

JICA LIBRARY



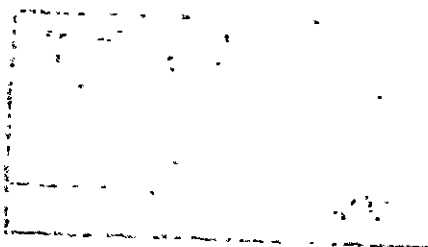
1025024[9]

1025024[9]
1025024[9]
1025024[9]
1025024[9]
1025024[9]

RECOMENDAÇÕES PARA REMODERNIZAÇÃO
DA REDE AÉREA DE TRACÇÃO

POR
AKIRA KARIYA
ENGENHEIRO DA JICA

APRIL 1978



JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY
(JICA)

国際協力事業団	
受入 月日	84. 3. 23
	003
	61.6
登録No.	01788
	EXS

PREFÁCIO

Tive a oportunidade de participar da cooperação técnica para remodelação e modernização do sistema ferroviário do subúrbio do Grande Rio, na RFFSA, no período de agosto de 1977 e abril de 1978.

Esta publicação reúne os relatórios por mim propostos naquele prazo.

Considero haver, ainda, muitos problemas importantes a serem estudados tecnicamente para proposição de medidas adequadas para a sua solução, mas, devido a exiguidade do tempo, não nos foi possível fazer isso, ainda.

Porém, sentir-me-ei muito feliz se estas propostas forem, de alguma forma, úteis para a modernização das instalações de eletrificação do referido sistema.

O relatório, na sua parte final, sobre a eletrificação em corrente alternada e sua problemática, será útil para decidir o sistema de alimentação de energia elétrica na linha Centro e entre o Rio de Janeiro e São Paulo, no futuro.

Rio de Janeiro, abril de 1978

Eng^o AKIRA KARIYA
Japanese National Railways

RECOMENDAÇÕES PARA REMODERNIZAÇÃO
DA REDE AÉREA DE TRAÇÃO

Í N D I C E

- Recomendação básica para a remodelação e modernização do sistema ferroviário do subúrbio do Grande Rio	1
- Princípios básicos em projeto de sistema de rede aérea de tração	3
- Proposta para o método de alimentação do sistema ferroviário de subúrbios do Grande Rio	13
- Proposta para o tipo de catenária do sistema ferroviário de subúrbios do Grande Rio	16
- Proposta para a estrutura normal da rede aérea de tração .	22
- Proposta para o dispositivo de tensionamento automático da rede aérea de tração	26
- Proposta para os fatores de segurança das instalações da rede aérea de tração	31
- Proposta para o limite de desgaste admissível do fio de contato, 107 mm ² (AWG)	33
- Proposta para a cota da passagem superior em relação à via	35
- Cálculo da elevação da temperatura do cabo nu	38
- Cálculo da corrente permissível do cabo	50
- Cálculo da flecha e tensão do cabo	56
- Cabo térreo e seu efeito	58
- Proposta para capacidade da barra geral da subestação e da chave	60
- Proposta para a instalação do sistema da rede aérea de tração entre Duque de Caxias e Gramacho	63
- Normas para instalação do sistema da rede aérea de tração modernizada em 3000 VCC	69
Capítulo 1. Generalidades	73
Capítulo 2. Montagem normal	77

Capítulo 3. Suportes	77
Capítulo 4. Isolador	85
Capítulo 5. Linha aérea de contato	85
Capítulo 6. Sistema da alimentação e comutador	96
Capítulo 7. Rede aérea de alimentação	97
Capítulo 8. Instalação de proteção	99
Capítulo 9. Circuito de retorno	102
Capítulo 10. Placa de sinalização	102
Anexo	104
- Eletrificação ferroviária em corrente alternada e seus problemas	131

Recomendação básica para a remodelação e modernização do sistema ferroviário do subúrbio do Grande Rio

1. Executar sistemática e gradualmente a remodelação e modernização, conforme o plano global que estabelece suas instalações e especificações.

Se assim não for feito, o prazo da obra terá de sofrer modificações, o que levará a resultados indesejáveis com o emprego ineficiente do investimento.

2. O ponto mais importante para o sucesso da modernização está no sistema de controle e comando do trem e no sistema de alimentação de energia elétrica.

Centralizar a função de controle e comando dos dois sistemas em um Centro de Controle.

Para o Centro de Controle, assegurar suficiente aérea, para a sua localização, considerando a eletrificação e modernização da linha Centro e do trecho entre Rio de Janeiro e São Paulo, no futuro.

O sistema do plano atual poderá controlar também, através do painel de controle ótico (PCO) no posto de comando local de tração (PCLT), porém, este método é indesejável pelas razões seguintes:

- será difícil assegurar o tráfego consistente de trem e executar eficientemente os reparos dos danos causados pelas ocorrências, complicando o comando e o controle;

- será inconveniente controlar o sistema de alimentação de energia elétrica, pela Agência da estação.

3. É desejável que a eletrificação seja executada considerando-se o seguinte:

- a subestação será inabitada, sendo operada por meio do controle à distância;

- modernizar o sistema da rede aérea de tração, substituindo-se a catenária por um novo tipo que permita o aumento da frequência da circulação e da carga e velocidade do trem;

- modernizar o controle de manutenção, através do trem de ensaio elétrico para o sistema da rede aérea de tração, e do carro de inspeção e medição para as instalações da subestação;

- mecanizar a obra e a operação de conservação do sistema da rede aérea de tração, através do trem de operação elétrica.

Engº AKIRA KARIYA

Japanese National Railways

PRINCÍPIOS BÁSICOS EM PROJETO DE SISTEMA DE REDE AÉREA DE TRACÇÃO

1. Introdução

É impossível assegurar-se a posição de uma ferrovia nos sistemas de transporte, sem a elevação de sua produtividade por pessoa, através da inovação técnica com a intensiva introdução de novas tecnologias, passando-se de uma atividade do tipo passado de "concentração de mão de obra" para a de "concentração de equipamento". Isto é, renovação mediante a modernização do meio de transporte.

Assim como os progressos na eletrotécnica são de uma rapidez admirável, a tecnologia referente ao sistema de rede aérea de tração também apresentou grande progresso.

A concepção básica da inovação técnica para essas instalações é a seguinte:

- a confiabilidade do sistema deve ser alta;
- deve-se intensificar o "maintenance free" das instalações;
- a manutenção e reparação devem ser fáceis, sem requerer especialmente alto grau de habilidade;
- a aplicação do método científico de administração da manutenção deve ser facilitada;

2. Introdução do Conceito de Confiabilidade

Ao se planejarem as instalações, é necessário introduzir-se suficientemente o conceito de confiabilidade, tal como: o estabelecimento da vida útil efetiva, a harmonização da

confiabilidade entre as várias peças componentes, o controle científico da vida do equipamento e o método de reposição ao mesmo tempo.

2.1 Confiabilidade do Sistema

A confiabilidade é definida como a probabilidade com que os equipamentos ou os sistemas executam suas funções durante um determinado período de tempo, sob as condições dadas.

Se "N" equipamentos entram em operação simultaneamente, sob as mesmas condições, e após decorridas "t" horas de funcionamento "n" peças apresentam defeitos, a função de ocorrência de defeitos é chamada de "Função de Probabilidade de Defeito" e é dada pela seguinte equação:

$$F(t) = \frac{n}{N}$$

Por outro lado, se a probabilidade de apresentação de peças que permanecem sem defeito após "t" horas é $R(t)$, esta função representa a confiabilidade, sendo expressa pela seguinte relação:

$$R(t) = \frac{N - n}{N} = 1 - F(t)$$

a) Confiabilidade de Sistema em Série

Se um sistema é composto de "n" partes, e se quando qualquer destas partes apresentar defeito o sistema todo deixa de funcionar, diz-se que este é um Sistema em Série. A Figura 1 mostra este caso.

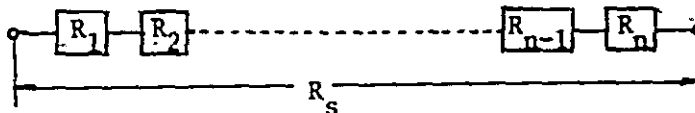


Fig. 1

Na Figura 1, considerando-se as confiabilidades das várias partes como sendo R_1, R_2, \dots, R_n , a confiabilidade do sistema completo R_s será expressa da seguinte maneira:

$$R_s = R_1 \cdot R_2 \cdot \dots \cdot R_n$$

Num sistema em série, quanto maior o número de partes componentes maior será R_s e, além disso, se houver uma parte qualquer cuja confiabilidade seja especialmente baixa, a confiabilidade R_s do sistema em série como um todo baixa rá sensivelmente.

b) Confiabilidade de Sistema em Paralelo

Se um sistema é composto de várias partes e somente quando todas as partes componentes apresentam defeito é que o sistema deixa de funcionar, diz-se que este é um Sistema em Paralelo. Este caso é mostrado na Figura 2.

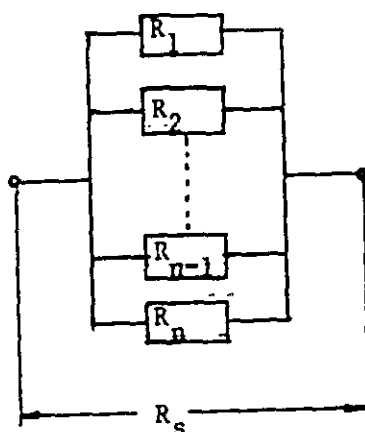


Fig. 2

Considerando como R_1, R_2, \dots, R_n as confiabilidades das "n" partes componentes do sistema em paralelo mostrado na Figura 2, a confiabilidade do sistema será expressa da seguinte maneira:

$$R_s = 1 - (1 - R_1)(1 - R_2) \cdot \dots \cdot (1 - R_n)$$

Quanto maior o número de partes componentes do sistema em paralelo, sua redundância se torna maior, elevando a confiabilidade do sistema como um todo.

O sistema chamado "duplicado" é o caso em que $n = 2$ e $R_1 = R_2$, sendo a sua confiabilidade expressa pela seguinte relação:

$$R_s = 1 - (1 - R_1)^2 = 2R_1 - R_1^2$$

Considerando $R_1 = 0,9$ tem-se $R_s = 0,99$, resultando daí que a confiabilidade aumenta uma casa decimal em caso de duplicação.

2.2 MTBF e MDT

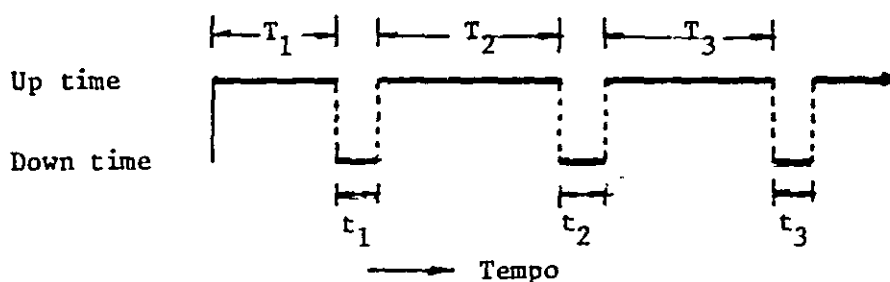
Conforme se mostra na Figura 3, o componente de um sistema é tal que durante T_1 horas após a sua entrada em operação apresenta funcionamento normal; depois disso apresenta defeito, sendo necessárias t_1 horas de parada de funcionamento para reparo.

Entrando novamente em funcionamento normal, após T_2 horas volta a apresentar defeito, sendo necessárias t_2 horas para reparo, e assim por diante.

Neste caso, o MTBF (Mean Time Between Faults - Tempo Médio Entre Falhas) e o MDT (Mean Down Time - Tempo Médio Parado) são definidos pelas seguintes relações:

$$MTBF = \frac{\sum_{i=1}^n T_i}{n}$$

$$MDT = \frac{\sum_{i=1}^n t_i}{n}$$



De todo o período de tempo decorrido após entrada em operação, a proporção que ocupa o período de tempo em que a instalação está em condições de operar, é definida como Índice de operação, sendo expressa pela seguinte relação:

$$\text{Índice de Operação} = \frac{\text{MTBF}}{\text{MTBF} + \text{MDT}}$$

Uma manutenção eficiente e de alta eficácia, nada mais é que aumentar o Índice de Operação com número pequeno de mão de obra. Para se elevar o Índice de Operação é necessário aumentar o MTBF, usando equipamento de longa vida útil, minimizando o MDT.

Decompondo o MDT, verifica-se que o mesmo é composto das seguintes parcelas:

t_A = tempo requerido para se descobrir o defeito.

t_B = tempo requerido para a chegada do pessoal de reparação ao local

t_C = tempo requerido para o reparo.

Tem-se assim,

$$\text{MDT} = t_A + t_B + t_C$$

O tempo t_A pode ser minimizado através da adoção de instrumentos que permitam detectar e indicar o defeito automaticamente.

O tempo t_B pode ser minimizado através da distribuição adequada de pessoal de manutenção e do complemento de caminhão e trem especialmente equipados.

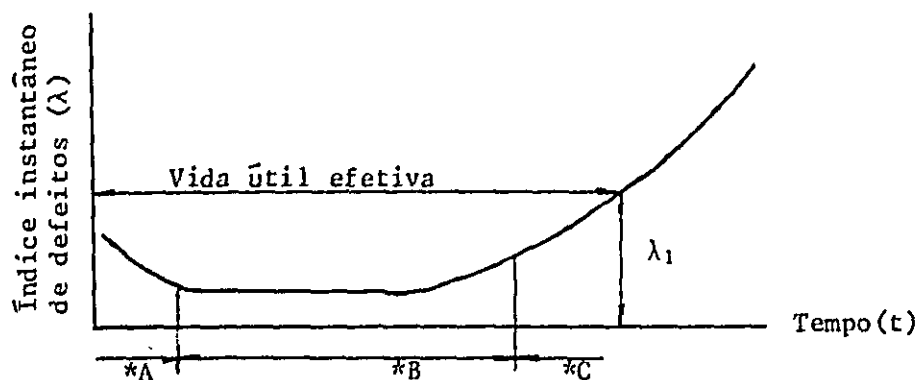
O tempo t_C pode ser minimizado através do projeto de instalação de fácil reparo, e da manutenção de um completo estoque de peças de reposição.

2.3 Índice de Defeito e Vida Útil Efetiva

Supondo-se que um certo número de peças idênticas entrem em operação sob as mesmas condições de uso, e que após a decorrência de t horas o número de peças remanescente é N , e que o número de peças que apresentam defeito no período unitário de tempo t_0 (subsequente a t) é n , a relação seguinte define o Índice Instantâneo de Defeito:

$$\lambda(t) = \frac{n}{N} \cdot \frac{1}{t_0}$$

A relação entre λ e t apresenta o formato de "banheira" mostrado na Figura 4.



*A: Fase de defeitos iniciais

*B: Fase de defeitos eventuais (Fase estável)

*C: Fase de defeitos por desgaste (Fase de envelhecimento)

Fig.4

Com decorrer do tempo, na fase de defeitos iniciais o valor de λ diminui, na fase estável mantém-se aproximadamente constante e na fase de envelhecimento o valor de λ aumenta, conforme-se mostra na Figura 4.

Na fase de defeitos iniciais, através da efetivação de revisões gerais (Debugging), consegue-se levar a instalação à fase estável mais rapidamente.

Para instalações já em fase estável é prejudicial a efetivação de desmontagem para inspeção.

O procedimento ideal de manutenção é conhecer bem a época em que instalação passa da fase estável para a fase de envelhecimento, para nesta época tomar medidas de reparo e manutenção, tais como reposição, etc.

3. Concepção de "Maintenance Free" (Livre de Manutenção)

As medidas eficazes para se conseguir "Maintenance Free" dos equipamentos ou instalações podem ser considerados de vários pontos de vista:

3.1 Adoção Exaustiva de Simplificação

"Quanto mais simples menos defeitos" é o princípio básico. Tomando em consideração uma instalação destinada a desempenhar uma determinada função, quanto mais simples ela for e quanto menos peças componentes tiver, maior será a eficácia para se conseguir "Maintenance Free".

3.2 Construção de Equipamento de Alta Confiabilidade

É desnecessário dizer que o equipamento de alta confiabilidade, por ser difícil de apresentar falhas, requerer menos pessoal de manutenção.

Para se construir o equipamento de alta confiabilidade é necessário pesquisar quais os pontos fracos apresentados pelos equipamentos, baseando-se em análise de casos de defeitos ocorridos, tomando-se as medidas necessárias para eliminação destes pontos fracos.

3.3 Instalação Deve Ser Tal Que Não Requeira Ajuste

Classificando de grosso modo os trabalhos de manutenção, eles se compõem de ajuste e reposição. Como é impossível eliminar completamente o trabalho de reposição, a sua racionalização deve ser feita através da construção de instalação que permita reposição mais simplificada e também através da mecanização do trabalho de reposição.

Quanto ao ajuste, é possível eliminá-lo se, na fase de projeto inicial, for concebido um equipamento sem necessidade de ajuste. Analizando-se quais os trabalhos de manutenção da rede aérea de tração que requerem mais mão de obra, chega-se à conclusão de que são trabalhos de ajuste de flecha e de deslocamento que ocupam importância relevante. Estes ajustes, em sua maior parte, podem ser eliminados através da adoção de medidas adequadas na fase de projeto e construção. Como exemplo, o ajuste da catenária se torna necessário basicamente, devido ao alongamento dos cabos pelo "creep" (extensão gradual) e pela contração-expansão devido a variação na temperatura. O primeiro caso pode ser resolvido tomando-se o método de obra de pre-tensionamento, e o segundo caso pode ser corrigido instalando-se o dispositivo de tensionamento automático.

3.4 Construção de Instalação de Longa Vida Útil Efetiva

Como foi dito anteriormente, o equipamento de vida útil mais longa apresenta o Índice de Defeito mais abaixo e, evidentemente, a adoção do mesmo implica em redução de mão de obra para manutenção. De modo geral, o equipamento

com vida útil mais longa apresenta o preço maior. Há então ne-
cessidade de estabelecer uma vida útil que resulte em efeitos
econômicos mais favoráveis, comparando com o custo requerido
para uma reposição. Entretanto, tendo em vista a tendência pa-
ra o aumento do custo de mão de obra, é mais vantajoso usar
equipamento de vida útil mais longa, mesmo que seu custo inici-
al seja mais elevado.

3.5 Detecção e Indicação Automática de Deterioração e Defeitos em Equipamentos

Caso seja possível descobrir e indicar automati-
camente quando o equipamento chega ao seu estado limite de dete-
rioração controlável (manageable), pode-se dispensar sua inspe-
ção até que tal indicação apareça. Por outro lado, se simultâ-
neamente à ocorrência de defeito houver a indicação do local de
sta ocorrência, pode-se eliminar o tempo requerido para sua bus-
ca e isto influi no encurtamento do "tempo parado" da instala-
ção, aumentando seu Índice de Operação.

Como exemplo desta concepção, pode-se citar o "Lo-
cator" usado em linhas eletrificadas em corrente alternada, mas
estão em desenvolvimento atualmente o detector de defeito em iso-
ladores e de detector de ruptura da fio de contato.

3.6 Assegurar Redundância

Assegurando-se redundância à instalação, pode-se
obter alta confiabilidade para o sistema, e mesmo que se elimine
previamente a inspeção, pode-se manter alta segurança na parte
de circuitos múltiplos. Entretanto, assegurar redundância nor-
malmente significa alto custo e seu campo de aplicação deve ser
limitado às partes da instalação que tenham influência importan-
te na operação. No Shinkansen da JNR tem-se aplicado esse méto-
do em larga escala, obtendo-se ótimos resultados.

3.7 Concentração de Instalação

Com as instalações efetuadas em concentração evi-
tam-se perdas de tempo para movimentação do pessoal da manuten-
ção e do controle. No caso de rede aérea de tração, devido a

suas características, torna-se difícil obter-se a concentração de instalações, mas na ocasião de projeto para a disposição de chave de desligamento deve-se procurar a concentração de instalações para obter tal efeito.

3.8 Controle Remoto

Na operação de equipamento, havendo necessidade de movimentação de pessoal, surge a perda de tempo. Na rede aérea de tração, o equipamento que exige operação é principalmente a chave de desligamento e quando há alta frequência de uso é vantajoso adotar controle remoto.

4. Instalação de Manutenção Científica

A manutenção científica deve ser efetuada de acordo com as próprias instalações ao invés de um método uniforme de inspeção, segundo o conceito de confiabilidade. Por isso, deverá ser elaborado um manual que determine os métodos de rotina de manutenção, a sequência de reparos de emergência em casos de defeito, etc. Como exemplo, cita-se o seguinte:

- elimina-se a inspeção de instalações de suporte que são semi-permanente;

- simplifica-se a inspeção em cabos condutores e estai, cuja vida útil efetiva é fácil de estabelecer. Efetua-se o controle de vida útil e uma vez ela atingida, efetua-se substituição total.

- quanto ao fio de contato, através de medição por aparelhos, julga-se a vida útil remanescente e através disso faz-se a substituição total, incluindo o fio de contato e as ferragens.

- para se efetuar este tipo de controle de manutenção científica há necessidade de determinar a vida útil da instalação como um sistema e também de saber quando a instalação entrou em fase de envelhecimento, através do controle estatístico de defeito.

- para a quantificação destes dados baseados em confiabilidade, há necessidade de tomá-los em consideração desde a ocasião do projeto.

Quanto às instalações novas, foi dito que é necessário projetá-las de maneira que permita fácil reparo em casos eventuais de defeitos. Esta concepção é útil não só para o encurtamento do tempo parado (Down time), como também para tornar dispensável a mão de obra de alto nível para a efetivação do reparo.

5. Instalação com Harmonia de Vida Útil Efetiva

É importante que em uma instalação eletrificada haja harmonização das vidas úteis efetivas dos seus componentes. Suponhamos uma instalação C composta de partes A e B, e que a vida útil de A seja de 8 anos e que a de B seja de 12 anos. Substituindo-se simultaneamente A e B, a vida útil de C será limitada pelos 8 anos de A, sendo os 12 anos de B desperdiçados em parte.

Por outro lado, trocando-se separadamente A e B, para se manter C em funcionamento é necessário substituir A após 4 anos de funcionamento, B 4 anos após, A após 4 anos novamente, e assim por diante.

Caso as vidas úteis de A e B sejam iguais, de 10 anos por exemplo, basta substituir ambas a cada 10 anos, não havendo a perda de vida útil remanescente.

Assim, é importante harmonizar as vidas úteis das partes componentes. Por exemplo, se a vida útil de fio de contato for de 15 anos, fazendo-se a vida útil dos suspensórios, tirantes e outras ferragens componentes também de 15 anos, todo o conjunto pode ser substituído após decorridos 15 anos. Portanto, deve-se ajustar a vida útil dos acessórios à vida útil da parte principal da instalação.

Eng^o AKIRA KARIYA
Japanese National Railways

PROPOSTA PARA O MÉTODO DE ALIMENTAÇÃO DO
SISTEMA FERROVIÁRIO DE SUBÚRBIOS DO GRANDE RIO

Na qualidade de Membro da Missão de Cooperação Técnica do Governo Japonês, junto à Rede Ferroviária Federal, venho apresentar a minha proposta inicial.

Proponho, semelhantemente à proposta do Consórcio, que o método de alimentação do Sistema Ferroviário de Subúrbios do Grande Rio, seja o de alimentação particular em alta tensão de 138 kv para cada subestação retificadora.

As razões são as seguintes:

- Atualmente o sistema de alimentação é o seguinte:

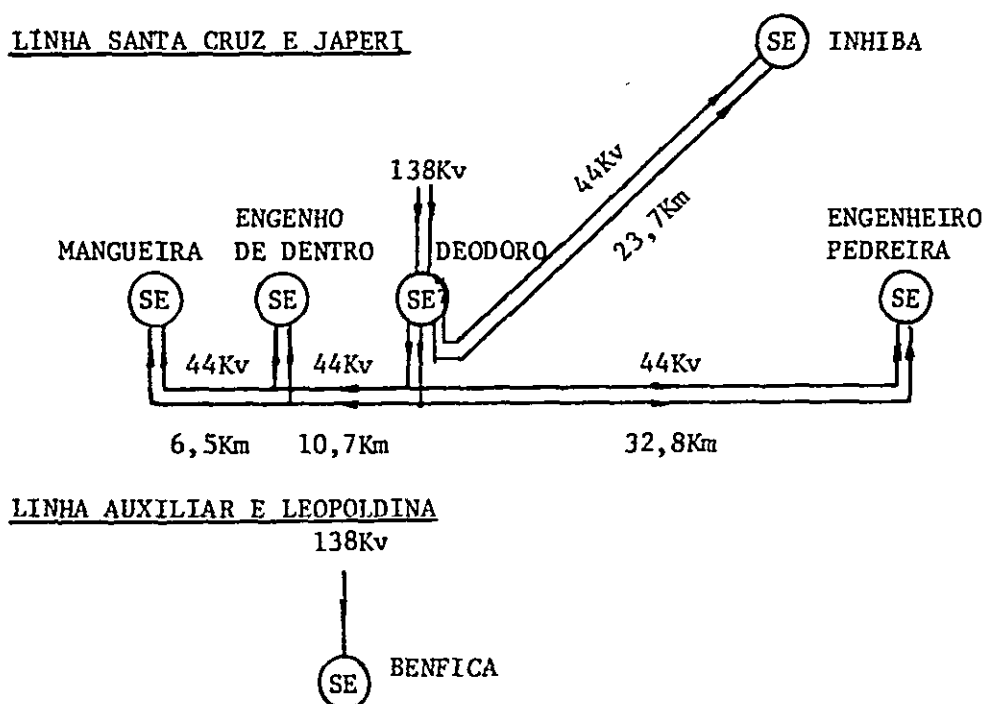


FIG. ESQUEMA DE ALIMENTAÇÃO ELÉTRICA
ATUAL NA ALTA TENSÃO

A confiabilidade do sistema é muito pequena.

Por exemplo, no caso de defeito no circuito de alimentação para a subestação de Deodoro, não poderá haver circulação na linha de Santa Cruz e na linha de Japeri, desde a estação D. Pedro II.

Semelhantemente, no caso de defeito no circuito de alimentação para a subestação de Benfica, não poderá haver circulação na linha Auxiliar e na linha Leopoldina.

- A tensão da linha de transmissão cai até 41 kv, não sendo assegurada a tensão nominal, por causa da modernização do trem que lhe dá grande capacidade e por causa do aumento na frequência de circulação dos trens.

Além disso, devemos considerar também a existência de problemas quanto à capacidade no fornecimento de energia.

- A atual linha de transmissão da 8a. Divisão mede quase 74 km. Não é conveniente seguir mantendo essa instalação, considerando as despesas de reparação e de pessoal.

Foram encomendados 15 transformadores de grupo alimentados em 44 kv e está sendo realizada a modernização com o método de alimentação atual.

Considerando que a confiabilidade do fornecimento de energia é muito pequena, embora os trens e as instalações fixas sejam modernizados, não se poderá assegurar uma perfeita circulação dos trens. No caso de falta ou defeito no fornecimento de energia, os gráficos horários não poderão ser cumpridos, trazendo desordem à rede.

Isso terá como consequência problemas sociais que tenderão a aumentar na medida em que haja maior necessidade de transporte.

Poderiam ser apresentadas como alternativas de solução, as seguintes:

1a.) Mudar a encomenda para transformadores em 138 kv.

2a.) Estudar um outro meio de utilização dos transformadores em 44 kv, se não for possível mudar a encomenda.

3a.) Estudar o método de alimentação particular em alta tensão de 44 kv para cada subestação retificadora.

Este método é inferior ao método em 138 kv, mas superior ao método atual, considerando-se o nível de confiabilidade na alimentação de energia.

Engº AKIRA KARIYA

Japanese National Railways

PROPOSTA PARA O TIPO DA CATENÁRIA DO SISTEMA FERROVIÁRIO DE
SUBÚRBIOS DO GRANDE RIO

O tipo da catenária deve ser determinado considerando-o como um sistema dinâmico, incluindo a catenária e o pantógrafo e levando em conta fatores como o ascendente vertical e a vibração da catenária e a perda de contato do pantógrafo.

Proponho o tipo da catenária dobrada ou o tipo da catenária simples com alimentador, para a rede aérea do Sistema Ferroviário de Subúrbios do Grande Rio, considerando os seguintes estudos:

1. Condições de operação

- Velocidade dos trens (Citado no volume IV-Operação, do Plano do Consórcio).

Uma velocidade máxima será superior a 90 km/h. Entretanto, depois de Nova Iguaçu e de Campo Grande, a velocidade poderá atingir 120 km/h.

- As composições dos trens são as seguintes:

UD : 2(2M + 2R), vias 1 e 2

UM, US : 3(2M + 2R), vias 3 e 4

UA, UL : 2(2M + 2R), vias 5 e 6

- A potência por unidade de trem será 2520 kw (315 kw x 8) nas condições do campo completo e da voltagem normal da rede aérea.

- A frequência de circulação dos trens no período de pico é a seguinte: (Citado no volume IV-Operação, do Plano do Consórcio):

UD : 12 circulações por hora

UM, US : 10 circulações por hora

UA, UL : 8 circulações por hora

2. O desempenho da catenária

O desempenho da catenária pode ser avaliado a partir de dois pontos:

- Característica de carga (Capacidade de corrente)
- Característica de velocidade (Capacidade de coleta de corrente)

A característica de corrente será diretamente proporcional à condutividade dos condutores usados na rede aérea e à área da seção equivalente de cobre.

A característica da coleta de corrente não pode ser avaliada de maneira genérica, mas alguns pontos de referência são citados a seguir:

- Ascendente vertical da catenária

Quanto maior o ascendente vertical da catenária, maior será a probabilidade do pantógrafo interferir nos puxadores e outras ferragens. Portanto, quanto menor o ascendente vertical, melhor será o resultado.

- Vibração da catenária

Quanto maior a vibração da catenária, piores serão os efeitos contra as ferragens e o pantógrafo. Portanto, é desejável que a vibração seja pequena, da mesma forma que no caso do ascendente vertical.

- Perda de contato do pantógrafo

Com o movimento do trem, o pantógrafo sobe e desce de acordo com a onda senoidal, conforme seguinte figura:

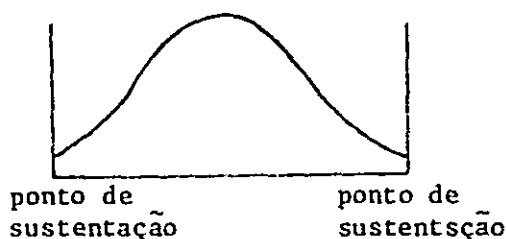


Fig. Traçado do pantógrafo

Isto se deve à grande constante de amortecimento da catenária nas proximidades do ponto de sustentação, e pequena constante de amortecimento no meio dos vãos.

Com o aumento da velocidade, o ascendente vertical do fio de contato torna-se maior, e a partir de uma determinada velocidade limite torna-se difícil o movimento do trem por causa dos saltos do pantógrafo.

Este fenômeno é conhecido como perda de contato.

A perda de contato pode ser avaliada pelas equações abaixo, quando se têm as distâncias ou os tempos em que ocorrem as perdas de contato num determinado trecho:

$$\text{Porcentagem de perda de contato} = \frac{\text{Soma das distâncias com perda de contato num determinado trecho}}{\text{Soma de todas as distâncias num determinado trecho}} \times 100$$

$$\text{Porcentagem de perda de contato} = \frac{\text{Soma dos tempos com perda de contato num determinado trecho}}{\text{Soma de todos os tempos num determinado trecho}} \times 100$$

As consequências da perda de contato podem ser:

- Na seção onde iniciou e terminou a perda de contato, haverá a aceleração do desgaste do fio de contato devido aos arcos e ao choque do pantógrafo, e pode haver a possibilidade de arrebentar o fio de contato e diminuir a vida do fio, com aumento do custo da manutenção.

- Com o aumento da perda de contato, torna-se difícil a coleta de corrente, causando problemas na operação do trem.

- Com o aumento da perda de contato, o fio de contato e o "pantograph shoe" poderão fundir-se devido o aquecimento pelos arcos.

- Com a perda de contato, haverá o corte na coleta de corrente, ocasionando o aparecimento de tensão anormal e perigosa.

- Poderá ocorrer interferência nos circuitos de telecomunicação, devido a perda de contato.

3. Tipo da catenária e seus desempenhos

A Tabela 1 mostra os tipos da catenária e seus desempenhos.

4. Comparação econômica entre dois tipos de catenária

As Tabelas 2-1 e 2-2 mostram a comparação econômica do condutor, por km, entre dois tipos de catenária.

Para a catenária composta é necessário suporte mais alto do que para a catenária simples.

A passagem superior deverá ser reconstruída para a catenária composta.

Eng^o AKIRA KARIYA
Japanese National Railways

Tabela 1. Tipos da catenária e seus desempenhos

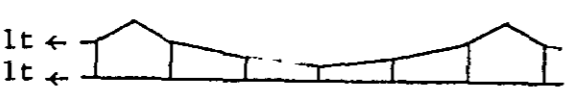
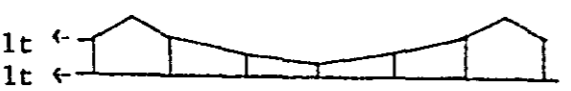
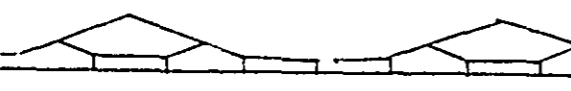
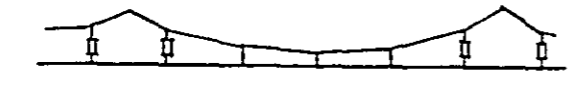
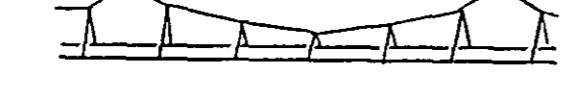

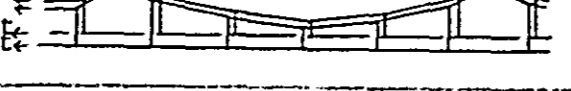
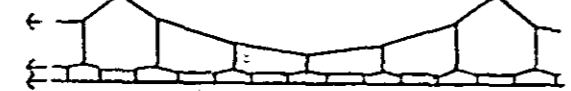


Tipo da catenária	Construção	Condutor normal (mm ²)			Tensão total dos condutores (t)	Velocidade do trem (Km/h)	Aplicação	Desempenhos
		Cabo mensageiro	Cabo mensageiro auxiliar	Fio de contato				
Catenária simples		Fe 90	-	Cu 110	2	100	Carga média	Tipo básico da catenária simples
Catenária simples pesada		Fe 135	-	Cu 110	3	140	Carga média	Para alta velocidade. Ascendente vertical:pequeno Desempenho contra o vento forte:bom
Stiched simple catenary		Fe 90	-	Cu 110	2	120	Carga média	Comparado com a catenária simples o ascendente vertical é um pouco maior.
Catenária simples com "composite element"		Fe 90	-	Cu 110	2	120	Carga média	Comparado com a catenária simples o ascendente vertical é um pouco maior. Desempenho contra o vento forte:pior
Catenária simples com dois fio de contato		Fe 90	-	Cu 110	3	110	Carga grande	Ascendente vertical:pequeno
Catenária simples com dois mensageiro		Fe 90	-	Cu 110	3	100	Carga média	Para vão comprido Desempenho contra o vento forte:bom
Catenária simples dobrada		Fe 90	-	Cu 110	3,8	120	Carga grande	Ascendente vertical:pequeno Desgaste do fio de contato:pequeno
Catenária composta		Fe 135	Cu 100	Cu 110	3	120	Carga grande	Tipo básico de catenária composta
Catenária composta pesada		Fe 180	Cu 150	Cu 170	5,5	260	Carga grande	Para alta velocidade, aplicado ao SHINKANSEN. Ascendente vertical e vibração:pequena
Catenária composta com "composite element"		Fe 135	Cu 100	Cu 110	3	210	Carga grande	Comparado com a catenária composta, o ascendente vertical é um pouco maior.

