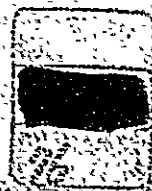


REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL
RELATÓRIO
DE
ESTUDO DO PLANO DE CONSTRUÇÃO
DA NOVA LIGAÇÃO FERROVIÁRIA
(BELO HORIZONTE – VOLTA REDONDA)

FEVEREIRO DE 1976

JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY



703
74
JV
14276

REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL
RELATÓRIO
DE
ESTUDO DO PLANO DE CONSTRUÇÃO
DA NOVA LIGAÇÃO FERROVIÁRIA
(BELO HORIZONTE – VOLTA REDONDA)

JICA LIBRARY



1025164[3]

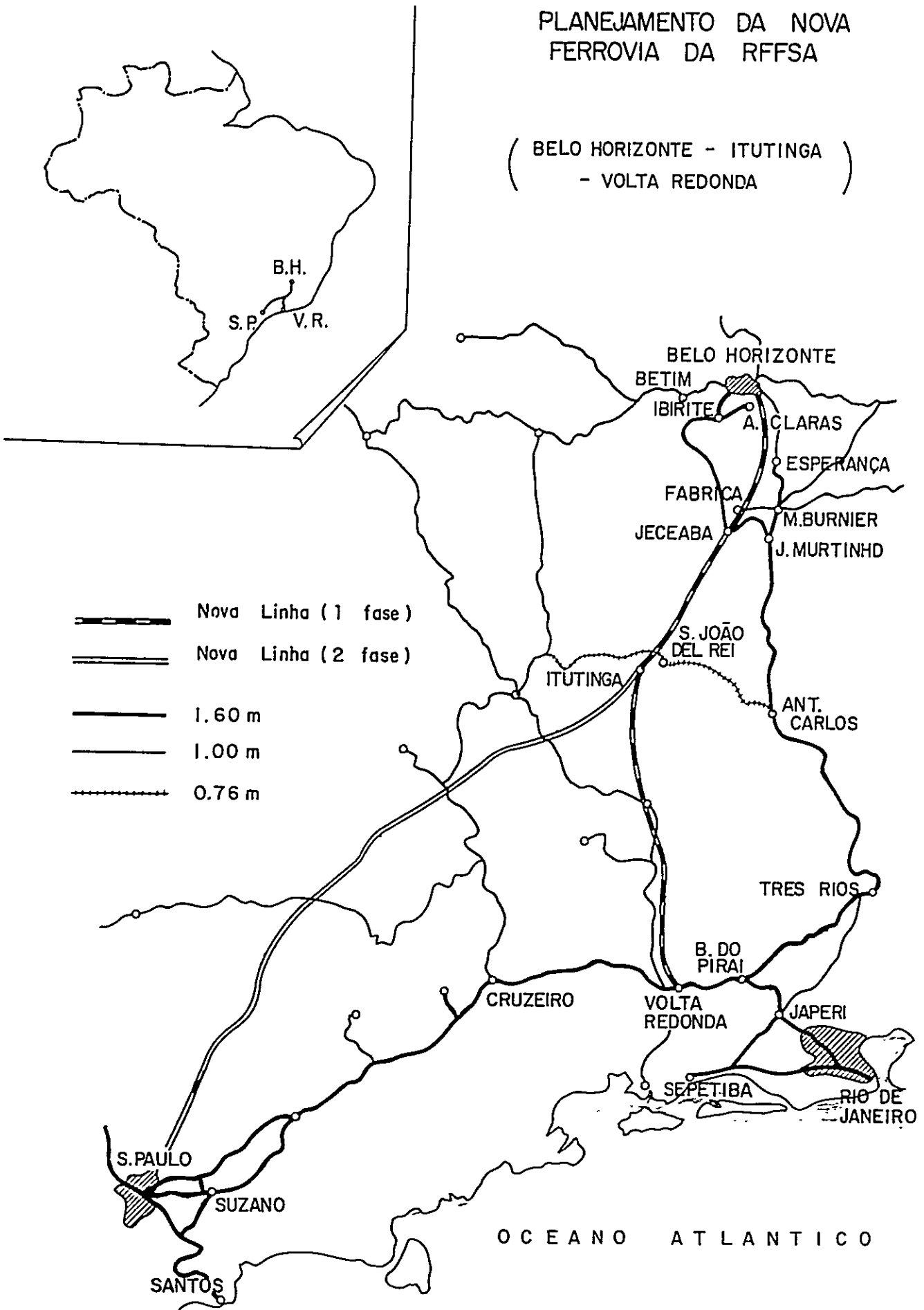
国際協力事業団	
受入 月日 5.1.4.2 84.9.25	703
登録No. 39023	74
	KE

