do que na operação em emergência, e considerando ser uma situação de excepcionalidade, seria perfeitamente assumível em relação ao risco que representa.

No caso da condição de emergência, a temperatura do cabo chegaria a 97,549°C. Isto implicaria, no caso de um vão de 400 m, num acréscimo de 1,5% na flecha, o que considerando outras simplificações no cálculo pode ser considerado como insignificante.

No exemplo apresentado foram utilizados dados de uma linha de transmissão já existente. Neste caso, o resultado apresentado expressa o ganho mínimo de ampacidade. Um estudo mais profundo, analisando o comportamento dos vãos críticos, poderia levar a ganhos maiores de acordo com a relação custo/benefício. Considerando-se como uma linha a ser construída, o valor serve como referência para o planejamento e projeto.

CAPÍTULO 6. CONCLUSÃO E SUGESTÃO DE NOVOS TRABALHOS.

O trabalho desenvolvido pretendeu aprofundar a questão da determinação da ampacidade de uma linha de transmissão do ponto de vista do limite térmico. Neste sentido foi proposta uma modelagem física a mais próxima da real, e uma abordagem mais moderna, introduzindo o enfoque probabilística no lugar do tradicional modelo determinístico.

Em relação ao modelo assumido, basicamente espelhado no desenvolvido por V. Morgan [10/11], foram analisados os diversos aspectos que envolvem o fenômeno térmico do cabo, chegando a um modelo que pode ser considerado como muito bom.

A abordagem probabilística demonstrou ser um real avanço, levando a ganhos da ordem de 8% em relação ao tradicional, e isto considerando índices de risco bastante conservadores. Importante ainda, permitiu conhecer melhor o comportamento térmico do cabo e deu consciência do que significa optar por determinado carregamento.

Esbarra-se na necessidade cada vez maior de disponibilidade de dados meteorológicos, sem os quais não se consegue uma aplicação de boa qualidade. Neste sentido necessita-se de um maior número de estações meteorológicas espalhadas nas diversas micro-regiões e tempo de medição maior (10 anos). Esforço de diversas áreas neste sentido trariam vantagens técnicas a atividades tão diversas e importantes quanto agricultura, aeronáutica e energia elétrica, para citar algumas.

Como possibilidades de aprofundamento do estudo, vislumbram-se três linhas principais:

. Micro-regionalização do cálculo da ampacidade através da modelagem das estações meteorológicas, de modo que para um determinado cabo seja possível o cálculo utilizando as equações da estação e não exija o uso de todos os dados meteorológicos. Alguns trabalhos existem nesta direção [28/29] mas falta um maior aprimoramento da modelagem e de disponibilidade de dados meteorológicos. A transferência espacial [32] e implicações probabilísticas [16] também se tornam importantes, já que os dados estão sendo medidos em um ponto, mas, sendo considerados como válidos a uma certa distância. Deve-se ver como fazer esta transferência espacial de dados; analisar a probabilidade real das condições meteorológicas serem iguais; e considerar como isto influenciará a distribuição de temperatura do condutor.

. Cálculo em tempo real, para o qual talvez tenham que ser feitas simplificações no modelo para agilizar o cálculo. A monitoração em tempo real implica o desenvolvimento de equipamentos de medição da temperatura do cabo; transmissão das informações; medição e transmissão das variáveis meteorológicas para cálculo do valor teórico; crítica dos dados; armazenamento e tratamento estatístico dos dados. Este trabalho tem sido muito desenvolvido em outros países, especialmente nos Estados Unidos da America [5/12/13/14/15/16/1/40/24/7/8/17/42/18], e começa a ser desenvolvido no Brasil [43/47].

. Cálculo das perdas mecânicas provocada pela história térmica do cabo (37/38/48/49), procurando estabelecer limites admissíveis e ótimos do ponto de vista técnico-econômico.

O trabalho apresentado serve como base para uma pesquisa bastante abrangente e importante, visando uma otimização no planejamento, projeto e operação das linhas aéreas de transmissão.

A N E X O 1

TRANSMISSION LINE REFERENCE BOOK 345 kV AND ABOVE

Table 3.3.3
CHARACTERISTICS OF MULTILAYER ALUMINUM-CONDUCTOR-STEEL-REINFORCED (ACSR)