Tabela 2-1 Catenária Composta e Catenária Simples Dobrada (Cr\$)

Especificação de Cabos	Catenária Composta com dois Fios de Contato e Cabo Mensageiro de Alimentador	Catenária Simples Dobrada com dois Cabo Mensageiro de Alimentador	Catenária Simples Dobrada com Um Alimentador
Seção Equivalente de Cobre	473 mm ²	518 mm ²	520 mm ²
Alimentador ; Al 510 mm ²			
Mensageiro ; Cu 152 mm ²	51.060 x 1 = 51.060	51.060 x 2 = 102.120	63.220 x 1 = 63.220
" ; Cu 107 mm ²	35.960 x 1 = 35.960		
" ; St 90 mm ²			5.400 x 2 = 10.800
Fio de Contato ; Cu 107 mm ²	36.940 x 2 = 73.880	36.940 x 2 = 73.880	36.940 x 2 = 73.880
Total	160.900	176.000	147.900

Tabela 2-2 Catenária Simples (Cr\$)

Especificação de Cabos	Catenária Simples com Cabo Mensageiro de Alimentador		Catenária Simples com Um Alimentador	
	Mensageiro; Cu 152 mm ²	Mensageiro; Cu 107 mm ²	Alimentador; Al 300 mm ²	Alimentador; Al 200 mm ²
Seção Equivalente de Cobre	259 mm ²	214 mm ²	287 mm ²	227 mm ²
Alimentador ; Al 300 mm ²				
" ; Al 200 mm ²				
Mensageiro ; Cu 152 mm ²	51.060 x 1 = 51.060		37.930 x 1 = 37.930	25.140 x 1 = 25.140
" ; Cu 107 mm ²		35.960 x 1 = 35.960		
" ; St 90 mm ²			5.400 x 1 = 5.400	5.400 x 1 = 5.400
Fio de Contato ; Cu 107 mm ²	36.940 x 1 = 36.940	36.940 x 1 = 36.940	36.940 x 1 = 36.940	36.940 x 1 = 36.940
Total	88.000	72.900	81.270	67.480

PROPOSTA PARA A ESTRUTURA NORMAL DA REDE AÉREA DA TRACÇÃO

Para a estrutura normal da rede aérea da tração, proponho dois modelos, de acordo com os desenhos anexos.

O tipo da catenária desses desenhos é a catenária simples dobrada, com um alimentador.

As composições são as seguintes:

Cabo mensageiro	Fe	90 mm ²	x 2
Fio de contato	Cu	107 mm ²	x 2
Alimentador	Al	510 mm ²	x 1

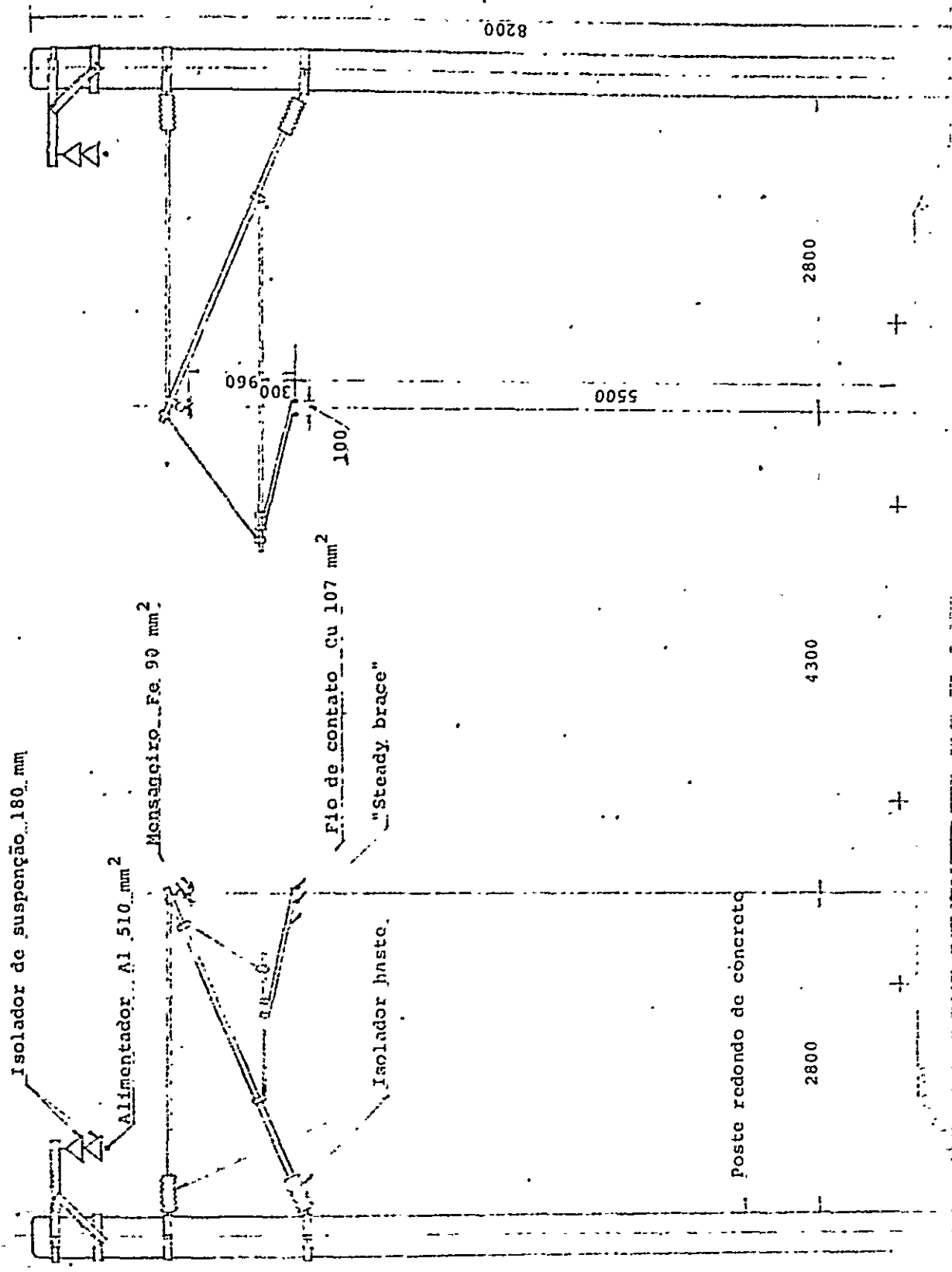
A seção equivalente de cobre desta composição é de 520 mm². Caso necessário, poderão ser usados dois alimentadores. Neste caso, a seção equivalente de cobre aumentará para 826 mm².

Para o tipo de catenária proposto, os "feed branch" (ligação entre o alimentador e o fio de contato) deverão ser instalados com uma distância de 250 m entre si.

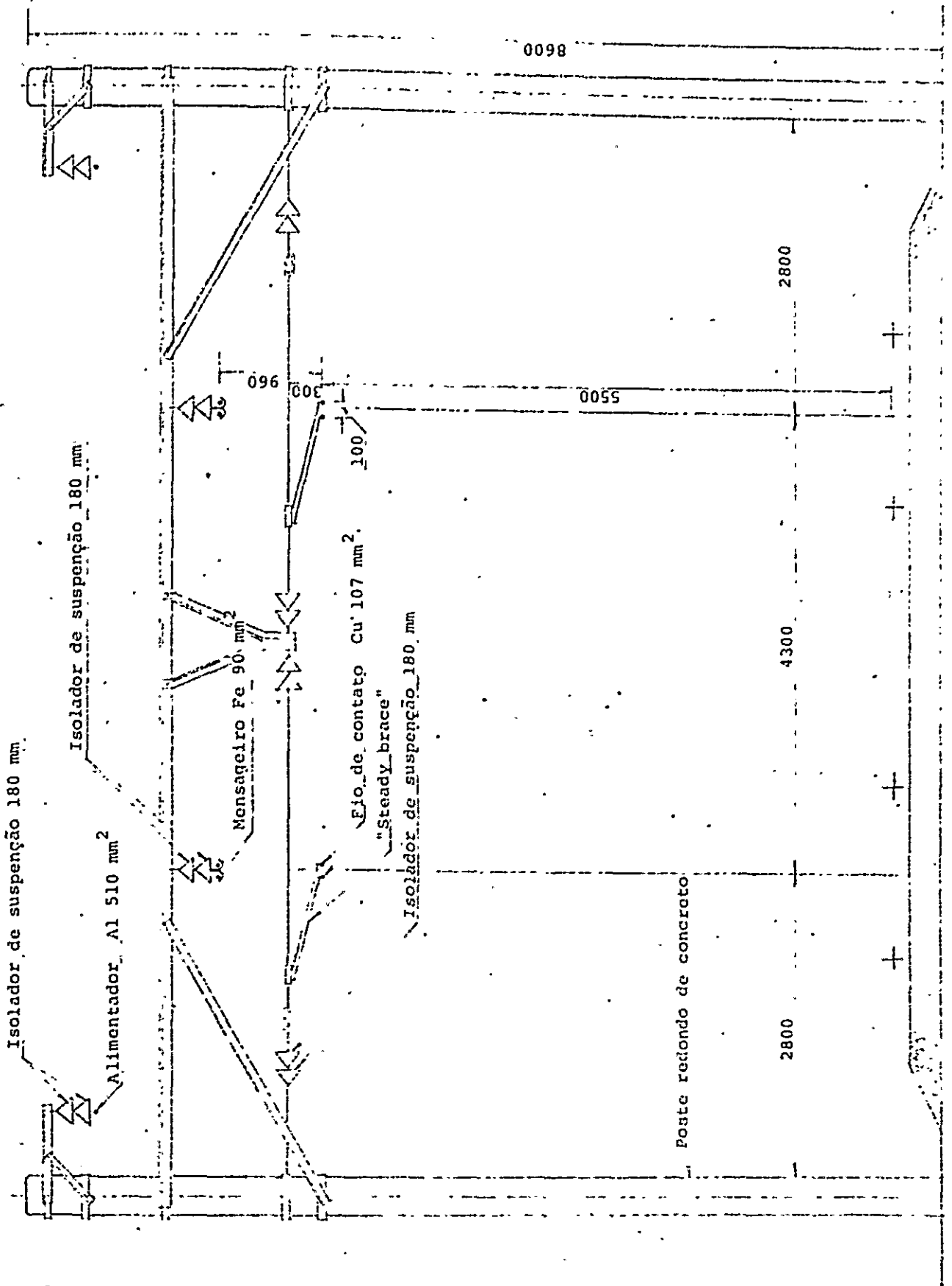
Por outro lado, é necessária a instalação do fio terra aéreo, embora não esteja indicado nos desenhos.

Eng^o AKIRA KARIYA
Japanese National Railways

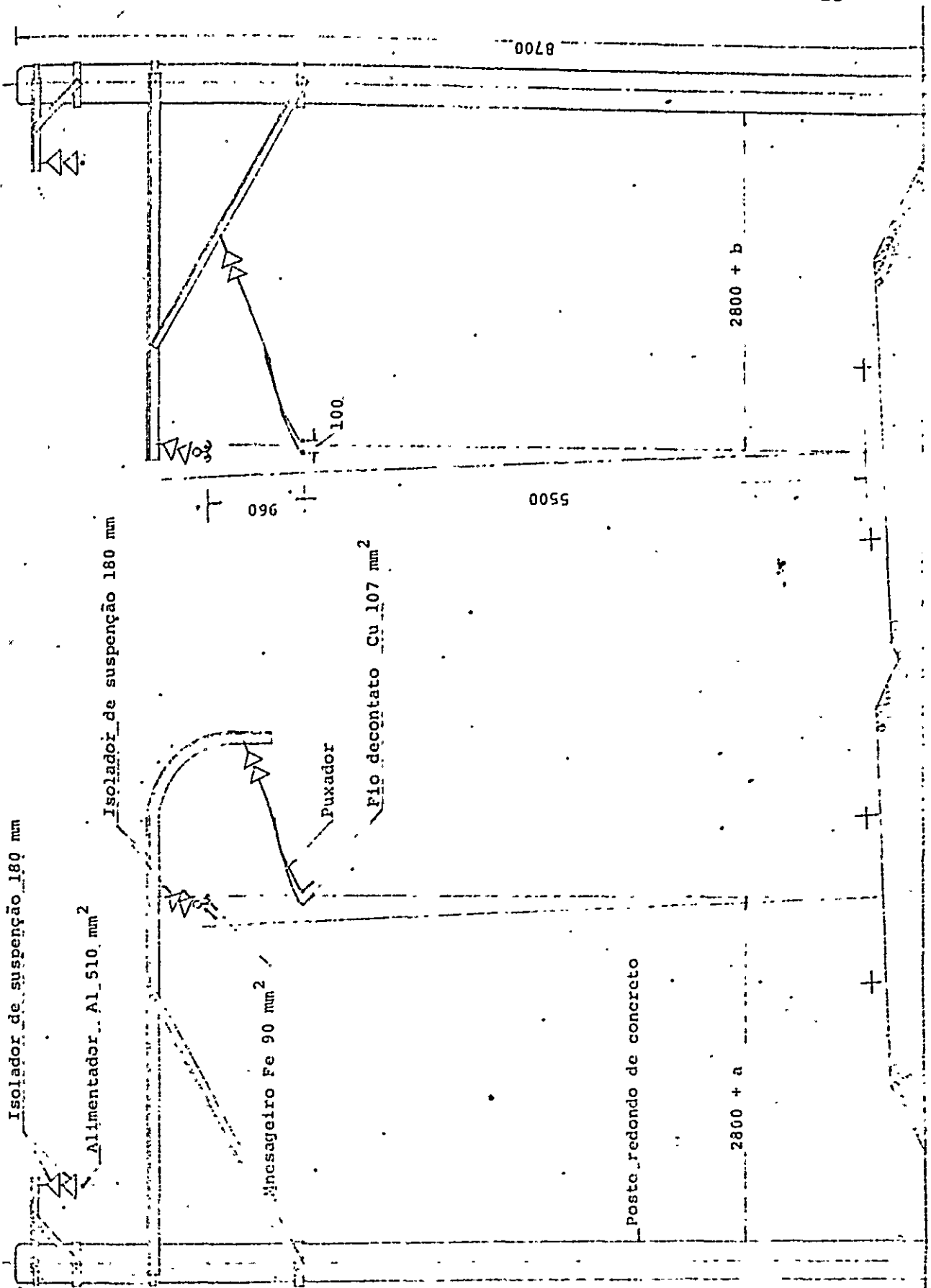
MODELO 1 ESTRUTURA NORMAL DA REDE AÉREA DE 3000V CC NO TRECHO USADO O CANTILIVER ARTICULADO
(PARTE DA LINHA RETA E CURVA)



MODELO 2-1 ESTRUTURA NORMAL DA REDE AÉREA DE 1000V CC NO TRECHO USADO A VIGA FIXA
(PARTE DA LINHA RETA)



(PARTE DA LINHA CURVA)



PROPOSTA PARA O DISPOSITIVO DE TENSIONAMENTO AUTOMÁ-
TICO DA REDE AÉREA DA TRAÇÃO

1. A função do dispositivo de tensionamento automático é a de manter constante a tensão da rede aérea da tração, ajustando automaticamente a expansão e o encolhimento do cabo mensageiro e do fio de contato.

O fio de contato e o cabo mensageiro expandem-se e contraem-se com a variação da temperatura. Por sua vez, o fio de contato expande-se com a deformação elástica por causa do desgaste e com a expansão eterna com a passagem dos anos.

Em consequência, ocorrerá a perda de contato, variando a flecha e a tensão da rede aérea da tração; e haverá ainda o perigo de rompimento do fio de contato, aumentando a tensão.

Assim, é de grande importância manter constante a tensão da rede aérea da tração. Portanto, proponho instalar o dispositivo de tensionamento automático.

2. Especificação do dispositivo de tensionamento automático

As especificações do dispositivo de tensionamento automático são as seguintes:

- tipo polia
- tipo mola
- tipo de pressão de óleo.

2.1. Tipo polia

Neste tipo é aplicado o princípio da polia, com a gravidade do peso próprio para a tensão normal.

A fig. 1 mostra o tensionamento automático do tipo polia.

2.2. Tipo mola

Neste tipo é aplicado o princípio de expansão e encolhimento da mola da bobina de aço.

A fig. 2 mostra o tensionamento automático do tipo mola.

2.3. Tipo de pressão de óleo

Neste tipo é aplicado o princípio de expansão e encolhimento devido à variação da temperatura do óleo contido no tanque de óleo com compressão.

Este tipo não é preferível, porque pode apresentar defeito de escoamento de óleo.

3. Aplicação do dispositivo de tensionamento automático

3.1. Tipo polia

- Na rede aérea da tração ou no fio de contato de linha principal.

- Na rede aérea da tração ou no fio de contato de linha que cruza com a linha principal.

- No caso em que o comprimento de ancoragem seja menor que 800 m o dispositivo será instalado em uma extremidade; caso seja maior que 800 m, em ambas as extremidades.

- No desvio lateral mais importante, instala-se de acordo com as diretrizes acima mencionadas.

3.2. Tipo mola

- Na rede aérea da tração ou no fio de contato de ligação que cruza com a linha principal.
- Na rede aérea da tração ou no fio de contato de desvio lateral.
- No caso em que o comprimento de ancoragem seja menor que 300 m o dispositivo será instalado em uma extremidade; caso seja maior que 300 m em ambas as extremidades.

Eng^o AKIRA KARIYA
Japanese National Railways

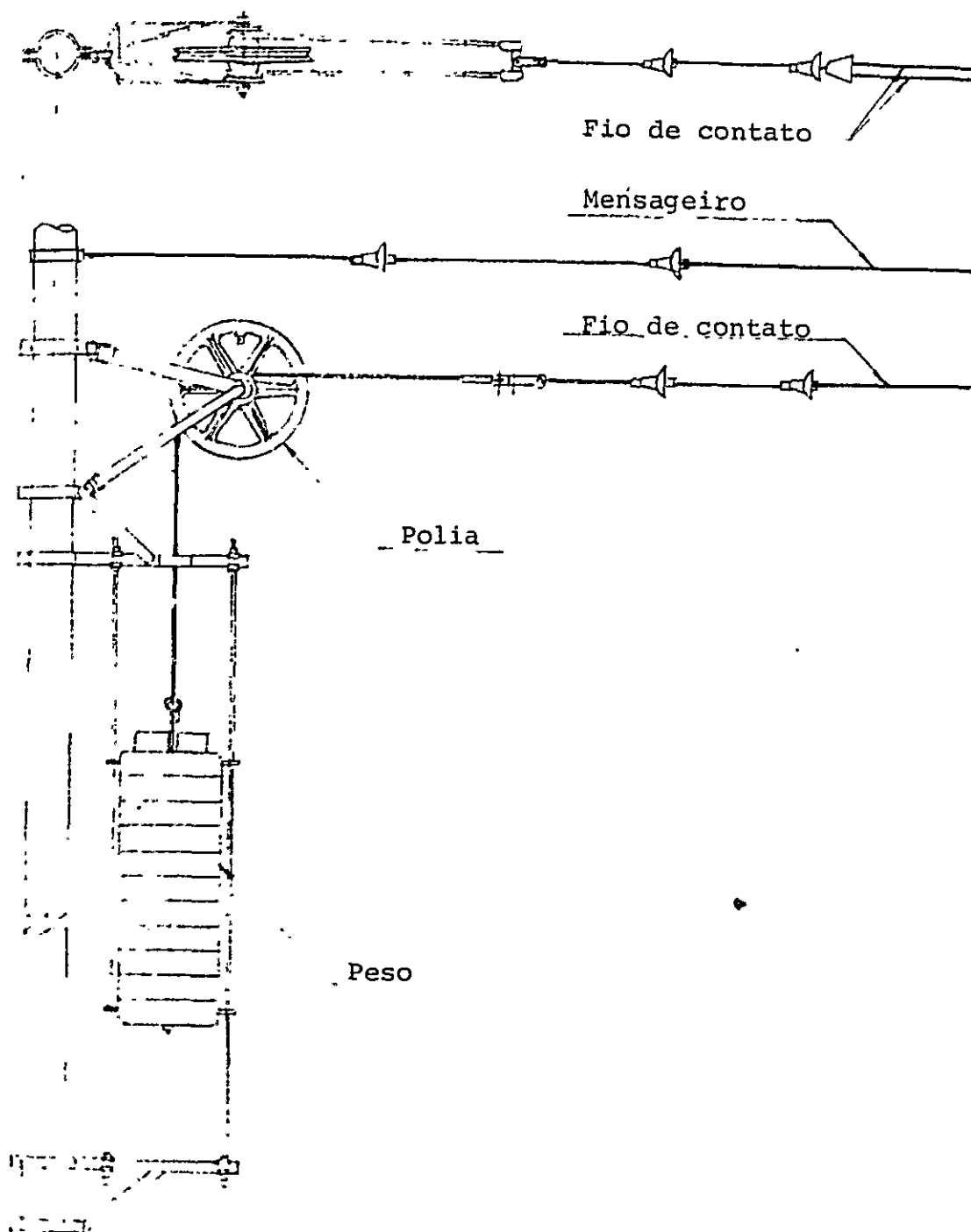


Fig. 1 Tensionamento automático do tipo polia

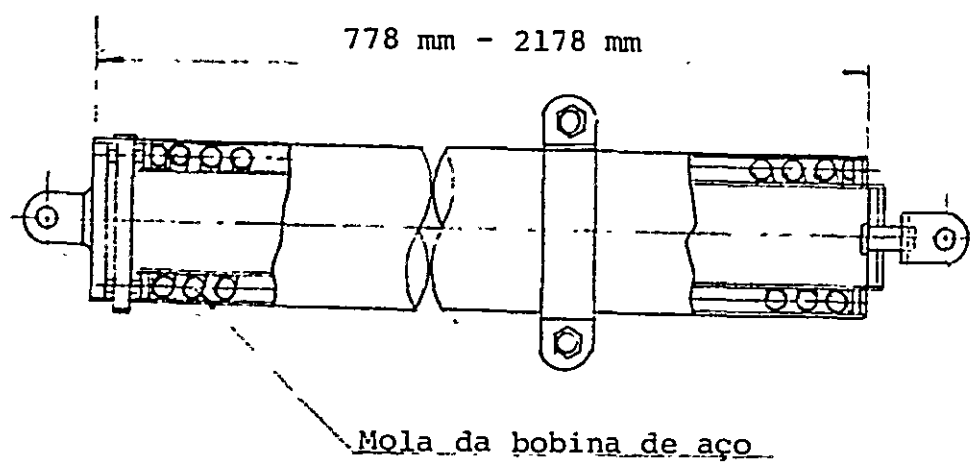
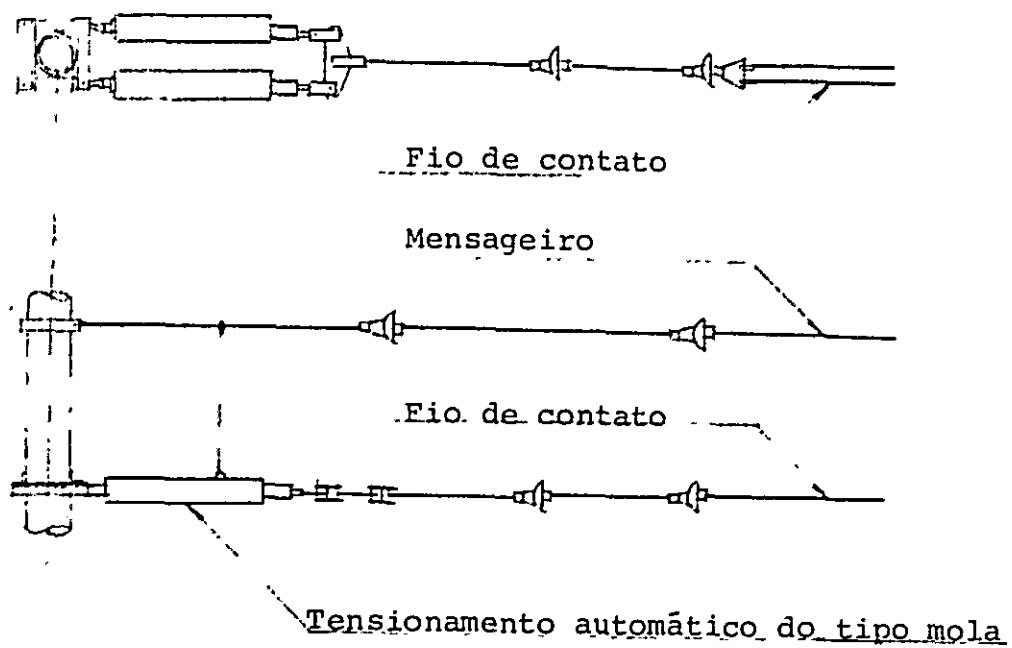


Fig. 2 Tensionamento automático do tipo mola

PROPOSTA PARA OS FATORES DE SEGURANÇA DAS INSTALAÇÕES
DA REDE AÉREA DA TRACÇÃO

Proponho que as instalações da rede aérea da tração devem manter os fatores de segurança indicados na tabela abaixo, conforme a pressão do vento e a tensão dos condutores.

Tabela dos Fatores de segurança das instalações da rede aérea da tração

Classificação	Denominação	Condição	Fator de segurança
Condutores	Cabo de cobre duro	Contrário à carga de tensão	Mais de 2,2
	Outros condutores	"	" 2,5
Suportes	Componente de aço	Contrário à força no "yield point"	" 1,5
	Poste de concreto	Contrário à carga de ruptura	" 2,0
	Fundação do poste de aço	Contrário à carga necessária	" 2,0
	Estai	Contrário à carga de tensão	" 2,5
Isoladores	Isolador haste	Contrário à carga de ruptura de curvatura	" 2,5
		Contrário à carga de ruptura de tração	" 2,5
	Isolador de suspensão	Contrário à carga de ruptura sob condição excitada	" 3,0
Etc.		Contrário à carga de ruptura	" 2,0

Proponho que as instalações da rede aérea não devem impedir a circulação dos trens na condição de velocidade instantânea do vento de 30 m/segundo.

Eng^o AKIRA KARIYA
Japanese National Railways

PROPOSTA PARA O LIMITE DE DESGASTE ADMISSÍVEL DO FIO DE CONTATO, 107 mm² (AWG)

Proponho que o limite de desgaste admissível do fio de contato seja de 7,5 mm da espessura, baseado nas condições e nas razões seguintes, embora o Consórcio recomende 8,5 mm da espessura:

- a tensão do fio de contato será de 900 kg, com o dispositivo de tensionamento automático;
- o fator de segurança do fio de contato será de mais de 2,2;
- as relações entre a espessura do fio de contato e a força de ruptura, o fator de segurança e a duração são as seguintes:

Item	8,5 mm da espessura	7,5 mm da espessura
Área restante	76,80 mm ²	65,25 mm ²
Fator de desgaste	28,4 %	39,1 %
Resistência à curvatura	2531 kg	2150 kg
Fator de segurança	2,81	2,38
Duração:*		
D. Pedro II-Deodoro, vias 1 e 2	17,6 - 21,7 anos	22,3 - 27,6 anos
D. Pedro II-Deodoro, vias 3 e 4	8,2 "	10,4 "
Deodoro - Santa Cruz	16,4 - 23,4 "	20,8 - 29,6 "
Deodoro - Japeri	17,6 - 24,4 "	22,4 - 31,0 "
Linha Auxiliar	14,2 - 28,5 "	18,0 - 36,2 "
Linha Leopoldina	14,2 - 28,5 "	18,0 - 36,2 "

* Vide Anexo.

Eng^o AKIRA KARIYA
Japanese National Railways

Anexo

* Duração do fio de contato

Trecho	Frequência de circulação dos trens	Composição de material rodante	Número de vezes da passagem do pantógrafo por dia	Número de vezes da passagem do pantógrafo por ano	Desgaste do fio de contato por ano	Duração (anos)		
						8,5 mm (A)	7,5 mm (B)	Diferença (B-A)
D. Pedro II - Deodoro, via 1								
D. Pedro II - Madureira	146	2 (2M+2R)	584	213.160	0,213 mm	17,6	22,3	4,7
Madureira - Deodoro	118	"	472	172.280	0,172 mm	21,5	27,6	5,9
D. Pedro II - Deodoro, via 3	208	3 (2M+2R)	1248	455.520	0,455 mm	8,2	10,4	2,2
Deodoro - Santa Cruz								
Deodoro - Benjamin do Monte	104	"	624	227.760	0,228 mm	16,4	20,8	4,4
Benjamin do Monte - Santa Cruz	73	"	438	159.870	0,160 mm	23,4	29,6	6,2
Deodoro - Japeri								
Deodoro - Comendador Soares	97	"	582	212.430	0,212 mm	17,6	22,4	4,8
Comendador Soares	70	"	420	153.300	0,153 mm	24,4	31,0	6,6
D. Pedro II - Triagem, via 5	180	2 (2M+2R)	720	262.800	0,263 mm	14,2	18,0	3,8
Triagem - Belford Roxo	90	"	360	131.400	0,131 mm	28,5	36,2	7,7
Triagem - Duque de Caxias	90	"	360	131.400	0,131 mm	28,5	36,2	7,7

Notas:

- Foi utilizado o gráfico horário de trens constante do anexo do Setor de Operação.
- A velocidade da desgaste do fio de contato será 0,01 mm por dez mil vezes da passagem do pantógrafo, considerando com a experiência passada.

PROPOSTA PARA A COTA DA PASSAGEM SUPERIOR EM RELAÇÃO À VIA

Atendendo à consulta formulada pelo Dr. Cristiano, em 28 de agosto de 1977, proponho a seguinte tabela para a cota da passagem superior em relação à via, no caso em que o vão é de 60 m:

Tabela

Largura da passagem superior	Cota da passagem superior em relação à via
Menos de 10 m	Do nível do boleto do trilho Mais de 5280 mm
" 20 m	" " 5320 mm
" 30 m	" " 5380 mm
" 40 m	" " 5480 mm
" 50 m	" " 5590 mm

Como ilustração, apresento o desenho anexo.

Esses valores foram calculados sob as seguintes condições:

- o tipo da catenária será a catenária simples dobrada.
 - a composição da catenária e as tensões à temperatura normal de 20°C serão as seguintes:

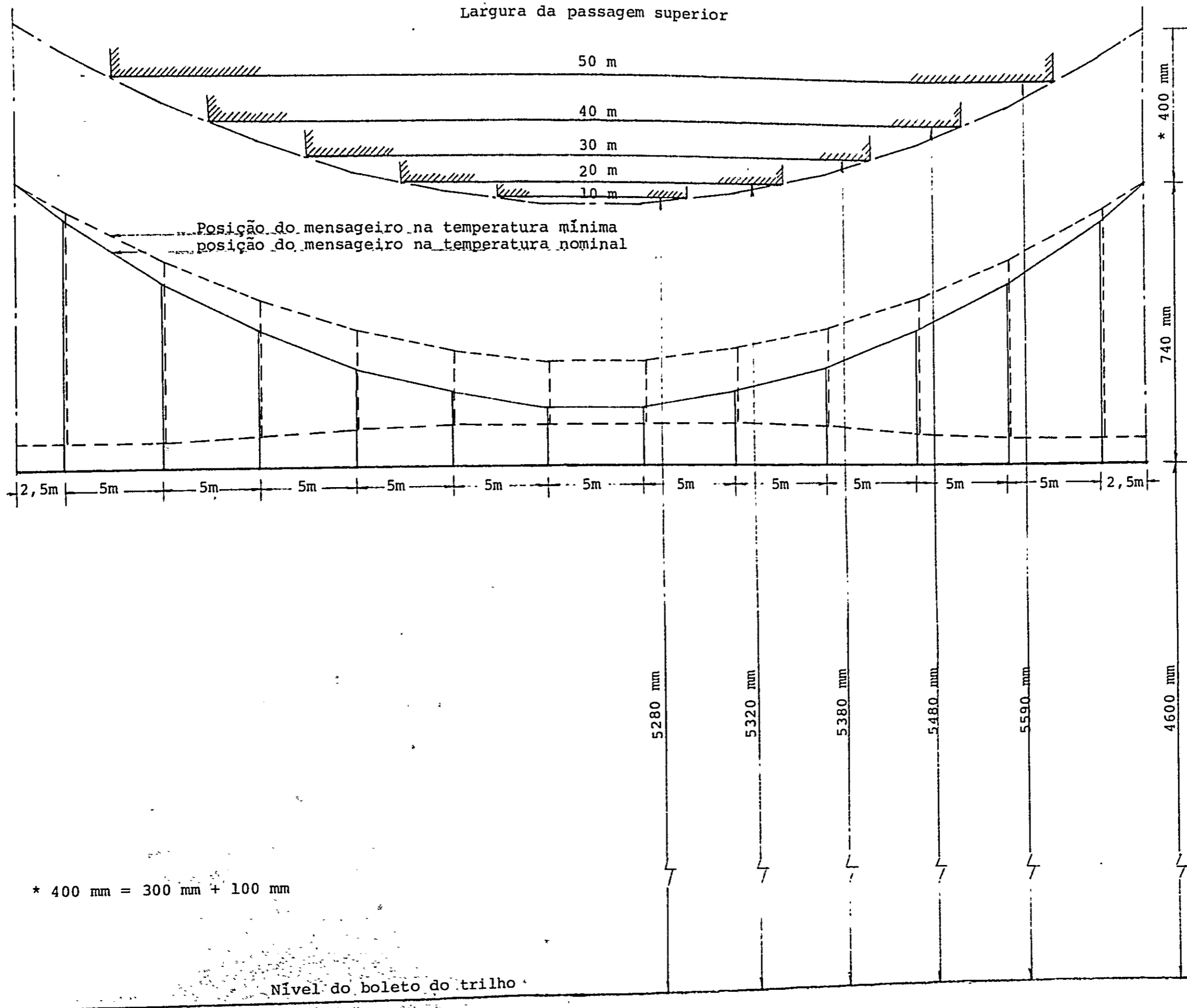
Cabo mensageiro	Fe 90 mm ²	1000 kg
Fio de contato	Cu 107 mm ²	900 kg

- temperatura mínima de 0°C.
 - a distância mínima entre o cabo mensageiro e a face inferior da passagem superior será de 300 mm.

- a altura mínima do fio de contato será de 4600 mm do nível do boleto do trilho.

- o espaço entre os suspensórios será de 5 m.
- o comprimento mínimo do suspensório será de 150 mm.
- o limite admissível de desgaste do fio de contato será de 7,5 mm.
- será instalado o dispositivo de tensionamento automático somente para o fio de contato.
- considerado um nível de erro total na construção da passagem superior, da via permanente e da rede da tração de 100 mm.

Eng^o AKIRA KARIYA
Japanese National Railways



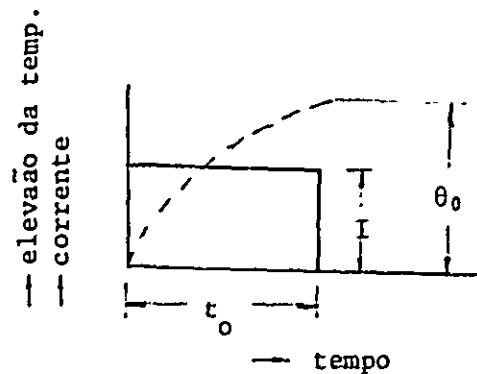
* 400 mm = 300 mm + 100 mm

Cálculo da Elevação da Temperatura do Cabo Nu

Para o cálculo da elevação da temperatura do cabo nu, deve ser considerada a elevação da temperatura, devido a insolação e devido ao efeito Joule.

Neste caso, a temperatura do ambiente será de 40 C.