FEVEREIRO DE 1976

JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY

PLANEJAMENTO DA NOVA FERROVIA DA RFFSA

(BELO HORIZONTE - ITUTINGA)
- VOLTA REDONDA



PREFÁCIO

O presente estudo é resultado do acordo de cooperação técnica entre os governos japonês e brasileiro referente à ligação ferroviária Belo Horizonte - Itutinga - Volta Redonda. A realização desta cooperação ficou a cargo da Japan International Cooperation Agency (JICA).

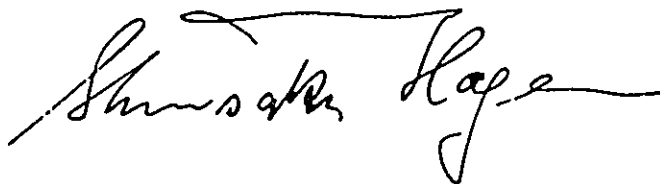
Observando a importância desse plano, a JICA organizou e enviou a presente Missão, composta por 13 técnicos especializados, liderada pelo Sr. Takao Saito, Vice-Presidente do Laboratório de Tecnologia Ferroviária da Japan National Railways.

A Missão elaborou durante os 70 dias de permanência no Brasil, a partir de 27 de maio de 1975, o assessoramento técnico, para a elaboração dos Termos de Referência com vistas a concorrência para fornecimento de engenharia de projetos, equipamentos e serviços especializados para a construção da ferrovia, referentes aos sistemas de eletrificação, telecomunicações, sinalização e controle de tráfego, além do assessoramento para a elaboração do plano geral de formação de pessoal, afetando assim o estudo requerido.

Estão organizados neste relatório os resultados das várias sessões de discussão com elementos dos órgãos do Governo Brasileiro, dos estudos e os dados adquiridos nos locais referentes, como uma proposta global do plano e desejamos que ele seja de utilidade ao planejamento da construção da nova ligação ferroviária e ao maior estreitamento das relações de amizade que unem o Brasil e o Japão.

Finalizando, registramos aqui os nossos mais profundos agradecimentos aos vários órgãos do Governo Brasileiro que nos ofereceram grande colaboração e apoio, e aos diversos órgãos japoneses relacionados a este estudo.

Fevereiro de 1976.

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Shinsaku Hogan', written in a cursive style. The signature is positioned above a horizontal line.

Sr. Shinsaku Hogan

Presidente

Japan International Cooperation
Agency

Resumo do Relatório

1. Visão Geral do Estudo.

O presente estudo foi realizado, de acordo entre os governos japones e brasileiro, pela Missão composta por treze elementos enviados pela Agência de Cooperação Internacional do Japão (JICA), que é um órgão executivo de cooperação internacional do Governo Japonês para efetivar a cooperação técnica referente à construção da nova linha ferroviária ligando Belo Horizonte a Volta Redonda via Itutinga, conforme planejado pelo Governo Brasileiro.

A cooperação técnica consiste principalmente em estudar o sistema fundamental a ser aplicado às linhas do presente estudo e a parte de eletricidade envolvida, além do assessoramento técnico em outras áreas relacionadas. A Missão efetuou a aquisição de dados e estudos, in loco, durante o período de cerca de dez semanas, a partir das últimas semanas de maio de 1975. Além do assessoramento técnico que atinge cerca de 200 itens, apresentou então o relatório intermediário.

Após retornar ao Japão, a Missão realizou ainda a análise objetiva para então elaborar o presente relatório.