Code	Cross Section			Stranding		Diameter		L a y e r s	wt lbs per 1000 ft	STRG (Kips)	DC 25 C	Resistance (Ohms/Mile) AC at 60 HZ					Reactance 1 ft Rad. 60 HZ	
	(kcmil)	(sq mm)	(sq mm)	Aluminum	Steel	Cond (in.)	Core (in.)					25 C	50 C	75 C	100 C	GMR (ft)	X _s Ohm/ Mile	X _r Megohm -Mile
	Al	Al	Tot									25 C	50 C	75 C	100 C	(ft)		
Junco Thrasher Kiwi Bluebird Chukar	2776	1407	1521	84x.1818	19x.1091	2.000	546	4	3219	81.6	0.338	0.395	0.421	0.452	0.482	0.667	329	0.736
	2515	1274	1344	76x.1819	19x.0849	1.880	425	4	2749	61.7	0.365	0.418	0.450	0.482	0.516	0.621	337	0.755
	2312	1171	1235	76x.1744	19x.0814	1.802	407	4	2526	57.3	0.397	0.446	0.477	0.510	0.544	0.595	342	0.767
	2167	1098	1146	72x.1735	7x.1157	1.735	347	4	2303	49.8	0.424	0.473	0.511	0.550	0.589	0.570	348	0.778
Falcon Lapwing Parrot Nuthatch Plover	2156	1092	1181	84x.1602	19x.0961	1.762	480	4	2511	60.3	0.426	0.466	0.505	0.544	0.584	0.588	344	0.774
	1781	902	976	84x.1456	19x.0874	1.602	437	4	2074	51.0	0.516	0.549	0.598	0.646	0.696	0.534	355	0.802
	1590	806	908	54x.1716	19x.1030	1.545	515	3	2044	54.5	0.578	0.602	0.657	0.712	0.767	0.521	358	0.813
	1590	806	862	45x.1880	7x.1253	1.504	376	3	1792	42.2	0.590	0.622	0.678	0.734	0.790	0.497	364	0.821
Bobolink Martin Dioper Pheasant Bittern	1510	765	862	54x.1672	19x.1003	1.505	502	3	1942	51.7	0.608	0.631	0.689	0.748	0.806	0.508	362	0.821
	1510	765	818	45x.1832	7x.1221	1.465	366	3	1702	40.1	0.622	0.652	0.711	0.770	0.830	0.485	367	0.828
	1431	725	817	54x.1628	19x.0977	1.465	489	3	1840	49.1	0.642	0.663	0.724	0.787	0.849	0.494	365	0.828
	1431	725	775	45x.1783	7x.1189	1.427	357	3	1613	38.3	0.656	0.685	0.747	0.810	0.873	0.472	371	0.836
Grackie Bunting Finch Bluejay Curlew	1351	685	772	54x.1582	19x.0949	1.424	475	3	1737	46.3	0.680	0.700	0.765	0.831	0.897	0.480	368	0.837
	1351	685	732	45x.1733	7x.1155	1.386	347	3	1522	36.2	0.695	0.722	0.788	0.855	0.922	0.459	374	0.845
	1272	645	726	54x.1535	19x.0921	1.382	461	3	1635	43.6	0.722	0.741	0.811	0.881	0.951	0.466	372	0.846
	1272	644	699	45x.1681	7x.1121	1.345	316	3	1434	34.1	0.738	0.764	0.834	0.906	0.977	0.445	378	0.854
Ortolan Merganser Cardinal Rail Baldpate	1192	604	681	54x.1486	19x.0892	1.338	446	3	1533	41.9	0.770	0.788	0.863	0.938	1.013	0.451	376	0.855
	1193	604	646	45x.1628	7x.1085	1.302	326	3	1344	32.0	0.787	0.811	0.887	0.963	1.039	0.431	382	0.863
	1114	564	636	54x.1436	19x.0862	1.293	431	3	1431	39.1	0.825	0.842	0.922	1.002	1.082	0.436	380	0.866
	1113	564	603	45x.1573	7x.1049	1.258	315	3	1255	29.8	0.843	0.866	0.947	1.029	1.111	0.416	386	0.873
Skimmer Mallard Drake Condor Cuckoo Tern	1033	523	591	54x.1383	7x.1383	1.245	415	3	1331	36.6	0.909	0.924	1.013	1.101	1.190	0.420	385	0.877
	1033	523	560	45x.1515	7x.1010	1.212	303	3	1165	27.7	0.909	0.930	1.018	1.106	1.195	0.401	390	0.885
	954	483	596	30x.1785	7x.1783	1.248	535	2	1493	46.0	0.987	0.995	1.092	1.189	1.286	0.430	382	0.876
	954	483	546	54x.1329	7x.1329	1.196	399	3	1229	33.8	0.984	0.990	1.094	1.191	1.287	0.404	389	0.889
Canary Ruddy Crane Willet Skimmer	954	483	517	45x.1456	7x.0971	1.165	291	3	1075	25.9	0.984	1.004	1.099	1.195	1.291	0.385	395	0.896
	900	456	562	30x.1732	7x.1732	1.212	520	2	1410	43.3	1.046	1.054	1.156	1.259	1.362	0.417	385	0.885
	900	456	515	54x.1291	7x.1291	1.162	387	3	1159	31.9	1.043	1.056	1.158	1.260	1.362	0.392	393	0.897
	900	456	487	45x.1414	7x.0943	1.131	283	3	1015	25.4	1.043	1.062	1.163	1.265	1.367	0.374	399	0.905
Buteo Redwing Starling Crow Shit Grebe Gannet Gull Flamingo	875	443	501	54x.1273	7x.1273	1.146	382	3	1126	31.4	1.073	1.086	1.191	1.296	1.401	0.387	395	0.901
	874	443	474	45x.1394	7x.0929	1.115	279	3	987	25.0	1.073	1.092	1.196	1.301	1.406	0.369	400	0.909
	795	403	497	30x.1628	7x.1628	1.140	488	2	1246	38.3	1.183	1.191	1.307	1.423	1.540	0.392	393	0.903
	795	403	495	30x.1628	19x.0977	1.140	489	2	1235	38.4	1.183	1.191	1.307	1.423	1.540	0.392	393	0.903
Scoler Egret Ostrbeak Goose Rook Kingbird Swift	795	403	469	26x.1749	7x.1360	1.108	408	2	1094	31.5	1.180	1.190	1.306	1.422	1.538	0.375	399	0.911
	795	403	455	54x.1213	7x.1213	1.092	364	3	1024	28.2	1.181	1.193	1.309	1.425	1.541	0.368	401	0.916
	795	403	455	24x.1820	7x.1213	1.092	364	2	1024	27.9	1.181	1.193	1.308	1.424	1.540	0.366	402	0.916
	795	403	431	45x.1329	7x.0886	1.063	266	3	896	22.1	1.181	1.197	1.313	1.428	1.544	0.352	406	0.923
Ostrbeak Goose Rook Kingbird Swift	795	403	414	36x.1486	1x.1486	1.040	149	3	805	16.5	1.175	1.197	1.311	1.426	1.540	0.337	411	0.930
	715	362	447	30x.1544	7x.1544	1.081	463	2	1119	34.4	1.316	1.322	1.452	1.581	1.711	0.372	399	0.919
	715	362	445	30x.1544	19x.0926	1.081	463	2	1111	34.6	1.316	1.322	1.452	1.581	1.711	0.372	399	0.919
	716	363	422	26x.1659	7x.1290	1.051	387	2	985	28.4	1.312	1.321	1.450	1.579	1.707	0.355	405	0.927
Scoler Egret Ostrbeak Goose Rook Kingbird Swift	715	362	409	54x.1151	7x.1151	1.036	345	3	921	26.3	1.312	1.323	1.450	1.580	1.709	0.350	407	0.931
	716	363	410	24x.1727	7x.1151	1.036	345	2	922	25.5	1.311	1.322	1.451	1.579	1.708	0.347	408	0.931
	716	363	388	45x.1261	7x.0841	1.009	252	3	807	20.6	1.312	1.327	1.455	1.583	1.712	0.334	413	0.939
	666	338	393	26x.1801	7x.1245	1.014	374	2	917	26.6	1.409	1.417	1.555	1.694	1.832	0.343	409	0.937
Scoler Egret Ostrbeak Goose Rook Kingbird Swift	667	338	382	54x.1111	7x.1111	1.000	333	3	858	24.5	1.408	1.418	1.557	1.695	1.833	0.337	411	0.942
	667	338	382	24x.1667	7x.1111	1.000	333	2	859	23.7	1.407	1.418	1.556	1.694	1.832	0.335	412	0.942
	636	322	397	30x.1456	7x.1456	1.019	437	2	993	30.8	1.480	1.486	1.631	1.777	1.923	0.351	406	0.936
	636	322	396	30x.1456	19x.0874	1.019	437	2	988	31.5	1.480	1.485	1.631	1.777	1.923	0.351	406	0.936
Scoler Egret Ostrbeak Goose Rook Kingbird Swift	636	322	375	26x.1564	7x.1216	0.990	365	2	875	25.2	1.476	1.484	1.629	1.774	1.920	0.335	412	0.944
	636	322	364	54x.1085	7x.1085	0.977	326	3	819	23.6	1.477	1.486	1.631	1.776	1.922	0.330	414	0.943
	636	322	364	24x.1628	7x.1085	0.977	326	2	819	22.0	1.476	1.485	1.630	1.775	1.920	0.327	415	0.949
	636	322	340	18x.1880	1x.1880	0.940	188	2	691	15.7	1.468	1.484	1.627	1.771	1.915	0.304	424	0.960
636	322	331	36x.1329	1x.1329	0.930	133	3	644	13.4	1.469	1.487	1.630	1.774	1.918	0.302	425	0.963	

ELECTRICAL CHARACTERISTICS OF EHV-UHV CONDUCTOR CONFIGURATIONS AND CIRCUITS

Table 3.3.3 (Cont.)
CHARACTERISTICS OF MULTILAYER ALUMINUM-CONDUCTOR-STEEL-REINFORCED

Code	Cross Section			Stranding		Diameter		L a y n s t r e n g t h (per 1000 ft)	STRG (Kips)	DC 25 C	Resistance (Ohms/Mile)					Reactance 1 ft Rad. 60 HZ		
	(kcmil)	sq mm	sq mm	Aluminum	Steel	Cond (in.)	Core (in.)				AC at 60 HZ					GMR (ft)	X _r (Ohm/Mile)	X _i (Megohm-Mile)
											25 C	50 C	75 C	100 C				
Wood Duck	605	307	378	30x 1420	7x 1420	0.994	426	2	947	29.4	1556	1561	1714	1868	2021	0342	410	0943
Teal	605	307	376	30x 1420	19x 0852	0.994	426	2	940	30.0	1555	1561	1714	1868	2021	0342	410	0943
Squab	605	306	356	26x 1525	7x 1186	0.966	356	2	833	23.6	1552	1560	1713	1866	2018	0327	415	0952
Peacock	605	307	346	24x 1588	7x 1059	0.953	318	2	780	21.6	1551	1560	1712	1865	2018	0319	418	0956
Duck	606	307	347	54x 1059	7x 1059	0.953	318	3	779	22.5	1550	1559	1711	1864	2016	0322	417	0956
Eagle	557	282	348	30x 1362	7x 1362	0.953	409	2	872	27.2	1691	1696	1863	2029	2196	0328	415	0956
Dove	556	282	328	26x 1463	7x 1178	0.927	341	2	766	22.4	1687	1694	1860	2026	2192	0313	420	0964
Parakeet	557	282	319	24x 1523	7x 1015	0.914	305	2	717	19.8	1686	1695	1860	2026	2192	0306	423	0968
Osprey	556	282	298	18x 1758	1x 1758	0.879	176	2	604	13.7	1679	1693	1857	2022	2187	0284	432	0980
Hen	477	242	298	30x 1261	7x 1261	0.883	378	2	747	23.8	1973	1977	2171	2366	2560	0304	424	0979
Hawk	477	242	281	26x 1354	7x 1053	0.858	316	2	657	19.5	1969	1975	2169	2363	2557	0290	430	0987
Flicker	477	242	273	24x 1410	7x 0940	0.846	282	2	615	17.2	1967	1975	2168	2362	2556	0283	432	0991
Pelican	477	242	255	18x 1628	1x 1628	0.814	163	2	518	11.8	1958	1970	2162	2355	2547	0263	441	1003
Lark	397	201	248	30x 1151	7x 1151	0.806	345	2	623	20.3	2368	2371	2605	2838	3072	0277	435	1006
Ibis	397	201	234	26x 1236	7x 0951	0.783	288	2	547	16.3	2363	2368	2601	2834	3067	0265	441	1014
Brant	358	201	278	24x 1287	7x 0856	0.772	257	2	512	14.7	2361	2367	2600	2833	3066	0259	444	1018
Chickadee	397	201	213	18x 1486	1x 1486	0.743	149	2	432	9.9	2350	2360	2591	2822	3054	0240	452	1030
Oriole	336	170	210	30x 1059	7x 1059	0.741	318	2	527	17.0	2797	2800	3076	3352	3628	0255	445	1030
Linnet	336	170	198	26x 1137	7x 0984	0.720	265	2	463	14.0	2793	2797	3072	3348	3623	0243	451	1039
Widgeon	336	170	193	24x 1184	7x 0789	0.710	237	2	433	12.5	2790	2795	3070	3345	3621	0238	454	1043
Merlin	336	170	180	18x 1367	1x 1367	0.684	137	2	366	8.6	2777	2785	3059	3332	3606	0221	463	1054
Flyer	300	152	187	30x 1000	7x 1000	0.700	300	2	470	15.5	3137	3139	3449	3758	4068	0241	452	1047
Ostrich	300	152	177	26x 1074	7x 0835	0.680	251	2	413	12.7	3130	3134	3443	3751	4060	0230	458	1056
Gadwall	300	152	172	24x 1118	7x 0745	0.671	224	2	386	11.2	3129	3134	3442	3751	4060	0225	461	1060
Phoebe	300	152	160	18x 1281	1x 1281	0.646	129	2	326	7.7	3114	3121	3428	3735	4042	0209	469	1071
Juncos	267	135	167	30x 0943	7x 0943	0.660	293	2	418	13.7	3527	3530	3878	4226	4574	0227	459	1065
Partridge	267	135	157	26x 1013	7x 0788	0.642	236	2	367	11.3	3518	3522	3869	4216	4563	0217	465	1073
Waxwing	267	135	143	18x 1217	1x 1217	0.609	122	2	289	6.9	3504	3510	3856	4201	4547	0197	477	1089