1. Elevação da temperatura com a passagem da corrente em forma de onda quadrada, durante t_0 segundos (θ_0)



$$\theta_0 = \frac{I^2 r}{A} \left(1 - e^{-\frac{A}{C} t_0} \right) \dots \dots \dots (1)$$

sendo

A: coeficiente de difusão de calor do cabo por unidade de comprimento (W/graus)

= área da superfícies por unidade de comprimento x coeficiente de difusão de calor

C: capacidade calorífica por unidade de comprimento do cabo (W.seg/graus)

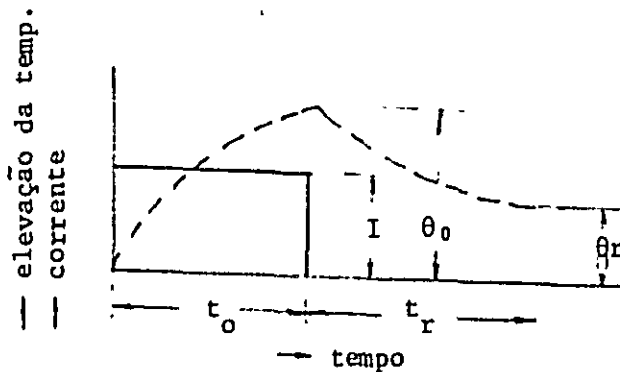
r: resitência por unidade de comprimento do cabo

(Ω)

t_0 : tempo da passagem da corrente (seg)

I: corrente (A)

2. Elevação da temperatura com a passagem da corrente em forma de onda quadrada, durante t_o segundos, a seguir-se com a difusão de calor, durante t_r segundos (θ_r)

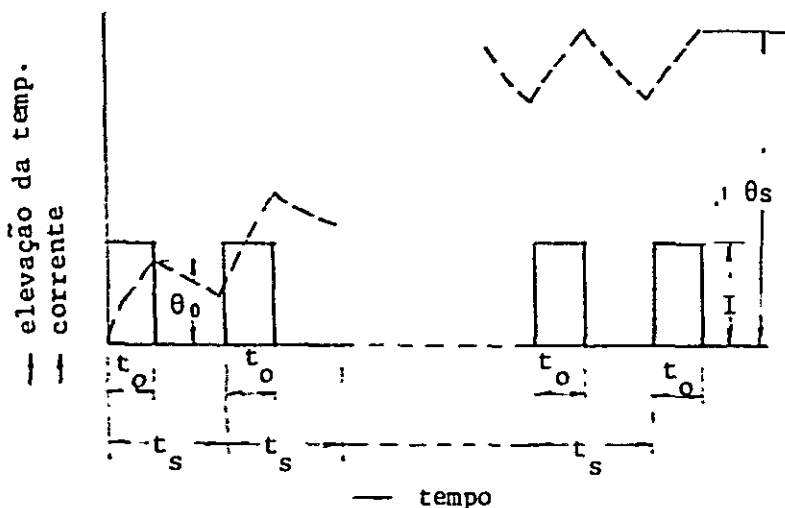


$$\theta_r = \theta_o e^{-\frac{A}{C}t_r} = \frac{I^2 R}{A} (1 - e^{-\frac{A}{C}t_o}) e^{-\frac{A}{C}t_r} \dots \dots \dots (2)$$

sendo

t_r : tempo da difusão de calor(seg)

3. Elevação da temperatura após a saturação devido a passagem intermitente da corrente em forma de onda quadrada(θ_s)

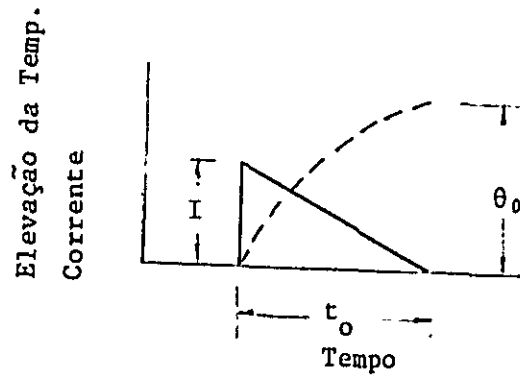


$$\theta_s = \theta_o \frac{1}{1 - e^{-\frac{A}{C}t_s}} = \frac{I^2 R}{A} (1 - e^{-\frac{A}{C}t_o}) \cdot \frac{1}{1 - e^{-\frac{A}{C}t_s}} \dots \dots \dots (3)$$

sendo

t_s : intervalo da circuração do trem(seg)

4. Elevação da temperatura com a passagem da corrente em forma de onda triangular, durante t_o segundos (θ_o)

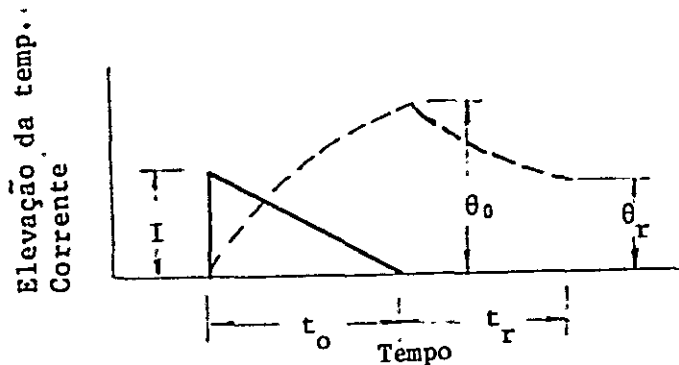


$$\theta_o = \frac{I^2 r}{C} \left(\frac{1}{3} t_o + \frac{A}{12C} t_o^2 \right) e^{-\frac{A}{C} t_o} \dots \dots \dots (4)$$

sendo

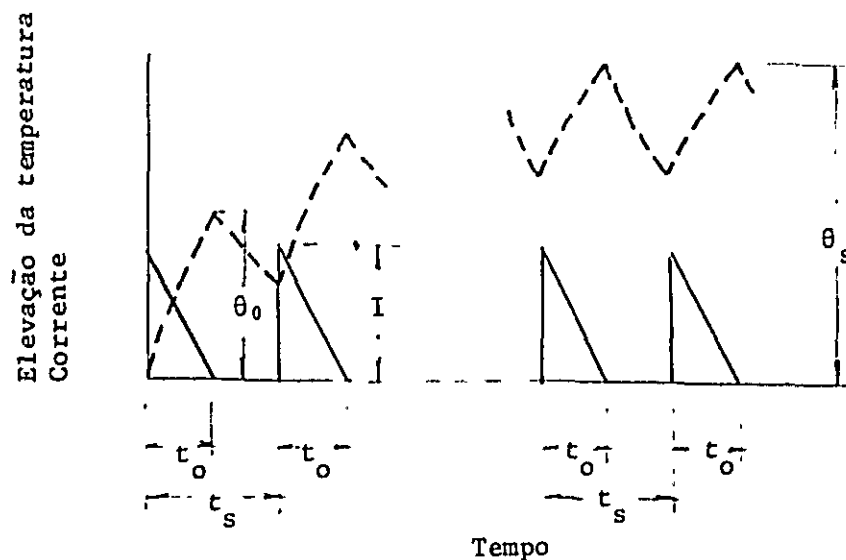
t_o : tempo da passagem da corrente
 = tempo da passagem do trem entre dois "Feed branches"

5. Elevação da temperatura com a passagem da corrente em forma de onda triangular, durante t_o segundos, a seguir-se com a difusão de calor durante t_r segundos (θ_r)



$$\theta_r = \theta_o \cdot e^{-\frac{A}{C} t_r} = \frac{I^2 r}{C} \left(\frac{1}{3} t_o + \frac{A}{12C} t_o^2 \right) e^{-\frac{A}{C} t_o} \cdot e^{-\frac{A}{C} t_r} \dots \dots \dots (5)$$

6. Elevação da temperatura após a saturação devido a passagem intermitente da corrente em forma de onda triangular (θ_r)



$$\theta_s = \theta_0 \frac{1}{1 - e^{-\frac{A}{C}t_s}} = \frac{I^2 r}{C} \left(\frac{1}{3}t_0 + \frac{A}{12C}t_0^2 \right) \frac{e^{-\frac{A}{C}t_0}}{1 - e^{-\frac{A}{C}t_s}} \dots\dots\dots (6)$$

No caso em que t_0 é muito pequeno e $\frac{C}{A} t_0$:

$$\theta_s = \frac{I^2 r}{3C} \cdot \frac{t_0}{1 - e^{-\frac{A}{C}t_s}} \dots\dots\dots (7)$$

7. Capacidade calorífica do cabo

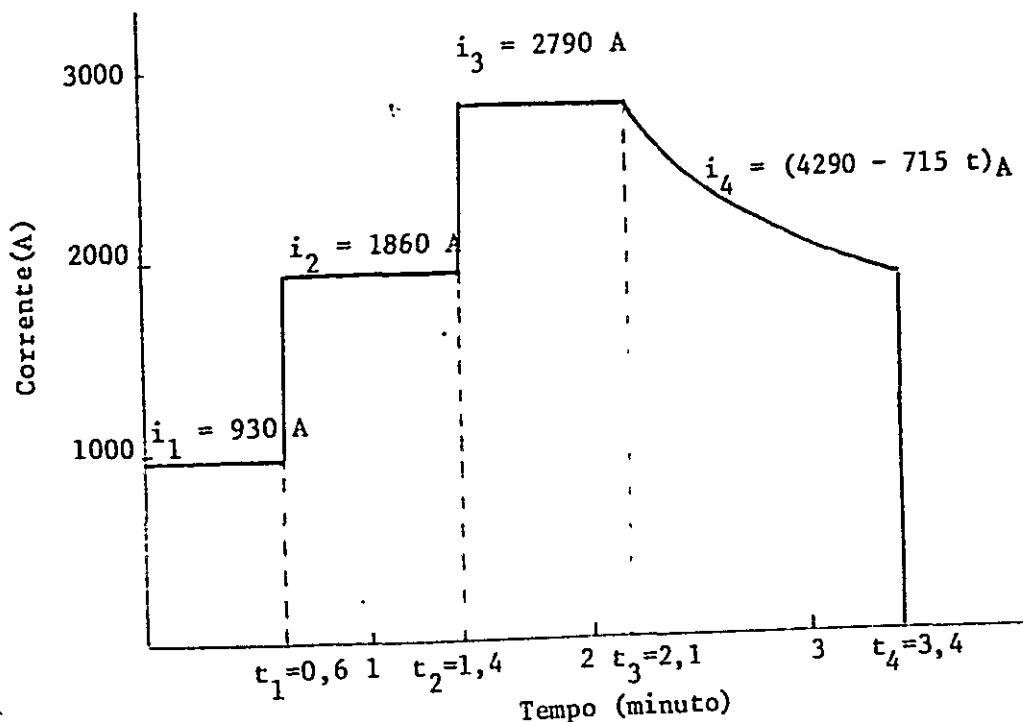
A seguinte tabela mostra a capacidade calorífica dos cabos por um metro.

Tabela Capacidade Calorífica dos Cabos

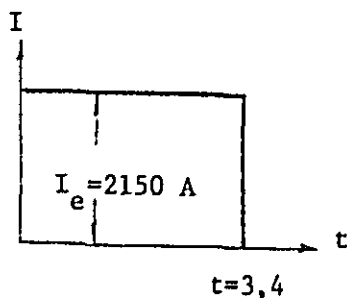
Tipo		Capacidade Calorífica (W.S/grau)
Cabo de cobre nu, duro	325 mm ²	11,2616
	200 "	6,8098
	125 "	4,3292
	100 "	3,4802
	38 "	1,2818
Cabo de alumínio nu, duro	510 "	12,6396
	300 "	7,1853
	200 "	5,0148
	95 "	2,3730
Fio de contato	170 "	5,7937
	110 "	3,7871
	85 "	2,9687
A.C.S.R	520 "	15,3618
	40 "	1,2112

8. Exemplo do cálculo da elevação da temperatura do alimentador

A seguinte figura mostra um exemplo da curva de corrente-tempo que se obtém através da "train running curve" e através da "notching curve" do "electric car".



A elevação da temperatura do alimentador poderá ser calculada, modificando-se a corrente-tempo para a forma de onda quadrada, como a seguinte figura:



$$I_e = \sqrt{\frac{1}{T} \left\{ \int_0^{t_1} i_1^2 dt + \int_{t_1}^{t_2} i_2^2 dt + \int_{t_2}^{t_3} i_3^2 dt + \int_{t_3}^{t_4} i_4^2 dt \right\}}$$

$$\int_0^{t_1} i_1^2 dt = 9,3^2 \times 10^4 \times [t]_0^{0,6} = 51,7 \times 10^4$$

$$\int_{t_1}^{t_2} i_2^2 dt = 18,6^2 \times 10^4 \times [t]_{0,6}^{0,6} = 276,8 \times 10^4$$

$$\int_{t_2}^{t_3} i_3^2 dt = 27,9^2 \times 10^4 \times [t]_{1,4}^{2,1} = 544,9 \times 10^4$$

i_4 tem-se aproximadamente

$$i_4 = 4290 - 715t$$

$$\int_{t_3}^{t_4} i_4^2 dt = \int_{t_3}^{t_4} (42,9 - 7,15t)^2 \times 10^4 dt = 710,3 \times 10^4$$

$$I_e = \sqrt{\frac{1}{3,4} (51,7 + 276,8 + 544,9 + 710,3) \times 10^4} = 2150 \text{ (A)}$$

Calculamos o coeficiente da difusão de calor do cabo, considerando-se as seguintes condições: o alimentador é o cabo de alumínio de 510 mm^2 e inexistência de vento.

$$T = 40^{\circ}\text{C}$$

$$\theta = 60 \text{ graus}$$

$$\eta = 0,9 \text{ (o estado que o alimentador está enegrecido)}$$

$$W_s = 0,1 \text{ w/cm}^2$$

$$d = 2,94 \text{ cm}$$

$$h_w = h_c = 0,00035 \sqrt[4]{\frac{\theta}{d}} = 0,00035 \sqrt[4]{\frac{60}{2,94}} = 7,44 \times 10^{-4}$$

$$h_r = 0,000576 \frac{\left(\frac{273 + T + \theta}{100}\right)^4 - \left(\frac{273 + T}{100}\right)^4}{\theta}$$

$$= 0,000576 \frac{\left(\frac{273 + 40 + 60}{100}\right)^4 - \left(\frac{273 + 40}{100}\right)^4}{60} = 9,48 \times 10^{-4}$$

$$k = h_c + \left(h_r - \frac{W_s}{\pi \theta}\right) \eta$$

$$= 7,44 \times 10^{-4} + \left(9,48 \times 10^{-4} - \frac{0,1}{3,14 \times 60}\right) 0,9 = 11,19 \times 10^{-4}$$

Área de superfície S por um centímetro do cabo de alumínio de 510 mm^2 :

$$S = \pi d = 3,14 \times 2,94 = 9,23 \text{ (cm}^2\text{)}$$

Assim, o coeficiente A da difusão de calor, por unidade de comprimento do cabo, será o seguinte:

$$A = k.S = 11,19 \times 10^{-4} = 103,3 \times 10^{-4} \text{ (w/graus)}$$

A capacidade calorífica C por unidade de comprimento:

$$C = 12,64 \text{ (w.s/graus)}$$

A resistência na temperatura de 20°C :

$$R_{20} = 0,0563 \text{ (\Omega/Km)}$$

Assim, a resistência na temperatura de 100°C será a seguinte:

$$R_{100} = 0,0563\{1 + 0,0040(100 - 20)\} = 0,0743 \text{ (\Omega/Km)} = 7,43 \times 10^{-7} \text{ (\Omega/Km)}$$

Portanto, a elevação da temperatura na condição em que $I = 2150$ a, $t = 204$ segundos (3,4 minutos) será a seguinte:

$$\theta = \frac{I^2 R_{100}}{A} \left(1 - e^{-\frac{A}{C}t} \right)$$

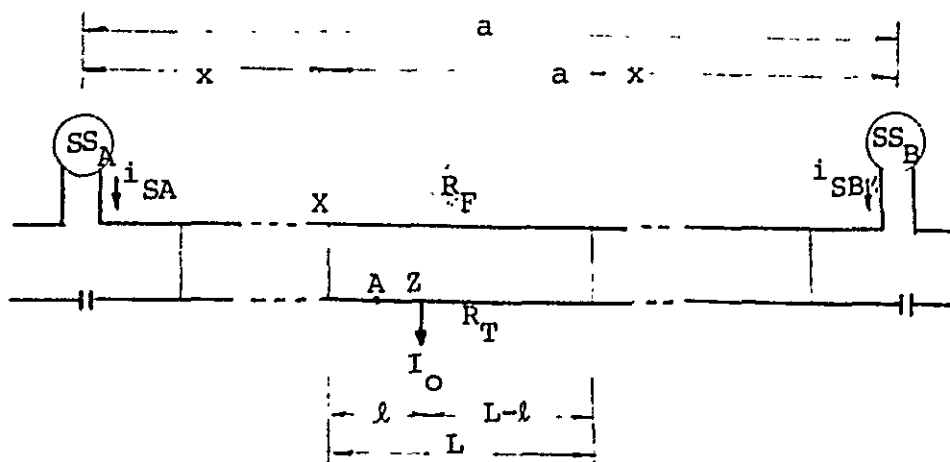
$$= \frac{2150^2 \times 7,43 \times 10^{-7}}{103,3 \times 10^{-4}} \left(1 - e^{-\frac{103,3 \times 10^{-4}}{12,64} \times 204} \right) = 49,9 \text{ (graus)}$$

Considerando-se que a temperatura do ambiente é de 40°C , a elevação da temperatura do cabo de alumínio de 510 mm^2 será a seguinte:

$$40 + 49,9 = 89,9 \text{ (}^\circ\text{C)}$$

Eng^o AKIRA KARIYA
Japanese National Railways

9. Exemplo do cálculo da temperatura do fio de contato



onde,

I_0 ; corrente de carga (A)

i_{SA} , i_{SB} ; correntes nas estações (A)

R_F ; resistência do alimentador (Ω/Km)

R_T ; resistência do fio de contato (Ω/Km)

L ; distância entre os "feed branches" (Km)

a ; distância entre as subestações (Km)

No caso em que o trem está no ponto Z, as correntes i_{SA} e i_{SB} que correm de duas subestações são seguintes:

$$i_{SA} = I_0 \frac{a - x - l}{a}$$

$$i_{SB} = I_0 \frac{x + l}{a}$$

Considerando-se I_{SA} como a corrente que corre da subestação A e I_{SB} como a corrente que corre da subestação B, a corrente no ponto A é a seguinte:

$$I_A = I_{SA} + I_{SB}$$

$$= i_{SA} \frac{R_F L + R_T (L - l)}{R_F L + R_T L} + i_{SB} \frac{R_T (L - l)}{R_F L + R_T L}$$

$$= I_0 \left\{ \frac{a - x - l}{a} \cdot \frac{R_F L + R_T (L - l)}{R_F L + R_T L} + \frac{x + l}{a} \cdot \frac{R_T (L - l)}{R_F L + R_T L} \right\}$$

Supondo-se que:

$$x \gg \ell$$

$$k = \frac{R_T}{R_F + R_T}$$

$$1 - k = \frac{R_F}{R_F + R_T},$$

I_A poderá ser escrita da seguinte forma:

$$I_A \cong I_O (1 - k) \left(1 - \frac{x}{a}\right) + I_O k \left(1 - \frac{\ell}{L}\right)$$

No caso em que $\ell \cong 0$

$$I'_A \cong I_O \left\{1 - (1 - k) \frac{x}{a}\right\}$$

No caso em que $\ell \cong L$

$$I''_A \cong 0$$

Na figura anterior consideremos os seguintes va-

lores:

$$a = 6 \text{ Km}$$

$$x = 3,5 \text{ Km}$$

$$R_F = 0,0563 (\Omega/\text{Km})$$

$R_T = 0,2221 (\Omega/\text{Km})$ na condição em que o fio de contato se desgaste até 8,5 mm no diâmetro.

Considerando-se que a velocidade do trem é de 58 Km/h e a distância entre os "feed branches" é de 250 m, o tempo t_o necessário para passar entre dois "feed branches" é o seguinte:

$$t_o = \frac{250 \times 3600}{58,000} \cong 15,5 (\text{seg})$$

Considerando-se que a corrente de carga é de 2790 A no máximo:

$$I'_A = I_O \left\{1 - (1 - k) \frac{x}{a}\right\}$$

$$= 2790 \left\{1 - \left(1 - \frac{0,0563}{0,0563 + 0,2221}\right) \times \frac{3,5}{6}\right\} = 2460 (\text{A})$$

No caso em que o fio de contato se desgaste até 8,5 mm, seu diâmetro equivalente "d" será:

$$d = \sqrt{\frac{4A}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \times 80}{\pi}} \cong 10 \text{ (mm)}$$

O coeficiente da difusão de calor na condição em que a velocidade do vento é $V = 0,5$ m/seg e $\eta = 0,9$, será:

$$h_w = \frac{0,00572}{(273 + 40 + \frac{60}{2})^{0,123}} \sqrt{\frac{0,5}{1,0}} = 19,74 \times 10^{-4}$$

$$h_r = 0,000576 \frac{(\frac{273 + 40 + 60}{100})^4 - (\frac{273 + 40}{100})^4}{60} = 9,37 \times 10^{-4}$$

$$\frac{W_s}{\pi \theta} = \frac{0,1}{\pi \times 60} = 5,31 \times 10^{-4}$$

$$k = 19,74 \times 10^{-4} + (9,37 \times 10^{-4} - 5,31 \times 10^{-4}) \times 0,9 \\ = 23,41 \times 10^{-4} \text{ (w/grau.cm}^2\text{)}$$

Sendo a superfície S por centímetro do fio de contato desgastado:

$$S = \pi d = 3,14 \times 1 = 3,14 \text{ (cm}^2\text{)}$$

temos que o coeficiente A da difusão de calor, por unidade de comprimento de fio de contato será o seguinte:

$$A = k \cdot S = 23,41 \times 10^{-4} \times 3,14 = 73,51 \times 10^{-4} \text{ (w/grau.cm}^2\text{)}$$

Considerando-se a capacidade calorífica por unidade de comprimento de fio de contato de 110 mm^2 , a capacidade calorífica C, depois do desgaste, será a seguinte:

$$C = 3787 \times \frac{80}{111,1} = 2727 \text{ (w.S/grau)}$$

Considerando-se $x = 97,5$ %, a resistência R_{90} do fio de contato na temperatura permissível de 90°C , será a seguinte:

$$R_{90} = 0,2221\{1 + 0,00393 \times \frac{97,5}{100}(90 - 20)\}$$

$$0,2802 (\Omega/\text{Km}) = 0,2802 \times 10^{-5} (\Omega/\text{Km})$$

Portanto, a elevaç~ao da temperatura ser~a a seguinte:

$$\theta_o = \frac{I^2 r}{C} \left(\frac{1}{3} t_o + \frac{A}{12C} t_o^2 \right) e^{-\frac{A}{C} t_o}$$

$$= \frac{2,460^2 \times 0,2802 \times 10^{-5}}{2727} \left(\frac{1}{3} \times 15,5 + \frac{73,51 \times 10^{-4}}{12 \times 2727} \times 15,5^2 \right)$$

$$\times e^{-\frac{73,51 \times 10^{-4}}{2727} \times 15,5} = 23,4 (\text{graus})$$

Considerando-se que a temperatura do ambiente é de 40°C, a elevaç~ao da temperatura do fio de contato ser~a a seguinte:

$$40 + 23,4 = 63,4 (^\circ\text{C})$$

Cálculo da Corrente Permissível do Cabo

1. Equação do Cálculo da Corrente Permissível

A corrente permissível do cabo poderá ser calculada pela fórmula 1.

$$I = \sqrt{\frac{k \cdot \pi \cdot d \cdot L \cdot \theta}{R}} \quad (A) \quad \dots\dots\dots (1)$$

sendo

I : corrente permissível do cabo(A)

k : coeficiente de difusão de calor do cabo(w/graus), que poderá ser calculado pela fórmula 2.

d : diâmetro do cabo(cm)

L : comprimento do cabo(cm)

R : resistência do cabo por Lcm, na temperatura final(Ω)

Entretanto, devido ao efeito de superfície a resistência real em corrente alternada varia-se como a fórmula 3.

θ : elevação da temperatura(graus)

1.1 Coeficiente de Difusão de Calor do Cabo(k)

$$k = h_w + \left(h_r - \frac{W_s}{\pi \cdot \theta} \right) \eta \quad (w/graus.cm^2) \quad \dots\dots (2.1)$$

$$h_w = \frac{0,00572}{\left(273 + T + \frac{\theta}{2} \right)^{0,123}} \sqrt{\frac{V}{d}} \quad (w/graus.cm^2) \quad \dots\dots (2.2)$$

$$h_r = 0,000576 \frac{\left(\frac{273 + T + \theta}{100} \right)^4 - \left(\frac{273 + T}{100} \right)^4}{\theta} \quad (w/graus.cm^2) \quad \dots\dots (2.3)$$

sendo

W_s : quantidade da insolação(w/cm²)

η : razão entre os coeficientes de difusão de calor do material do componente do cabo de varia muito com o estado superficial do cabo; assim, no estado novo, tem o valor de 0,08

a 0,16; e, quando o cabo se torna velho e enegrecido, o seu valor poderá ser de 0,9 no cabo de cobre e cabo de alumínio.

T : temperatura do ambiente(°C)

V : velocidade do vento(m/s)

1.2 Resistência real em Corrente Alternada(R)

$$R = K \cdot R'_d \quad (\Omega) \dots\dots\dots(3)$$

sendo

K : razão entre resistência do condutor em CA e CC

R'_d : resistência do condutor em CC por L cm na temperatura final(Ω)

Poder-se-á obter, praticamente, o valor de K pela tabela 1 considerando-se o parâmetro X que se calcula pela fórmula 4.

$$X = 0,05 \sqrt{\frac{f}{R_d}} \quad \dots\dots\dots(4)$$

sendo

f : frequência(H_z)

R_d : resistência do condutor em CA Km na temperatura final(Ω/Km)

1.3 Variação da Resistência com a Temperatura

É baseada na fórmula 5.

$$R_t = R_{20} \{1 + \alpha(t - 20)\} \quad (\Omega) \dots\dots\dots(5)$$

sendo

R_t : resistência em t°C(Ω)

α : coeficiente da temperatura da resistência

No caso do cabo de cobre

$$\alpha = 0,00393$$

λ ; condutividade do cabo de cobre

No caso do cabo de alumínio duro

$$\alpha = 0,0040$$

R₂₀ = resistência em 20°C(Ω)

t : temperatura do cabo(°C)

Tabela 1. Razão da Resistência do Condutor entre CA e CC

X	K	X	K	X	K	X	K
0,0	1,00000	3,0	1,31809	7,0	2,74319	20,0	7,32767
0,1	1,00000	3,1	1,35102	7,2	2,81334	21,0	7,68091
0,2	1,00001	3,2	1,38504	7,4	2,88355	22,0	8,03418
0,3	1,00004	3,3	1,41999	7,6	2,95380	23,0	8,38748
0,4	1,00013	3,4	1,45670	7,8	3,02411	24,0	8,74079
0,5	1,00032	3,5	1,49202	8,0	3,09445	25,0	9,09412
0,6	1,00067	3,6	1,52879	8,2	3,16480	26,0	9,44748
0,7	1,00124	3,7	1,56587	8,4	3,23518	28,0	10,15422
0,8	1,00212	3,8	1,63031	8,6	3,30557	30,0	10,86101
0,9	1,00340	3,9	1,64051	8,8	3,37594	32,0	11,56785
1,0	1,00519	4,0	1,67787	9,0	3,44638	34,0	12,27471
1,1	1,00758	4,1	1,71516	9,2	3,51680	36,0	12,98160
1,2	1,01071	4,2	1,75233	9,4	3,58723	38,0	13,68852
1,3	1,01470	4,3	1,78933	9,6	3,65766	40,0	14,39545
1,4	1,01969	4,4	1,82614	9,8	3,72812	42,0	15,10240
1,5	1,02582	4,5	1,86275	10,0	3,79857	44,0	15,80936
1,6	1,03323	4,6	1,89914	10,5	3,97477	46,0	16,51634
1,7	1,04205	4,7	1,93533	11,0	4,15100	48,0	17,22333
1,8	1,05240	4,8	1,97131	11,5	4,32727	50,0	17,93032
1,9	1,06440	4,9	2,00710	12,0	4,50358	60,0	21,46541
2,0	1,07816	5,0	2,04272	12,5	4,67993	70,0	25,00063
2,1	1,09375	5,2	2,11353	13,0	4,85631	80,0	28,53593
2,2	1,11126	5,4	2,18389	13,5	5,03272	90,0	32,07127
2,3	1,13069	5,6	2,25393	14,0	5,20915	100,0	35,60666
2,4	1,15207	5,8	2,32380	14,5	5,38560		
2,5	1,17538	6,0	2,39359	15,0	5,56208		
2,6	1,20056	6,2	2,46338	16,0	5,91509		
2,7	1,22753	6,4	2,53321	17,0	6,26817		
2,8	1,25620	6,6	2,60313	18,0	6,62219		
2,9	1,28644	6,8	2,67312	19,0	6,97446		

2. Exemplo do Cálculo da Corrente Permissível

Mostraremos um exemplo do cálculo da corrente permissível do cabo de cobre duro de 200 mm^2 que se emprega no circuito em corrente alternada.

2.1 Coefficiente de Difusão de Calor (k)

No caso de

$$T = 40^\circ\text{C}$$

$$\theta = 60 \text{ graus}$$

$$V = 0,5 \text{ m/s (Velocidade mínima em geral)}$$

$$\eta = 0,9$$

$$W_s = 0,1 \text{ w/cm}^2 \text{ (Valor máximo medido pelo Dr. OYAMA)}$$

$$d = D \text{ cm}$$

O valor de h_w poderá ser obtido pela fórmula 2.2.

$$h_w = \frac{57,2 \times 10^{-4}}{(273 + 40 + \frac{60}{2})^{0,123}} \times \sqrt{\frac{0,5}{D}} = 19,73 \times 10^{-4} \times \sqrt{\frac{1}{D}} \text{ (w/cm}^2 \cdot \text{grau)}$$

$$h_r - \frac{W_s}{\pi\theta} = 0,000576 \frac{(\frac{273 + 40 + 60}{100})^4 - (\frac{273 + 40}{100})^4}{60} - \frac{0,1}{3,14 \times 60}$$

$$= 4,08 \times 10^{-4}$$

$$(h_r - \frac{W_s}{\pi\theta})\eta = 4,08 \times 10^{-4} \times 0,9 = 3,67 \times 10^{-4} \text{ (w/cm}^2 \cdot \text{grau)}$$

$$D = 1,82 \text{ cm}$$

$$k = h_w + (h_r - \frac{W_s}{\pi\theta})\eta = 19,73 \times 10^{-4} \times \frac{1}{\sqrt{1,82}} + 3,67 \times 10^{-4}$$

$$= 18,3 \times 10^{-4} \text{ (w/cm}^2 \cdot \text{grau)}$$

2.2 Resistência do Condutor em CC, na temperatura final

$$(R_d)$$

$$R_{20} = 0,09202 \text{ (\Omega/Km) na temperatura } 20^\circ\text{C}$$

$$\alpha = 0,0038 \text{ (\lambda = 97\%)}$$

$$R_d = 0,09202 \times \{1 + 0,0038(100 - 20)\} = 0,1200 \text{ (\Omega/Km)}$$

2.3 Resistência Real em CA (R)

Segundo a fórmula 3 e 4 tem-se

$$x = 0,05 \sqrt{\frac{60}{0,12}} = 1,12$$

Pela tabela 1, tem-se para $x = 1,12$ o valor de K igual a 1,00821.

Assim, para o condutor de $L = 100$ cm, tem-se o valor da resistência real em CA igual a

$$R = 1,00821 \times 0,12 \times 10^{-3} = 0,12099 \times 10^{-3} (\Omega)$$

2.4 Corrente Permissível

Pela fórmula 1 tem-se

$$I = \sqrt{\frac{18,3 \times 10^{-4} \times 3,1416 \times 1,82 \times 100 \times 60}{0,12099 \times 10^{-3}}} = 720 \text{ (A)}$$

3. Corrente Permissível do Cabo

Apresentamos a corrente permissível dos cabos na tabela 2, nas condições seguintes:

- temperatura ambiente: 40°C
- elevação de temperatura: 60 graus (a temperatura máxima permissível do cabo é de 100°C)
- velocidade do vento: 0,5 m/s (no sentido perpendicular ao cabo)
- quantidade da insolação: 0,1 w/cm²
- $\eta = 0,9$ (no sentido perpendicular ao cabo)

4. Corrente Permissível do Fio de Contato

A tabela 3 mostra a corrente permissível para o tipo de catenária simples.

Engº AKIRA KARIYA

Japanese National Railways

Tabela 2. Corrente Permissível do Cabo

Tipo	Seção Transversal (mm ²)	Composição de Cabo (Número/mm)	Resistência a 20°C (Ω /Km)	Corrente Permissível (A)
Cabo de Cobre duro	325	61/2,6	0,05598	990
	200	37/2,6	0,09202	720
	125	19/2,9	0,1433	540
	100	19/2,6	0,1783	470
	38	7/2,6	0,484	250
Cabo de Alumínio duro	510	37/4,2	0,0563	1050
	300	37/3,2	0,0969	740
	200	19/3,7	0,140	590
	95	7/4,2	0,3897	360
ACSR	520	54/3,5 7/3,5	0,0758	1080
	04	6/2,9 1/2,9	0,9545	210

Tabela 3. Corrente Permissível do Fio de Contato

Tipo de Catenária	Tipo de Fio	Seção equivalente a Cobre (mm ²)		Corrente Permissível (A)
		Tipo de Fio	Total	
Catenária Simples	M ; St 90 mm ² FC ; Cu 110 mm ²	0	110(68)	500(350)
		110(68)		
Catenária Simples Pesada	M ; St 135 mm ² FC ; Cu 170 mm ²	0	170(87)	670(420)
		170(87)		
Catenária Simples Pesada	M ; Cu 200 mm ² FC ; Cu 170 mm ²	200	370(287)	1390(1140)
		170(87)		
"Stiched Catenary"	M;CdCu 60 mm ² FC ; Cu 170 mm ²	54	164(122)	780(630)
		110(68)		
"Stiched Catenary"	M;Bronze 65 mm ² FC ; Cu 107 mm ²	58	165(125)	780(630)
		107(67)		

Nota: 1. () mostra os valores quando o fio de contato atinge a limite da desgaste permissível.

2. Os diâmetros e as seções finais na limite da desgaste dos fio de contato são seguinte:

Cu 110 mm ²	7,5 mm	68 mm ²
Cu 170 mm ²	8,5 mm	87 mm ²

Cálculo da Flecha e Tensão do Cabo

1. Alimentador e Mensageiro

São calculadas pela fórmula 1, 2, 3 e 4.

$$T = \frac{wS^2}{8D} \dots\dots\dots(1)$$

$$T = T_0 - \frac{8AE}{3S^2}(D_0^2 - D^2) - AE\alpha(t - t_0) \dots\dots\dots(2)$$

$$T_3 - \left\{ T_0 - \frac{8AED_0^2}{3S^2} - AE\alpha(t - t_0) \right\} T^2 - \frac{AEw^2S^2}{24} = 0 \dots\dots(3)$$

$$D^3 + \left\{ \frac{3S^2}{8AE} \{ T_0 - AE\alpha(t - t_0) \} - D_0^2 \right\} D - \frac{3wS^4}{64AE} = 0 \dots\dots(4)$$

sendo

- T: tensão do cabo na temperatura de t °C(Kg)
- T₀: tensão do cabo na temperatura de t₀ °C(Kg)
- D: flecha na tensão de T Kg(m)
- D₀: flecha na temperatura de T₀ Kg(m)
- A: seção do cabo(mm²)
- E: módulo elástico do cabo(Kg/mm²)
- α: coeficiente de expansão do cabo
- w: peso por um metro do cabo(Kg/m)
- S: vão(m)

2. Flecha do Fio de Contato

É calculada pela fórmula 5 e 6.

2.1 No caso em que se temo dispositivo do tensionamento automático sô para o fio de contato

$$D = \frac{(w_m + w_t)}{8T_m} S^2 \left| 1 - \frac{T_m}{T_t} \right| \frac{1}{1 + \frac{T_t}{T_m}} \dots\dots\dots(5)$$

sendo

D: flecha (m)

w_m : peso por um metro do mensageiro (Kg/m)

w_t : peso por um metro do fio de contato (Kg/m)

S: vão (m)

T_m : tensão nominal do mensageiro (Kg)

T_t : tensão do fio de contato (Kg)

T_m' : tensão do mensageiro após a variação da temperatura (Kg)

2.2 No caso em que se tem o dispositivo do tensionamento automático para o fio de contato e mensageiro

$$d = \frac{(w_m + w_t)}{8T_m} \cdot S^2 \left(1 - \frac{w_m + w_o}{w_m + w_t}\right) \cdot \frac{1}{1 + \frac{T_t}{T_m}} \dots \dots \dots (6)$$

sendo

w_o : peso um metro do fio de contato após o desgaste (Kg/m)

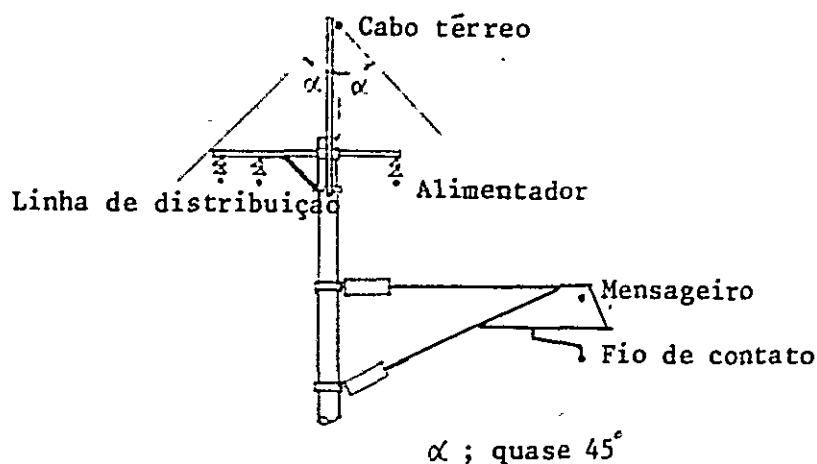
Cabo térreo e seu efeito

1. Cabo térreo

O cabo térreo tem a característica de diminuir o valor de pico da onda progressiva, mas, seu objeto principal é proteger o condutor, evitando-se o golpe direto ("direct stroke") de raio.

É desejável que o ângulo de blindagem ("screening angle") formado pelo cabo térreo e pela linha aérea a ser protegida, seja o menor possível.

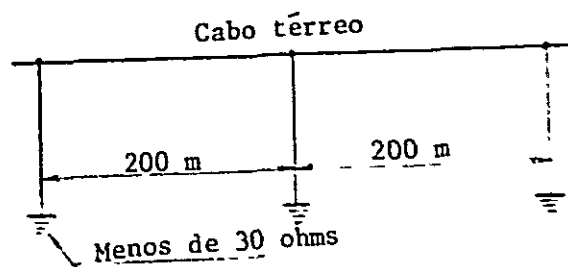
O ângulo está decidido pelas normas como menor do que 45° .