2. Posição da nova linha dentro do plano de Desenvolvimento Ferroviário.

O presente plano compreende os 389 km de linha ferroviária ligando Belo Horizonte a Volta Redonda, que é o trecho da primeira fase do plano da nova ferrovia chamada "Ferrovia do Aço", que une Belo Horizonte, a área produtora de minérios de ferro, a Volta Redonda, próxima aos grandes centros industriais de São Paulo e Rio de Janeiro.

De acordo com o 2º Plano de Desenvolvimento Nacional, o Governo Brasileiro determinou a política de elevado índice de crescimento com incentivo à exportação e política de energia para redução do consumo de

petróleo, dando importância especial à organização da infraestrutura. Com referência ao transporte por terra, será realizada a política de transferência do transporte rodoviário para o transporte baseado em linhas ferroviárias, juntamente com uma grande ênfase dada à eletrificação das ferrovias, para aproveitamento dos fartos recursos de energia hidráulica.

Seguindo essas diretrizes, foi dada prioridade máxima à organização e estabelecimento de ferrovias para o plano de expansão do aço dentro do plano de desenvolvimento ferroviário, com um investimento correspondente a 35,6% do total, com o presente plano da nova ferrovia como o seu núcleo principal.

Foi também elaborado pelo Ministério de Transportes um plano a longo prazo, abrangendo 30 anos, sobre a rede ferroviária chamada "Sistema Centro-Leste", que compreende as 3 cidades acima citadas, que constituirá o futuro eixo econômico do Brasil, mais a área de Brasília. Foi organizado o estudo de viabilidade dos pontos de vista econômico e técnico e, devido ao fato que, dentro desse a nova linha constituirá o núcleo fundamental do sistema, juntamente com os resultados da avaliação econômica, é recomendada a instalação em curto tempo para utilizar as suas possibilidades.

Dessa forma, o presente plano em andamento, como parte do Plano Nacional, é um projeto que requer emergência, de grande importância e extremamente necessário, sendo também destinado a formar os fundamentos da futura organização e estabelecimento da rede ferroviária do Brasil. Além disso, as obras de engenharia civil do presente plano foram iniciadas em março do corrente ano.

3. Considerações sobre o Plano Fundamental.

Devido ao fato de que a ligação ferroviária do presente plano terá um papel de grande importância, é necessário efetuar no plano do sistema que constituirá a parte fundamental uma análise total, de modo a constituir um sistema adequado às várias condições dessa linha, introduzindo em larga escala as técnicas mais atualizadas nos vários campos de atividades, especialmente em relação à eletrificação, sinalização e telecomunicações, concretizando assim um sistema altamente modernizado.

A partir desses pontos de vista, o planejamento da nova ligação ferroviária foi realizado através de análises objetivas levando-se em consideração vários pontos, como: planejamento de um sistema total em harmonia com fatores externos, nível de segurança adequada aos trechos da ferrovia, garantia do nível de confiabilidade, sistema homem-máquina, compatibilidade com futuros sistemas, experiência real do sistema, elevação do nível técnico do pessoal e modernização da manutenção.

4. Plano de setores relacionados que constituirão as premissas.

4-1. Previsão da demanda.

A quantidade de carga a ser transportada (máximo por trechos, no sentido de exportação) que constituirá a premissa para o plano, são os seguintes:

1977 _ 28 milhões de toneladas (24 milhões de ton. de minérios de ferro).

Trecho Itutinga - Volta Redonda
1982 _ 41 (35 de minérios de ferro)
no trecho Jeceaba - Itutinga.

1987 _ 71 (62 de minérios de ferro)
trecho C. Pedro - Jeceaba.

1992_110 (95 de minérios de ferro)

trecho Entroncamento - C. Pedra.

2002_216 (186 de minérios de ferro)

trecho Entroncamento - C. Pedra

4-2. Plano de tráfego e Material Rodante.