Table 3.3.4
CHARACTERISTICS OF SINGLE-LAYER ALUMINUM-CONDUCTOR-STEEL-REINFORCED (ACSR)

Code	Cross Section			Stranding		Diameter		wt lbs per 1000 ft	STRG (Kips)	Resistance (Ohms/Mile)			60 HZ Reactance at 1-ft Spacing				
	(kcmil)	(sq mm)	(sq mm)	Aluminum	Steel	Cond (in.)	Core (in.)			60 HZ AC			X _s				
	Al	Al	Tot			(in.)	(in.)			25 C	50 C	75 C	(Ohms/Mile)	(Ohms/Mile)	(Ohms/Mile)	Megohm -Mile	
Penguin	4/0	211.6	107.2	125.1	6x.1878	1x.1878	0.563	0.188	291	8.4	0.434	0.569	0.617	508	555	557	1112
Pigeon	3/0	167.7	85.0	99.2	6x.1672	1x.1672	0.502	0.167	231	6.6	0.545	0.690	0.757	520	572	579	1146
Quail	2/0	133.0	67.4	78.6	6x.1489	1x.1489	0.447	0.149	183	5.3	0.686	0.853	0.934	536	590	591	1180
Raven	1/0	105.7	53.5	62.5	6x.1327	1x.1327	0.398	0.133	145	4.4	0.864	1.052	1.153	550	607	621	1214
Robin	#1	83.7	42.4	49.5	6x.1181	1x.1181	0.354	0.118	115	3.6	1.089	1.305	1.433	564	629	645	1249
Sparrow	#2	66.4	33.6	42.2	7x.0974	1x.1299	0.325	0.130	107	3.6	1.357	1.635	1.799	579	661	683	1275
Swan	#3	66.4	33.6	39.3	6x.1052	1x.1052	0.316	0.105	91	2.8	1.372	1.628	1.783	578	642	673	1283
Swan	#4	41.7	21.1	26.5	7x.0772	1x.1029	0.257	0.103	67	2.4	2.154	2.523	2.797	608	710	746	1344
Swan	#4	41.7	21.1	24.7	6x.0834	1x.0834	0.250	0.083	57	1.9	2.178	2.518	2.763	604	691	723	1352
Turkey	#6	26.2	13.3	15.5	6x.0661	1x.0661	0.198	0.066	36	1.2	3.459	3.940	4.320	636	728	774	1421

Table 3.3.5
CHARACTERISTICS OF SINGLE-LAYER, HIGH-STRENGTH ALUMINUM-CONDUCTOR-STEEL-REINFORCED (ACSR)

Code	Cross Section			Stranding		Diameter		wt lbs per 1000 ft	STRG (Kips)	Resistance (Ohms/Mile)			60 HZ Reactance at 1-ft Spacing			
	(kcmil)	(sq mm)	(sq mm)	Aluminum	Steel	Cond (in.)	Core (in.)			60 HZ AC			X _s			
	Al	Al	Tot			(in.)	(in.)			25 C	50 C	75 C	(Ohms/Mile)	(Ohms/Mile)	(Ohms/Mile)	Megohm -Mile
Brahma	203.2	103.0	194.9	16x.1127	19x.0977	0.714	0.488	677	20.7	0.412	0.553	0.691	489	551	587	1041
Cochin	211.3	107.1	169.5	12x.1327	7x.1327	0.664	0.398	528	28.4	0.413	0.575	0.684	498	561	590	1063
Dorking	190.8	96.7	153.1	12x.1261	7x.1261	0.631	0.378	476	18.7	0.457	0.625	0.743	504	568	601	1078
Dotterel	176.9	89.6	141.9	12x.1214	7x.1214	0.607	0.364	441	17.3	0.493	0.667	0.791	509	574	610	1089
Guinea	159.0	80.6	127.5	12x.1151	7x.1151	0.576	0.345	397	16.0	0.547	0.731	0.885	516	584	624	1105
Laghorn	134.6	68.2	108.0	12x.1059	7x.1059	0.529	0.318	336	13.6	0.646	0.845	0.995	525	598	641	1130
Minorca	110.8	56.2	88.9	12x.0961	7x.0961	0.480	0.288	277	11.2	0.801	1.024	1.194	535	612	664	1159
Petrel	101.8	51.6	81.7	12x.0921	7x.0921	0.461	0.276	254	10.4	0.851	1.084	1.261	540	622	674	1171
Grouse	80.0	40.5	54.7	8x.1000	1x.1670	0.367	0.167	149	5.2	1.120	1.404	1.549	570	666	677	1239

A N E X O 2

TABELA DE EMISSIVIDADE E COEFICIENTE DE ABSORÇÃO SOLAR

MATERIAL	CONDICÃO DA SUPERFÍCIE	EMISSIVIDADE TOTAL (E)	COEFICIENTE DE ABSORÇÃO SOLAR (%)	
COBRE	L Polido	0.03 - 0.13	0.13 - 0.25	
	i Opaco	0.15 - 0.22	0.40	
	s Oxidado	0.50 - 0.73	0.64 - 0.73	
	o Envelhecido	0.78 - 0.91	0.64	
	C Brilhante	0.10 - 0.26	0.22 - 0.31	
	a Oxidado	0.35 - 0.54	0.56 - 0.61	
	b Envelhecido(Rural)	0.35 - 0.60	*	
	o Envelhecido(Industrial)	0.62 - 0.90	*	
	ALUMINIO	L Polido	0.04 - 0.08	0.13 - 0.33
		i Opaco	0.18 - 0.25	0.24
s Oxidado		0.10 - 0.20	0.43 - 0.65	
o Envelhecido		0.35 - 0.90	*	
C Brilhante		0.27 - 0.36	0.28 - 0.35	
a Oxidado		0.20 - 0.50	0.55 - 0.60	
b Envelhecido(Rural)		0.35 - 0.65	0.38 - 0.48	
o Envelhecido(Industrial)		0.62 - 0.95	0.78 - 0.93	
LIGA DE ALUMINIO		L Polido	0.08 - 0.22	0.25 - 0.34
		i Oxidado	0.22 - 0.52	0.45 - 0.59
	s Envelhecido	0.45 - 0.91	*	
	o			
	C Brilhante	0.28 - 0.35	0.31 - 0.39	
	a Oxidado	*	*	
	b Envelhecido	*	*	
	o			
	AÇO GALVANI- ZADO	L Polido	0.05 - 0.09	0.34 - 0.55
		i Opaco	0.21 - 0.24	0.64 - 0.74
s Oxidado		0.23 - 0.28	0.90 - 0.92	
o Enferrujado		0.61 - 0.69	0.94 - 0.96	
TODOS	C com 0.1mm de água	0.96	0.11+0.89αs	
	o com 1mm de água	0.96	0.27+0.73αs	
	b com geada	0.99	0.95+0.05αs	
	e com 1cm de gelo	0.92 - 0.97	0.95+0.05αs	
	r com 1cm de neve	0.83 - 0.98	0.90+0.10αs	
	t o			

Obs: * Dados não disponíveis
Fonte [10].

A N E X O 3

PERDAS POR CONVECÇÃO MISTA

Para ventos muito fracos, pode-se ter uma situação em que ocorrem simultaneamente a convecção natural e forçada.

Para determinar o valor da convecção mista [1/25], calcula-se um número de Reynolds efetivo, a partir do qual realizam-se os cálculos como na convecção forçada.