2. Ligação à terra

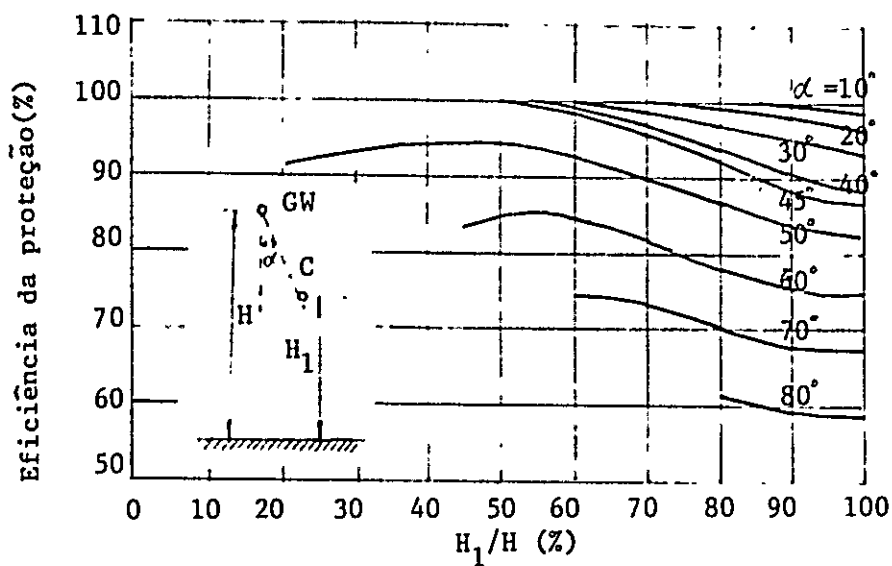
O cabo térreo deve ser ligado apropriadamente à terra, a fim de aumentar seu efeito.

De acordo com as normas, o cabo térreo deve ser ligado à terra em cada 200 m, e sua resistência de ligação à terra deve ser de menos de 30 ohms.



3. Efeito da proteção do cabo térreo para o raio

A seguinte figura mostra o efeito da proteção por um cabo térreo.



Eng^o AKIRA KARIYA

Japanese National Railways

RESPOSTA NO1 AOS ASSUNTOS PEDIDOS POR DOCUMENTO
NO333/LHEN/77, DATADO DE 29/09/1977

1. Dimensionamento de Barramentos Gerais, Chaves de Faca e Feeders para Trens de 8 Carros - 7 em 7 minutos, paradores, entre D.PEDRO II e Deodoro

Os cabos do circuito principal na subestação devem ter capacidade de corrente suficiente para poderem suportar a corrente de defeito no circuito e não ocasionarem a coroa.

Por outro lado, a temperatura dos cabos nus deve ser mantida abaixo da temperatura máxima admissível de 100°C, para a passagem contínua de corrente.

As tabelas 1-1, 1-2 e 1-3 mostram as correntes admissíveis dos cabos nus.

Tabela 1-1 Corrente Admissível de Cabo de Cobre Nu, Duro

Seção Transversal (mm ²)	Componente de Fios (Número/mm)	Diâmetro (mm)	Peso (Kg/m)	Corrente Admissível (A)
325	61/2,6	23,4	2,937	885
250	61/2,3	20,7	2,298	760
200	37/2,6	18,2	1,776	645
150	37/2,3	16,1	1,390	550
125	19/2,9	14,5	1,129	485
100	19/2,6	13,0	0,908	420

Tabela 1-2 Corrente Admissível de Cabo de Alumínio Nu, Duro

Seção transversal (mm ²)	Componente de Fios (Número/mm)	Diâmetro (mm)	Peso (Kg/m)	Corrente Admissível (A)
500	37/4,2	29,4	1,413	940
300	37/3,2	22,4	0,820	665
200	19/3,7	18,5	0,560	525
150	19/3,2	16,0	0,419	435

Tabela 1-3 Corrente Admissível de Barra de Cobre

Dimensão (mm)	Número em Paralelo	Peso (Kg/m)	Corrente Admissível (A)
6 x 50	1	2,67	680
"	2	5,34	1.250
"	3	8,01	1.780
6 x 100	1	5,33	1.280
"	2	10,66	2.360
"	3	15,99	3.350
"	4	21,32	4.380
6 x 150	1	8,00	1.840
"	2	16,00	3.380
"	3	24,00	4.800
"	4	32,00	6.300

1.1 Barramento Geral

- Subestação de MANGEIRA

Capacidade de Subestação; 3000Kw x 4, 4000A

Dimensão da Barra de Cobre Atual; 3 x 4" x $\frac{1}{4}$ " (Igual aproximadamente a 3 x 100 mm x 6 mm)

Capacidade de Corrente da Barramento Geral Atual;
3350A (Ver tabela 1-3)

"Counterplan"; É necessário adicionar uma barra de cobre de 4" x $\frac{1}{4}$ ", porque há falta de capacidade de corrente no barramento geral atual. A capacidade de corrente poderá aumentar até 4380A pela execução aima mencionada.

- Subestação de ENGENHO DE DENTRO

Capacidade de Subestação; 3000Kw x 3, 3000A

Dimensão da Barra de Cobre Atual; 3 x 4" x $\frac{1}{4}$ " (Igual aproximadamente a 3 x 100 mm x 6 mm)

Capacidade de Corrente da Barramento Geral Atual;
3350A (Ver tabela 1-3)

"Counterplan"; É suficiente para a capacidade atual da subestação.

1.2 Chave de Faca

A chave de faca atual é executada com duas facas de 4" x $\frac{1}{4}$ ", e sua capacidade de corrente é de 2.000A. Por outro lado, a corrente de tração para o trem composto de 8 carros é de 1.880A; assim sendo, é suficiente a chave atual.

1.3 "Feeder"

A capacidade de corrente "feeder" deve ser igual ou maior do que a da linha de contato.

Para a circulação dos trens compostos 8 carros, nas linhas 1 e 2, entre D.Pedro II e Deodoro, a seção total de linha de contato é suficiente, considerando o cálculo da queda de tensão.

A linha de contato atual é composta de um mensageiro de Cu 152 mm² e dois fios de contato de Cu 107 mm², e sua capacidade de corrente é quase 1.600A.

Por outro lado, o "feeder" atual é executado com o cabo isolado, e não nos foi possível ainda saber sua corrente admissível no caso de instalá-lo em aérea, pois não trago os dados sobre este assunto. Assim sendo, não é possível determinar o dimensionamento do cabo, no momento.

É aconselhável usar o cabo nu para o "feeder", porque a capacidade de corrente do cabo isolado é menor do que o cabo nu, sendo, portanto, anti-econômico.

2. Dimensionamento de Barramentos Gerais, Chaves de Faca e "Feeders" para Trens de 8 Carros - 3 em 3 minutos, paradores, entre D.Pedro II e Deodoro, para Tráfego proposto para 1990

2.1 Barramento Geral

É igual ao item 1.1, se não se reforçar a capacidade da subestação.

2.2 Chave de Faca

É igual ao item 1.2.

2.3 "Feeder"

É igual ao item 1.3.

Proposta para a instalação do Sistema da Rede
Aérea de Tração entre Duque de Caxias e Gramacho

Proponho o seguinte para a instalação do sistema da rede aérea de tração entre Duque de Caxias e Gramacho:

1. Tipo da catenária

Será a catenária simples com um alimentador, seção total equivalente a cobre 366 mm^2 , a qual compõe-se dos seguintes elementos:

- um alimentador de alumínio nu, duro, seção transversal de $510 \text{ mm}^2 (37/4,2)$;
- um fio de contato de cobre nu, duro, tipo ranhura, seção transversal de $107 \text{ mm}^2 (4/0 \text{ AWG})$;
- um mensageiro de cabo de aço galvanizado, seção transversal de $90 \text{ mm}^2 (7/4,0)$. Ver anexos 1 e 2.

2. Montagem normal

A figura 1 mostra a montagem do sistema da rede aérea de tração.

3. Poste

Será o poste de concreto (Pretensioned and Reinforced Spun Concret Pole). Porém, em casos especiais, dependendo das características do local, poderá ser usado o poste metálico, tal como o poste de treliças de aço ou o poste de seção H.

4. Tensão nominal de linha de contato

Mensageiro	; 1000 Kg
Fio de contato	; 900 Kg
Total	; 1900 Kg

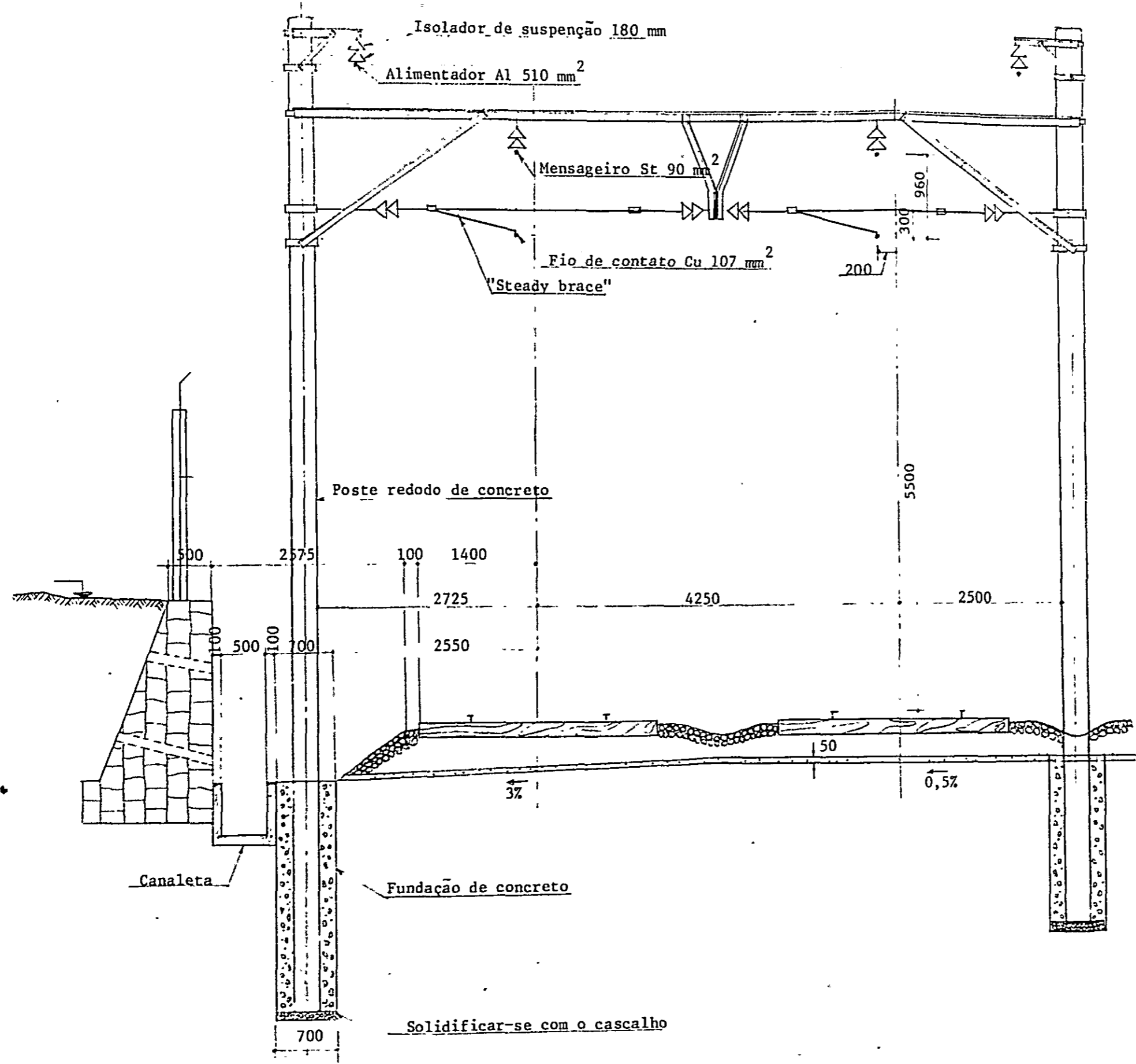


Fig. 1 Montagem normal do sistema da rede aérea de tração

5. Dispositivo de tensionamento

Para a linha de contato da via principal, deve ser instalado o dispositivo de tensionamento automático, a fim de manter em boas condições o desempenho da coleta de corrente da tração, considerando a variação da temperatura.

Para a linha de contato que cruza com a linha principal, deve ser instalado o dispositivo de tensionamento automático, considerando a sua necessidade. Ver anexo 3.

6. Detalhes da instalação

As normas para instalação do sistema da rede aérea de tração modernizada em 3.000 VCC que estou elaborando, mostrará os detalhes.

Eng^o AKIRA KARIYA
Japanese National Railways

Anexo 1. QUEDA DE TENSÃO NA REDE AÉREA DA TRACÇÃO ENTRE D.PEDRO II E GRAMALHO

LOCALIZAÇÃO DAS ESTAÇÕES		LOCALIZAÇÃO DAS SUBESTAÇÕES RETIFICADORAS														
		D.PEDRO II	MANGUEIRA	BENFICA	RAMOS	PENHA CIRCULAR	VIGÁRIO GERAL	GRAMALHO								
		2K600	4K879	7K400	11K300	14K700	18K964									
LOCALIZAÇÃO DAS ESTAÇÕES		0.000 D.PEDRO II	3.460 SÃO CRISTOVÃO	6.452 TRIAGEN	8.592 MANGUINHOS	9.858 BONSUCESSO	11.300 RAMOS	12.354 PEDRO ERNESTO	13.952 PENHA	14.682 PENHA CIRCULAR	15.732 BRAS DE PINA	16.562 CORDOVIL	17.559 LUCAS	18.964 VIGÁRIO GERAL	21.188 DUQUE DE CAXIAS	25.200 GRAMALHO
LOCALIZAÇÃO DAS SUBESTAÇÕES RETIFICADORAS		4000kw x 3	3000kw x 3	3000kw x 3		2000kw x 3										
TIPO DA CATENÁRIA		COMPOSIÇÃO DA CATENÁRIA		SEÇÃO EQUIVALENTE A COBRE												
ATUAL	CATENÁRIA SIMPLES COM DOIS FIOS DE CONTATO; ALIMENTADA PELO MENSAGEIRO	MENSAGEIRO ; Cu 152 mm ²	FIO DE CONTATO ; Cu 107 mm ² x 2	366 mm ² (282 mm ²)	2,15Km	2,15Km	1,25Km	1,25Km	1,95Km	1,95Km	1,7Km	1,7Km	2,15Km	2,15Km	3,1Km	3,1Km
PROPOSTA	CATENÁRIA SIMPLES COM UM ALIMENTADOR	ALIMENTADOR ; Al 510 mm ²	MENSAGEIRO ; St 90 mm ²	407 mm ² (365 mm ²)	236 V	140 V	384 V	411 V	* 608 V	482 V	178 V	104 V	289 V	311 V	453 V	374 V

Observações:

- ⊙ Subestação retificadora existente
- ⊙ Subestação retificadora futura
- △ Cabina seccionadora e de paralelismo futuro
- () Seção equivalente a cobre depois do desgaste do fio de contato

Anexo 1.1

O cálculo da queda de tensão é baseado nas seguintes condições:

- composição do trem; ; 2 unidades (M + 2R + M) de série 500;
- frequência ; mais de 8 trens por hora;
- localização das subestações retificadoras e das cabi-
nas seccionadoras indicadas pela RFF;
- As resistências compostas da rede aérea foram calcula-
das como segue:
 - 1) A resistência do fio de contato foi calculada no seu limite de desgaste (7,5 mm);
 - 2) O cabo de alumínio foi convertido para a seção de cobre com 60 % de condutibilidade;
 - 3) O trilho será TR 57, cuja resistência foi calculada com 30 % de corrente fuga.

Anexo 2. Comparações entre dois tipos da catenária

Item	Catenária simples com dois fios de contato, alimentada pelo mensageiro	Catenária simples com um alimentador
Seção total equivalente a cobre, no limite do desgaste do fio de contato	<p>Mensageiro ; Cu 152 mm² Fio de contato ; Cu 107 mm² x 2</p> <p>282 mm² (152 mm² % 65 mm² x2)</p>	<p>Alimentador ; Al 510 mm² Mensageiro ; St 90 mm² Fio de contato ; Cu 107 mm²</p> <p>365 mm² (510 mm² x 60 % + 65 mm²)</p>
Custo dos cabos por Km	<p>Cu 152 mm² 51.060 Cu 107 mm² 37.000 x 2 = 74.000 Total 125.060 Cr\$</p>	<p>Al 510 mm² 63.000 St 90 mm² 5.400 Cu 107 mm² 37.000 Total 105.600 Cr\$</p>
Constuição	É mais difícil do que a catenária simples.	É fácil.
Manutenção	"	"
Deformação da catenária devido a variação da temperatura	É grande. Pois, o alongamento do cabo de cobre, devido a variação da temperatura, é grande.	É pequena. Pois, o alongamento do cabo de aço, devido a variação da temperatura, é pequeno.
Recozimento do mensageiro e do suspensório	É possível ocorrer o recozimento do mensageiro e do suspensório, devido a alimentação, através o mensageiro.	Não ocorrerá o recozimento do mensageiro e do suspensório, pois, a corrente não passa pelo mensageiro.
Ferragens	Poderão ser aproveitadas as ferragens atuais. Mas, é desejável que se renove com material mais leve.	Serão necessárias novas ferragens, especialmente as ferragens para a ligação dos cabos feitas com materiais diferentes.

(Minuta)

NORMAS PARA INSTALAÇÃO DO SISTEMA DA REDE AÉREA DE
TRAÇÃO MODERNIZADA EM 3.000 VCC

Eng^o AKIRA KARIYA
Japanese National Railways

NORMAS PARA INSTALAÇÃO DO SISTEMA DA REDE AÉREA DE
TRAÇÃO MODERNIZADA EM 3.000VCC

Índice

Capítulo 1. Generalidades

1. Objetivo
2. Definições
3. Sistema de Alimentação
4. Tenção de Linha de Contato
5. Capacidade
6. Nível Básico de Isolamento de Impulso
7. Intensidade Dielétrica
8. Fatores de Segurança de Instalações
9. Condições Climáticas

Capítulo 2. Montagem Normal

10. Montagem Normal do Sistema de Rede Aérea de Tração

Capítulo 3. Suportes

11. Tipos de Estruturas
12. Tipos de Poste
13. Afastamento de Poste
14. Vão
15. Profundidade de Gravação do Poste de Concreto
16. Fundação de Poste
17. Proteção para Poste
18. Poste Emendado
19. Localização de Estai
20. Instalação de Estai
21. Tipos de Viga
22. Proteção contra Ferrugem
23. Proteção Contra Frouxidão de Parafuso e Porca

Capítulo 4. Isolador

24. Tipos de Isolador

Capítulo 5. Linha Aérea de Contato

25. Tipos de Catenária

26. Separação da Linha Aérea de Contato

27. Espaçamento da Linha Aérea de Contato

28. Altura do Fio de Contato

29. Afastamento do Fio de Contato

30. Rampa do Fio de Contato

31. Inclinação da Linha de Contato

32. Cabo para Mensageiro

33. Fio de Contato

34. Tensão Nominal da Linha de Contato e "Encumbrance"

35. Isolamento do Mensageiro

36. Proteção do Mensageiro

37. Suspensório e Tirante

38. Retrator ("Steady brace")

39. Puxador ("Pull-off")

40. Dispositivo do Travessão

41. Ligação do Fio de Contato e do Mensageiro

42. Tipos de Conector

43. Dispositivo de Ancoragem de Linha de Contato

44. Pre-tensionamento

45. Dispositivo de Tensionamento

45. Tipos de Dispositivo de Tensionamento e sua Aplicação

46. "Anti-creeper" de Fio de Contato

47. Tipos de Dispositivo de Secionamento e sua Aplicação

48. Localização do Dispositivo de Secionamento Elétrico

49. Secionamento Aéreo

50. Isolador de Secionamento

51. "Air Joint"

52 Secionamento para Emergência

Capítulo 6. Sistema de Alimentação e Comutador

- 53. Composição do Sistema de Alimentação
- 54. Instalação de Chave

Capítulo 7. Rede Aérea de Alimentação

- 55. Suspensão e Disposição de Alimentador
- 56. Espaçamento de Alimentador entre si
- 57. Tipos de Cabo de Alimentador e Sua Tensão Nominal
- 58. Ligação do Alimentador
- 59. Proteção Contra Ferrugem da Cruzeta
- 60. "Feed Branch"

Capítulo 8. Instalação de Proteção

- 61. Cabo Terreno
- 62. Pára-Raios
- 63. Ligação à Terra

Capítulo 9. Circuito de Retorno

- 64. Retorno a ser Conduz para a estação

Capítulo 10. Placa de Sinalização

- 65. Placa da Final da Linha Aérea de Contato
- 66. Placa do Seccionamento da Linha Aérea de Contato
- 67. Placa da Numeração de Poste
- 68. Placa da Atenção Cruzamento Nível

NORMAS PARA INSTALAÇÃO DO SISTEMA DA REDE AÉREA DE TRACÇÃO
MODERNIZADA EM 3.000 VCC

Capítulo 1. Generalidades

1. Objetivo

Estas normas se aplicam à instalação do sistema da rede aérea de tração modernizada em 3.000 VCC.

2. Definições

Os termos usados nestas Normas estão assim definidos:

(1) Cabo é o condutor empregado para a transmissão de energia elétrica.

(2) Fio de Contato é o cabo aéreo que fornece a energia elétrica ao material rodante, em contato com o dispositivo de coleção de corrente.

(3) Linha de Contato é o cabo aéreo composto de mensageiro, mensageiro auxiliar, fio de contato, suspensórios e tirantes.

(4) Linha aérea de Contato é a linha de contato, e seus acessórios, tais como o dispositivo de retrator, puxador, travessão, tensionamento e seccionamento.

(5) Rede Aérea de Tração é a linha aérea de contato e todas as obras que a fixam.

(6) Alimentador é o cabo que fornece a energia elétrica à linha de contato.

(7) Rede Aérea de Alimentador é o alimentador e todas as obras que o fixam.

(8) Trilho de Retorno é o trilho pelo qual passa a corrente de retorno.

(9) Cabo de Retorno Auxiliar é o cabo ligado em paralelo ao trilho de retorno para diminuir a queda de tensão.

(10) Circuito de Retorno é o conjunto que engloba o trilho de retorno, cabo de retorno auxiliar e cabo que conduz à sub-estação.

(11) Sistema de Rede Aérea de Tração é o conjunto que engloba a rede aérea de tração, rede aérea de alimentador, circuito de retorno e suas instalações acessórias.

(12) Fio de Terra é o cabo instalado acima da rede aérea de tração para proteção contra o choque de raio.

(13) Pre-tensionamento é o processo de alongamento permanente do cabo, adicionando previamente o sobre-tensionamento, antes de ancorá-lo.

(14) Trecho de Ancoragem é o trecho entre uma e outra ancoragem da linha de contato.

(15) "Encumbrance" é a distância do fio de contato e mensageiro no ponto de suspensão.

(16) Afastamento de Poste é a distância mínima entre a face interior do poste (lado da via permanente) e o eixo de via permanente.

3. Sistema de Alimentação

É o sistema de alimentação em corrente contínua.

4. Tensão de Linha de Contato

As tensões da linha de contato serão as seguintes:

- tensão máxima ; 3.300 V
- tensão nominal ; 3.000 V
- tensão mínima ; 2.600 V

5. Capacidade

A capacidade da instalação do sistema da rede aérea de tração deve concordar com o seguinte:

- a capacidade dos instrumentos deve permitir a carga de trens que circulam no trecho de alimentação;
- as temperaturas máximas permissíveis dos cabos serão seguintes:

fio de contato de cobre nu, duro ;	90 C
fio de contato de cobre nu, duro contido a prata	; 110 C
outro cabo nu	; 100 C

6. Nível Básico de Isolamento de Impulso

- O nível básico de isolamento de impulso (onda nominal, secura) do sistema da rede aérea de tração será de mais de V.

- O sistema da rede aérea de tração deve ter intensidade de isolamento que mantenha a cooperação, instalando-se o pára-raios no ponto adequado.

7. Intensidade Dielétrica

O sistema da rede aérea de tração deve ser instalada de modo que tenha a intensidade dielétrica suficiente contra a poeira de sal, fuligem e etc.

8. Fatores de Segurança de Instalações

- As instalações do sistema da rede aérea de tração devem manter os fatores de segurança indicados na tabela 1, conforme a pressão do vento e tensionamento dos condutores.

Tabela 1. Fatores de Segurança de Instalações de Rede Aérea de Tração

Classificação	Denominação	Condição	Fator de Segurança
Condutores	Cabo de cobre duro	Contrário à carga de tensão	Mais de 2,2
	Outro condutores	"	" 2,5
Suportes	Componente de aço	Contrário à força no " yield point"	" 1,5
	Poste de concreto	Contrário à carga de rutura	" 2,0
	Fundação poste de aço	Contrário à carga necessária	" 2,0
	Estai	Contrário à carga de tensão	" 2,5
Isoladores	Isolador haste	Contrário à carga de rutura de curvatura	" 2,5
		Contrário à carga de rutura de tração	" 2,5
	Isolador de Suspensão	Contrário à carga de rutura sob condição excitada	" 3,0
Etc		Contrário à carga de rutura	" 2,0

- As instalações da rede aérea de tração não devem impedir a circulação dos trens na condição de velocidade instantânea do vento de 30 m/s.

9. Condições Climáticas

Capítulo 2 Montagem Normal

10. Montagem Normal do Sistema de Rede Aérea de Tração

A montagem normal do sistema de rede aérea de tração é mostrado na figura 1.

Capítulo 3. Suportes

11. Tipos de Estrutura

- Os tipos padrões são mostrados na figura 2.

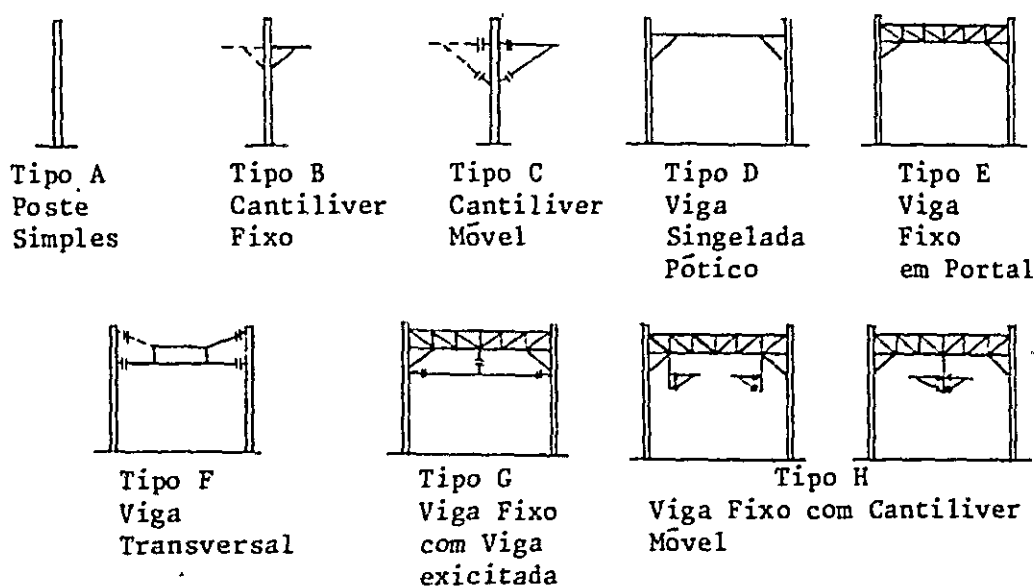


Fig.2. Tipos de Estrutura

- É usado o tipo C ou tipo H, no trecho entre as estações e na linha principal do pátio onde o trem passa em alta velocidade.

- É usado o tipo G, para a entrada e saída no pátio onde se reúnem muitas linhas de contato.

12. Tipos de Poste

- É usado basicamente o poste de concreto (Pretensioned and Reinforced Spun Concrete Pole). Porém, em casos especiais, dependendo das características do local, poderá ser usado o poste metálico, tal como o poste de treliças de aço ou o poste de aço de seção H.

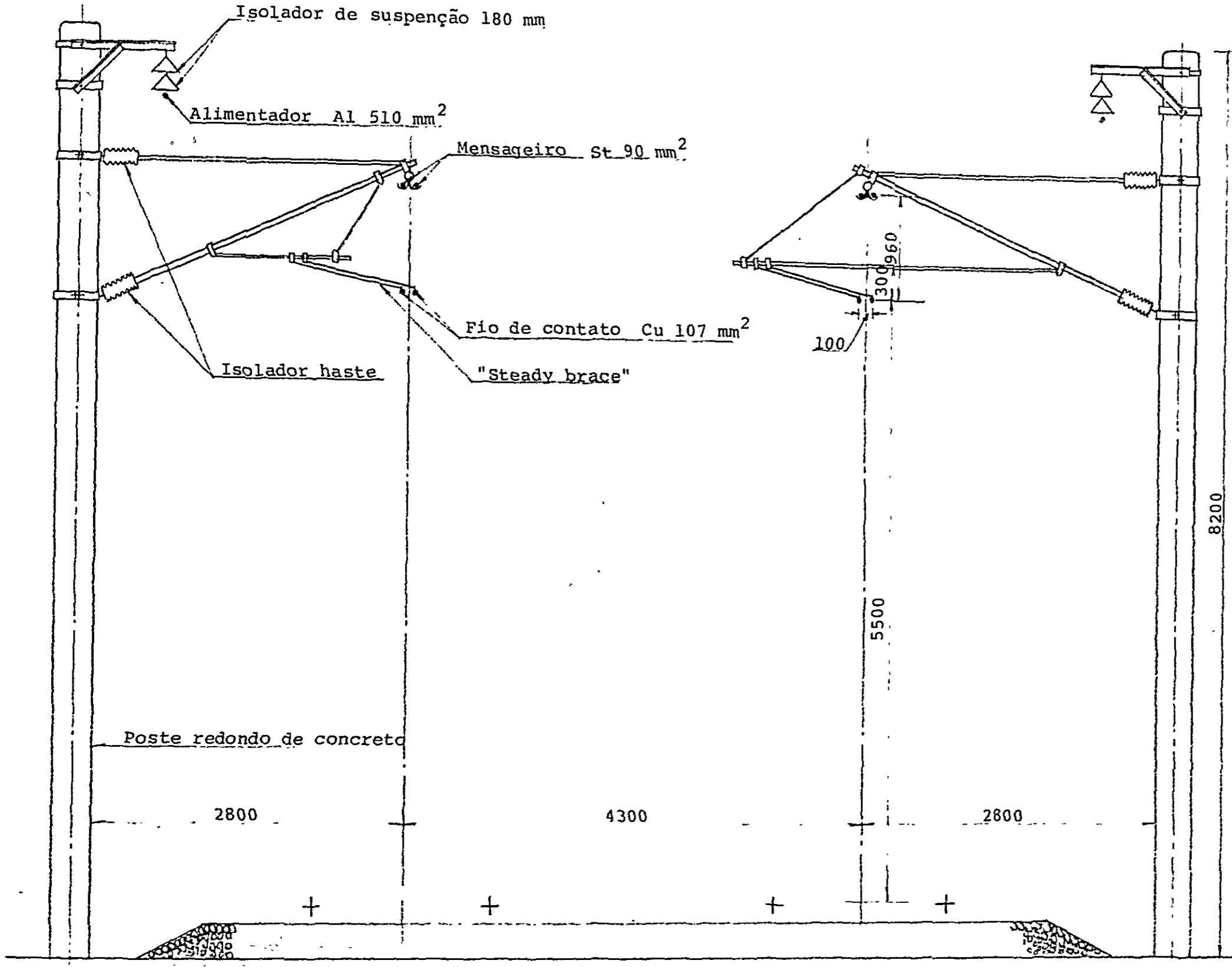


Fig.1-1. Montagem normal do sistema da rede aérea de tração em 3.000 VCC no trecho usado o cantiliver móvel

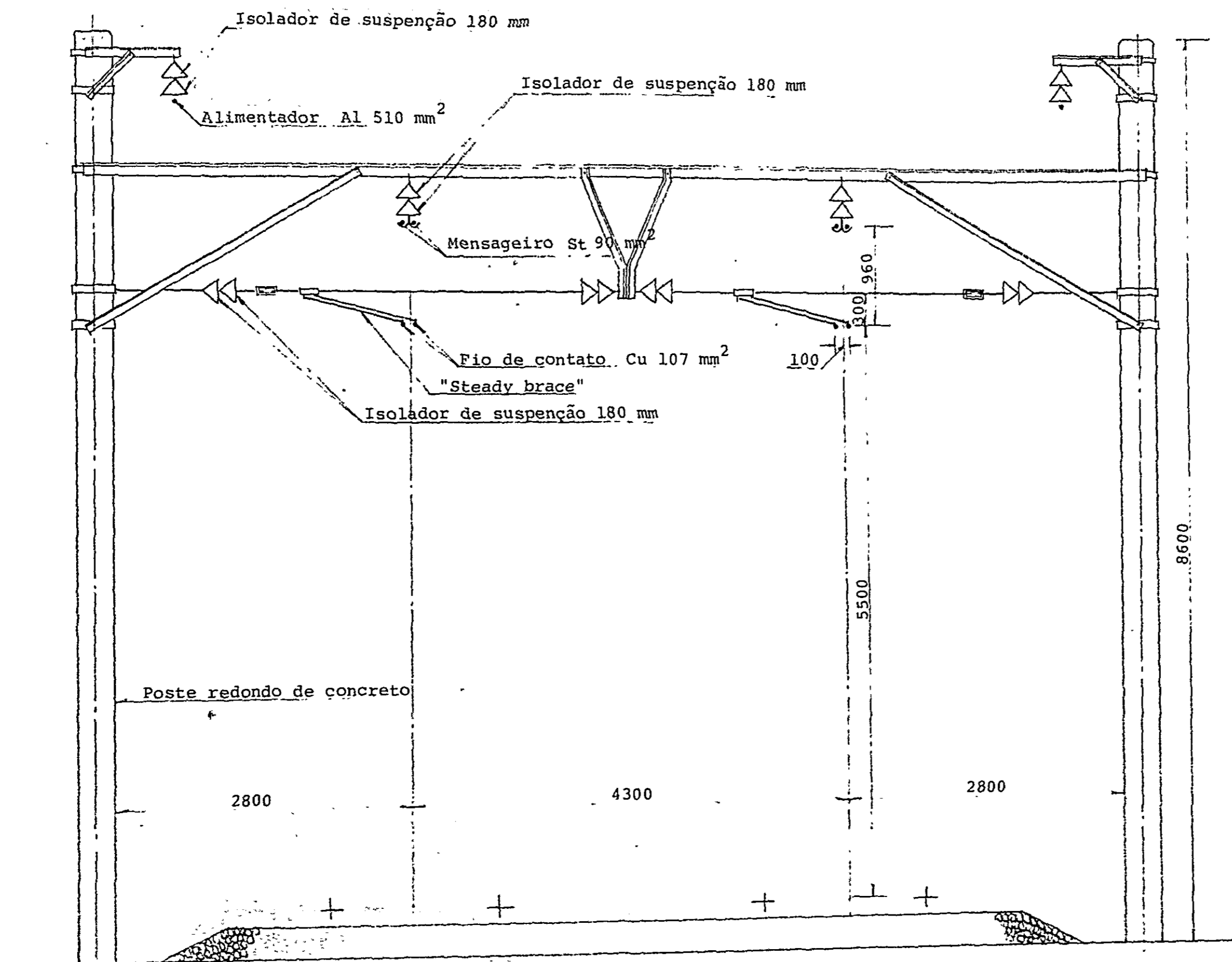


Fig. 1-2 Montagem normal do sistema da rede aérea de tração em 3.000 VCC no trecho usado a viga fixa (Em linha reta)

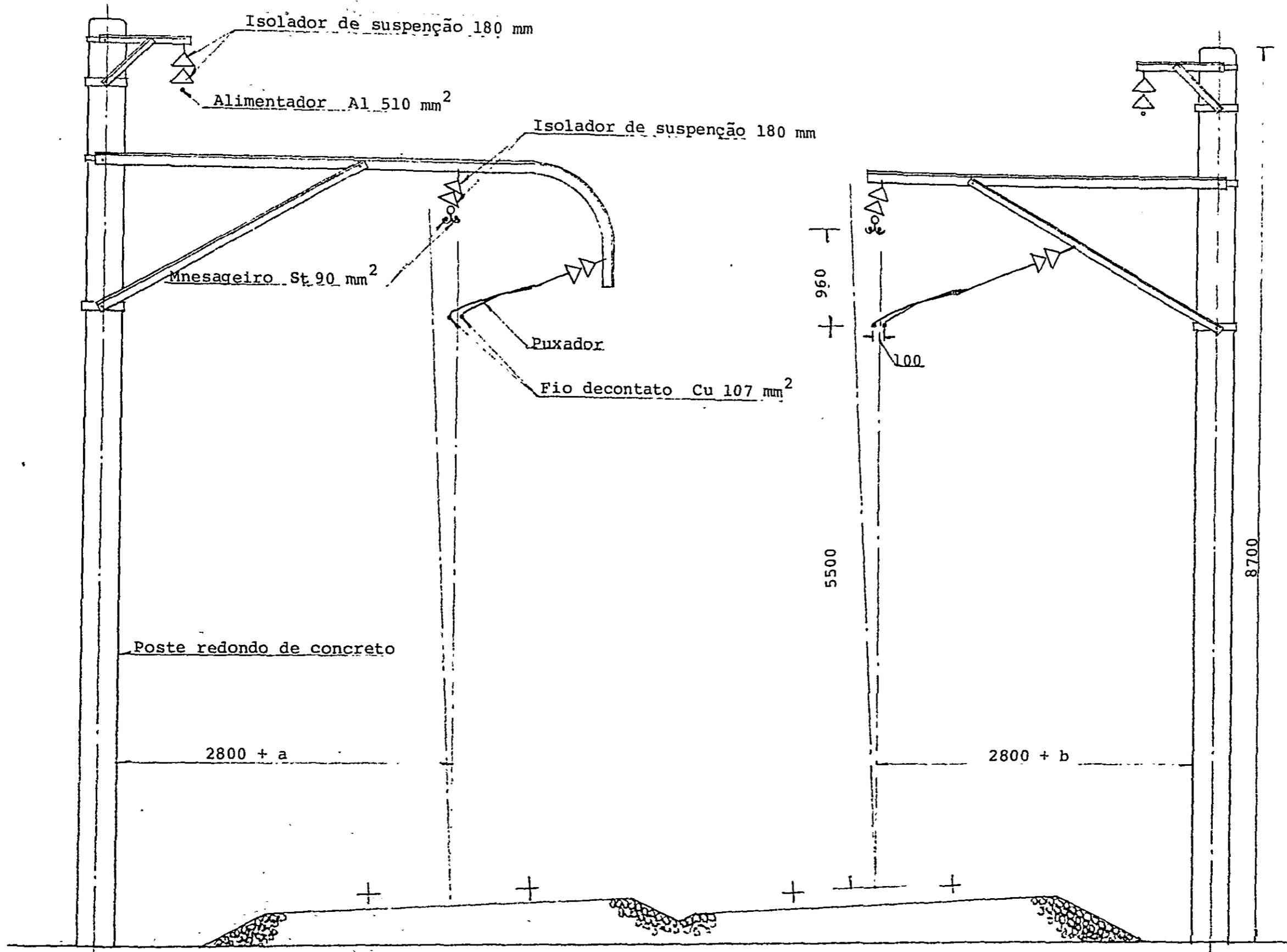


Fig. 1-3 Montagem normal do sistema da rede aérea de tração em 3.000 VCC no trecho usado a viga fixa (Em linha curva)

- O poste de treliças de aço é montado basicamente por meio de solda, usando-se o aço em ângulo equilátero ou aço em canhas.