1. Operação:

Sistema elétrico de 25 kV a 60 Hz, com velocidade máxima de 60 km/h. A carga adequada a ser tracionada por trem é de 9000 toneladas, levando-se em consideração o declive máximo da linha, a resistência de acoplamento e a capacidade de alimentação de eletricidade, etc. A carga tracionada por uma locomotiva é de 3000 ton., com operação conjunta de 3 locomotivas. Para os trens comuns de carga, operação à mesma velocidade com horário em paralelo, mas a velocidade dos trens de passageiros, cujo tráfego é previsto para um trecho, deve ser determinado após consideração da capacidade da linha e condições da área; a partir das características dos trechos a que se destinam, principalmente nos de transporte de cargas, ela deve ser inferior a 100 km/h.

No início da operação haverá um tráfego de 18 trens por dia em cada sentido, atingindo depois 80 trens de minérios de ferro, além de 25 outros trens, totalizando cerca de 105 trens. Essa quantidade estabelecida permite assegurar o intervalo necessário à manutenção, calculada a partir da carga de manutenção da linha; mas, a folga no trecho de via única, Itutinga - Volta Redonda, será algo reduzida.

Em relação ao tempo de viagem, podemos citar como exemplo o transporte para a Companhia Side-rúrgica Nacional, onde são necessários atualmente 18 horas para percorrer o trecho C. Pedra - Volta Redonda, que será

reduzido para 6 horas.

2. Desempenho do material rodante:

O limite de carga tracionada por locomotiva é de 3000 toneladas, considerando a aderência com carga de 28t por eixo e um total de 168t com 6 eixos; a potência nominal é de 3200KW, considerando uma velocidade balanceada de 30km/h subindo um trecho de declive contínuo de 10%.

Serão instalados freios pneumáticos e freios elétricos para redução de velocidade em descidas. O freio pneumático será automático, sendo necessário muito cuidado com a aplicação do freio de emergência e também do freio normal, para evitar a flambagem do trem e quebra de velocidade, considerando o fato de que o comprimento dos trens atingirá 1,1km, com grande espaço de corrida livre e grande espaço de frenagem. Quanto ao freio elétrico, seria vantajoso adotar a frenagem regenerativa, sob o ponto de vista energético e considerando as condições de declive mas é desejável adotar inicialmente a frenagem reostática, já com grande experiência e de alta estabilidade, considerando que, conforme será descrito posteriormente, o sistema de alimentação sendo frágil, a força de frenagem torna-se instável e também, a falta de experiência em operação regenerativa em longos trechos, como os do presente plano.

3. Inspeção/Reparo do Material Rodante.

Sistema de inspeção periódica, em 5 etapas para as locomotivas e 3 etapas para os vagões. As locomotivas devem ser inspecionadas em grupos de 3 e é necessário introduzir equipamentos de teste total de desempenhos nas inspeções por turnos, aumentando a confiabilidade e a eficiência, materializando-se assim um sistema altamente modernizado.

As bases de locomotivas devem ser localizadas inicialmente em Volta Redonda e Itutinga, considerando o desnível de transporte e sua locomoção; e, as bases de vagões em Volta Redonda e Sepetiba, que são pontos de retorno dos trens, sendo desejável construir bases adicionais de vagões e locomotivas em Macacos, após 1987.

4-3. Plano de Engenharia Civil e Vias.

1. Plano de engenharia civil.

A rota com origem em Belo Horizonte junta-se às linhas existentes em Jeceaba, seguindo futuramente ao Sul até Volta Redonda, via bifurcação de Itutinga, com um comprimento total de 388,9km, tem a bitola de 1,6m, raio de curvatura mínimo de 900 m, declive máximo de 1,0%, 171 túneis com comprimento máximo de 8,4 km, totalizando 86,9km (22%) e 124 pontes totalizando 40,5km (10%). Dentre esses, 32km de linhas nas redondezas de Belo Horizonte e o trecho de 187,5km de Itutinga a Volta Redonda, continuarão no futuro com via única. São construídas 27 estações intermediárias, quase todas só com instalação para cruzamento de trens em sentidos opostos e a máxima distância entre estações nos trechos de via única ao sul de Itutinga é de 17,7km.