O número de Reynolds efetivo, Re_{ef} , é o resultado da iteração dos fluxos de convecção natural e forçada. Se se considerar que o ângulo entre eles é dado por θ , então:

$$Re_{ef} = [(Re_{eq} + Re \cdot \cos\theta)^2 + (Re \cdot \sin\theta)^2]^{\frac{1}{2}}$$

O número de Reynolds equivalente, Re_{eq} , é determinado igualando o valor do número de Nusselt das perdas por convecção natural e forçada. Assim tem-se:

$$A_1 \left(\frac{Gr \cdot Pr}{D, f} \right)^{m_1} = B_2 (Re_{eq})^{n_2}$$

portanto:

$$Re_{eq} = \left(\frac{A_1}{B_2} \right) \cdot \left(\frac{Gr \cdot Pr}{D, f} \right)^{m_1/n_2}$$

A convecção mista é aplicada quando para um determinado valor do número de Grashof, no caso de convecção natural, ou número de Reynolds, no caso de convecção forçada, as perdas por convecção mista são maiores em pelo menos 5% em relação a elas.

Pode-se portanto determinar valores limites para aplicação:

$$Gr_{lim} = \left[(B2/A1) \cdot \frac{Re^{n2}}{Pr^{m1}} \right]^{1/m1}$$

e:

$$Re_{lim} = \left(\frac{A1}{B2} \cdot Gr^{m1} \cdot Pr^{m1} \right)^{1/n2}$$

De onde pode-se chegar a :

$$Gr_{lim} = A2 \cdot Re^{n2/m1}$$

E:

$$Re_{lim} = B3 \cdot Gr^{m1/n2}$$

Os valores de A2, B3, n2/m1, m1/n2 podem ser vistos nas tabelas a seguir:

LIMITES DOS NUMEROS DE GRASHOF E REINOLDS PARA CILINDROS LISOS NO AR.

(Gr.Pr)		(Re)		m1	n2	θ (Graus)										
D, f		D, f				0°		90°		180°						
De	até	De	até	n2	m1	A2	B3	A2	B3	A2	B3					
-2	2	0.09	1	0.529	1.89	6.38	10.4	0.633	3.05	0.0628	0.900					
			10	10	1	35	0.385	2.59	37.4	12.3	1.33	3.10	0.0370	0.781		
2	4	0.09	1	0.671	1.49	12.2	5.13	1.99	1.51	0.322	0.446					
			10	10	1	35	0.490	2.04	59.4	7.38	3.55	1.86	0.212	0.468		
			35	5000	0.399	2.51	49.4	17.7	1.21	4.03	0.0296	0.916				
4	7	1	35	0.651	1.54	232	1.57	27.9	0.396	3.35	0.0998					
			10	10	35	5000	0.531	1.98	202	5.02	12.4	1.14	0.762	0.260		
			3	4	5x10	5x10	0.395	2.53	7.70	69.5	0.125	13.6	2.02x10 ⁻³	2.68		
7	12	35	5000	0.707	1.41	3330	0.271	411	0.0616	50.6	0.0140					
			10	10	3	4	5x10	5x10	0.526	1.90	288	7.92	13	1.55	0.590	0.305
			4	5	5x10	5x10	0.409	2.44	5.91	127	0.0813	21.9	1.12x10 ⁻³	3.79		

LIMITES DOS NUMEROS DE GRASHOF E REINOLDS PARA CABOS NO AR.

(Gr.Pr)		(Re)		e	m1	n2	θ (Graus)									
D, f		D, f					0°		90°		180°					
De	até	De	até	n2	m1	A2	B3	A2	B3	A2	B3					
2	4	100	2650	Todo	.399	2.50	81.9	14.5	2	3.29	0.0491	0.749				
			10	10	4	2650	5x10	4.05	.297	3.37	1.72	133	0.146	26.1	2.97x10 ⁻⁵	4.12
			4	2650	5x10	>.05	.235	4.26	.0425	531	2.53x10 ⁻⁵	92.8	2.66x10 ⁻⁷	16.2		
4	7	100	2650	Todo	.531	1.88	295	4.10	18.1	.933	1.11	0.212				
			10	10	4	2650	5x10	4.05	.394	2.53	16.1	52	0.261	10.2	4.23x10 ⁻³	2
			4	2650	5x10	>.05	.313	3.20	0.999	253	3.75x10 ⁻³	44.2	1.41x10 ⁻⁵	8		
4	12	100	2650	Todo	.707	1.414	4355	.221	547	.504	67.4	.0114				
			10	10	4	2650	5x10	4.05	.526	1.901	501	5.92	22.7	1.16	1.03	0.229
			4	2650	5x10	>.05	.416	2.40	62.1	45.4	0.938	7.92	0.0142	1.38		

A dificuldade do método consiste em determinar o valor de ϕ , para o qual Morgan [1/25] não apresenta nenhuma idéia. Assim, a convecção mista parece estar num estágio ainda de pesquisa.

Pode-se perceber a contribuição do cálculo da convecção mista através do quadro a seguir:

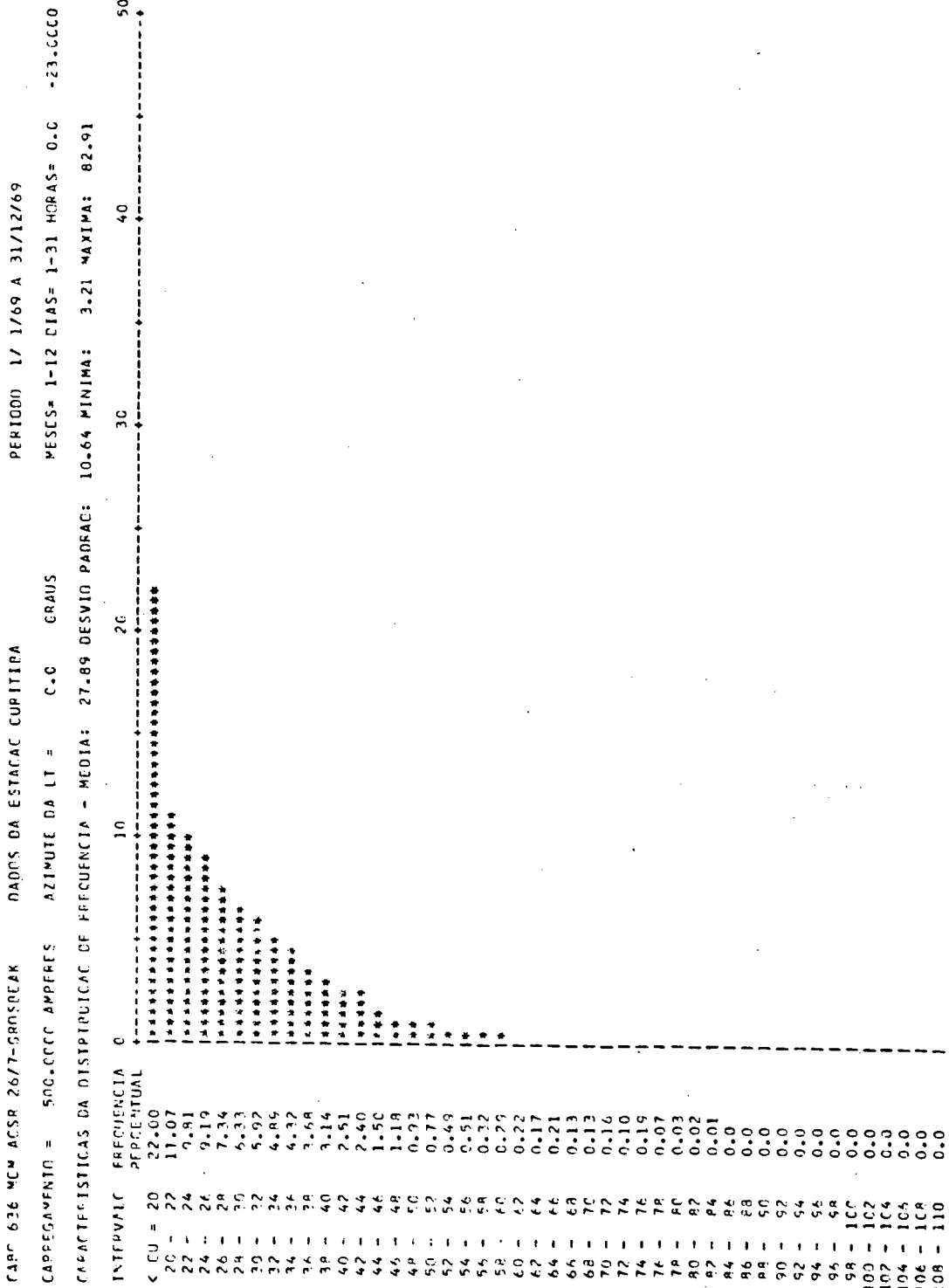
VELOCIDADE DO VENTO (M/S)	PERDAS POR CONVECÇÃO				
	FORÇADA	NATURAL	MISTA		
			0º	90º	180º
0.30	33.71	20.38	40.49	35.37	24.87
0.61	47.09	20.38	51.99	47.68	41.54
1.00	59.43	20.38	63.28	59.71	55.28

Para ter-se uma idéia da variação de ampacidade provocada, veja o caso para vento de 0.61 m/s, ϕ de 90º, temperatura máxima do cabo 65ºC. Considerando a convecção mista será de 561 A. Se não se levar em conta será de 556 A.