- Para o poste de aço deve ser usado basicamente o material de aço conforme as especificações da ABNT e a espessura do seu membro principal deve medir acima de 6 mm.

13. Afastamento de Poste

- O afastamento do poste no trecho de aterro deve ser mantido acima dos valores mostrados na tabela na 2, colocando-o fora do nível de formação.

Tabela 2. Afastamento de Poste

Configuração de um Terreno	Trecho de Reta e Lado Interior de Curva em Trecho de Curva	Lado Exterior de Curva em Trecho de Curva		
		$C < 30$	$30 \leq C < 60$	$60 \leq C$
Trecho de Aterro				
Trecho de Aterro de Corte				

Nota: C: Canto, V: Largura de Valeta

- O afastamento do poste no trecho do aterro de corte deve ser calculado adicionando-se a largura da valeta aos valores da tabela 2.

- O poste a ser levantado na plataforma deve estar afastado da margem fronteira ao trilho, no mínimo 1 m.

- Exceto nos casos em que existe aterro firme contra a sobre-corrida, o poste a ser levantado atrás do batente amortecedor deve estar afastado deste no mínimo 10 m ou deve ser do tipo portal.

- O poste a ser levantado perto do cruzamento nível de passagem de veículos, deve estar afastado do cruzamento no mínimo 5 m, se possível.

14. Vão

- Os vãos normais dos suportes devem obedecer as medidas da tabela 3, e a diferença entre vãos adjacentes deve ser de no máximo, 20 m.

Tabela 3. Vãos Normais

Raio de Curva		Vão
Reta e Raio de Curva ; Acima de	m	50 m
Raio de Curva ; Acima de	m	40 m
Raio de Curva ; Acima de	m	30 m
Raio de Curva ; Acima de	m	20 m

- Em trecho onde não haja previsão de interferência devido ao vento, ou existam outros inconvenientes inevitáveis, o vão poderá ser de 60 m no máximo.

15. Profundidade de Gravação Poste de Concreto

- A profundidade da gravação do poste de concreto deve ser acima de 1/6 do seu comprimento.

- Porém, em caso de terreno de rocha firme ou de fundação de concreto, poderá ser diminuída a profundidade, de acordo com a força do poste e da fundação.

16. Fundação de Poste

- A fundação de poste de concreto deve ser de concreto ou de cascalho, conforme a carga a ser carregada, a configuração do terreno e a natureza de solo.

- A fundação de poste de aço deve ser de concreto.

- A mistura do concreto para a fundação deve obedecer a proporção de 1:3:6 do volume e a razão da água para o cimento deve ser de no máximo, 70%.

- Para a fundação de cascalho deve ser usado normalmente o cascalho de 40 mm a 60 mm.

17. Proteção para Poste

Deve ser protegido o poste que estiver sujeito a danos causados pelos veículos. (Ver anexo)

18. Poste Emendado

O poste emendado deve ser instalado conforme a anexo .

19. Localização de Estai

- Deve ser instalado o estai para o poste de ancoragem ou outro poste que apresente essa necessidade.

- O estai deve ser instalado em lugar protegido da passagem de pessoas ou veículos, devendo ser localizado dentro da área particular da ferrovia.

20. Instalação de Estai

(1) Para o sistema da rede aérea de tração pode ser usado o estai tanto do tipo simples, como do tipo V ou tipo dobrado. (Ver figura 3.)

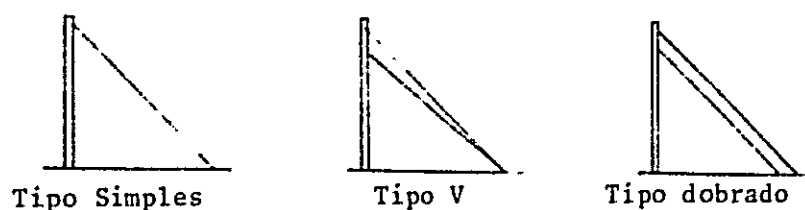


Fig.3 Tipos de Estai

A sua instalação deve obedecer os seguintes pontos:

- o ângulo formado pelo estai e o poste deve ser normalmente de 45 ou de 30 no mínimo.

- para o estai, é usado o cabo de aço galvanizado de 135 mm^2 ou 90 mm^2 .

- deve ser usada uma braçadeira de poste para ancoragem do cabo e outra braçadeira de poste para ancoragem do estai, evitando-se dessa forma os inconvenientes da utilização de uma braçadeira em comum para o dois casos.

- o estai deve ser fixado em bloco de concreto adequado a carga e a natureza do solo.

- para o estai instalado no poste de concreto, o isolador deve ser inserido 1,5 m abaixo do ponto de montagem do estai no poste.

(2) Em caso inevitável poder-se-á substituir o estai pela escora.

21. Tipos de Viga

A viga pode ser instalada segundo o tipo fixo, o tipo trasversal ou o tipo móvel e será composta conforme figura 2.

Porém, o tipo tranversal deve ser aplicado somente em lugar especial.

22. Proteção contra Ferrugem

Os suportes de aço devem ser galvanizados

23. Proteção Contra Frouxidão de Parafuso e Porca

- Os parafusos, porcas, etc devem ser protegidos contra a frouxidão mediante a pintura dos mesmos com adesivo.

- A proteção contra frouxidão deve ser executada conforme a tabela 4.

Tabela 4. Método de Proteção Contra Frouxidão de Parafuso e Porca

Instalação	Porca Simples		Porca Dobrada		Arrulela	Pino Fnedido
	Adesivo	Achamente de Rosca de Parafuso	Adesivo	Achamente de Rosca de Parafuso		
Cavilha de Base		*		○	○	
Poste de aço e Viga Fixa	○					
Cruzeta e "Dropper Arm"	○		*			
Dispositivo de Ancoragem	○					○
Isolador	*					*
Terminal de Instrumento			○			
Outro Parafuso	○		○			

Nota: * Lugar especial

Capítulo 4 Isolador

24. Tipos de Isolador

Devem ser usados dois tipos de isolador: o isolador de suspensão e o isolador de haste.

Capítulo 5 Linha Aérea de Contato

25. Tipos de Catenária

Dois tipos de catenária devem ser aplicados, conforme a velocidade e a capacidade do trem.

- A catenária simples dobrada deve ser aplicada no trecho em que a velocidade do trem é acima de 100 Km por hora.

- A catenária simples deve ser aplicada no trecho em que a velocidade do trem é de menos de 100 Km por hora.

- Porém, em trecho em que a velocidade do trem é de 100 Km por hora, mas a sua capacidade é extremamente grande, deve ser aplicada a catenária simples dobrada.

26. Separação da Linha Aérea de Contato

As linhas de contato devem ser isoladas eletricamente e individualizadas mecanicamente, conforme o sistema de alimentação de energia elétrica e da circulação de trens.

27. Espaçamento da Linha Aérea de Contato

O espaçamento entre a parte sob tensão na linha de contato e as obras ligadas à terra, deve estar acima de 250 mm.

Quando o pantógrafo tiver que levantar ou fechar frequentemente, na oficina ou no desvio de emergência por exemplo o espaçamento entre o fio de contato e pantógrafo fechado deve estar acima de 300 mm.

28. Altura do Fio de Contato

As alturas do fio de contato devem ser as seguintes:

- altura mínima 4.700 mm
- altura nominal 5.500 mm
- altura máxima 6.400 mm

29. Afastamento do Fio de Contato

Nos trechos em tangente, o afastamento nominal do fio de contato em Zig - Zag deve ser de 300 mm, para um e outro lado do eixo da via permanente.

Nos trechos em curvas, o afastamento máximo do fio de contato deve ser de 300 mm, em relação ao eixo vertical da via permanente, no ponto de suspensão.

30. Rampa do Fio de Contato

A rampa do fio de contato em relação ao plano dos boletos dos trilhos deve ser a seguinte:

- nas linhas principais deve ser de 3/1000 no máximo, mas, pode ser de 5/1000 onde um túnel ou uma ponte esteja adjacente com o cruzamento nival.

- nos desvios, deve ser de 15/1000 no máximo.

31. Inclinação da Linha de Contato

Nos pontos de suspensão, o ângulo entre o plano formado pela ligação do mensageiro ao fio de contato e pelo plano do eixo vertical da via permanente, deve ser menor do que 5°.

32. Cabo para Mensageiro

Para o mensageiro, deve ser usado o cabo de aço galvanizado, 90 mm² (7/4,0).

Quando existir indústria química próximo à linha, deverá usado outro tipo adequado de cabo, a fim de evitar-se corrosão.

33. Fio de Contato

Deve ser usado o fio de contato de cobre nu, duro, tipo ranhura, 107 mm².

34. Tensão Nominal da Linha de Contato e "Encumbrance" (Distância entre o mensageiro e o fio de contato)

A tensão nominal da linha de contato e o "Encumbrance" devem obedecer a tabela .

Tabela Tensão Nominal de Linha de Contato e "Encumbrance"

Tipos da linha de contato	Tensão (Kg)			"Encumbrance" (mm)
	Messageiro	Fio de contato	Total	
Linha de contato com o tensionamento automático para messageiro e fio de contato	1.000	1.000	2.000	960 ou 710
Linha de contato com o tensionamento automático para sô o fio de contato	1.000	900	1.900	"
Linha de contato sem o tensionamento automático	1.000	800	1.800	"

Nota ; Vão normal é de 50 m.

35. Isolamento do Messageiro

O messageiro a ser fixado na passagem superior e na obra da plataforma deve ser isolado, inserindo-se os isoladores em direção às extremidades da passagem superior, o que impedirá assegurar-se o espaçamento necessário.

Neste caso o messageiro e o fio de contato devem ser compensado, ligando-se os com os conectores nas extremidades.

36. Proteção do Messageiro

O messageiro deve ser protegido, nos pontos onde haja previsão de dano do fio de componente, tal como nos pontos de cruzamento dos messageiros e de suspensão dos suspensórios.

(1) Ponto de Cruzamento dos Messageiro

No caso em que a distância entre os messageiros é de 150 mm a 300 mm, deve ser montado o tubo de proteção, enrolando-se o messageiro com o "Grip".

No caso em que a distância entre os messageiros é menor do que 150 mm, deve ser enrolado com o "Grip" e deve ser compensado pelo conector.

(2) Ponto de Suspensão do Suspensório

Deve ser montado o protetor, nos pontos de suspensão do suspensório, conforme o seguinte:

Reta e R	1.600	;	Primeiro suspensório
1.600	R 800	;	Primeiro e segundo suspensório
	R 800	;	Todos os suspensórios
Travessão		;	"
Parte paralelo		;	"
Ponto de "Feed branch"		;	Dois suspensórios que ficam nas extremidades do "Feed branch"

37. Suspensório e Tirante

- As distâncias normais de cada suspensório e tirante são os seguintes:

Suspensório	5 m
Tirante	10 m

- O comprimento mínimo do suspensório é de 150 mm.

- Para o suspensório que isola o mensageiro deve ser inserido um isolador de suspensão de 150 mm .

38. Retrator ("Steady brace")

No trecho em tangente e em curva cuja raio está acima de 1.600 m, deve ser instalado o retrator, conforme o seguinte:

- no caso da viga fixa e do cantilever fixo

Linha principal ; cada ponto de suspensão

Desvio ; cada quatro vãos

- no caso do cantilever móvel ; cada ponto de suspensão

- o ângulo nominal formado pelo retrator e pelo plano dos boletos dos trilhos é de 11° no tipo de arco e de 20° no tipo de reta.

39. Puxador (Pull-off)

No trecho em curva cujo raio é menor do que 1.600 m, deve ser instalado o puxador, conforme o seguinte:

- o ângulo nominal formado pelo puxador e pelo plano dos boletos dos trilhos é de 11° no tipo de arco e de 15° no tipo de reta.

- no trecho de curva de transição, poderá ser instalado retrator, no caso em que a tensão lateral do fio de contato seja pequena.

40. Dispositivo do Travessão

O travessão deve ser instalado conforme o seguinte:

- o fio de contato da linha principal deve ficar sempre abaixo do fio de contato do travessão.

- deve ser instalada a presilha transversal, no lugar do cruzamento dos fios de contato.

- o comprimento nominal da presilha transversal é mostrado na tabela .

Tabela Comprimento de Presilha Transversal

Número de "Point and Crossing"	Comprimento Nominal
Menos de Número 12	1.400 mm
Número 16	1.800 mm
Númerc 18	2.000 mm

- os fios de contato e mensageiros devem ser compensados entre si pelo conector.

- os mensageiros devem ser protegidos para não sofram mecânica e eletricamente o dano dos fios componentes pelo fricção devido a contato dos mensageiros entre si e pela corrente de tração.

41. Ligação do Fio de Contato e do Mensageiro

A ligação do fio de contato e do mensageiro deve ser executada conforme o seguinte:

- o ponto de ligação do fio de contato e do mensageiro deve sre colocado no lugar em que não impeça a passagem do pantógrafo.

- os fios de contato devem ser ligados com o conector para fio de contato duplo ("Double ear")

42. Tipos de Conectores

Os tipos de conectores são mostrados na tabela .

Tabela Tipos de Conector

Lugar	M - FC	M - M	FC - FC
Parte paralelo	Cu 100 mm ²	Cu 100 mm ²	
Ponto de Cruzamento		Fe 55 mm ²	Cu 100 mm ²
Ponto de Compensação	Cu 40 mm ²	Fe 55 mm ²	

Nota: M; Mensageiro FC; Fio de Contato

43. Dispositivo de Ancoragem de Linha de Contato

O dispositivo de ancoragem do fio de contato e do mensageiro deve ser instalado conforme o seguinte:

- o comprimento do trecho da ancoragem deve ser de 1.600 m no máximo.
- deve-se ancorar o poste.
- o poste particular para ancorar não é usado, exceto em caso especial.

44. Pre-tensionamento

O fio de contato e o mensageiro devem ser submetidos ao pre-tensionamento.

A tensão e o tempo para pre-tensionamento são mostrados na tabela .

Tabela Tensão e Tempo de Pre-tensionamento

Cabo	Ultra-tensão	Tempo
Fio de contato , Cu 107 mm ²	2.000 Kg	30 minutos
Mensageiro ; St 90 mm ²	1.600 Kg	10 minutos

45. Dispositivo de Tensionamento

Para a linha de contato na via principal, deve ser instalado o dispositivo de tensionamento, a fim de manter em boas condições o desempenho do apanhamento de corrente da tração, contra a variação da temperatura.

Para a linha de contato que cruza com a linha principal, deve ser instalado o dispositivo de tensionamento, considerando a sua necessidade.

45. Tipos de Dispositivo de Tensionamento e sua Aplicação

Os tipos de dispositivo de tensionamento e suas aplicações são os seguintes:

- Dispositivo de Tensionamento Automático

(1) Tipo polia

Empregado na linha de contato e no fio de contato da via principal.

Empregado na linha de contato e no fio de contato que cruza com a via principal.

No caso em que o comprimento de ancoragem seja menor do que 800 m, o dispositivo será instalado em uma extremidade; caso seja maior do que 800 m, em ambas as extremidades.

(2) Tipo mola

Empregado na linha de contato e no fio de contato no travessão que cruza com a via principal.

Empregado na linha de contato e no fio de contato do desvio.

No caso em que o comprimento de ancoragem seja menor do que 300 m, o dispositivo será instalado em uma extremidade; caso seja maior do que 300 m, em ambas as extremidades.

- Dispositivo de Tensionamento Manual

"Turnbuckle" e "Strap" ajustável são usados para a linha de contato e o fio de contato quando não seja necessário o dispositivo de tensionamento automático.

46. "Anti - Creeper" de Fio de Contato

Na linha de contato que tem os dispositivos de tensionamento automático do tipo polia nas extremidades do trecho da ancoragem, será instalado o "Anti-creeper" no ponto neutral do trecho da ancoragem, de modo a controlar o deslocamento quando houver previsão de se tornar grande, devido às condições da via permanente, tal como sua curva e rampa.

47. Tipos de Dispositivo de Secionamento e Sua Aplicação

- Secionamento Elétrico

O secionamento aéreo é aplicado para a linha principal.

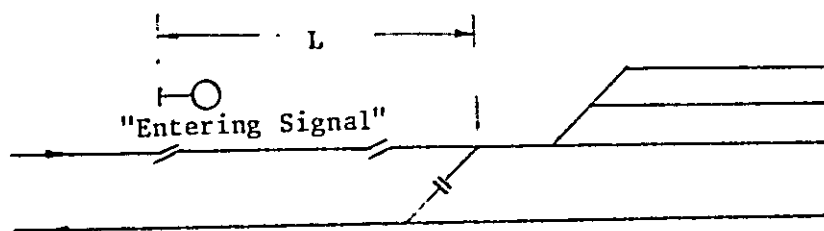
O isolador de secionamento é aplicado para o desvio e para o travessão, tendo dois tipos, o "Wood type section" e "FRP type section" ("Fiberglass Reinforced Plastico type section").

- Secionamento Mecanico

O "Air-Joint" é aplicado para secionar mecanicamente a linha de contato na via principal.

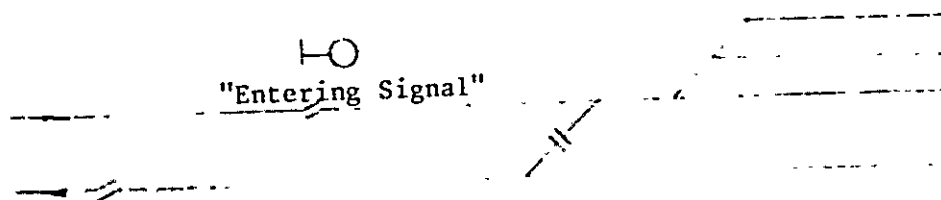
48. Localização do Dispositivo de Secionamento Elétrico

- No trecho da linha dupla, o dispositivo de secionamento a ser instalado perto do "Entering signal", deve ser localizado acordando com o lugar do sinal ou depois do sinal.



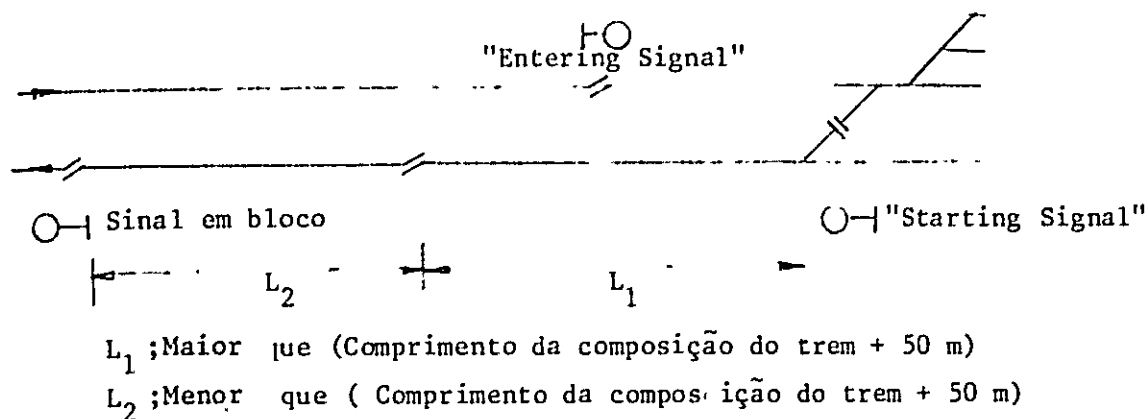
L ; Limite permissível para localizar o secionamento

- No trecho da linha dupla, o dispositivo de secionamento a ser instalado perto do "Starting signal", deve estar afastando do "Points and Crossing" de desvio, e a sua distância deve ser 50 m além do comprimento da composição do trem.

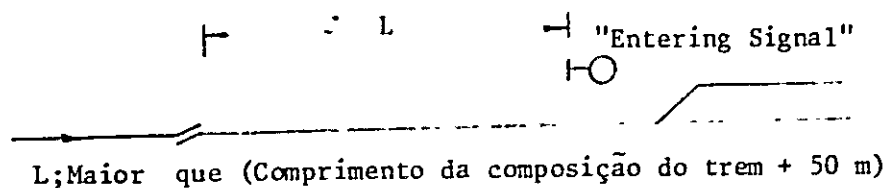


L ; Maior que (Comprimento da composição do trem + 50 m)

- No caso em que a distância entre o dispositivo de seccionamento e o sinal em bloco ("Block signal") situado na frente do seccionamento, seja menor do que a soma dos 50m ao comprimento da composição do trem, deve-se localizar o seccionamento depois do sinal em bloco.

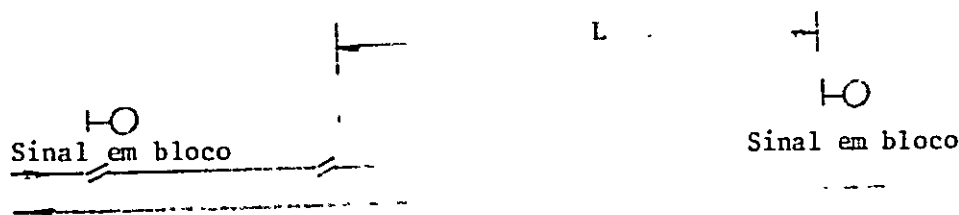


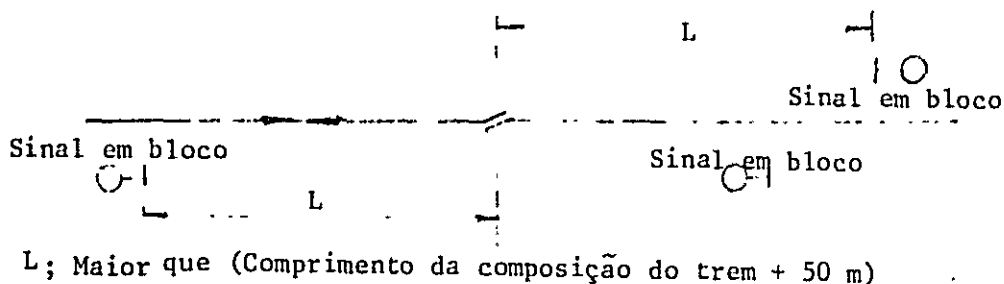
- No trecho da linha simples, o dispositivo de seccionamento a ser instalado perto do "Entering signal", deve estar afastando numa distância do que a soma dos 50 m ao comprimento do trem, depois do sinal.



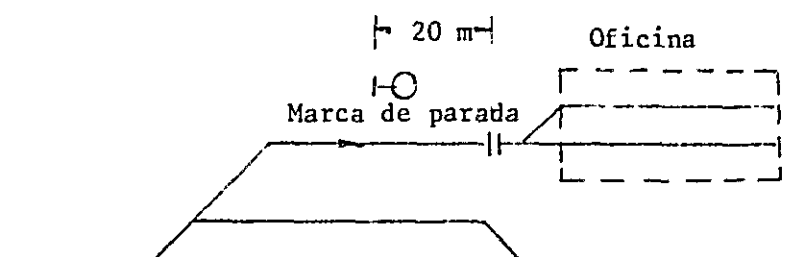
- No trecho da linha simples e no lugar que se desviar o trem, deve ser localizar o dispositivo de seccionamento de acordo com acima mencionado.

- O dispositivo de seccionamento a ser instalado entre as estações, deve ser localizado conforme as figuras seguintes.





- O dispositivo de seccionamento para a linha da oficina, deve ser localizado 20 m à frente da marca da parada.



49. Secionamento Aéreo

O seccionamento aéreo deve ser instalado conforme o seguinte:

- o espaçamento entre as linhas de contato na parte paralela deve ser de 300 mm;

- o isolador para o seccionamento deve ser instalado de modo que a sua extremidade inferior fique a uma distância de, no mínimo, 200 mm do fio de contato da linha principal;

- a parte paralela deve ser instalada num vão cujo comprimento seja de, no mínimo, 50 m;

porém, quando o vão medir menos do que 50 m, poderá ser instalado em dois vãos;

- entre o fio de contato e o mensgeiro que pertencem ao mesmo sistema de alimentação de energia na parte paralela, deve-se fazer a compensação dos conectores.

50. Isolador de Secionamento

O isolador de seccionamento a ser instalado no travessão e no desvio, deve ser afastado suficientemente do eixo da via permanente principal, de modo a não interferir no pantógrafo que passa pela linha principal.

Quando se colocado o dispositivo de tensionamento automático para a linha de contato ou para o fio de contato, o isolador de secionamento deve ser instalado de modo que não sofra deformação considerável.

51. "Air Joint"

O "Air Joint" deve ser instalado conforme o seguinte:

- o espaçamento da linha de contato na parte paralela é de 150 mm;
- entre os mensageiro e entre o fio de contato e o mensageiro deve se fazer a compensação através dos conectores. Além disso, o fio de contato deve ser compensado pelos conectores nas extremidades da parte paralela;
- o comprimento do conctor deve ser menor do que a distância entre o mensageiro e o fio de contato, porém com uma margem adequada, de modo a não interferir no pantógrafo;
- a altura do levantamento do fio de contato no ponto de suspensão deve ser de 300 mm, e as ferragens de emenda devem ser montadas de modo a não interferir na passagem do pantógrafo;
- o vão para o "Air Joint" deve ser maior do que 40 m; em caso em que o vão seja menor do uqe 40 m, pode ser instalado em dois vãos.

52. Secionamento para Emergência

O secionamento para emergência será instalado onde exista a necessidade de secionar eletricamente a linha de contato.

O secionamento para emergência entre as estações deve ser instalado no "Air Joint" de acordo com item 49 (Secionamento aéreo).

O secionamento para emergência na estação deve ser instalado de acordo com item 50 (Isolador de Secionamento).

Capítulo 6. Sistema de Alimentação e Comutador

53. Composição do Sistema de Alimentação

O sistema de alimentação deve ser composto conforme o seguinte:

- o sistema de alimentação deve ser dividido separadamente entre o sistema de circulação, entre linha de ida ou de volta e entre a direção do trem;

seu seccionamento e sua ligação será executada através os disjuntores e as chaves na subestação, cabine seccionadora e de paralelismo ou outro lugar necessário;

- o sistema de alimentação para a oficina deve ser separado do sistema da linha principal.

54. Instalação de Chave

A chave deve ser instalada conforme o seguinte:

- as chaves devem ser instaladas em grupo no poste articular ou no poste do sistema da rede aérea de tração;

- as chaves devem ser montadas de modo que qualquer pessoa não tenha contato com eles;

- o indicador de temperatura será montado nos terminais e facas das chaves, conforme sua necessidade.

Capítulo 7 Rede Aérea de Alimentação

55. Suspensão e Disposição do Alimentador

O alimentador deve ser suspenso no poste do sistema da rede aérea de tração, mas, em caso especial, poderá ser suspenso no poste particular.

O cabo condutor poderá ser empregado somente para casos especiais, como, por exemplo, onde conduz o alimentador para a linha de contato da subestação.

56. Espaçamento de Alimentador entre si

O espaçamento horizontal e vertical do alimentador entre si deve ser tal que evite o contato, considerando-se o vão e a tensão do cabo.

57. Tipos de Cabo de Alimentador e Sua Tensão Nominal

Os tipos de cabo de alimentador e sua tensão nominal são mostrados na tabela .

Tabela Tipos de Cabos de Alimentador e Suas Tensão

Tipos de cabo		Tensão nominal
Cabo de cobre nu, duro	; 325 mm ²	1.200 Kg
"	; 200 mm ²	1.000 Kg
"	; 100 mm ²	600 Kg
A. C. S. R	; 520 mm ²	1.000 Kg
Cabo de alumino nu, duro	; 510 mm ²	700 Kg
"	; 300 mm ²	550 Kg
"	; 200 mm ²	300 Kg
"	; 95 mm ²	130 Kg

58. Ligação do Alimentador

O alimentador deve ser ligado conforme o seguinte:

- o alimentador deve ser ligado com a garra de ligação, tipo de pressão,

- o ponto de ligação do alimentador deve estar afastado mais do que 2 m do ponto de suspensão;
- o indicador de temperatura deve ser montado no ponto de ligação do alimentador, conforme a sua necessidade.

59. Proteção Contra Ferrugem da Cruzeta

A cruzeta deve ser galvanizada.

60. "FeedBranch"

O "Feed branch" deve ser instalado conforme o seguinte:

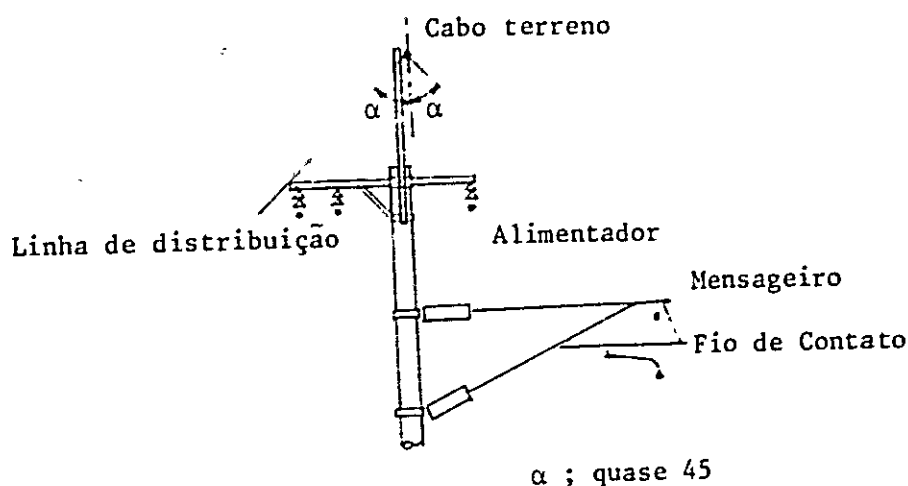
- deve ser localizado a cada 250 m de distância nominal;
- deve ser aplicado o cabo de cobre nu do que 100 mm^2 ;
- a ligação entre o "Feed branch" e o fio de contato deve ser feita de modo a não interferir na função do dispositivo de tensionamento automático;
- o ponto do "Feed branch" deve ser compensado com a ligação de conctor entre o fio de contato e o mensageiro.

Capítulo 8 Instalação de Proteção

61. Cabo Terreno

O cabo terreno deve ser instalado conforme o seguinte:

- deve ser aplicado o cabo de aço galvanizado de 55 mm^2 ;
- o ângulo formado pelo cabo terreno e pela linha aérea a ser protegida, deve ser de 45 aproximadamente;
- o cabo terreno deve ser instalado de modo que não tenha contato com a linha aérea a ser protegida;
- o cabo terreno deve ser ligado onde não exista a tensão de cabo;
- o ponto de suspensão do cabo terreno deve ser protegido pela emenda premoldada.



O cabo terreno deve ser ligado à terra do seguinte modo:

- deve ser ligado à terra no intervalo de 200 m de distância nominal, e sua resistência de terra deve ser de 30 ohms no máximo;
- poder-se-á ligá-lo a terra em conjunto com a ligação do para-raios da linha de distribuição em alta tensão;

- o pólo terreno deve ser enterrado de modo que não interfira na fundação do suporte, na caixa de réle de impedância, no cabo subterrâneo e nas obras da estação.

62. Pára-Raios

O pára-raios deve ser instalado a intervalos de aproximadamente 500 m.

O pára-raios deve ser instalado em poste que não tenha excessivo instalações de outro dispositivos.

63. Ligação à terra

A tabela mostra as instalações a aterrar e suas resitências de terra.

Tabela Instalações a aterrar e suas resistências

Instalações	Resistência
Cabo térreo	menor que 30 ohms
Pára-raios	"
Poste de aço	menor que 100 ohms
Plataformas, pontes, passarelas superiores, etc. que sustentam a linha de contato	"
Suporte de aço e caixa de equipamentos elétricos	"

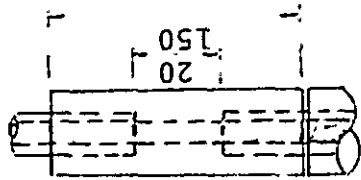
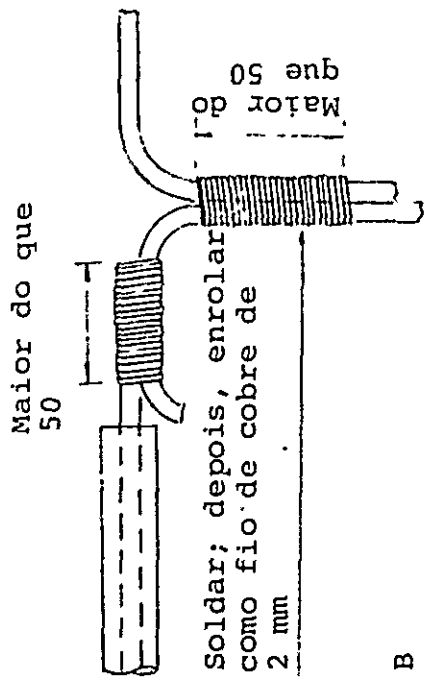
Deve ser usado o cabo de isolamento termoplastico, 600 V, 22 mm².

O fio térreo deve ser protegido através do tubo de vinil com 0,75 m na parte subterrânea e com 2 m na parte superior ao solo.

O fio terreo e pólo térreo devem ser enterrados na profundidade de 0,75 m.

O espaçamento entre o cabo subterrâneo o fio térreo ou o pólo térreo deve ser maior do que 1 m.

O espaçamento entre as ligações diferentes à terra deve ser de 5 m em nominal.