Os limites de material rodante e de obras civis não estão determinados pela Rede Ferroviária Federal, sendo então efetuada a análise do espaço livre na seção dos túneis de acordo com limites propostos, chegando-se à conclusão de que há espaço suficiente, permitindo também o tráfego de futuro material rodante de grande porte. Entretanto, no caso de obras de melhoramentos ou construção de novas linhas, com efetuação da análise da experiência de administração após o início de operações da nova linha e outros fatores, é desejável decidir

novamente sobre o corte mais econômico. Além disso, o atual comprimento efetivo das vias é de considerável suficiência em relação a composições de 9000 ton., mas recomenda-se estabelecer o comprimento efetivo adequado após consideração de condições como sistema de operação e o futuro tráfego de composições ainda maiores.

2. Plano de vias.

É necessário reduzir a carga de manutenção ao mínimo necessário, levando em consideração a futura quantidade de carga, velocidade e dificuldade em garantir forças de trabalho, etc. A via é construída com trilhos de 68kg/m, dormentes de concreto protendido (PC) e leito de pedra britada com espessura de 40 cm, com resistência das várias partes da via suficientemente boa, não sendo necessária uma carga de manutenção excessiva em relação ao nível de ruptura calculado de acordo com as condições de tráfego, mesmo com o tráfego anual de 200 milhões de toneladas. São utilizados trilhos longos e, para reduzir ao mínimo a danificação de trilhos devido ao tráfego de material rodante com grandes cargas por eixo, é necessário que os trilhos sejam de trilhos de superfície endurecida. É também vantajosa a utilização de dormentes de concreto protendido (PC) sob os pontos de vista de economia, durabilidade, resistência das vias e utilização de trilhos longos.

Considerando-se a inclinação máxima de 160 mm e a falta de inclinação máxima de 100mm, é necessário considerar o conforto dos passageiros nos trechos previstos para o tráfego de trens de passageiros, além das condições de segurança, para determinação do comprimento da curva de alívio.

Não há problemas em se estabelecer a velocidade de 60 km/h para a passagem de trens de carga pelas curvas; para os trens de passageiros fixamos a inclinação

balanceada relativa à velocidade de 60 km/h dos trens de carga, sendo então estabelecida em 100km/h para raio de curvatura de 900m. A velocidade de passagem pelos pontos de bifurcação é de 60 km/h para trens de carga, 95km/h para trens de passageiros na linha reta e na via ramificada é de 60km/h para trens de carga e 70km/h para trens de passageiros.

3. Manutenção das vias.

Juntamente com a decisão exata dos resultados da inspeção da via e sua reflexão no plano de trabalho, é necessário adotar um sistema de trabalho de alta eficiência através da disposição de sequência de operações e instalação de máquinas, levando em consideração assegurar a força de trabalho e aspectos econômicos.

Analisando os dois métodos de manutenção existentes, o método de reparo periódico é mais vantajoso do que o método de reparo a qualquer hora, pois o primeiro possibilita fácil padronização e uniformização do trabalho necessitando poucos elementos, através da execução de todas as operações, desde a troca de materiais até a finalização da montagem simultaneamente com um grupo de máquinas compostas de grande porte e é um método adequado ao presente plano ferroviário. É também desejável nesse plano, um sistema de manutenção apto a executar reparos em grande escala a intervalos de 2 anos, reparos em média escala com período de meio ano e reparos extraordinários de acordo com as necessidades. Quanto à introdução de máquinas para manutenção de linhas, é necessário analisar suficientemente o método de trabalho utilizando o grupo de máquinas compostas, juntamente com o estabelecimento da organização de inspeção de máquina.

Para manutenção das vias, é importante a monitoração de condições reais em certa quantidade, sendo para tanto desejável a utilização de carros de exame de danificações, detetores de locais danificados e medidores de aceleração de vibração, formando-se assim um moderno sistema de controle de manutenção. De acordo com as necessidades, consideramos também a introdução de um carro de medição e inspeção de vias em alta velocidade.

O intervalo de manutenção adequado é de 6 horas, considerando-se o tempo efetivo de serviço em 4 a 5 horas. Devem ser ainda construídas bases para manutenção, necessárias devido à mecanização das obras de manutenção, sendo desejável construir bases principais a distâncias de cerca de 40km, e sub-bases em cada estação.

5. Plano do setor de eletricidade.

5-1. Eletrificação.