Como se vê a contribuição é pequena (menor que 1%) no valor final.

No caso do cálculo probabilístico a sua contribuição é muito pequena conforme as figuras a seguir:

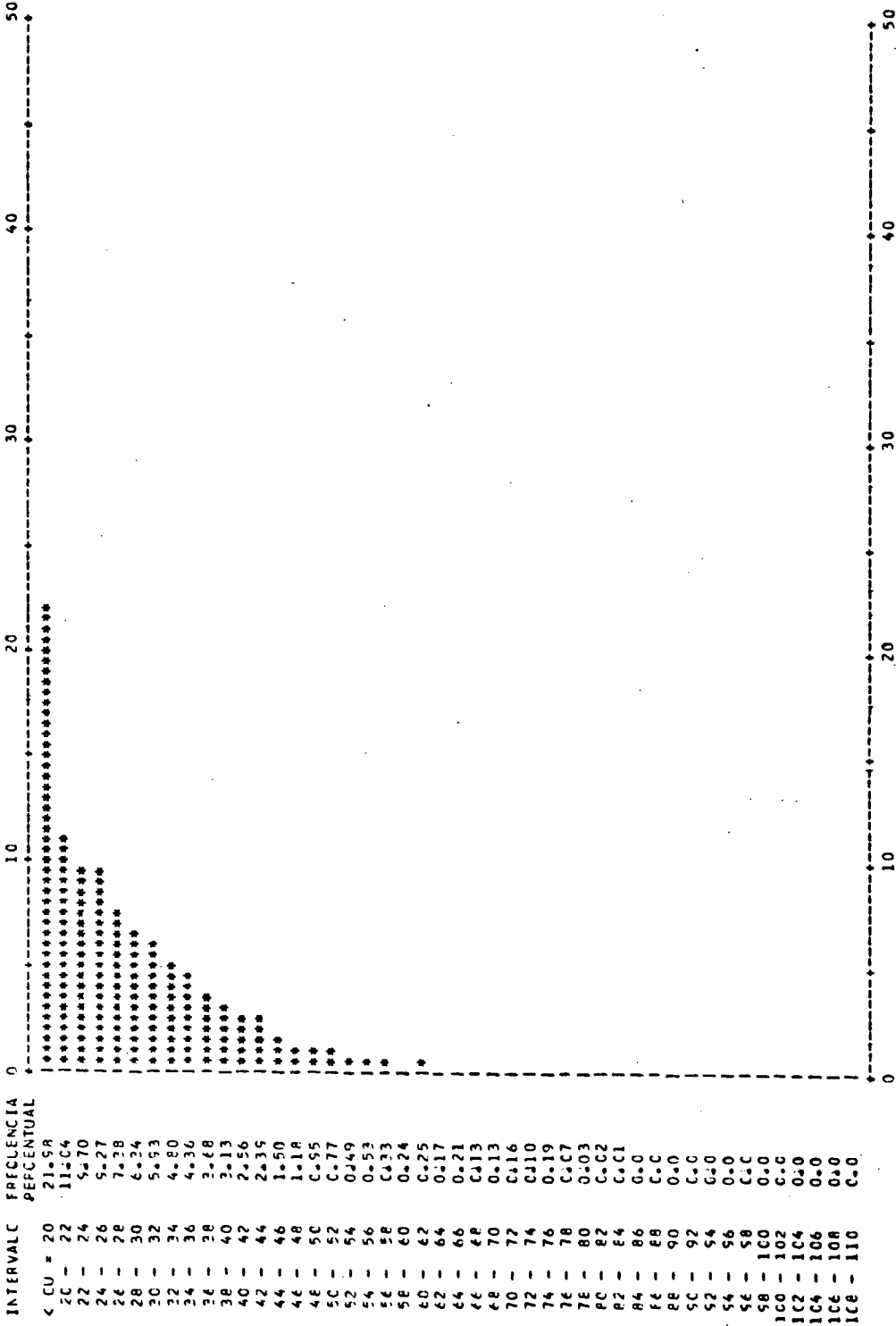
TEMPERATURA (C CARC (GR. C.))



Distribuição considerando convecção mista

TEMPERATURA CC CABO (GG- C.)

CABO 436 MCM ACSR 26/7-GROSBEAK DADOS DA ESTACAC CURITIBA PERIODO 1/ 1/69 A 31/12/69
 CARGAMENTO = 500.000 AMPERES AZIMUTE DA LT = 0.0 GRAUS MESES= 1-12 DIAS= 1-31 HORAS= 0-0 -23.0000
 CARACTERISTICAS GA DISTRIBUICAO DE FREQUENCIA - MEDIA: 27.50 DESVIO PADRAO: 10.65 MINIMA: 3.21 MAXIMA: 82.91



TOTAL DE DADOS: 8756 TESTE DE ADERENCIA QUI-QUAC.: P/ LOG: 0.34 P/ GAPA: 0.75 GR-LIB.: 2

Distribuição não considerando a convecção mista

Assim sendo, conclui-se que, apesar de ser uma boa opção no cálculo, ainda não é recomendável o seu uso de forma generalizada.

A N E X O 4


```

C *****
C          LADOS DE ENTRADA *****
C *****
/*
//GC.FY13FCOI DD DSN=CLRTI,VOL=SER=U20003,UNIT=TAPE,DISP=OLD,
//  QCP= (LRECL=93,BLKSIZE=2790,RECFM=FB)
//CC.FTC6FCOI DD SYSOUT=R
//GC.SYSIN DD *
  PICR=REGI:0 DE CURITIBA      2
  -25-52      49-18      47-75      C-0      0.0      909.20      0.2
  CAPC 036 MCP AC SR 2677-GROSSBEAK
  C.C68750 25.0      C.004010      C.50      0.70      25.15      3.97
  CURITIBA      1
  69 69 1 12 1 21      0.0      23.0      60.0      0.0
/*
//

```

```

*****
* A C C C C A L T T T T
* A A C A A L
* A A A C A A L
* A A A A A A L
* A A A C A A L
* A A C A A L
* A C C C C A L L L L
*
*****
* AMPACIDADE DE CONDUTORES ACRESC. DE LINHAS DE TRANSMISSAO - ACALT *****
* MICRO-REGIAO DE CURITIBA
*
*****

```

```

-----
DALCS DA LINHA DE TRANSMISSAO
-----
-LATITUDE DA LT = 25.5200 (GRAUS)
-LONGITUDE DA LT = 49.1800 (GRAUS)
-LARGITUDE LEGAL = 47.7500 (GRAUS)
-AZIMUTE DA LT = 0.0 (GRAUS)
-INC. HOR. DA LT = 0.0 (GRAUS)
-ALTITUDE = 909.2000 ( M )
-REFLECTANCIA = 0.2000

```

```

-----
DALCS DO CABO
-----
-CABO CONDUTOR = CABO 636 MCM ACSR 26/7-GR3SBEAK
-RESISTENCIA A 25.00 GRAUS C. = 0.088750 (CHMS/KM)
-COEF. DE VARIAC. DA RESISTENCIA = 0.004010 (1/GRAUS C.)
-COEF. DE ABSOR. SOLAR DO CBL. = 0.9000
-EMISSIVIDADE = 0.7000
-DIAMETRO TOTAL = 25.1500 ( MM )
-DIAM. DOS FIOS DA CANADA EXT. = 3.9700 ( MM )