Detalhe da parte B

Detalhe da parte A

Número	Nome
1	Cabo
2	Pólo terreno
3	"
4	Tubo de vinil
5	"
6	Placa de enterramento
7	"Band" de liga inoxidável

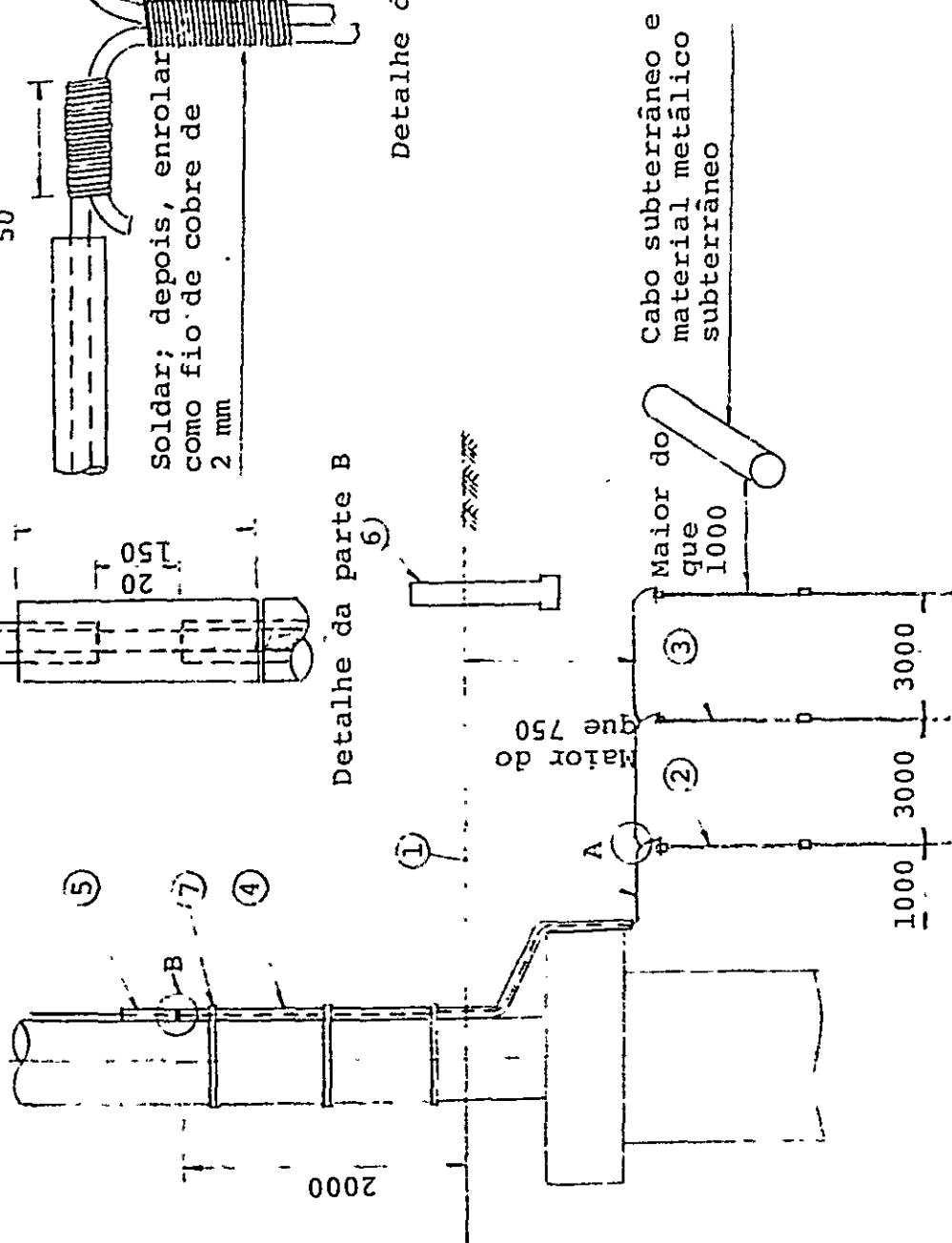


Figura Um exemplo da instalação da ligação à terra

Capítulo 9. Circuito de Retorno

64. Retorno à estação

Deve ser usado o cabo de cobre nu, duro de 325 mm² ou o cabo de alumínio nu, duro de 510 mm² para o tipo aéreo.

Deve ser usado o cabo de alumínio de isolamento termoplástico, 600 V para o tipo subterrâneo.

Uma das extremidades deve ser ligada ao neutral do "Impedance bond" e a outra deve ser ligada aos terminais do reator em série.

Capítulo 10. Placa de Sinalização

65. Placa do Final da Linha Aérea de Contato

Deve ser instalada no final da linha aérea de contato.

A figura mostra a forma e a dimensão.

66. Placa do Secionamento da Linha Aérea d e Contato

Deve ser instalada na extremidade início do dispositivo de secionamento.

A figura mostra a forma e a dimensão.

67. Placa da Numeração de Poste

Deve ser colocada no poste, a 2,5 m aproximadamente acima do plano do trilho.

Deve ser escrito o número, a data de levantamento e o tipo de fundação.

A figura mostra a forma e a dimensão.

68. Placa de Atenção para Cruzamento Nível

(Minuta)

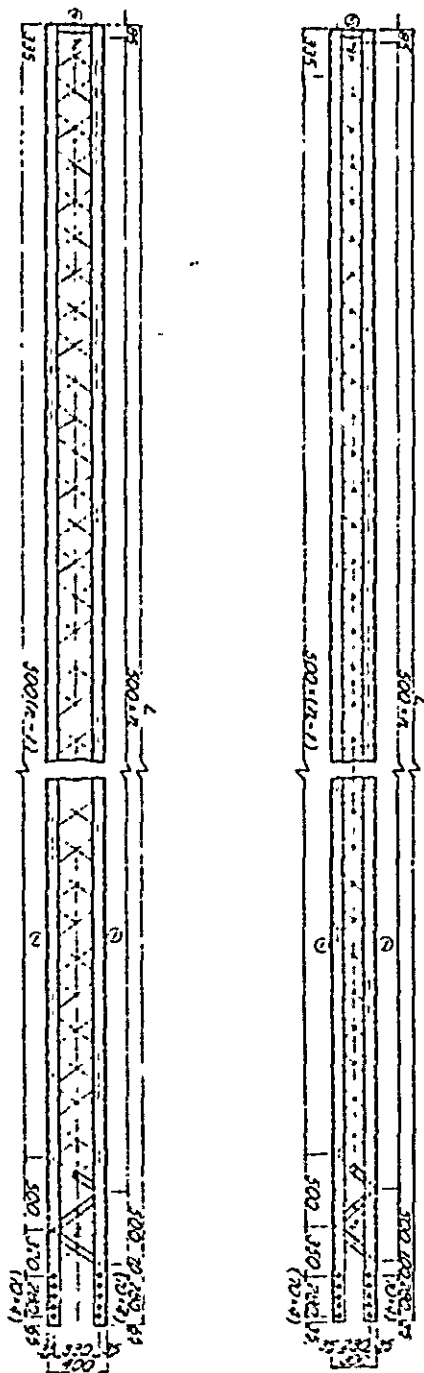
ANEXO DAS NORMAS PARA INSTALAÇÃO DO SISTEMA DA REDE AÉREA
DE TRACÇÃO MODERNIZADA EM 3.000 VCC

Tabela Tipos de poste de concreto(Pretensioned and Reinforced Span Concrete Pole)

Comprimento (m)	Diâmetro (Cm)	Momento de Fleção do Projeto (Kg.m)
9	35	5.000
10	"	5.000 6.500
11	"	5.000 6.500 7.500
12	"	5.000 6.500 7.500
13	"	7.500
14	"	7.500

Segmento acima do poste de aço (65 x 300 x 400)

Soldagem do membro transversal



Nota:

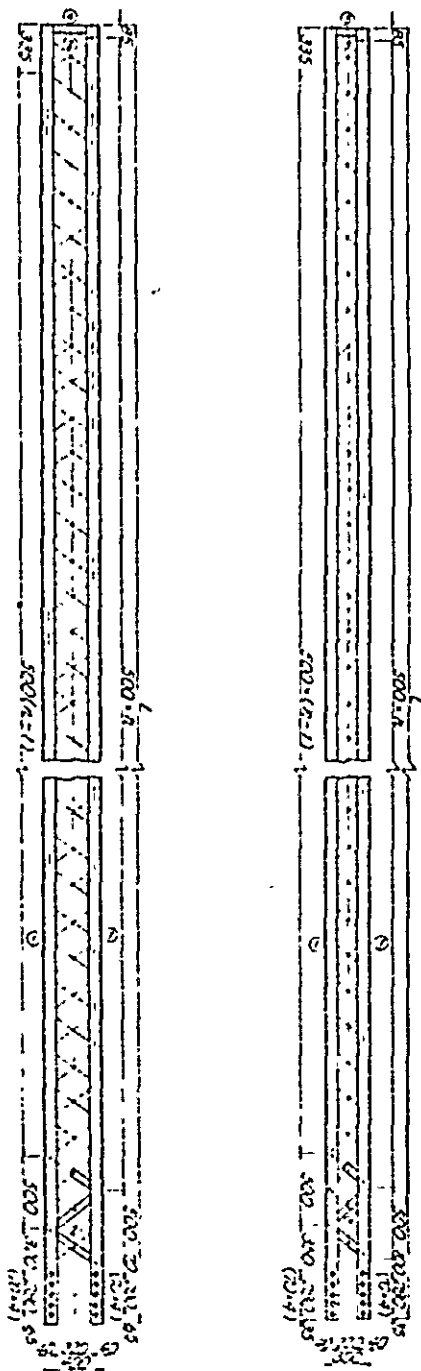
Aço em Ângulo equilátero ; 65 x 65 x 8

Barra de aço ; 50 x 9

L = de 7 m a 10 m

Segmento acima do poste de aço (75 x 300 x 400)

Soldagem do membro transversal



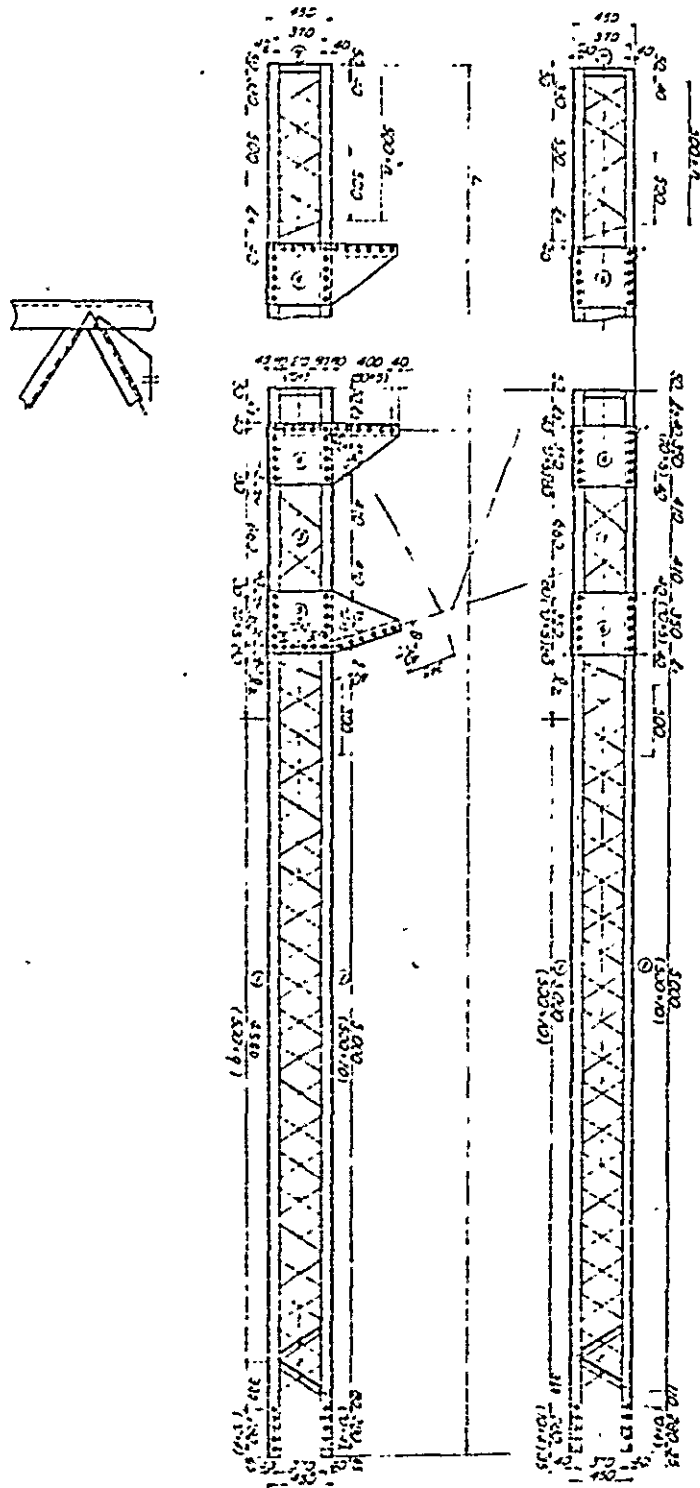
Nota:

Aço em ângulo equilátero ; 75 x 75 x 9

Barra de aço ; 50 x 9

L = de 7 m a 10 m

Segmento acima do poste de aço (75 x 450 x 450)



Nota

Aço em ângulo equilátero ; 75 x 75 x 9 e 50 x 50 x 6

Barra de aço ; 50 x 6

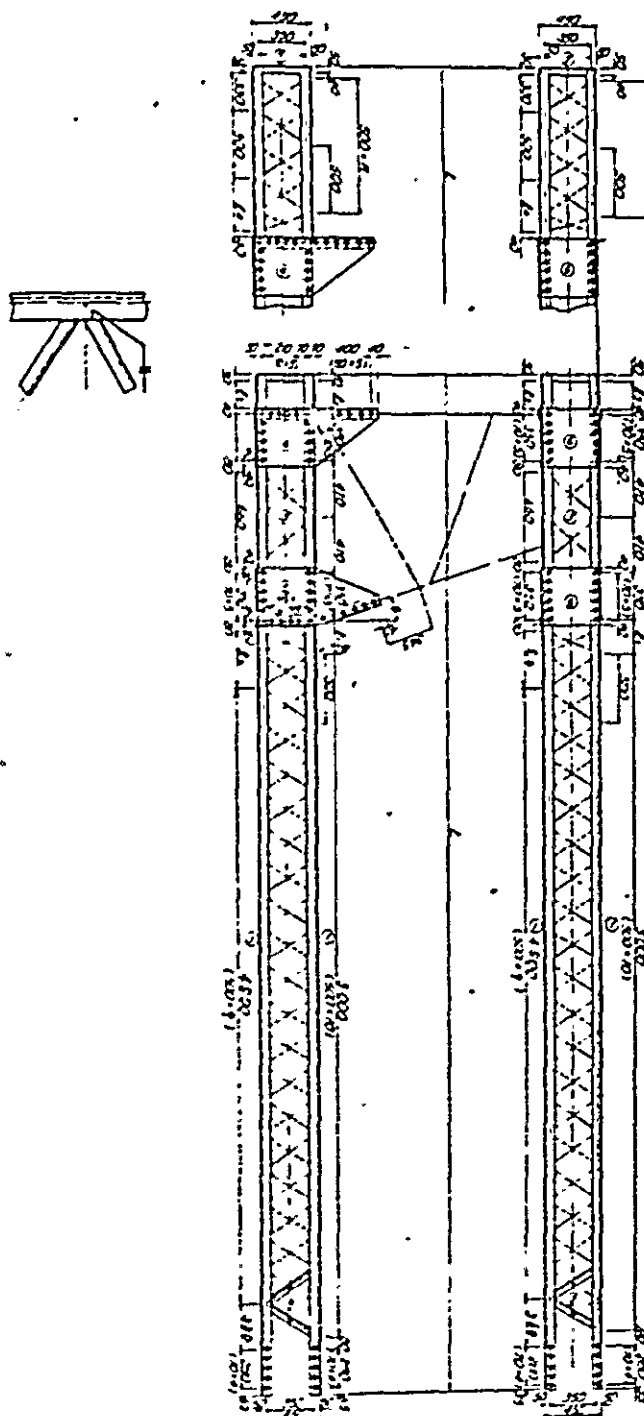
Plato de aço ; 9 e 6 mm

L = de 7,5 m a 10 m

Tabela Materiais para o parte de cima do poste de aço (75 x 450 x 450)

Número	Nome de Membro	Tipo de Material	Comprimento (mm ou m)	Peso por unidade (Kg/m ² ou Kg/m ³)	Peso por um Membro (Kg)	7,5 m		8,0 m		8,5 m		9,0 m		9,5 m		10,0 m	
						N	Peso	N	Peso	N	Peso	N	Peso	N	Peso	N	Peso
1	Aço em Ângulo equilateral	75x75x9	7.500	9,96	74,70	4	298,80										
1	"	"	8.000	"	79,68			4	318,72								
1	"	"	8.500	"	84,66					4	338,64						
1	"	"	9.000	"	89,64							4	358,56				
1	"	"	9.500	"	94,62									4	378,48		
1	"	"	10.000	"	99,60											4	398,40
2	"	50x50x6	344	4,43	1,52	84	127,93	96	146,21	104	158,39	112	170,58	120	182,76	128	194,94
3	"	"	390	"	1,73	8	13,82	8	13,82	8	13,82	8	13,82	8	13,82	8	13,82
4	Plato de Aço	9	0,315	70,65	22,25	2	44,50	2	44,50	2	44,50	2	44,50	2	44,50	2	44,50
5	"	"	0,309	"	21,83	2	43,66	2	43,66	2	43,66	2	43,66	2	43,66	2	43,66
6	"	6	0,194	47,10	9,14	4	36,56	4	36,56	4	36,56	4	36,56	4	36,56	4	36,56
7	Barra de Aço	50x6	300	3,53	1,06	4	4,24	4	4,24	4	4,24	4	4,24	4	4,24	4	4,24
8	Parafuso	16x35			0,145	48	6,96	48	6,96	48	6,96	48	6,96	48	6,96	48	6,96
9	"	16x40			0,153	40	6,12	40	6,12	40	6,12	40	6,12	40	6,12	40	6,12
Peso Total (Kg)						582,59	620,82	652,89	685,00	717,10	749,20						

Segmento acima do poste de aço (90 x 450 x 450)

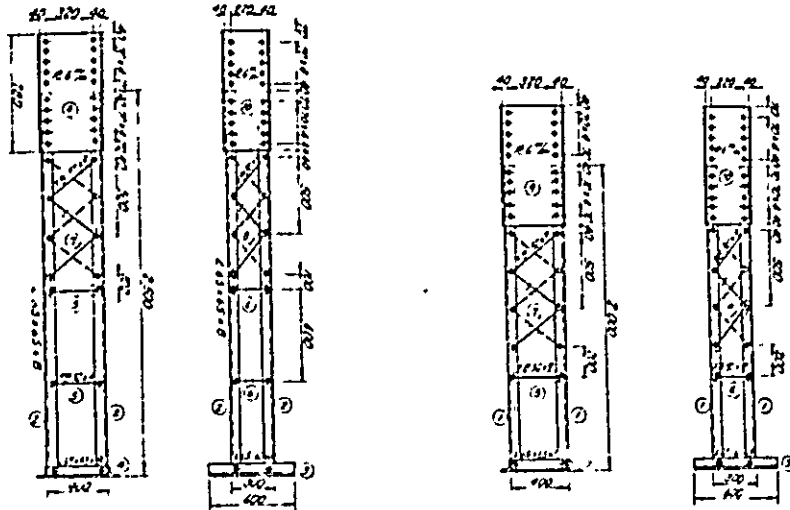


Nota:
 Aço em ângulo equilátero ; 90 x 90 x 10 e 50 x 50 x 6
 Barra de aço ; 50 x 6
 Placa de aço ; 9 e 6 mm
 L = de 7,5 m a 10 m

Tabela Materiais para o parte de cima do poste de aço (90 x 450 x 450)

Número	Nome de Membro	Tipo de Material	Comprimento (mm ou m)	Peso por unidade (kg/m ₂ ou kg/m)	Peso por um Membro (Kg)	7,5 m		8,0 m		8,5 m		9,0 m		9,5 m		10,0 m	
						N	Peso	N	Peso	N	Peso	N	Peso	N	Peso	N	Peso
1	Aço em Ângulo equilateral	90x90x10	7.500	13,30	99,75	4	399,00										
1	"	"	8.000	"	106,40			4	425,60								
1	"	"	8.500	"	113,05					4	452,20						
1	"	"	9.000	"	119,70							4	478,80				
1	"	"	9.500	"	126,35									4	505,40		
1	"	"	10.000	"	133,00											4	532,00
2	"	50x50x5	310	4,43	1,37	84	115,33	96	131,81	104	142,79	112	153,78	120	164,76	128	175,74
3	"	"	351	"	1,55	8	12,43	8	12,43	8	12,43	8	12,43	8	12,43	8	12,43
4	Plato de Aço	9	0,315	70,65	22,25	2	44,50	2	44,50	2	44,50	2	44,50	2	44,50	2	44,50
5	"	"	0,300	"	21,83	2	43,66	2	43,66	2	43,66	2	43,66	2	43,66	2	43,66
6	"	6	0,194	47,10	9,14	4	36,56	4	36,56	4	36,56	4	36,56	4	36,56	4	36,56
7	Barra de Aço	50x6	0,270	3,53	0,95	4	3,80	4	3,80	4	3,80	4	3,80	4	3,80	4	3,80
•	Parafuso	16x35			0,145	48	6,96	48	6,96	48	6,96	48	6,96	48	6,96	48	6,96
•	"	16x40			0,153	40	6,12	40	6,12	40	6,12	40	6,12	40	6,12	40	6,12
Peso Total (Kg)						668,36	711,44	749,02	786,61	824,19	861,77						

Segmento abaixo do poste de aço (65 x 300 x400)



Segmento abaixo do poste de aço (75 x 300 x 400)

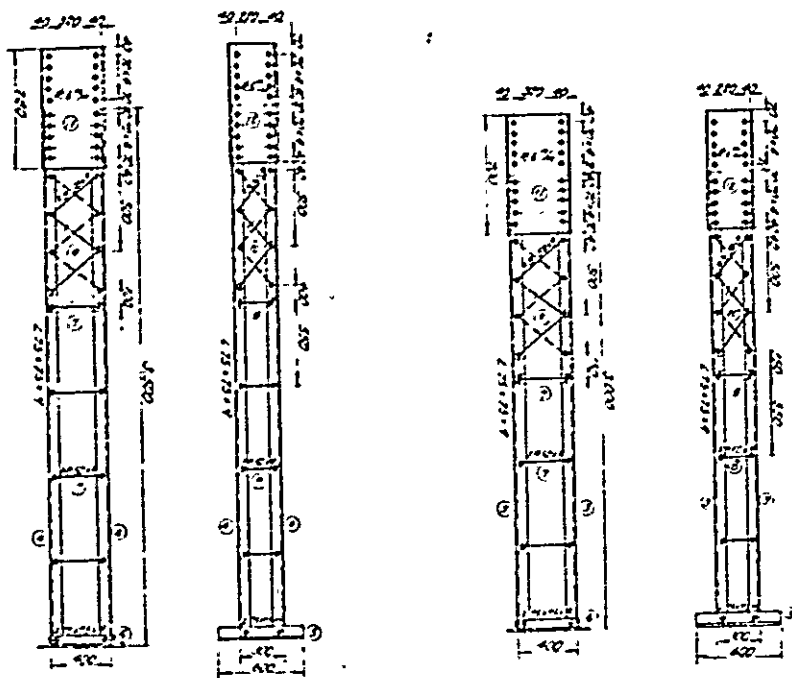


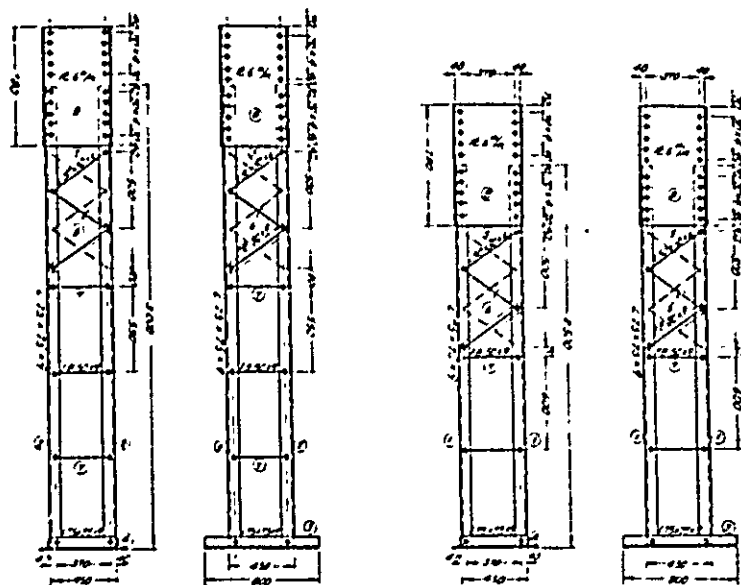
Tabela Materiais para o parte de baixo do poste de aço (65 x 300 x 400)

Número	Nome de Membro	Tipo de Material	Comprimento (mm ou m)	Peso por unidade (Kg/m ₂ ou Kg/m ³)	Peso por um Membro (Kg)	2,0 m		2,5 m	
						N	Peso (Kg)	N	Peso (Kg)
1	Aço em An-gulo equi-latero	65x65x8	2.000	7,66	15,32	4	61,28		
2	"	"	2.500	"	19,15			4	76,60
3	"	"	600	"	4,60	2	9,20	2	9,20
4	"	"	400	"	3,06	2	6,12	2	6,12
5	Barra de aço	50x9	400	3,53	1,41	2	2,82	4	5,64
6	"	"	300	"	1,06	2	2,12	4	4,24
7	"	"	465	"	1,64	6	9,84	6	9,84
8	"	"	390	"	1,38	6	8,28	6	8,28
9	Plato de Aço	6	0,312	47,10	14,70	2	29,40	2	29,40
10	"	"	0,234	"	11,02	2	22,04	2	22,04
Ø	Parafuso	16x35			0,145	16	2,32	24	3,48
○	"	16x40			0,153	88	13,46	88	13,46
●	"	16x45			0,161	8	1,29	8	1,29
	Arruela	50x9x17,5φ			0,130	8	1,04	8	1,04
Peso Total (Kg)						169,21		190,63	

Tabela Materiais para o parte de baixo do posto de aço (75 x 450 x 450)

Número	Nome de Membro	Tipo de Material	Comprimento (mm ou m)	Peso por unidade (Kg/m ² ou Kg/m)	Peso por um Membro (Kg)	2,5 m		3,0 m	
						N	Peso (Kg)	N	Peso (Kg)
1	Aço em Ângulo equilateral	75x75x9	2.500	9,96	24,90	4	99,60		
2	"	"	3.000	"	29,88			4	119,52
3	"	"	800	"	7,97	2	15,94	2	15,94
4	"	"	450	"	4,48	2	8,96	2	8,96
5	"	50x50x6	997	4,43	2,20	4	8,80	4	8,80
6	Barra de Aço	50x9	497	3,53	1,75	8	14,00	8	14,00
7	"	"	450	"	1,59	8	12,72	12	19,08
8	Plato de Aço	6	0,351	4,71	16,53	4	66,12	4	66,12
Ø	Parfuso	16x35			0,145	80	11,60	80	11,60
○	"	16x40			0,150	24	3,67	32	4,90
●	"	16x45			0,161	8	1,29	8	1,29
	Arruela	50x9x17,5φ			0,130	8	1,04	8	1,04
Peso Total (Kg)						243,74		271,25	

Segumento abaixo do poste de aço (75 x 450 x 450)



Segumento abaixo do poste de aço 90 x 450 x 450)

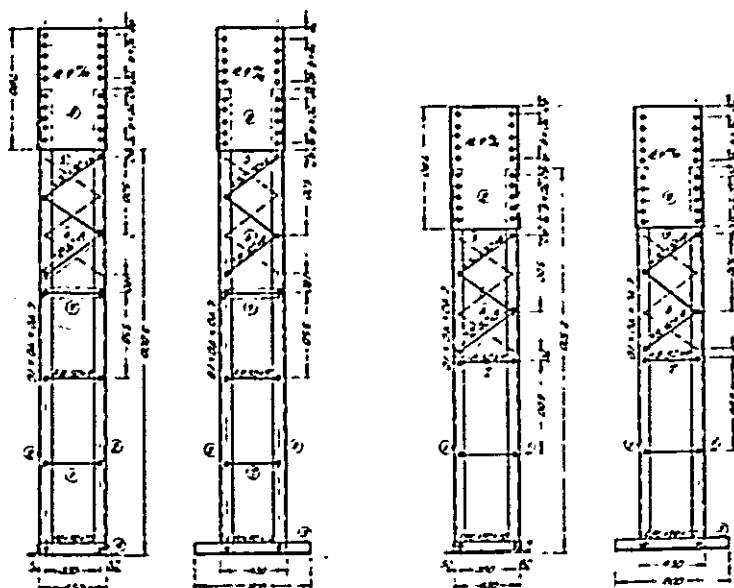


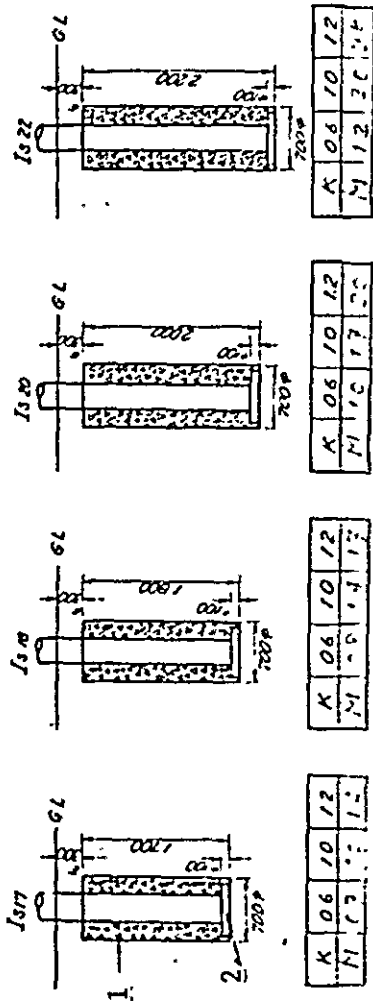
Tabela Materiais para o parte de baixo do posto de aço (75 x 300 x 400)

Número	Nome de Membro	Tipo de Material	Comprimento (mm ou m ²)	Peso por unidade (Kg/m ² ou Kg/m ³)	Peso por um Membro (Kg)	2,0 m		2,5 m		3,0 m		3,5 m	
						N	Peso (Kg)	N	Peso (Kg)	N	Peso (Kg)	N	Peso (Kg)
1	Aço em Ângulo equilateral	75x75x9	2.000	9,96	19,92	4	79,68						
2	"	"	2.500	"	24,90			4	99,60				
3	"	"	3.000	"	29,88					4	119,52		
4	"	"	3.500	"	34,86							4	139,44
5	"	"	600	"	5,98	2	11,96	2	11,96	2	11,96	2	11,96
6	"	"	400	"	3,98	2	7,96	2	7,96	2	7,96	2	7,96
7	Barra de Aço	50x9	400	3,53	1,41	2	2,82	4	5,64	6	8,46	8	11,28
8	"	"	300	"	1,06	2	2,12	4	4,24	6	6,36	8	8,48
9	"	"	456	"	1,61	6	9,66	6	9,66	6	9,66	6	9,66
10	"	"	383	"	1,35	6	8,10	6	8,10	6	8,10	6	8,10
11	Plato de Aço	6	0,312	47,10	14,70	2	29,40	2	29,40	2	29,40	2	29,40
12	"	"	0,234	"	11,02	2	22,04	2	22,04	2	22,04	2	22,04
	Parafuso	16x35			0,145	16	2,32	24	3,48	32	4,64	40	5,80
	"	16x40			0,153	88	13,46	88	13,46	88	13,46	88	13,46
	"	16x45			0,161	8	1,29	8	1,29	8	1,29	8	1,29
	Arruela	50x9x17,5φ			0,130	8	1,04	8	1,04	8	1,04	8	1,04
Peso Total (Kg)						191,85	217,87	243,89	269,91				

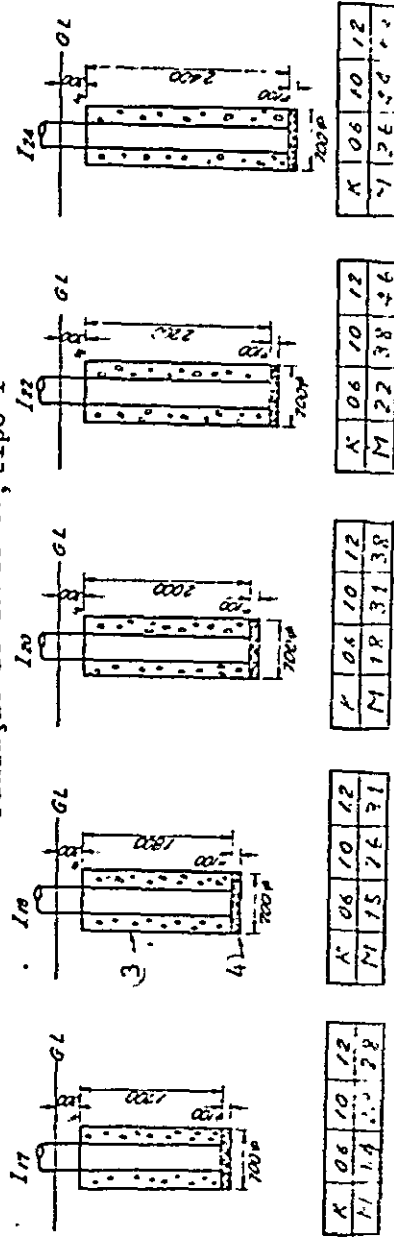
Tabela Materiais para o parte de baixo do posto de aço (90 x 450 x 450)

Número	Nome de Membro	Tipo de Material	Comprimento (mm ou m ²)	Peso por unidade (Kg/m ² ou Kg/m ³)	Peso por um Membro (Kg)	2,5 m		3,0 m	
						N	Peso	N	Peso
1	Aço em Ângulo equilateral	90x90x10	2.500	13,30	33,25	4	133,00		
2	"	"	3.000	"	39,90			4	159,60
3	"	"	800	"	10,64	2	21,28	2	21,28
4	"	"	450	"	5,96	2	11,92	2	11,92
5	"	50x50x6	565	4,43	2,50	4	10,00	4	10,00
6	Barra de Aço	50x9	565	3,53	1,99	8	15,92	8	15,92
7	"	"	450	"	1,59	8	12,72	8	12,72
8	Plato de Aço	9	0,351	70,65	24,80	6	99,20	4	99,20
∅	Parafuso	16x40			0,153	24	3,67	32	4,90
○	"	16x45			0,161	16	2,58	16	2,58
●	"	20x40			0,261	80	20,88	80	20,88
	Arruela	50x9x17,5			0,130	8	1,04	8	1,04
Peso Total (Kg)							332,21		366,40

Fundação de cascalho



Fundação de concreto, tipo I



1 ; Solidificar-se suficiente com a areia e o cascalho, mistrando-se em proporção de 1:5.

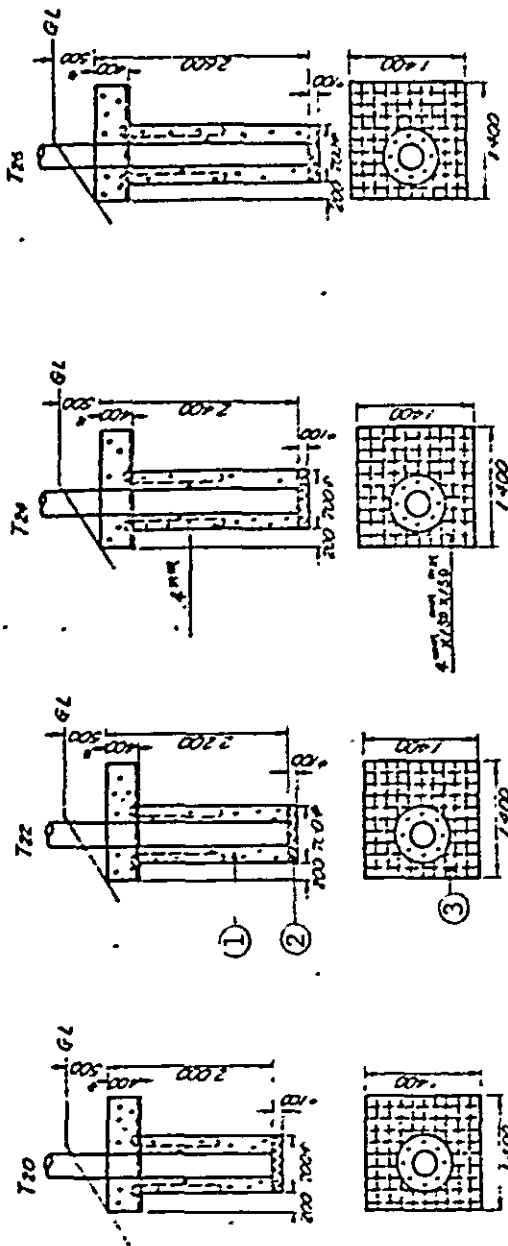
2 ; Prato de concreto, 600 φ .

3 ; Concreto

4 ; Solidificar-se com o cascalho.

* ; Mostra o valor nominal.