1. O sistema elétrico de 25kV a 60Hz, de padrão internacional e largamente experimentado, é adequado à eletrificação da presente ligação ferroviária, devido ao fato de que a capacidade de cada trem é extremamente grande e os pontos de alimentação elétrica são limitados, sendo de difícil realização da eletrificação CC e o sistema de 50kV CA apresenta também problemas de isolação no material rodante e fixos, além de vários outros itens a serem analisados.

Quanto ao sistema de retorno elétrico, consideramos adequado o sistema de 50/25kV AT; de grande experiência em uso real, como um sistema adequado à linhas com tráfego intenso de trens de grande capacidade. Este sistema possui as vantagens dos sistemas de 25kV e de 50kV e, além de possibilitar um alto grau de liberdade

de escolha dos pontos de alimentação, pode-se esperar suficiente redução de indução nos circuitos de telecomunicações e redução do potencial dos trilhos.

Quanto à influência na fonte de alimentação é necessário efetuar considerações sobre o índice de desbalanceamento e de variação da tensão, sendo desejável manter o último em valor inferior a 4%. Conforme descrito no item 4-2, a adoção do sistema de frenagem regenerativa na atual etapa apresenta certos problemas na rede de alimentação de energia elétrica, sendo necessário ainda efetuar estudos mais detalhados sobre o método de fornecimento de potência reativa, absorção de potência e influências causadas à rede de alimentação ao se efetuar a frenagem regenerativa; é desejável a sua instalação somente após futura instalação de rede de alimentação mais potente, efetuando-se as devidas análises e confirmações através de testes in loco.

2. Plano de subestações.

A potência total da linha no caso de composições de 9000ton. pode ser fornecida por 5 subestações a distâncias de cerca de 86 km e serão utilizados transformadores de alimentação com ligação Scott com capacidade de 15 a 20 MVA em cada banco, distância média de 16km entre AT e capacidade própria de 3MVA. A capacidade de curto circuito das 3 fases das subestações deve ser de 480 a 840MVA, fornecida das redes de 138kV a 345kV. A potência consumida anualmente será de 320 milhões de KWH em 1982 e 760 milhões de KWA no ano 2002.

3. Plano da rede aérea.

Como sistema de suspensão da catenária é adequado o sistema "Heavy Simple Catenary", de avançadas características, que possibilita a operação de trens em alta velocidade planejados para o futuro, além de

simplificar a manutenção e obras, ser de alta confiabilidade e de avançado desempenho em captação de corrente.

O cabo de contato utilizado deve ser de cobre duro estriado (grooved contact wire) de 170 mm² e cabo mensageiro torcido com fios de aço, de 135 mm², a uma altura padronizada de 5,7m com mínima altura de 5,03m levando em consideração a altura do pantógrafo quando dobrado. A altura limite de construção pode ser então reduzido a 5,83m, mas a altura dos túneis em planejamento é de 6,8m considerando o tráfego de trens de grande porte no futuro, havendo portanto suficiente folga.

A força de tração deve ser de 1ton. para o cabo de contato e de 2 ton. para o cabo mensageiro, totalizando 3 ton. e é instalado um dispositivo de ajuste automático de força tensora para manter um ótimo desempenho de captação de corrente em relação a mudanças de temperatura. Estacas de concreto e vigas móveis são elementos de suporte aqui padronizados.

A distribuição de energia elétrica de alta tensão é efetuada por 1 circuito trifásico de 6kV instalado também nos postes da rede aérea.

5-2. Sinalização e controle de tráfego.

A escolha do sistema foi realizada após análise de importância de cada trecho, garantia de alto nível de segurança em relação às condições de tráfego, cooperação mútua no sistema homem-máquina, eficiência de tráfego e outros fatores. Será adotado o sistema de bloqueio automático e nos trechos de via dupla serão também instalados sistemas de bloqueio automático de via única, levando em conta a manutenção.

No sistema de sinalização externa, o fato de que o espaço de frenagem de longos trens de minérios é superior

à distância de confirmação dos sinais, poderia ser compensado com a instalação de sinais repetidores, mas ainda assim, o tráfego com atenção contínua nos sinais seria de difícil realização em curvas, túneis e sob más condições de tempo como neblina; consideramos então adequado o sistema de sinalização interna. Entretanto, o sistema de sinalização externa adotado em grande parte no Brasil não obriga a visão contínua dos sinais durante o tráfego e, considerando o tráfego mútuo nessas linhas, o sistema de sinalização externa pode tornar-se viável.