```

```

-----
DALCS METEOROLOGICOS
-----
ESTACAO CURITIBA
PERIODO 1/ 1/69 A 31/12/69
MESES= 1-12 DIAS= 1-31 HCPAS= 0.0 -23.0100

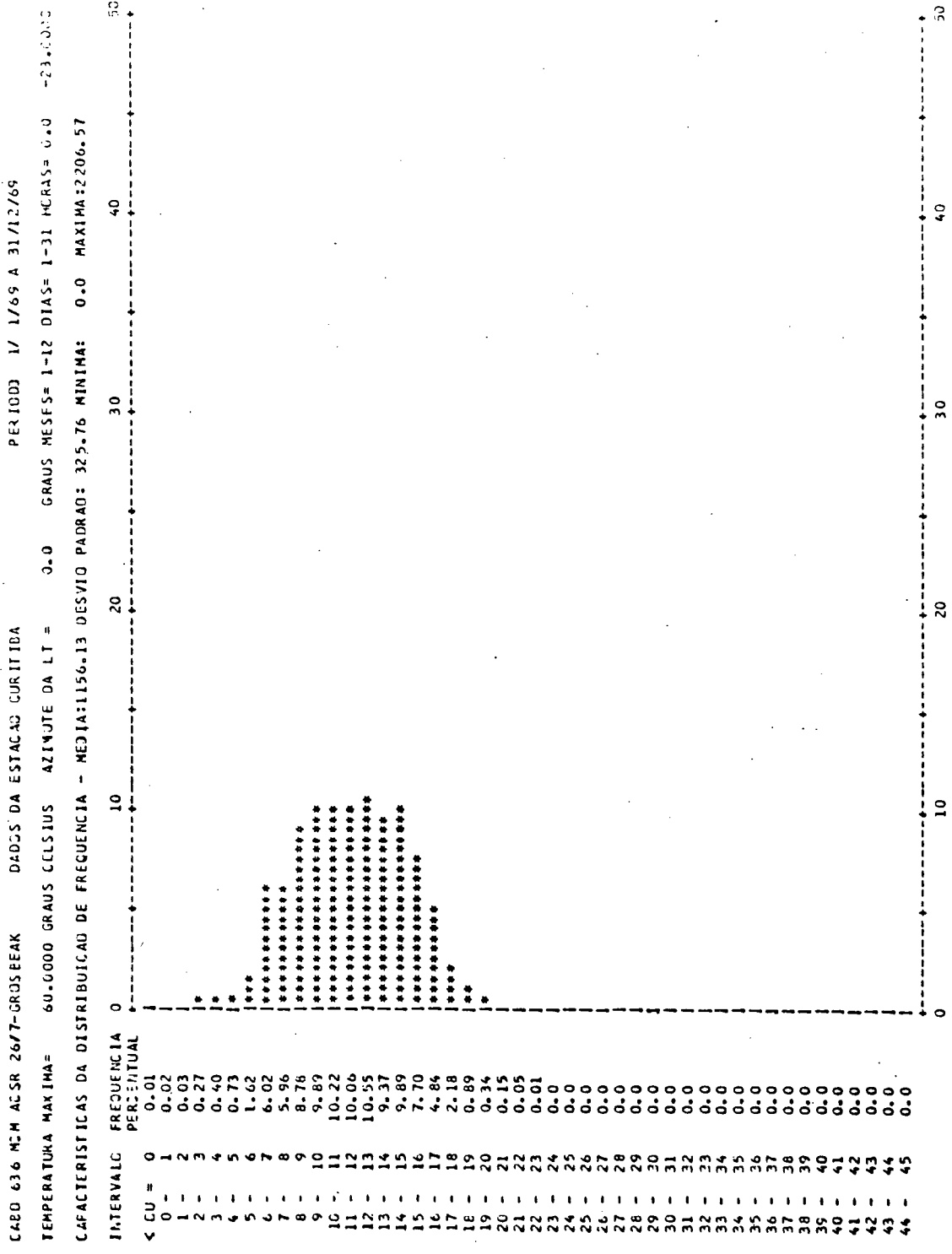
```

```

-----
DALCS DE OPERACAO
-----
TEMPERATURA MAXIMA = 60.0000 GRAUS CELSIUS

```

CORRENTE EFICAZ (*100 AMP)



VALCR CRITICO PARA O PERIGDO CONSIDERADO

13-0000 HRS 18/ 3/69 CH= 1.00 VEL= 0.0 DIR= 0.0 TA= 29.00 IC= 60.00 IDAD= 0.0

- DADOS DE TEMPO REAL E RESULTADO

HORA (HORA)	DIA	MES	ICIE. TRANS. DA ATM.	VEL. DO VENTO (M/S)	DIRECAJ DO VENTO (GRAJJS)	TEMPER. AMBIENTE (GRAUS C.)	TEMPER. DO LABO (GRAUS C.)	CURRENT EFICAZ (AMPRES)
0.00	1	1	0.200	2.000	20.000	19.80	60.00	758.12
1.00	1	1	0.200	0.2150	50.0000	20.00	60.00	502.27
2.00	1	1	0.200	0.0	0.0	19.90	60.00	627.42
3.00	1	1	0.200	4.1200	20.0000	19.40	60.00	546.44
4.00	1	1	0.200	3.5350	30.0000	19.20	60.00	1030.68
5.00	1	1	0.200	4.1200	20.0000	18.50	60.00	956.85
6.00	1	1	0.600	2.5750	10.0000	16.40	60.00	769.52
7.00	1	1	0.500	1.5450	30.0000	18.80	60.00	773.55
8.00	1	1	0.200	3.0700	310.0000	22.10	60.00	1011.63
9.00	1	1	0.200	7.7250	300.0000	24.90	60.00	1460.72
10.00	1	1	0.200	5.1500	310.0000	25.60	60.00	1137.83
11.00	1	1	0.200	7.2100	300.0000	26.60	60.00	1353.58
12.00	1	1	0.400	6.1300	320.0000	27.50	60.00	1079.29
13.00	1	1	0.400	8.2400	300.0000	28.00	60.00	1374.64
14.00	1	1	0.300	7.7250	320.0000	29.00	60.00	1179.19
15.00	1	1	0.300	6.6350	320.0000	28.60	60.00	1133.41
16.00	1	1	0.200	5.1500	300.0000	28.30	60.00	1179.26
17.00	1	1	0.300	10.3000	300.0000	27.40	60.00	1609.22
18.00	1	1	0.300	3.6050	280.0000	27.00	60.00	1176.06
19.00	1	1	0.300	4.1200	360.0000	26.00	60.00	963.02
20.00	1	1	0.300	5.1500	270.0000	22.40	60.00	1440.65
21.00	1	1	0.500	2.5750	240.0000	20.90	60.00	1037.19
22.00	1	1	0.600	0.0	0.0	21.30	60.00	615.34
23.00	1	1	0.300	1.0300	90.0000	20.50	60.00	907.22

A N E X O 5

FILE: ACAL1 ANEX045 A1 VM/SP FEL.4 PUT0701+ SLU415 (GERADO EM 01/12/87)

```

C*****
C DADOS DE ENTRADA
C*****
/*
//CC.FIT3F01 DD DSR=CLPIT1,VOL=SEF=U20003,UNIT=TAPE,DISP=OLD,
// CDC=ILRECL=93,BLKSIZE=2750,RECFM=FD)
//CC.FTCFCCI CC SYSCUI=R
//CC-SYSPR DD *
MICPC-REGIAD DE CURITIBA 2
-25.52 49.19 47.75 0.0 0.0 909.20 0.2
CAIC 636 MCM ACSR 2677-GRJ5BEAK C.0
C-C66750 25.C C.004010 C.50 0.70 25.15 3.97
CUPITIBA 1
65 69 1 12 1 31 0.0 23.0 0.0 500.0
/*
//

```

```

*****
*   A   C   C   C   C   A   L   T   T   T   T
*   A   C   A   A   L   L   T
*   A   C   A   A   L   L   T
*   A   A   A   C   A   A   A   L   L   T
*   A   A   A   C   A   A   A   L   L   T
*   A   A   C   A   A   A   L   L   T
*   A   A   C   C   C   C   A   L   L   L   L
*   A   A   C   C   C   C   A   L   L   L   L
*****
**** AMPACIDADE DE CONDUTORES AEROS DE LINHAS DE TRANSMISSAO - ACALY ****
*
*   MICRO-REGIAC DE CURITIBA
*
*****

```

```

-----
CADOS DA LINHA DE TRANSMISSAO
-----
-LATITUDE DA LT = -25.5200 (GRAUS)
-LONGITUDE DA LT = 49.1800 (GRAUS)
-LONGITUDE LEGAL = 47.7500 (GRAUS)
-AZIMUTE DA LT = 0.0 (GRAUS)
-INC. HCR. DA LT = 0.0 (GRAUS)
-ALTITUDE = 909.2000 ( M )
-REFLECTANCIA = 0.2000

```

```

-----
CADOS DO CABO
-----
-CABO CONDUTOR = CABO 636 MCM ACSR 26/7-GROSBREAK
-RESISTENCIA A 25.00 GRAUS C. = 0.088750 (CMHS/KM)
-COEF. DE VARIAC. CA = 0.004010 (1/GRAUS C.)
-COEF. DE ABSOR. SOLAR CO CCN. = 0.9000
-FRISSEVICADE = 0.7000
-DIAMETRO TCTAL = 25.1500 ( MM )
-DIAM. DES FICS [A CAMADA EXT. = 3.9700 ( MM )