Fundação de concreto, tipo T



K	06	10
M	39	62

K	06	10
M	39	62

K	06	10
M	34	56

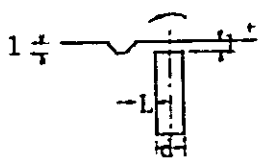
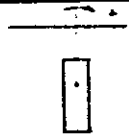
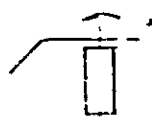
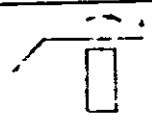
K	06	10
M	28	47

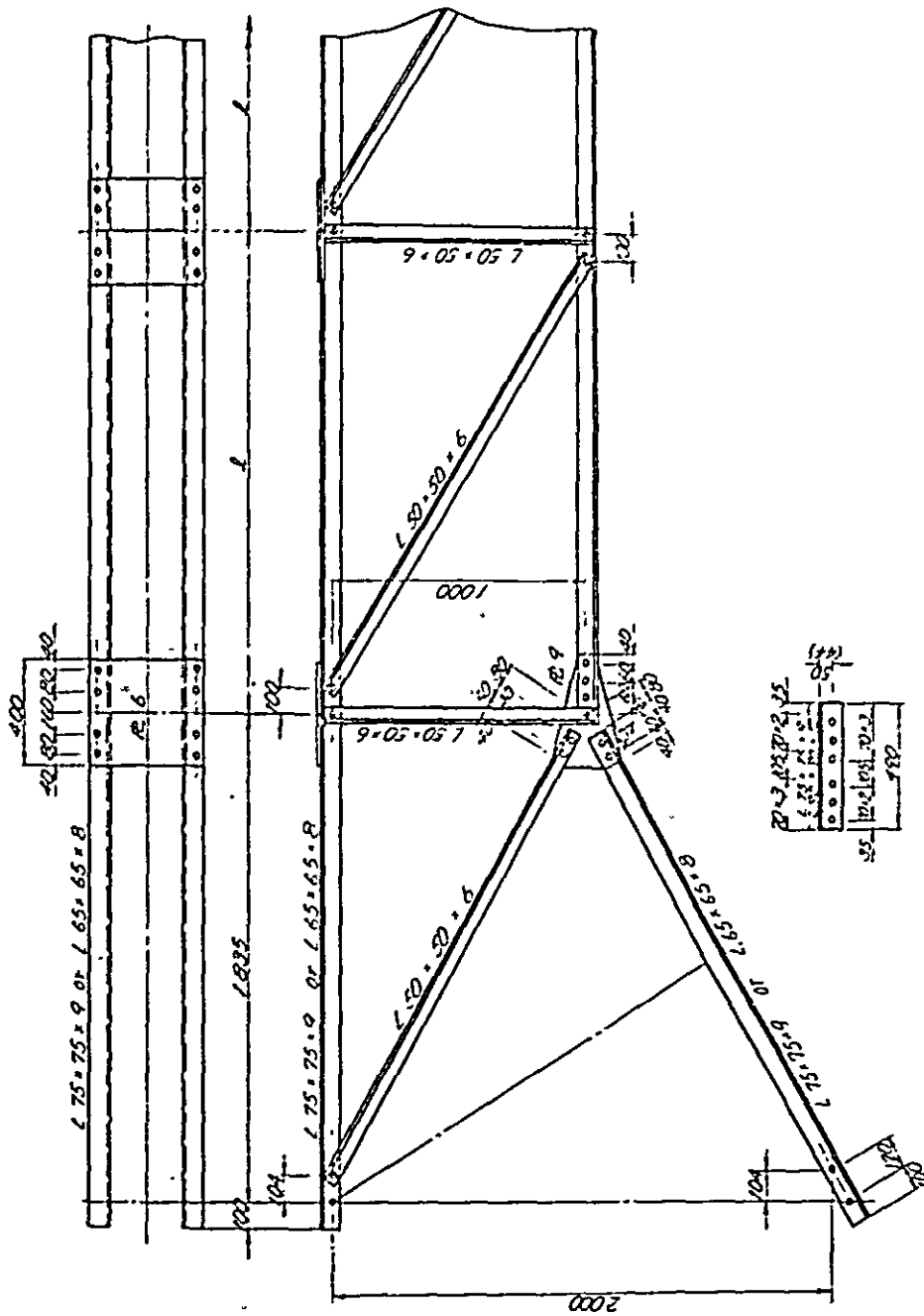
- 1 ; Concreto
- 2 ; Solidificar-se com o cascalho.
- 3 ; É usado o fio de ferro, 4 mm , para a barra reforçada.
- * ; Mostra o valor nominal.

Tabela Momento de Resistência Permissível de Fundação (t-m)

Tipo	Simbolo	K		
		0,6	1,0	1,2
Fundação de Cascalho Tipo I	I _S 17	0,7	1,2	1,4
	I _S 18	0,8	1,4	1,7
	I _S 20	1,0	1,7	2,0
	I _S 22	1,2	2,0	2,5
Fundação de Concreto Tipo I	I 17	1,4	2,3	2,8
	I 18	1,5	2,6	3,1
	I 20	1,8	3,1	3,8
	I 22	2,2	3,8	4,5
	I 24	2,6	4,4	5,3
Fundação de Concreto Tipo T	T 20	2,8	4,7	
	T 22	3,4	5,6	
	T 24	3,9	6,6	
	T 26	4,6	7,6	

Tabela Coeficiente de Configuração de Terreno, "K"

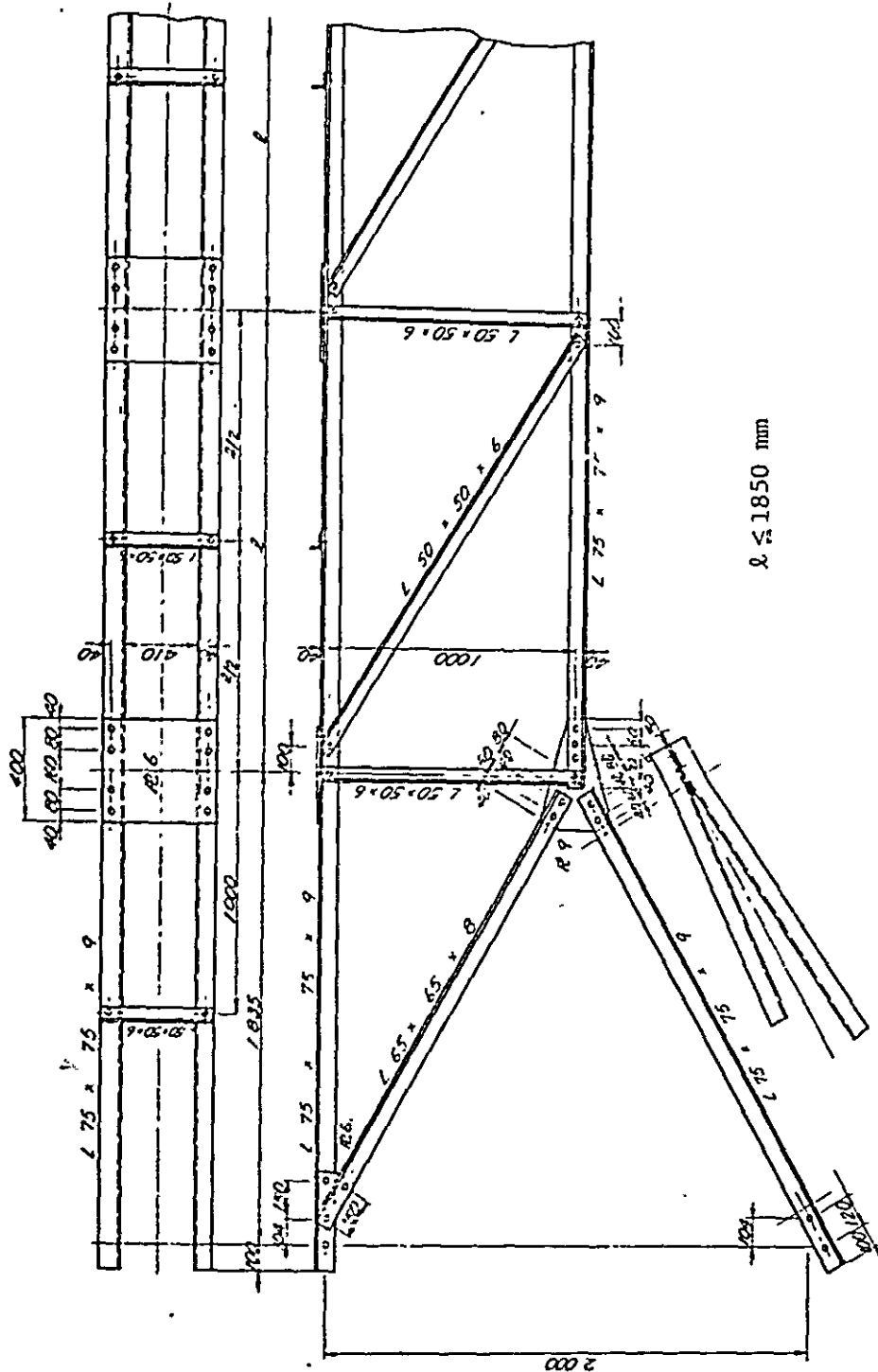
Configuração de Terreno	Direção de Carga	"K"	Obsevação
Corte e Plano		1,0	l = 1, no caso de L d e construção frágil da valeta.
		1,2	
Aterro		0,6	
		1,0	



Nota:

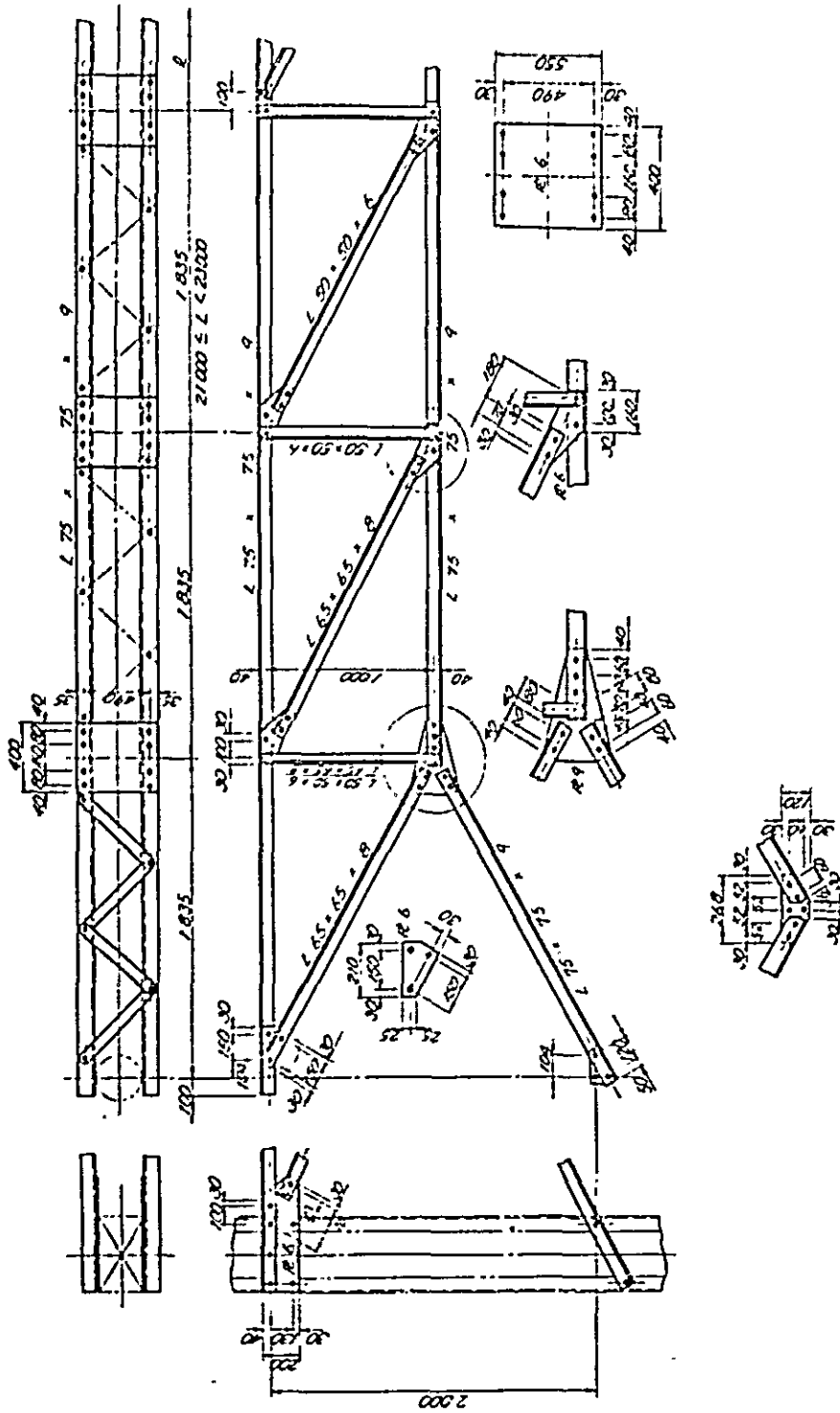
- Dimensão de membro principal
- Comprimento da viga $L < 15$ m ; $65 \times 65 \times 8$ mm
- " " $L > 15$ m ; $75 \times 75 \times 9$ mm
- Comprimento de "l"
- Comprimento da viga $L < 15$ m ; $l = 2000$ mm
- " " $L > 15$ m ; $l = 1850$ mm
- Parafuso ; $16 \text{ mm } \phi$

Viga de treliça, tipo V (19 m ≤ L < 21 m)

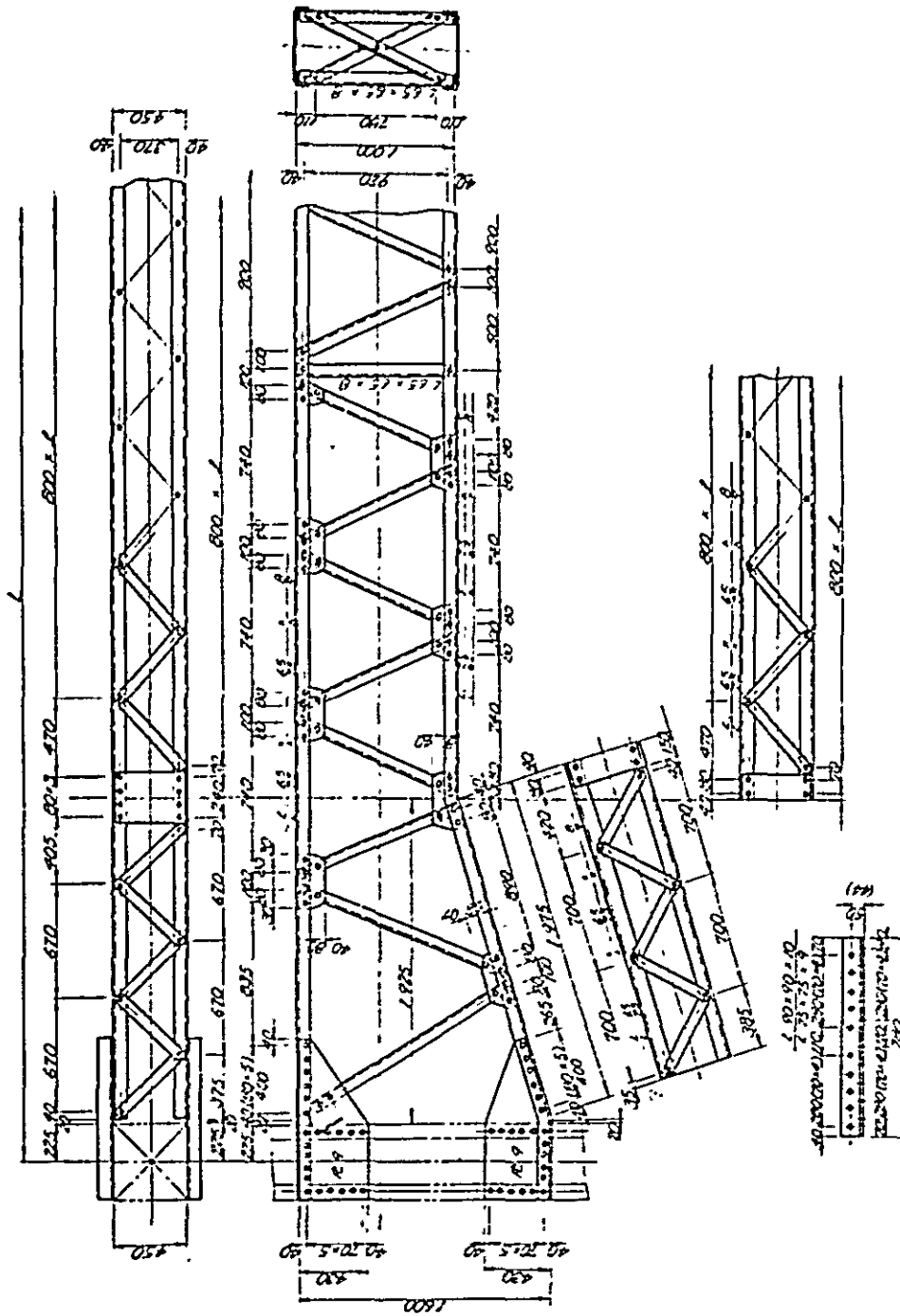


$\phi \leq 1850$ mm

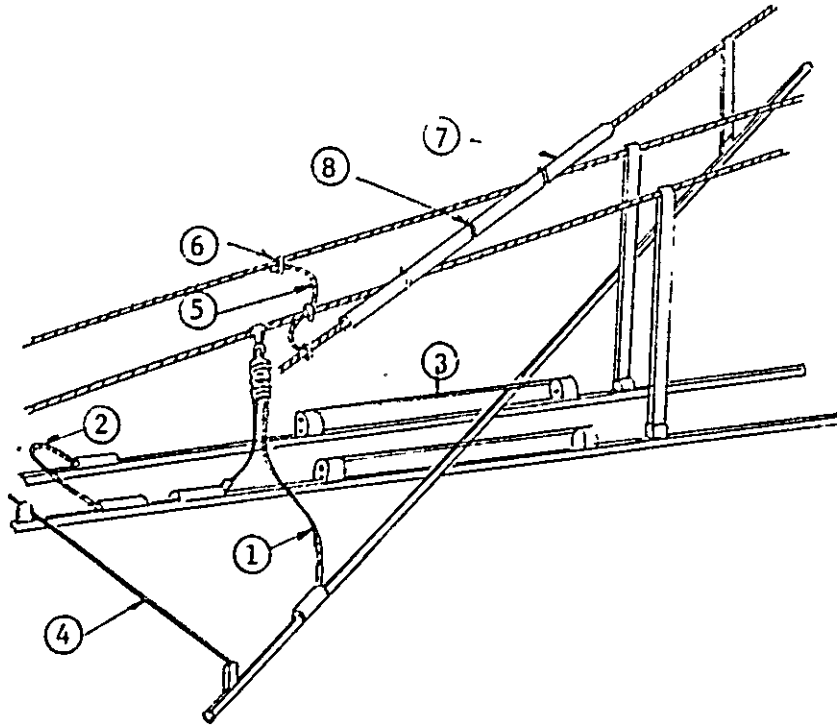
Viga de treliça, tipo V (L > 21 m)



Viga de treliça, tipo de retângulo

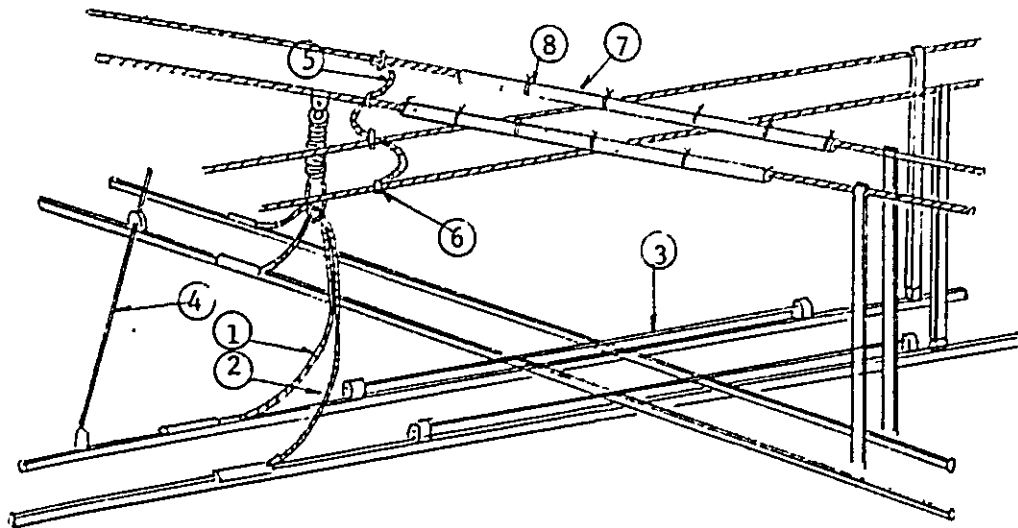


Cruzamento com a catenária simples e a catenária simples dobrada



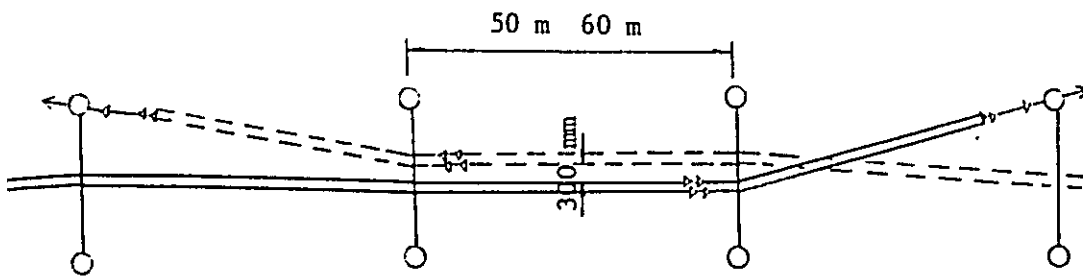
Número	Nome
1	"Feed ear"
2	"
3	Presilha transversal
4	Presilha de nível
5	Fio de ferro galvanizado
6	Presilha
7	Protetor
8	Fio de vinil

Cruzamento com duas catenárias simples
dobradas

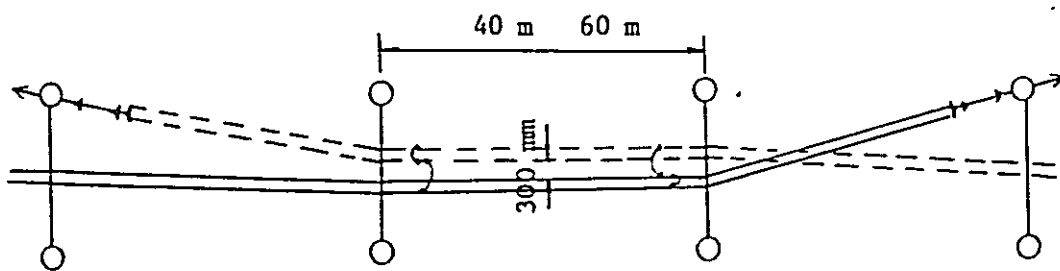


Número	Nome
1	"Feed ear"
2	"
3	Presilha transversal
4	Presilha de nível
5	Fio de ferro galvanizado
6	Presilha
7	Protetor
8	Fio de vinil

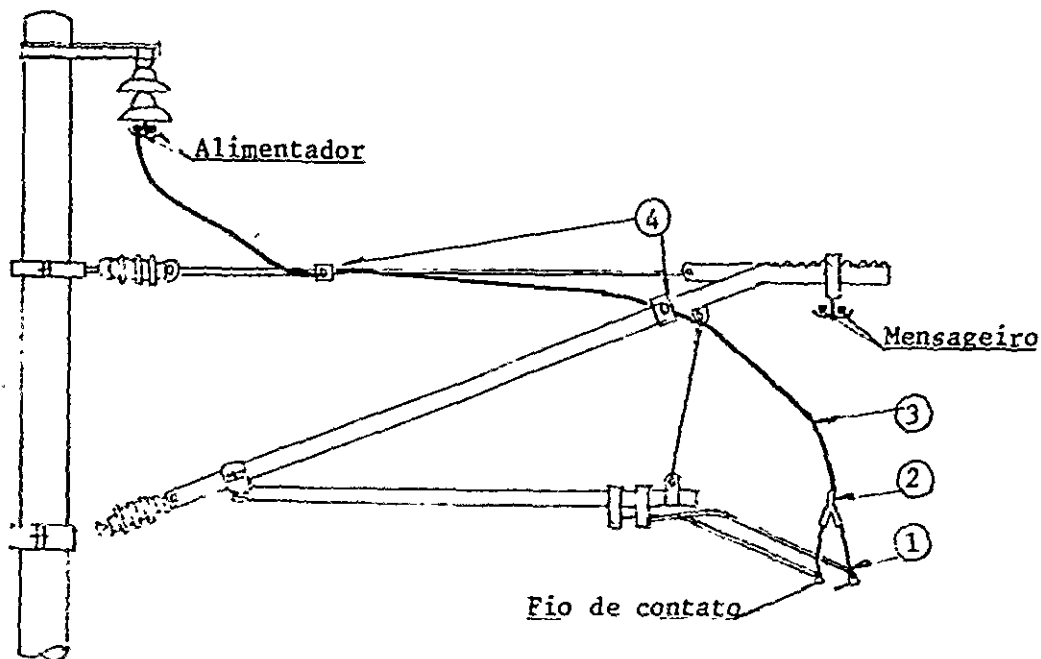
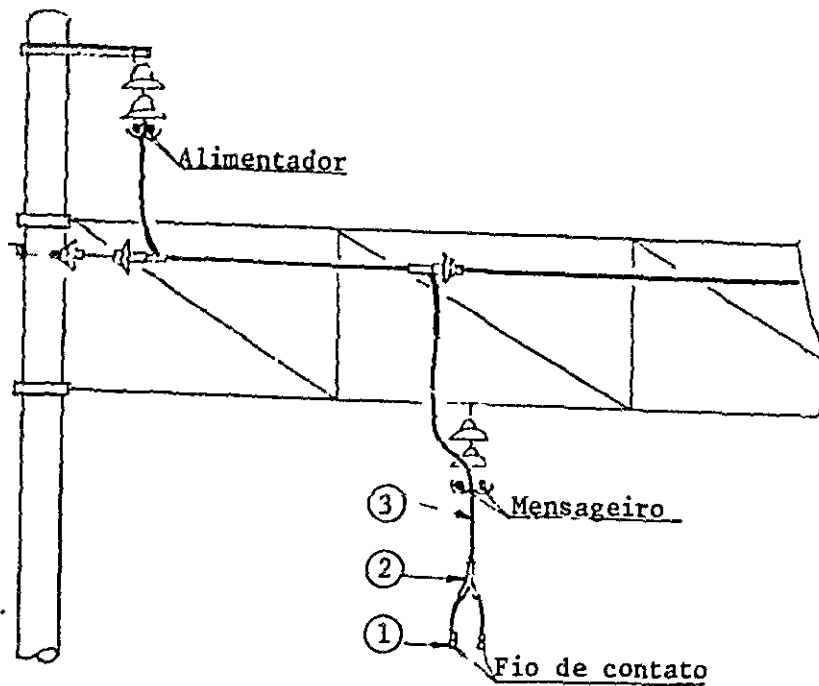
"Air Sesion"



"Air Joint"



"Feed branch "



Número	Nome
1	"Feed ear"
2	Garra paralelo para o fio de contato
3	Cabo de cobre nu, duro, 200 mm ² (37/2,6)
4	Garra para "feed branch"

ELETRIFICAÇÃO FERROVIÁRIA EM CORRENTE
ALTERNADA E SEUS PROBLEMAS

1. PREFÁCIO

A ferrovia eletrificada como um meio de transporte terrestre representa um papel bastante importante. Isto é uma tendência generalizada. E, nos dias atuais devido a crise mundial de petróleo, em cada país está sendo adotada em grande escala a política de mudança para outros tipos de fontes de energia tais como energia elétrica, energia atômica.

No caso do Brasil, como uma das metas do II Plano Nacional de Desenvolvimento está sendo construído uma nova ferrovia eletrificada para o transporte de abundantes recursos tais como minérios de ferro, produtos agrícolas. Isto representa uma medida bastante apropriada.

O sistema de corrente alternada representa um sistema moderno de eletrificação muito utilizado ultimamente. O período de operação comercial mostrado na tabela 1 representa a continuação do sistema de corrente contínua adotado até a pouco tempo.

Neste artigo são mostrados o progresso das técnicas de eletrificação em corrente alternada, a descrição das características, dos problemas e medidas preventivas da eletrificação em corrente alternada.

2. DESENVOLVIMENTO DA ELETRIFICAÇÃO EM CORRENTE ALTERNADA

A eletrificação em corrente alternada iniciou-se em 1899 na ferrovia da região montanhosa da Suíça com eletrificação trifásica em 2 cabos com 42 Hz e 750 volts.

Tabela 1 : Situação mundial da eletrificação ferroviária. (maio-1976)

ORDEN	PAÍS	CORRENTE CONTÍNUA			CORRENTE MONOFÁSICA								CORRENTE TRIFÁSICA	SISTEMA	DISTÂNCIA ELETRIFICADA (km)	DISTÂNCIA TOTAL EM OPERAÇÃO (km)	PORCENTAGEM DE ELETRIFICAÇÃO (%)		
		ABAIXO DE 1000V	1500V	3000V	FREQUÊNCIA COMERCIAL (50HZ ou 60HZ)				25HZ									16 2/3 HZ	18 2/3 HZ
					6,6kV	20kV	25kV	30kV	11kV	11kV	18kV	25kV							
01	U.R.S.S.		42	23813			14248									38103	187558	27.7	
02	JAPÃO	1439	8202			3037	1177									13853	28193	49.1	
03	ALEMANHA OCIDENTAL		149										9829			9778	28885	33.9	
04	ITÁLIA			9481										181		9632	16079	59.9	
06	FRANÇA	358	4981				4390									8608	34834	27.8	
06	SUÉCIA		101										7420			7521	12104	62.1	
07	SUIÇA	204	261	(e) 53								418	3494		(b) 589	5009	5009	100.0	
08	POLÔNIA	40		4660												4700	23573	19.9	
09	ÁFRICA DO SUL			4639												4639	22150	20.9	
10	ÍNDIA		358				(e) 3802									4180	60149	7.0	
11	INGLATERRA	2167	129		(d) 103		(a) 1889									3988	18227	21.8	
12	ESPAÑA	243	263	(f) 3142												3648	18167	22.8	
13	BRASIL	61	170	2330												2561	82015	8.0	
14	NORUEGA												2466			2456	4256	87.7	
15	ÁUSTRIA								92				2389			2480	6492	37.3	
16	JUGOSLÁVIA			896			1806						8			2309	10398	22.2	
17	E. U. A.		87	(i) 108				124	(j) 1801							1802	839032	0.4	
18	HOLANDA		1702	8												1713	2832	60.5	
19	CHECOSLOVÁQUIA	6	87	1039			477									1609	13317	12.1	
20	CANADÁ			43			1143									1186	71169	1.7	
21	BÉLGICA			1277												1277	4047	31.8	
22	BULGÁRIA						1143									1143	6373	17.6	
23	HUNGRIA	100					1010									1110	6260	15.4	
24	CHILE			881												881	9097	10.9	
25	ZAIRE						888									888	8477	18.7	
26	AUSTRÁLIA		856													856	40403	2.1	
27	MARROCOS			708												708	1756	40.3	
28	CHINA						678									678	35003	1.9	
29	RUMÂNIA		58				435									493	11086	4.4	
30	PORTUGAL		26				406									492	3488	12.4	
31	ARGÉLIA			300												300	3961	7.6	
32	TURQUIA						196									196	6141	2.4	
33	PQUISTÃO						183									153	5485	2.8	
34	CUBA	145														145	5885	2.5	
35	LUXEMBURGO			19			118									137	271	80.6	
36	COSTA RICA												(k) 124			124	1348	9.2	
37	ARGENTINA	123														123	59782	0.3	
38	NOVA ZELÂNDIA		99													99	4797	2.1	
39	DINAMARCA		99													99	4607	2.1	
40	INDONÉSIA			77												77	6990	1.1	
SOMA		4983	17897	83167	103	3037	33426	126	1682	418	28493	181	589						
TOTAL		75847 (53.8%)			36692 (28.6%)				27503 (43.4%)				770 (0.8%)			140612	1286399		
64195 (48.7%)																			

OBS.: CORRENTE CONTÍNUA 1500V: 1200~1500V

(a): 2000V 26km; 2200V 27km

(b): VÁRIOS MÉTODOS

(c): INCLUI 228km EM 22kV

(d): 6.25kV

(e): INCLUI 250km EM 6.25kV/25kV

(f): INCLUI 1082km EM 1800~3000V

(g): INCLUI 42km EM 15HZ

(h): 6.5kV

(i): CORRENTE CONTÍNUA 600/3000V

(j): CORRENTE CONTÍNUA 650~780V

CORRENTE ALTERNADA 11kV, 25HZ

(k): 20HZ

O sistema de eletrificação monofásica foi iniciado em 1904 também na Suíça com eletrificação em 15 kV e 50 Hz, e a locomotiva elétrica possuía um conversor monofásico. Com o desenvolvimento posterior do motor-comutador monofásico com frequência baixa, o sistema monofásico passou a operar com frequências tais como 15 Hz, $16 \frac{2}{3}$ Hz, 25 Hz. Devido ao emprego de frequências especiais nestes sistemas foram instalados as usinas e linhas de transmissão especiais para serem utilizadas na ferrovia, assim como os equipamentos de comutação de frequência foram necessários nas subestações de alimentação. Foram realizadas vários tipos de pesquisas com frequência comercial utilizada na alimentação direta a partir da rede normal de transmissão. Em 1933 na Ferrovia Nacional da Hungria, foi realizada a eletrificação em 15 kV, 50 Hz com utilização de locomotiva elétrica com transformação de fase do sistema monofásico de 3 cabos. Em 1935 foi adotado na Alemanha, o sistema monofásico de 50 Hz com utilização de motor-comutador monofásico, e foi realizado a eletrificação da linha H^ollental com grande rampa das regiões sulinas. Além desse equipamento foram empregados o sistema de retificação de mercúrio e em parte o sistema de comutação de fase na locomotiva elétrica.

Nessa época a técnica dos retificadores de mercúrio não era muito conhecida; e devido a influência da 2^a Grande Guerra o sistema monofásico com frequência comercial obteve um grande avanço.

Em 1950, a Ferrovia Nacional da França iniciou as experiências visando o sistema com frequência comercial; e baseando-se nas técnicas existentes do sistema monofásico com frequência baixa e nas experiências alemãs de eletrificação de 50 Hz, foram iniciados os testes de eletrificação de 20 kV, 50 Hz na Linha SAVOIE com rampas da região montanhosa. Obteve-se bons resultados e na época até apresentavam as vantagens econômicas; e assim o sistema monofásico com frequência comercial que apresentava as dificuldades técnicas foi difundido como o sistema de eletrificação em vários países além da França.

Em 1957 a operação da ferrovia eletrificada do Japão iniciou-se na Linha Hokuriku e na linha Senzan. Depois, houve um rápido desenvolvimento com o aumento da demanda, e em 1964 apareceu New Tokaido Line, cuja operação em alta velocidade com grande capacidade marcou história.

O sucesso obtido na eletrificação em corrente alternada com frequência comercial, que apresentava as dificuldades técnicas como foi visto, é devido principalmente a:

- a) Com o desenvolvimento do retificador de mercúrio e principalmente do retificador de mercúrio sem vedação foi possível instalar o retificador nos materiais rodantes.
- b) Com o desenvolvimento da técnica de projeto foi possível empregar a frequência comercial no motor-comutador monofásico que utilizava a frequência baixa até o momento.

Ao mesmo tempo que o retificador utilizado nos materiais rodantes tornava-se cada vez menor e mais leve com o progresso da técnica de fabricação do retificador de semicondutor havido recentemente, o aumento do desempenho de operação com o progresso da técnica de projeto de materiais rodantes e a simplificação das instalações terrestres contribuíram para a obtenção das vantagens econômicas da eletrificação em corrente alternada.

MÉRITOS E PROBLEMAS DA ELETRIFICAÇÃO EM CORRENTE ALTERNADA

1 - Méritos da Eletrificação em Corrente Alternada

Fazendo a comparação das instalações terrestres e do trem elétrico utilizados no sistema com corrente monofásica comercial com aqueles utilizados no sistema de corrente contínua, obtem-se a tabela 2, que mostra a descrição dos méritos de cada um.