Por um lado, o método de apoiar-se somente em confirmação dos sinais pelo condutor é inadequado, havendo necessidade de um sistema suficiente de cobertura dos erros humanos por máquinas, p.ex., em operação conjunta com os sinais externos pode ser instalado o ATC descontínuo com configuração no trem (não efetua redução automática por serem os trens muito longos e utilizando freio pneumático). Como um sistema vantajoso para esses trechos e em operação conjunta com a sinalização interna, consideramos adequado o sistema ATC contínuo com configuração no trem (não efetua redução automática) formando um sistema de elemento humano prioritário com cobertura dos erros humanos por meio de máquinas, com boas características de acompanhamento de mudanças de sinais, apresentando também elevado nível de segurança e de eficiência de tráfego. Entretanto, a decisão do sistema ótimo a ser utilizado no presente plano deve ser feita após cuidadosa análise de todos os fatores envolvidos como a análise do sistema de tráfego atual adotado no Brasil, visão do sistema de segurança da rede ferroviária brasileira, sistema atual e futuro de sinalização e segurança nas linhas a serem ligadas à nova ligação ferroviária, possibilidade de expansão a um sistema mais sofisticado, análise econômica, e outros.

Quanto ao CTC, ela é indispensável pelo fato de que quase todas as estações de trem serão automatizadas e também, especialmente em trechos de via única, para modernização das operações e aumentar a eficiência de transporte. No início de operações da nova ligação ferroviária a fixação de rotas para passagem dos trens será efetuada manualmente e, em relação ao futuro plano de automação via computadores, há necessidade de decidir sobre a amplitude da automação após suficiente análise de manejo de situações anormais, sistema homem-máquina e possibilidades de expansão a sistemas mais sofisticados.

5-3. Telecomunicações.

O sistema de telecomunicações da presente ligação ferroviária deve ser de alta confiabilidade de modo a permitir transmissão de dados de boa qualidade e controle de alto nível, necessários à comunicação por rádio nos trens, CTC, CSS, e outros. Assim sendo, o circuito básico de transmissão por rádio em 6,8GHz será instalado com redundância, além de permitir a conexão com a rede pública de comunicações como alternativa.

Na linha tronco do circuito de transmissão por cabo será utilizado o cabo coaxial composto (Star-quad) para transmissão por portadora e cabos comuns nas outras linhas, adotando-se o sistema FDM por portadora para rotas de longa distância e PCM para curta distância.

A comunicação por rádio nos trens será em VHF a 150MHz, através de postos instalados ao longo da linha para permitir a comunicação entre o Central de Comando, condutores, pátios e estações, sendo também utilizado para a comunicação entre operadores no mesmo trem, na frente e atrás.

Em áreas de difícil propagação de ondas de rádio, como em túneis, recomendamos a instalação de "Leaky Coaxial Cable".

Em relação à interferência indutiva da eletrificação CA na comunicação, é necessário analisar o problema tomando-se como premissa a utilização de locomotivas a thyristores na nova ligação ferroviária; devem ser inicialmente tomadas as medidas adequadas no material rodante, no circuito elétrico e também efetuar as providências necessárias nos circuitos de sinalização e telecomunicação.

A condutividade do solo, que é um elemento fundamental no projeto dessas providências de proteção, foi medida em 6 lugares ao longo da nova ligação ferroviária planejada e está compreendida na faixa de $6,2$ a $62 \times 10^{-3} \text{ } \Omega/\text{m}$.

6. Formação e Treinamento do Pessoal.

Na presente ligação ferroviária são introduzidas várias novas técnicas em vários campos de atividades e a organização de operações, integridade e desempenho das instalações, especialmente em relação à introdução de sistemas revolucionários de eletrificação, telecomunicações, sinalização e equipamentos sofisticados, são fatores de vital importância que determinam a falha ou sucesso dessa moderna ferrovia. Para tanto, é indispensável efetuar a formação e treinamento do pessoal afim de elevar o nível técnico e torná-los aptos a realizar a manutenção e operação dos novos equipamentos.