```

```

-----
CADOS METEOROLOGICOS
-----
ESTACAO CURITIBA
PERIODO 1/ 1/69 A 31/12/69
MESES= 1-12 DIAS= 1-31 HCRAS= 0.0 -23.0000

```

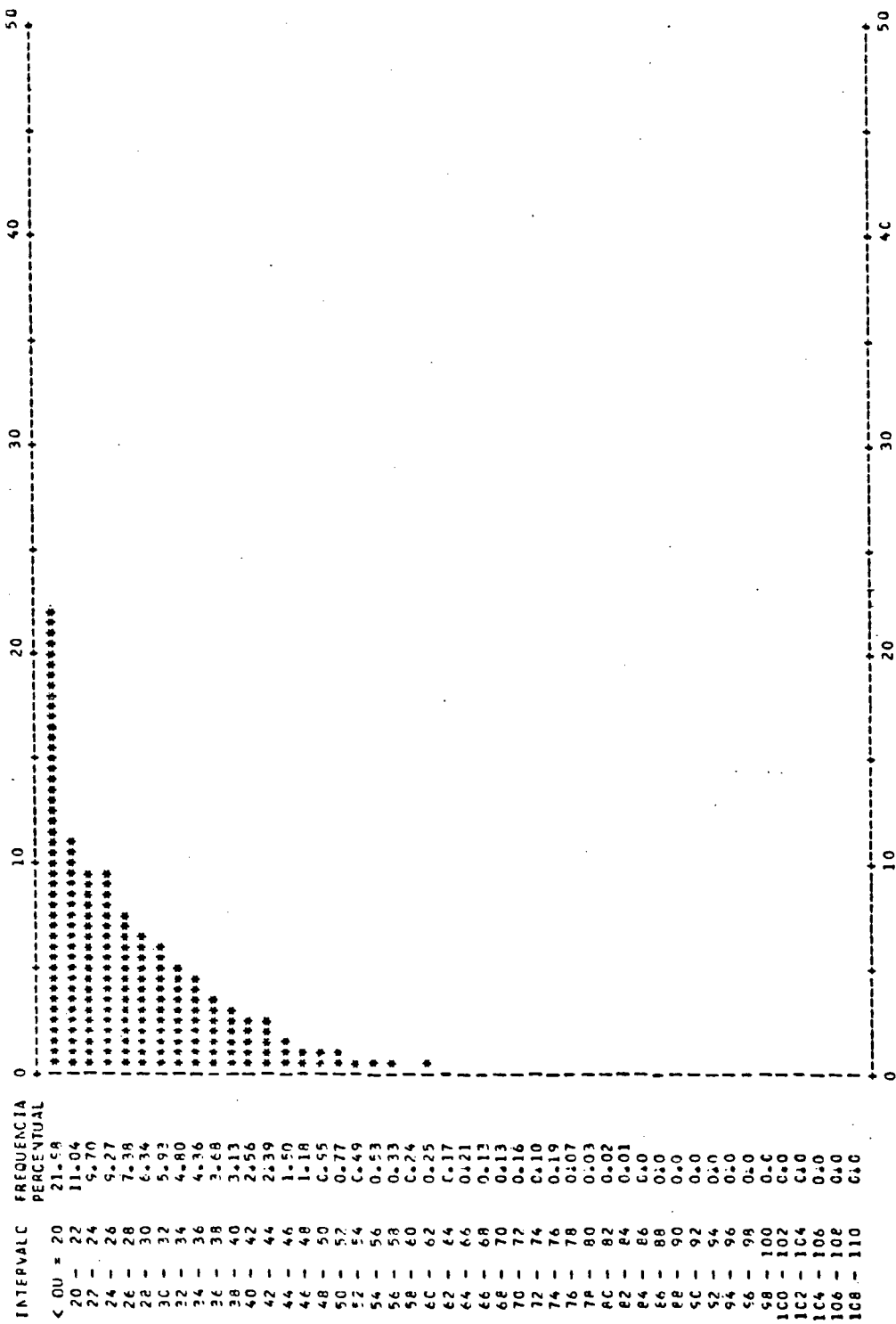
```

-----
CADOS DE OPERACAO
-----
CARRGAMENTO = 500.0000 AMPERES

```


TEMPERATURA DO CAUC (GF. C.)

CARO 636 MCM ABR 26/7-GROSBEAK DADOS DA ESTACAO CURITIBA PERIODO 1/ 1/69 A 31/12/69
 CARGAVENTC = 507.0700 AMPERES AZIMUTE DA LT = 0.0 GRAUS MESES= 1-12 DIAS= 1-31 HORAS= 0.0 -23.0000
 CARACTERISTICAS DA DISTRIBUICAO DE FREQUENCIA - MEDIA: 27.50 DESVIO PADRAO: 10.65 MINIMA: 3.21 MAXIMA: 82.91



TOTAL DE DADOS: 8756 TESTE DE ADERENCIA QUI-QUAG.: P/ LOG: 0.34 P/ GAPA: 0.75 GR.LIB.: 2

VALOR CRITICO PARA O PERIODO CONSIDERADO
 13.0000 HRS 18/ 3/65 CN= 1.00 VEL= 0.0 DIR= 0.0 TA= 29.00 TC= 82.91 IDAD= 500.00

VALORES DE RISCO TERMICO (°)

TEMPERATURA	DISTRIBUICAO (MCCIFICADA)	
	LOG-NORMAL	GAMA 2 PARAMETROS
60.00	0.522	0.544
65.00	0.538	0.252
70.00	0.317	0.114
75.00	0.189	0.051
80.00	0.113	0.022
85.00	0.069	0.010
90.00	0.042	0.004
95.00	0.026	0.002
100.00	0.016	0.001
105.00	0.010	0.000
110.00	0.007	0.000
115.00	0.004	0.000
120.00	0.003	0.000
125.00	0.002	0.000
130.00	0.001	0.000

CARREGAMENTO = 500.0000

DADOS PARA CS GRAFICOS

INTERVALO DE FRECUENCIA (K)	DADOS REAIS	DADOS LOG-NORMAL MOD. ALFA: 3.12 BETA: 0.41	DADOS GAMA 2 PAR. MOD. ALFA: 5.38 BETA: 4.59
20 - 24	5.1850	4.6361	4.0353
24 - 28	4.1679	4.2381	3.9301
28 - 32	3.0665	3.3227	3.3378
32 - 36	2.2899	2.3837	2.5685
36 - 40	1.7017	1.6220	1.8346
40 - 44	1.2363	1.0692	1.2362
44 - 48	0.6681	0.6918	0.7950
48 - 52	0.4283	0.4431	0.4920
52 - 56	0.2541	0.2825	0.2948
56 - 60	0.1428	0.1799	0.1719
60 - 64	0.1056	0.1148	0.0980
64 - 68	0.0828	0.0735	0.0547
68 - 72	0.0714	0.0472	0.0300
72 - 76	0.0742	0.0305	0.0162
76 - 80	0.0257	0.0198	0.0086
80 - 84	0.0086	0.0130	0.0045
84 - 88	0.0	0.0	0.0
88 - 92	0.0	0.0	0.0
92 - 96	0.0	0.0	0.0
96 - 100	0.0	0.0	0.0
100 - 104	0.0	0.0	0.0
104 - 108	0.0	0.0	0.0
108 - 112	0.0	0.0	0.0
112 - 116	0.0	0.0	0.0
116 - 120	0.0	0.0	0.0
120 - 124	0.0	0.0	0.0
124 - 128	0.0	0.0	0.0
128 - 132	0.0	0.0	0.0
132 - 136	0.0	0.0	0.0
136 - 140	0.0	0.0	0.0
140 - 144	0.0	0.0	0.0
144 - 148	0.0	0.0	0.0
148 - 152	0.0	0.0	0.0
152 - 156	0.0	0.0	0.0
156 - 160	0.0	0.0	0.0
160 - 164	0.0	0.0	0.0
164 - 168	0.0	0.0	0.0
168 - 172	0.0	0.0	0.0
172 - 176	0.0	0.0	0.0
176 - 180	0.0	0.0	0.0
180 - 184	0.0	0.0	0.0
184 - 188	0.0	0.0	0.0
188 - 192	0.0	0.0	0.0
192 - 196	0.0	0.0	0.0
196 - 200	0.0	0.0	0.0
200 - 204	0.0	0.0	0.0
204 - 208	0.0	0.0	0.0
208 - 212	0.0	0.0	0.0
212 - 216	0.0	0.0	0.0
216 - 220	0.0	0.0	0.0

B I B L I O G R A F I A

1. Foss, S.D. et alii. Dynamic thermal line ratings, Part I: Dynamic ampacity ratings algorithm. IEEE, T-PAS, Vol. 102, No 6, Jun 1983, p.1858-64.
2. House, H.E. & Tuttle, P.D. Current-carrying capacity of ACSR. AIEE, TRANS., Vol. 77 Pt III, Feb 1959, p.1169-77.
3. ALCOA Conductor Engineering Handbook - Section 6. Current-temperature characteristics of aluminum conductors. ALCOA Conductors Company, Division of Aluminum Company of America, 1960.
4. Davis, M.W. Nomographic computation of the ampacity rating of aerial conductors. IEEE, T-PAS, Vol. 89, Mar 1970, p.387-99.
5. Davis, M.W. A New-thermal rating approach: The Real Time Thermal Rating System for strategic overhead conductor transmission lines. Part I: General description and justification of the Real Time Thermal Rating. IEEE, T-PAS 96, May/June 1977, p.803-09.
6. Davis, M.W. A New-Thermal rating approach: The Real Time Thermal Rating System for strategic overhead conductor transmission lines. Part II: Steady state thermal rating program. IEEE, T-PAS 96, May/June 1977, p.810-25.