TABELA 2

CARACTERÍSTICAS DA FREQUÊNCIA MONOFÁSICA COMERCIAL

(e comparação com o Sistema de Corrente Contínua)

TIPO DE INSTALAÇÃO	ITEM	SISTEMA DE CORRENTE ALTERNADA COM FREQUÊNCIA COMERCIAL	SISTEMA DE CORRENTE CONTÍNUA
INSTALAÇÕES TERRESTRES (FIXAS)	1. Subestação	<p>Custo Baixo da Construção da Subestação</p> <p>(1) Intervalo maior entre subestações, pequeno nº de subestações.</p> <p>(2) Simplicidade das instalações da subestação devido a necessidade de transformadores de tensão como dispositivos principais.</p>	<p>Custo Alto da Construção da Subestação</p> <p>(1) Intervalo menor entre subestações, grande nº de subestações.</p> <p>(2) Complexidade das instalações da subestação devido a necessidade de retificador de tensão AC para DC.</p>
	2. Tensão de Alimentação	É possível alimentar com tensão alta, dependendo do transformador de tensão instalado no trem.	Não é possível alimentar em tensão alta devido a limitação do projeto de isolamento dos motores principais e retificadores.
	3. Sistema de Contacto Aéreo	Simplicidade na construção, devido a corrente baixa e necessidade de pequena quantidade de cobre.	É necessário material resistente na construção, devido a corrente alta e necessidade de grande quantidade de cobre.
	4. Circuito na Via	Não é possível utilizar o circuito de via em corrente alternada com frequência comercial.	É possível utilizar o circuito da via em corrente alternada com frequência comercial.

TIPO DE INSTALAÇÃO	ITEM	SISTEMA DE CORRENTE ALTERNADA COM FREQUÊNCIA COMERCIAL	SISTEMA DE CORRENTE CONTÍNUA
INSTALAÇÕES TERRESTRES (FIXAS)	5. Distância de Isolação	Devido a tensão alta torna-se necessário uma grande distância de isolamento e a seção transversal do túnel é grande, normalmente.	Devido a tensão baixa necessita-se de pequena distância de isolamento.
	6. Medida para evitar a queda de tensão	Utilizando-se o condensador seria pode-se obter uma fácil compensação.	Necessidade de ampliação do cabo de alimentação, de novas construções na seccionadora de alimentação e na subestação.
	7. Proteção	Simplicidade das instalações de proteção devido a pequena corrente de operação e a facilidade de identificação da corrente de acidente.	Necessidade de instalações complexas para proteção devido a grande corrente de operação e a dificuldade de seccionamento seletivo da corrente de acidente
	8. Interferência indutiva nos circuitos de telecomunicação	Necessidade de cabo de alimentação negativa, transformador booster auto-transformador - cabos blindados para telecomunicação, devido a grande interferência indutiva nos circuitos de telecomunicações.	Não há necessidade de instalações especiais, além do filtro na subestação, devido a baixa interferência indutiva nos circuitos de telecomunicações.
	9. Desbalanceamento	Necessidade de prevenção contra o desbalanceamento do sistema trifásico provocado pela carga monofásica.	Não traz problemas de desbalanceamento do sistema trifásico.
	1. Dispositivo de captação de corrente	Boa característica de caminhamento devido a dispositivo de captação de corrente leve e pequeno.	Má característica de caminhamento devido a corrente alta de captação e o grande peso do dispositivo de captação de corrente.

TIPO DE INSTALAÇÃO	ITEM	SISTEMA DE CORRENTE ALTERNADA COM FREQUÊNCIA COMERCIAL	SISTEMA DE CORRENTE CONTÍNUA
INSTALAÇÕES DE TREM ELÉTRICO	2. Proteção	Simplicidade de proteção devido a facilidade de seccionamento seletivo de corrente de acidente e seccionamento da baixa corrente alternada em comparação com o seccionamento da alta corrente contínua.	Dificuldade de proteção devido a dificuldade do seccionamento da alta corrente contínua e do seccionamento seletivo de corrente de acidente.
	3. Controle de Velocidade	Facilidade de controle de velocidade através de comutação do tap do transformador de tensão.	Dificuldade de controle de velocidade.
	4. Desempenho de aderência	Possibilidade de tracionar altas cargas devido alto desempenho da aderência.	Há necessidade a alta potência de saída em comparação com o trem elétrico de corrente alternada devido ao baixo desempenho da aderência.
	5. Acessórios	Possibilidade de utilização do motor de indução robusto com a obtenção da fonte de corrente alternada de baixa tensão livre em função da utilização do transformador de tensão. Facilidade das instalações de energia para iluminação, condicionamento do ar etc.	Dificuldade na construção devido a utilização do dispositivo de corrente contínua com tensão do cabo de contacto. Dificuldade das instalações de energia para iluminação, condicionamento do ar etc.

3.2 - Problemas das Instalações Terrestres da Eletrificação em Corrente Alternada

Os principais problemas encontrados na adoção da eletrificação em corrente alternada são os seguintes:

a) Desbalanceamento da fonte trifásica

Uma carga monofásica ligada a rede trifásica ocasiona o desbalanceamento das tensões, e em casos extremos poderá causar influências prejudiciais, tais como o aumento da temperatura nos motores de indução e nos geradores pertencentes ao sistema. Por isso são necessárias medidas tais como adoção do transformador de tensão com ligação Scott.

b) Interferência indutiva nos circuitos de telecomunicação

Haverá o aparecimento de tensões perigosas e a interferência do tipo ruído nos circuitos de telecomunicação colocados nas proximidades do cabo de contacto com corrente alternada devido as induções eletrostáticas e eletrômagnéticas.

Por isso são necessárias as medidas tais como a instalação de filtro no trem elétrico, a introdução de cabos e de reator de isolação nos circuitos de telecomunicação, adoção do método de transformação de tensão em Booster (método BT) ou método de áuto transformador (método AT) no sistema de alimentação.

c) Circuito de via da sinalização

Como não é possível utilizar o circuito de via em corrente alternada com frequência comercial são necessários: circuito de via em AF, circuito de via com frequência múltipla.

d) Conexão em corrente alternada e contínua

Com a adoção feita principalmente do sistema de corrente contínua até o momento e para a operação direta com este sistema, são necessárias instalações tais como: instalação com conexão em corrente alternada e contínua, instalação para conversão de corrente alternada para contínua colocada na parte superior dos carros.

4. DESBALANCEAMENTO TRIFÁSICO

4.1 - Definição do Fator de Desbalanceamento

Com o fornecimento de energia feita a partir da fonte trifásica ao circuito de alimentação da ferrovia eletrificada com corrente monofásica que representa uma carga monofásica com um cabo de aterramento, há o aparecimento de desbalanceamento nos valores da corrente de cada fase, e em consequência a tensão trifásica estará desbalanceada. O fator de desbalanceamento será mostrado pela seguinte relação.

$$\text{Fator de desbalanceamento} = \frac{\text{componente de sequência de fase negativa}}{\text{componente de sequência de fase positiva}} \times 100(\%)$$

Esta relação se obtém a partir da tensão e corrente.

E, o fator de desbalanceamento da tensão será representada, aproximadamente pela relação:

$$\text{Fator de desbalanceamento de tensão} = \frac{\text{capacidade de carga monofásica}}{\text{capacidade de curto circuito trifásico no ponto da carga}} \times 100(\%)$$

4.2 - Influências do Desbalanceamento e Seu Limite Permissível

O problema causado no motor trifásico de indução do consumidor normal é o mais importante dentre as consequências causadas pelo desbalanceamento trifásico. E, em comparação com a impedância de sequência de fase positiva, o motor trifásico de indução apresenta uma pequena impedância de sequência de fase negativa (cerca de 20% abaixo), e em consequência haverá o aparecimento de pequena tensão de sequência de fase negativa e grande corrente de sequência de fase negativa. E, em função dessa corrente de sequência de fase negativa haverá o torque contrário, e com a diminuição do torque disponível tornará grande a elevação de temperatura com o aumento da perda no cobre e haverá uma queda da eficiência e em consequência a diminuição da potência de saída.

A taxa de aumento da perda no cobre do motor indutor em gaiola normal é função do quadrado da corrente, e com o motor indutor em gaiola especial o aumento de perda será maior ainda. Haverá a aceleração da perda dielétrica com o aumento da temperatura em uma parte do enrolamento do estator, causado pelo desbalanceamento da corrente de cada fase.

E, com a entrada de corrente elétrica de sentido contrário nos equipamentos tais como: gerador, condensador rotatório da Empresa de Energia Elétrica e em função do projeto do rotor haverá destruição do dielétrico e a distorção da forma de onda da tensão indutora com o aparecimento da temperatura prejudicial.

Baseado nos resultados de cada tipo de experiência relativa aos limites da capacidade do desbalanceamento trifásico, conclui-se que o motor trifásico de indução com o fator de desbalanceamento de tensão de 5% e com o aumento de temperatura de cerca de 10% está dentro dos limites de fabrica-

ção. Considerando que o gerador e o condensador rotatório estejam dentro dos mesmos limites, aproximadamente, pode-se dizer que não há substanciais consequências. Em consequência, adota-se como objetivo o índice menor que 3% para rejeição, relativo a carga máxima num tempo curto (mais ou menos 2 horas) aplicada no barramento de entrada da subestação de alimentação. Entretanto, dentro de certas condições particulares pode-se verificar que mesmo 5% não traz problemas.

O limite do fator de desbalanceamento da tensão calculado segundo a equação abaixo e baseado no método de conexão do transformador de tensão instalado na subestação de alimentação deve ser menor que o valor indicado acima no ponto de entrada da alimentação da subestação.

1 - Transformador de tensão com conexão monofásica

$$K = Z \cdot P \cdot 10^{-4}$$

K : fator de desbalanceamento (%)

Z : impedância em % ou reatância em %, baseada no sistema trifásico de 100.000 kVA, no ponto de entrada da energia na subestação.

P : carga média (kVA) em regime contínuo de 2 horas dentro da região de alimentação total.

2 - Transformador de tensão com conexão Scott

$$K = Z(P_A - P_B) \times 10^{-4}$$

P_A, P_B : carga média (kVA) em regime contínuo de 2 horas dentro de cada região de alimentação total.

3 - Transformador de tensão com conexão V

$$K = Z \sqrt{P_A^2 - P_A P_B + P_B^2} \times 10^{-4}$$

4.3 - Medidas para Diminuição do Desbalanceamento

As seguintes medidas para diminuição do desbalanceamento podem ser consideradas. Em termos gerais deve fazer a alimentação a partir da fonte com grande capacidade de curto circuito.

1 - Método de alimentação monofásica

Este método consiste em fornecer energia ligando cada fase da linha de transmissão trifásica a cada região de alimentação obtida pela divisão de rede aérea, quando se tem uma linha de transmissão trifásica e linha ferroviária mais ou menos em paralelas.

Com este método, mesmo que haja um grande desbalanceamento em uma parte da linha de transmissão, consegue-se fazer com que o desbalanceamento da linha toda de transmissão seja pequena. Supondo que P_A , P_B sejam as cargas máximas relativas ao trecho A, B da figura 1, pode-se representar o fator de desbalanceamento da tensão no ponto onde a carga é máxima, pela seguinte equação:

$$K_{\max} = \frac{P_A + P_B}{P_S} \times 100(\%)$$

onde:

P_S : capacidade de curto circuito trifásico no ponto de carga (kVA).

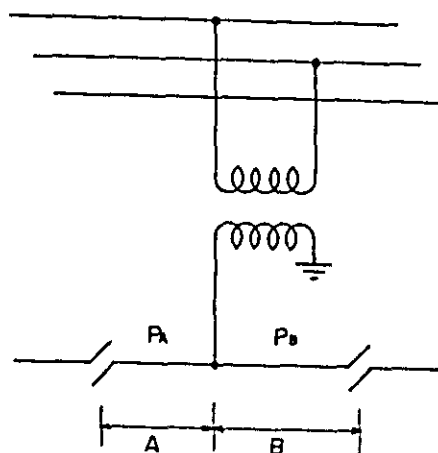


FIG.1 : Conexão monofásica.

2 - Método de alimentação com conexão V.

Este método consiste em alimentar em duas direções com fases diferentes a partir do circuito trifásico, através da utilização de 2 transformadores de tensão monofásico (figura 3). Assim, como no caso anterior (1), supondo que P_A, P_B sejam as cargas monofásicas máximas aplicadas em ambos os transformadores de tensão, pode se representar o fator de desbalanceamento da tensão pela seguinte equação:

$$K = \frac{a^2 P_A + P_B}{P_S}$$

onde:

$$a^2 = -\frac{1}{2} - j \frac{\sqrt{3}}{2}$$

No caso de $P_A = P_B$, tem-se a pior condição:

$$K_{\max} = \frac{P_A}{P_S}$$

Assim, nesse caso, o fator de desbalanceamento de tensão será metade do caso (1). Quando P_A e P_B forem diferentes, o seu valor torna-se menor que k_{\max} ; e quando qualquer um

dos dois for igual a zero, tem-se também metade do caso (1)

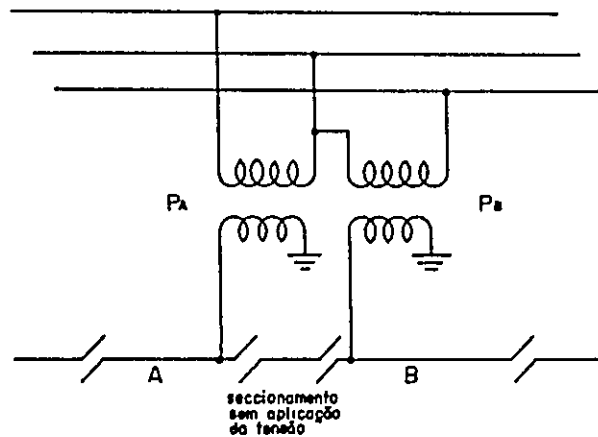


FIG.2 : Conexão V

3 - Método de alimentação com conexão Scott

Este método consiste em alimentar em duas direções com fases M e T, separadamente, a partir do circuito trifásico, utilizando o transformador com conexão Scott (figura 3). Assim, como no caso (2), supondo que P_A e P_B sejam as cargas monofásicas máximas tem-se:

$$K = \frac{P_A - P_B}{P_S}$$

No caso de $P_A = P_B$, tem-se $K = 0$. Quando um for máximo e outro for zero, tem-se a condição máxima, e o seu valor é metade do caso (1), e torna-se igual ao caso (2).

Com a adoção da conexão Scott nos 2 transformadores de tensão com tap tem-se $\sqrt{3}/2 = 86,6\%$ para o fator de utilização do transformador de tensão; e com a fabricação especial do transformador de tensão trifásica/bifásica com conexão Scott consegue-se um fator de utilização de $\sqrt{3}/1 + \sqrt{3}/2 = 92,8\%$

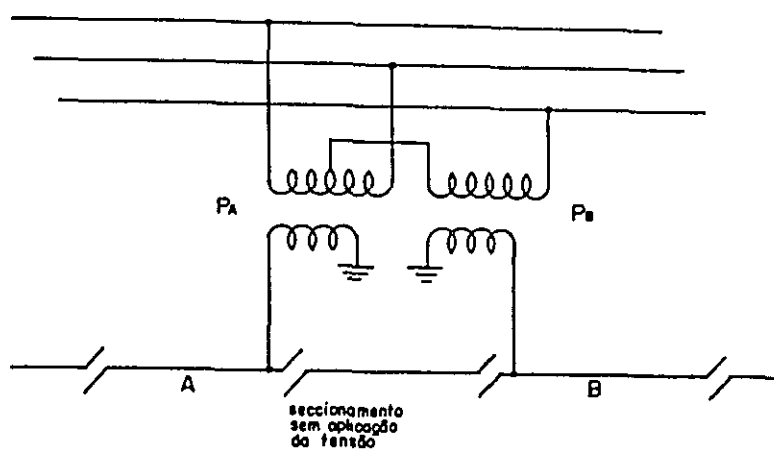


FIG. 3 : Conexão Scott

5. INTERFERÊNCIA INDUTIVA NOS CIRCUITOS DE TELECOMUNICAÇÃO

Se os circuitos de telecomunicação estiverem nas proximidades do cabo de contato poderá haver aparecimento de tensões perigosas e tensões de ruído nos circuitos de telecomunicação em função da tensão do cabo de contato, em consequência da indução eletrostática ocasionada pelo campo eletrostático e da indução eletromagnética ocasionada pelo campo eletromagnético devido aos desbalanceamentos da corrente do cabo e da corrente de retorno.

Para a tensão perigosa é problemática a tensão existente entre o cabo de telecomunicação e a terra, e para tensão de ruído a tensão existente entre os cabos.

5.1 - Indução Eletrostática

A indução eletrostática definida pela tensão do cabo de contato pode ser diminuída abruptamente com o aumento da distância de afastamento entre o cabo trolley e o circuito

de telecomunicação, como pode ser visto na figura 4. Por outro lado, com o emprego de cabo de alimentação negativa além do cabo trolley, consegue-se uma diminuição de cerca de 30%, devido ao seu efeito de blindagem. E, se for empregado cabos com blindagem, consegue-se uma blindagem quase perfeita.

A tensão de indução eletrostática existente entre o circuito de telecomunicação e terra deve ser menor que 430 volts, para que ela não torne perigosa ao homem e aos dispositivos, conforme as recomendações de CCITT (Comite Consultatif International des Telephonique et Telegraphique).

5.2 - Indução Eletromagnética

A corrente do cabo trolley ocasiona a indução do tipo eletromagnético no circuito de telecomunicação, cujo valor pode tornar-se grande com a acumulação da tensão de indução devido ao aumento do comprimento do circuito de telecomunicação em paralelo com o cabo trolley.

A tensão de indução eletromagnética é expressa pela seguinte equação:

$$V_m = 2 \pi f M (I - I_R) \ell \doteq 2 \pi f M I_g \cdot \ell \quad (V)$$

onde:

I : corrente do cabo trolley (A)

I_R : corrente do trilho (A)

I_g : corrente de fuga a terra (A)

M : indutância mútua entre o cabo trolley e circuito de telecomunicação (Ω/Km)

ℓ : comprimento da paralela exposta (Km)

f : frequência da fonte

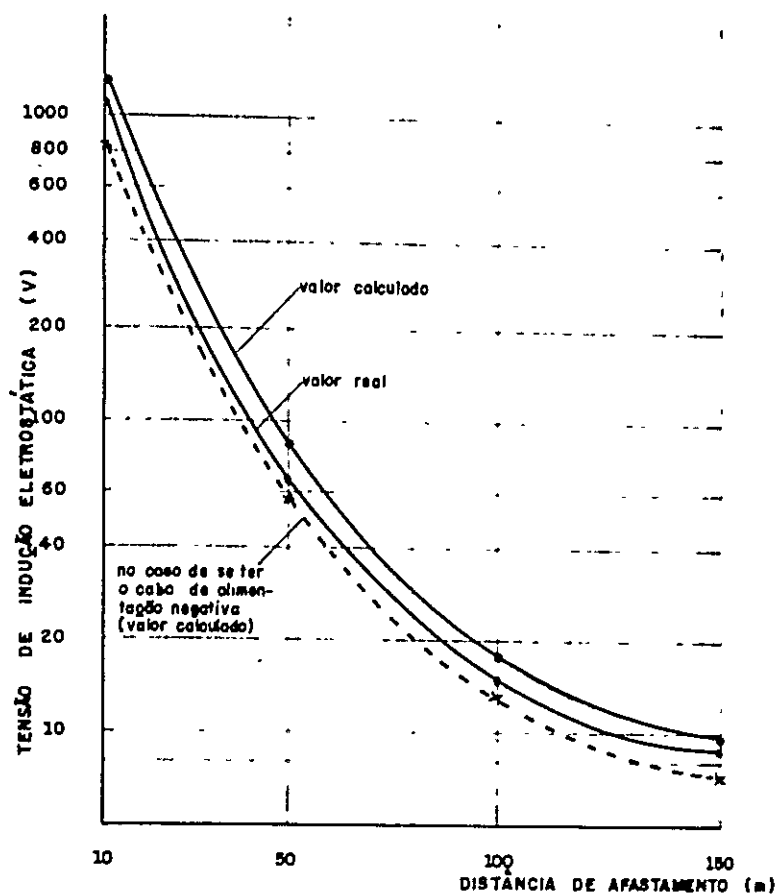


FIG. 4 : Tensão de indução eletrostática e distância de afastamento.

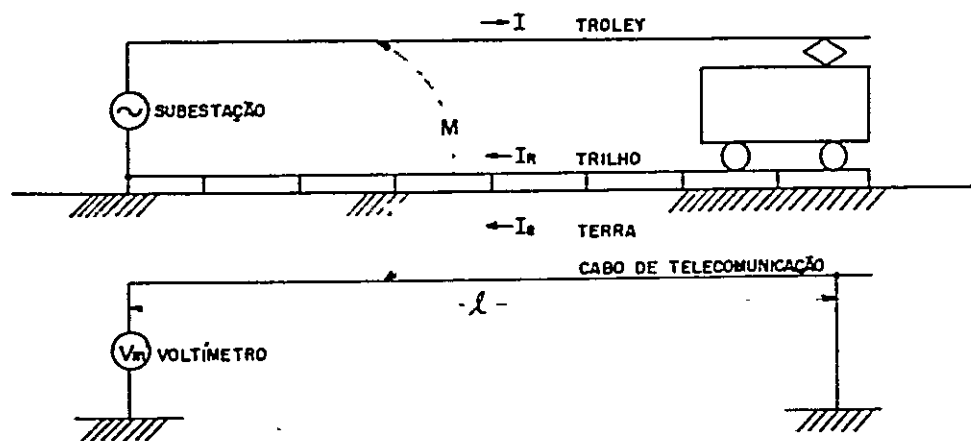


FIG. 5 : Indução eletromagnética.

A indutância mútua M sofre grande influência do coeficiente de condutibilidade do solo, tal que com um grande coeficiente de condutibilidade do solo obtêm-se uma diminuição da tensão de indução eletromagnética V_m . Mesmo que haja o aumento da distância de afastamento entre o cabo trolley e o cabo de telecomunicação não haverá grande diminuição do valor do M . A indução eletromagnética aumenta em função de $l \cdot \lambda \cdot f$ (figura 6)

O CCITT recomenda que o valor da tensão de indução eletromagnética não ultrapasse 60 volts., e no momento da ocorrência de aterramento do cabo de contato deve-se procurar para que não ultrapasse 650 volts.

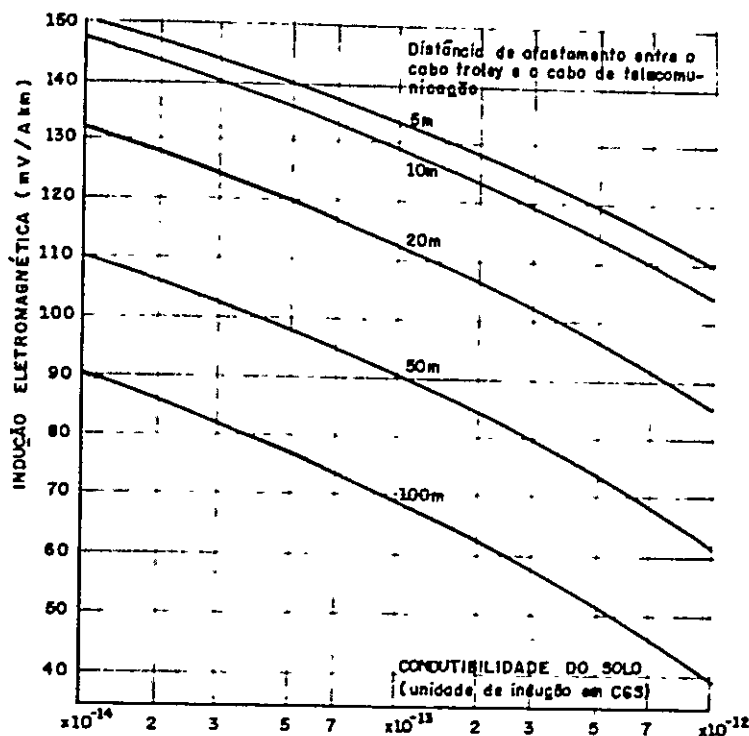


FIG.6: Tensão de indução eletromagnética, condutibilidade do solo e distância de afastamento.

5.3 - Ruído Causado pelo Trem Elétrico

O trem elétrico com retificador utilizado normalmente nos trechos da ferrovia eletrificada em corrente alternada causa ruídos nos circuitos de telecomunicação devido a geração de harmônicas no cabo de contato ocasionada pelo emprego do retificador.

O ruído causado no circuito telefônico varia de acordo com

a característica de sensibilidade do ouvido e dos aparelhos telefônicos para cada harmônica, e o seu valor é expresso em função da tensão de ruído equivalente existente entre os 2 cabos. O seu valor limite é 2,5 mV para o fio nú de telecomunicação e menor de 1,0 mV para o cabo de telecomunicação com blindagem.

5.4 - Medidas para Diminuição da Indução nos Circuitos de Telecomunicação

As medidas para diminuição da indução nos circuitos de telecomunicação podem ser tomadas no lado da energia, telecomunicação e do cabo de contato.

1 - Medidas no lado da energia

(A) Método com utilização do transformador "Booster" (método BT).

Instalam-se os transformadores "Booster" com relação 1:1 em distâncias determinadas da linha, como é mostrada na figura 7, fazendo as conexões do primário e o secundário com o cabo de contato e com o cabo de alimentação negativa ou com o trilho respectivamente. No trecho compreendido entre a subestação A e o ponto C da figura, a corrente de drenagem para o trilho e a terra é neutralizada completamente pelas correntes dependentes da carga e do transformador "Booster", e a corrente retorna praticamente a subestação passando pelo cabo de alimentação negativa. Em consequência, a indução eletromagnética sofrerá diminuição de cerca de 1/20. E, no trecho compreendido pelo "Booster" C e carga D apesar de uma parte da corrente de carga drenar para terra, a sua influência é pequena, devido a pequena distância.

Assim, o transformador "Booster" tem a função de diminuir razoavelmente a característica indutora Amp-Km fazendo com que a corrente de carga pelo cabo de contato seja praticamente igual a corrente de retorno pelo trilho e pela terra.

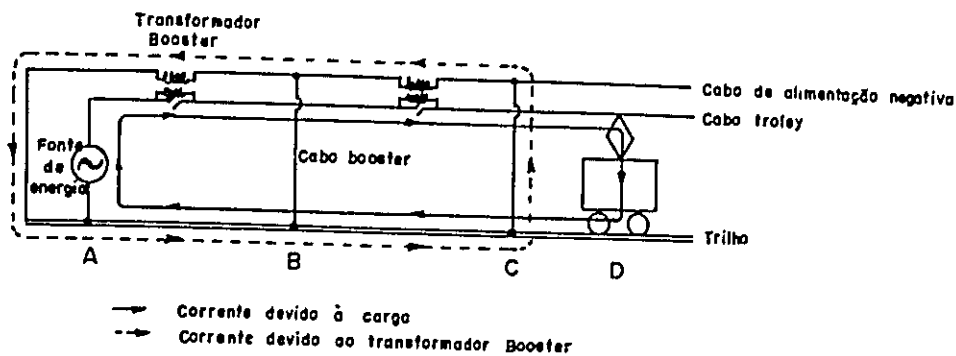


FIG. 7 : Sistema BT

(B) Método com utilização do auto-transformador
(sistema AT)

Instalam-se os auto-transformadores com relação 1:1 em distâncias determinadas da linha como é mostrada na figura 8, fazendo a conexão da parte central do enrolamento do auto transformador ao trilho além das conexões dos terminais ao cabo de contato e cabo de alimentação negativa.

A corrente de retorno que passa pelo trilho possibilita a diminuição da interferência indutora devido a distribuição da corrente com o emprego do autotransformador, como é mostrado na figura.

Sob o ponto de vista da operação com trens elétricos de alta velocidade e de alta potência de saída, este método em comparação com o método BT tem a vantagem de permitir a alimentação com tensão alta. E, finalmente, como o desempenho do fornecimento de energia aumenta com o quadrado da tensão de alimentação e como o fator da queda de tensão da linha diminui com o quadrado da tensão de alimentação, o fator de queda de tensão da linha neste método será igual a $1/4$ dos sistema BT. Portanto, o intervalo entre as subestações pode ser aumentada de 4 vezes.

Assim, devido a necessidade de tornar econômico o custo de construção global com o emprego deste sistema AT, "Japan National Railway" adota este com o sistema padrão para eletrificação em corrente alternada.

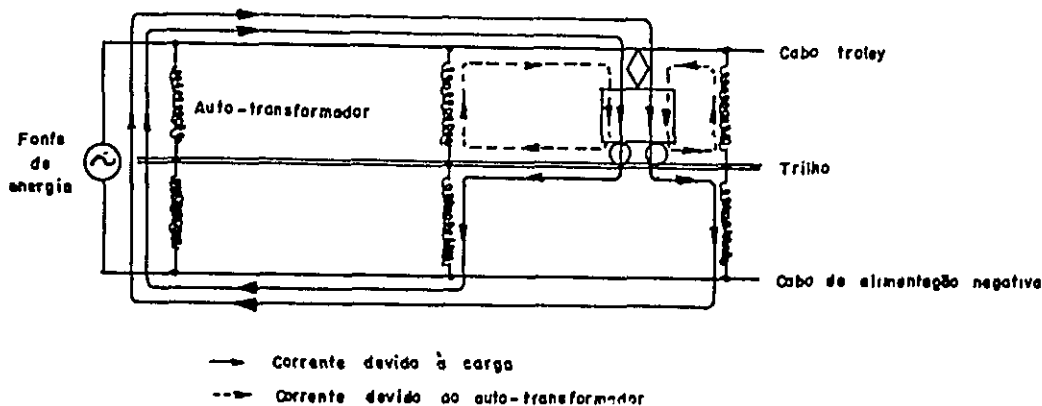


FIG.8: Sistema AT

2 - Medidas no lado de telecomunicação

(A) Indução eletrostática.

- aumentar a distância de afastamento
- utilização de cabos
- fazer a drenagem da corrente de carga para terra através da utilização do reator de drenagem, como mostrado na figura 9.

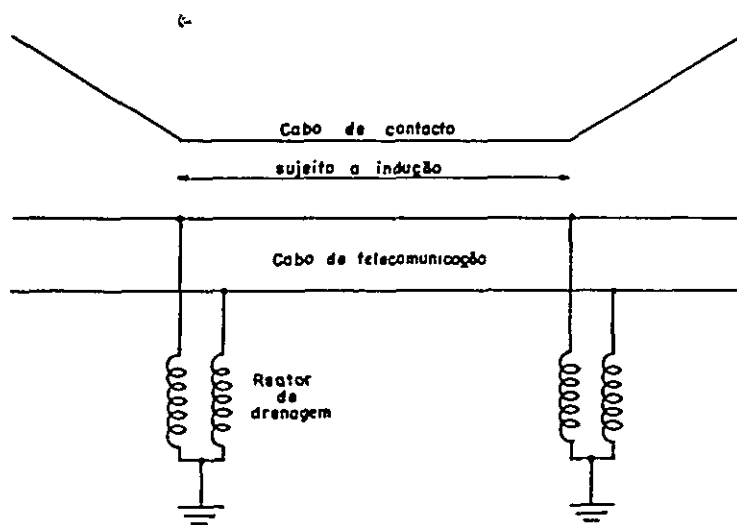


FIG.9: Reator de drenagem.

(B) Indução eletromagnética

- Colocando-se a bobina de blindagem no circuito de telecomunicação, pode-se eliminar a tensão de indução eletromagnética. Isso é feito instalando-se o cabo de blindagem o mais próximo possível do circuito de telecomunicação que precisa ser protegido como mostra a figura 10, e além de aterrar as duas extremidades coloca-se a bobina de blindagem com relação 1:1 entre o cabo de blindagem e o circuito de telecomunicação.
- Diminui-se a tensão de indução com a divisão do trecho de indução, introduzindo-se o reator de isolamento no circuito de telecomunicação.
- Diminui-se certas harmônicas com a introdução da bobina de drenagem entre o circuito de telecomunicação e a terra.

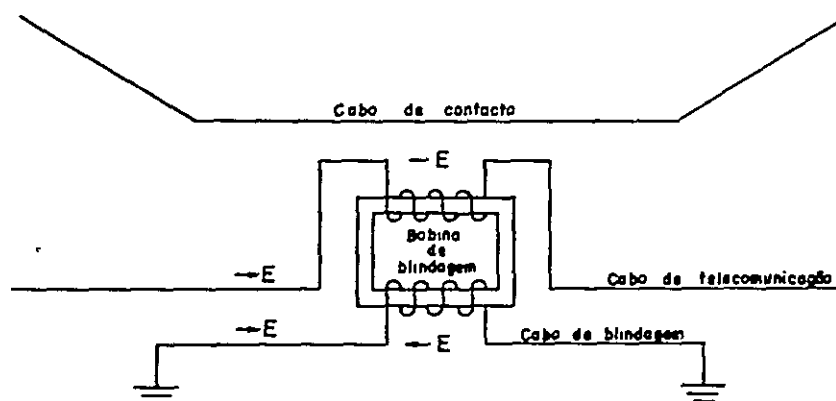


FIG. 10 : Bobina de blindagem.

3 - Medidas no lado do trem elétrico

Diminuem-se as harmônicas existentes na rede aérea conectando-se em paralelo os filtros com condensador e resistor no secundário do transformador de tensão da locomotiva com retificador.

6. CIRCUITO DE SINALIZAÇÃO

Com a eletrificação em corrente alternada há a drenagem de corrente de retorno com frequência comercial pelo trilho, por isso não é possível utilizar o circuito de via existente em corrente alternada com frequência comercial. E, como a tensão de interferência existente nos trilhos devido a corrente de retorno ser bastante alta em comparação com a tensão de sinalização, é difícil eliminar essa tensão de interferência no circuito de via. Assim, o circuito de via do trecho eletrificado em corrente alternada não deve causar problemas nas ações normais e não deve provocar operações erradas mesmo que haja a presença da tensão com a corrente de carga. Por isso a fonte de energia do circuito de via deve possuir equipamentos de proteção para diminuição da tensão de indução nos relés provocado pelo cabo de retorno, além de empregar uma frequência diferente da comercial.

No circuito de via do trecho eletrificado em corrente alternada, são utilizados os circuitos tais como o circuito de via com metade da frequência (ou com 2 vezes as frequências de 25 - 30 - 100 - 120 Hz) comercial, obtida através do dispositivo de mudança de frequência de forma de onda estática, o circuito de via em corrente alternada com o emprego das frequências de 83 1/3, 100 Hz através do motor gerador e o circuito de via AF em audio frequências próxima a 1 kHz. Em algumas vezes utiliza-se o circuito de via singela em corrente contínua em locais tais como pátio da estação.

Para proteger contra as tensões anormais durante a ocorrência de acidentes, o circuito de via possui o reator ou "arrester".

7. CONEXÃO EM CORRENTE ALTERNADA E CONTÍNUA

Como métodos de conexão em corrente alternada e contínua para permitir a passagem direta de um trecho eletrificado em corrente alternada para o trecho eletrificado em corrente contínua existem método de comutação da via e método de comutação de carro.

1 - Método de comutação da via

Este método pode ser conseguido pela utilização do equipamento de comutação das fontes de corrente alternada e corrente contínua em uma parte do cabo de contato do pátio da estação, fazendo a escolha entre locomotiva elétrica especial para corrente alternada e para corrente contínua ou mudando a tensão do cabo de contato durante a parada de locomotiva aplicável em corrente alternada e contínua. Como este último processo é função da indicação da sinalização e da classe de tensão, somente após a aplicação da tensão adequada na linha é que começa a indicação de sinalização.

Este método necessita da parada do trem com o aumento das instalações terrestres e pode causar problemas na operação em longas distâncias do trem elétrico em corrente contínua ou em corrente alternada.

2 - Método de comutação do carro

Instalando-se uma seção sem aplicação da tensão no ponto de conexão dos cabos de contato em corrente alternada e contínua, é possível fazer a comutação da corrente alternada para contínua e vice-versa, durante a passagem por

esta seção do trem elétrico utilizável tanto em corrente alternada e como em contínua, não necessitando da parada do trem e conseguindo baratear as instalações terrestres.

O trem elétrico penetra por inércia na seção sem aplicação da tensão e somente através da operação da chave de comutação da corrente alternada para contínua e vice-versa, consegue-se passar de um sistema de alimentação para outro. E, mesmo não havendo a comutação do carro, com penetração no trecho com tensão diferente, pode-se proteger seccionando o circuito principal.

8. CONCLUSÃO

O sistema de eletrificação em corrente alternada apresenta muitas vantagens em relação ao sistema de corrente contínua e entretanto como foi visto poderá apresentar muitos problemas. Assim, para definição do sistema de eletrificação em corrente alternada torna-se necessário escolher entre os vários métodos aquele que apresenta um alto grau de performance, que não necessite muitos trabalhos de manutenção futura e que o custo da obra seja econômica.

REFERÊNCIAS:

1. Manual de eletrificação ferroviária: Associação da Eletrificação da Ferrovia do Japão.
2. Ferrovia eletrificada: Atsushi Iida.
3. Manual de Engenharia Elétrica: Sociedade Elétrica do Japão.
4. Revista "Ferrovia Eletrificada" nº 338, vol.30 - série 7: Associação da Eletrificação da Ferrovia do Japão.
5. Revista "Rail International" maio 1976.
6. Railway Directory & Year Book 1976.
7. Janes World Railway 1976.