7. Davis, M.W. A New-Thermal rating approach: The Real Time Thermal Rating System for strategic overhead conductor transmission lines. Part IV: Daily comparisons of real-time and conventional thermal ratings and establishment of typical annual weather models. IEEE, T-PAS 99, Nov/Dec 1980, p.2184-92.
8. Davis, M.W. A New-Thermal rating approach: The Real Time Thermal Rating System for strategic overhead conductor transmission lines. Part V: Monthly and annual accumulative frequency distributions of hourly real-time thermal ratings and their comparison with conventional rating - Risk Curves. IEEE, T-PAS 99, Nov/Dec 1980, p.2193-209.
9. Davis, M.W. A New-Thermal rating approach: The Real Time Thermal Rating System for strategic overhead conductor transmission lines. Part III: Steady state rating program continued-solar radiation consideration. IEEE, T-PAS 97, Mar/Apr 1978, p.445-55.
10. Morgan, V.T. The current-carrying capacities of overhead-line conductors. IEEE, Summer Power Meeting, 1978, A.78575-3.
11. Morgan, V.T. The thermal rating of overhead-line conductor. Part I: The steady-state thermal model. Electric Power Systems Research, 5(1982), p.119-39.

12. Wong, T.Y. et alii. An on-line method for transmission ampacity evaluation. IEEE, T-PAS, Vol. 101, Feb 1982, p.309-315.
13. Black, W.Z. & Byrd, W.R. Real-time ampacity model for overhead lines. IEEE, T-PAS, Vol. 102, July 1983, p.2289-93.
14. Bush, R.A. et alii. Experimental verification of a real-time program for the determination of temperature and sag of overhead lines. IEEE, T-PAS, Vol. 102, July 1983, p.2284-88.
15. Black, W.Z & Rehberg, R.L. Simplified model for steady-state and real-time ampacity of overhead conductors. IEEE, T-PAS, Vol. 104, Oct 1985, p.2942-53.
16. Reed, B.J. et alii. An efficient line ratings program with probabilistic considerations for real-time operations. IEEE, T-PAS, Vol. 104, Oct 1985, p.2935-41.
17. Crainic, E.D. et alii. A fast and exact method for real-time overhead conductor ampacity evaluation. Can. Elect. Eng. J., Vol.12, No 3, 1987, p.123-30.
18. Hall, J.F. & Deb, A.K. Prediction of overhead transmission line ampacity by stochastic and deterministic models. IEEE, T-PAS, VOL. 3, No 2, Apr 1988, p.789-800.

19. Grupo coordenador para operação interligada - GCOI, Sub-comitê de estudos elétricos - SCEL, Grupo de trabalho de estudos especiais do sistema - GTEE. Crítérios para carregamento de linhas de transmissão. Relatório SCEL - GTEE - 07/86, Dez 86.
20. Departamento de Planejamento do Sistema. Elevação da temperatura em condutor CAA - Análise teórica e experimental. EPL-026/85, ELETROSUL, 1985.
21. Central Station Engineers - Westinghouse Electric Corporation. Electrical transmission and distribution - Reference book. East Pittsburgh, Pennsylvania, 1954.
22. Sharma, M.R. & Pal, R.S. Total, direct and diffuse solar radiation in the tropics. Solar Energy, Vol. 9, Nº 4, 1965.
23. Menezes, A.A. et alii. Efeito da radiação solar sobre a temperatura superficial de condutores aéreos. CEPEL, Rel. Técnico 210/84, 1984.
24. Di Lascio, M.A. Influência de fatores meteorológicos no projeto e operação de sistemas de transmissão. Dissertação de Mestrado, UFSC, Florianópolis - Brasil, 1978.
25. Endrenyi, J. & McMurtrie, M.J. Determination of conductor ampacity by digital simulation of load, weather and ageing history. CIGRÉ, paper 23-04, session 10-20 Jun, Paris, 1968.

26. Ewelt, K.P. et alii. A thermal model for determination of temporary overhead line ampacity dependent on weather conditions. CIGRÉ, paper 22-04, session 24 Aug- 2 Sep, Paris, 1970.
27. Koval, D.O. & Billinton, R. Determination of transmission line ampacities by probability and numerical methods. IEEE, T-PAS, Vol. 89, Nº 7, Sep/Oct 1970, p.1485-92.
28. Menezes, A.A. et alii. Statistical applications of environmental data to overhead lines ampacity in Brazil. CIGRÉ, Paper 210-03, Symposium 06-85, Bruxelles, 1985.
29. Menezes, A.A. et alii. Ampacidade estatística - Relatório final da 1ª etapa. CEPEL, Rel. técnico 345/87, 1987.
30. Miller, A.A. Climatologia. Ed. Omega S.A., Barcelona, 1951.
31. Tubelis, A. et alii. Meteorologia descritiva. Ed. Nobel, São Paulo, 1986.
32. Menezes, A.A. & Silva Filho, J.I. Modelagem estatística e divulgação de dados meteorológicos. CEPEL, Rel. técnico 05/82, 1982.

33. Sodré Viveiros de Castro, L. Pontos de estatística. Ed. Científica, Rio de Janeiro, 1970.
34. Miller, I. & Freund, J.E. Probability and statistics for engineers. Prentice-Hall INC., Englewood Clites, New Jersey, 1965.
35. Spiegel, M.R. Estatística. Coleção Schaum, Ed. McGrawHill do Brasil Ltda, 1961.
36. Menezes, A.A. & Silva Filho, J.I. Inter-relação temporal entre a velocidade do vento e a temperatura superficial de um condutor. CEPEL, Rel. técnico 083/82, 1982.
37. Morgan, V.T. The loss tensile strength of hard drawn conductors by annealing in service. IEEE, T-PAS, Vol. 98, May/June 1979, p.700-09.
38. Harvey, J.R. Effect of elevated temperature operation on the strength of aluminum conductors. IEEE, T-PAS, Vol. 91, Sep/Oct 1972, p.1769-72.
39. Consentino, A. Aplicação de metodologia estatística na determinação da ampacidade de linhas de transmissão aéreas - Estado de arte no Brasil. CIER - SISE, palestra ELETROSUL, 1988.

40. Foss, D.D. et alii. Dynamic thermal line ratings, Part II: conductor temperature sensor and laboratory field test evaluation. IEEE, T-PAS, Vol. 102, No 6, Jun 1983, p.1865-76.
41. Fernandes, R. Increasing power-line transfer capacity. Donut device transmits line data to ground stations. Transmission & Distribution, Jan 1986, p.40-44.
42. Rodriguez, A. Conductor-temperature monitoring increases transmission line ratings. Transmission & distribution, Mar 1989, p.144-48.
43. Menezes, A.A. Ampacidade de condutores aéreos. Medição e inferência estatística. Seminário sobre pesquisas aplicáveis a sistemas de transmissão, Rio de Janeiro, 1983.
44. Morgan, V.T. Rating of conductors for short-duration currents. IEE, Proc., Vol 118, No3/4, Mar/Apr 1971.
45. Davidson, G.A. et alii. Short-time thermal ratings for bare overhead conductors. IEEE, T-PAS, Vol 88, N 93, Mar 1969, p.194-99.
46. Morgan, V.T. Rating of bare overhead conductors for intermittent and cyclic currents. IEE, Proc., Vol. 116, No 8, Ago 1969.

47. Menezes, A.A. Real-time monitoring system for surface temperatures of overhead conductors. CIGRÉ, Paper 200-01, 1987.
48. Menezes, A.A. et alii. Monitoração da temperatura superficial de condutores aéreos. Mundo Elétrico, Dez 1987, p.51-54.
49. Menezes, A.A. et alii. Monitoração da temperatura superficial de condutores aéreos (conclusão). Mundo Elétrico, Jan/Fev 1988, p.38-41.
50. Hand, I.F. Charts to obtain solar altitudes and azimuths. Heating and Ventilating, Oct 1948.