Desde o início da construção das obras dessa ligação ferroviária faz-se necessária técnica de alto nível, além da necessidade de formação de pessoal em grande número, para vários tipos de serviços e em curto tempo; razão pela qual recomendamos o método de transferência subsequente

de conhecimentos, treinando inicialmente os líderes que constituirão o núcleo, para que esses possam então treinar o resto do pessoal. Nesse caso, os líderes receberiam, além da formação acima descrita, treinamento no próprio local de trabalho e estágios em fábricas, com um período total de treinamento programado de 4 a 6 meses.

O treinamento no próprio local de trabalho, em introduzir o futuro pessoal de manutenção nos departamentos de obras, partindo da fase de testes de obras, para máximo aprendizado das novas técnicas, conhecerem e acostumarem-se com os equipamentos, devendo completar um trecho de linha como modelo, pelo menos 6 meses antes do início de operações. Além disso, devem ser dadas oportunidades de receberem formação e treinamento no próprio local de trabalho, nas áreas de eletrificação, sinalização, comunicações e vias, além do treinamento de operação dentro do trem e estágio sobre material rodante. É desejável que as obras estejam completamente terminadas pelo menos 3 meses antes do início de utilização, para então efetuar o mesmo treinamento.

INDICE

Prefácio	
Resumo do Relatório	
	Página
1. INTRODUÇÃO	1
1-1 Fatos preliminares ao estudo	1
1-2 Objetivos do estudo	1
1-3 Formação das Missões	2
1-4 Programa de estudos	5
2. ESQUEMA GERAL DA NOVA LINHA	11
2-1 Objetivos da Construção	11
2-2 Posição da Nova Linha no Planejamento a Longo Prazo	12
2-3 Aspectos Gerais da Nova Linha	13
3. PLANEJAMENTO BÁSICO	15
4. DIMENSIONAMENTO DA DEMANDA DE TRANSPORTE	17
4-1 Rota de transporte	17
4-2 Dimensionamento da demanda anual de transporte	17
5. PLANO DE OPERAÇÃO E PLANEJAMENTO DE LOCOMOTIVAS E VAGÕES	23
5-1 Plano Original	23
5-2 Plano de Operação	33
5-3 Planejamento do material rodante	43
5-4 Depósitos - Inspeção - Reparo	73
6. PLANEJAMENTO DA VIA E ENGENHARIA CIVIL	85
6-1 Plano Original	85
6-2 Engenharia civil	100
6-3 Planejamento da via permanente	110
6-4 Manutenção da via permanente	142

	Página
7. PLANO DE ELETRIFICAÇÃO	165
7-1 Plano Original	165
7-2 Eletrificação	168
7-3 Planejamento das subestações	182
7-4 Planejamento da rede aérea	217
8. PLANO DO SISTEMA DE SINALIZAÇÃO E DE CONTROLE OPERACIONAL	263
8-1 Plano Original	263
8-2 Sistemas de sinalização e bloqueio	268
8-3 Controle Automático de Trens (ATC)	275
8-4 Circuito de via	287
8-5 O CTC	303
9. PLANO DO SISTEMA DE COMUNICAÇÕES	331
9-1 Plano Original	331
9-2 Plano de circuito de telecomunicações	332
9-3 Métodos de proteção contra interferência de indução	346
10. PLANEJAMENTO DA FORMAÇÃO E TREINAMENTO DO PESSOAL	383
10-1 Diretrizes básicas de formação/treinamento	383
10-2 Formação requerida	383
10-3 Métodos de formação/treinamento	385
10-4 Instalações requeridas	389
10-5 Planejamento de formação/treinamento relacionados com a ferrovia em questão	390

1. INTRODUÇÃO

1. INTRODUÇÃO

1-1. Fatos preliminares ao estudo.

O presente estudo teve como início o acordo entre o Governo da República Federativa do Brasil e o Governo Japonês sobre cooperação tecnológica em relação à construção da nova ligação ferroviária Belo-Horizonte-Itutinga - Volta Redona, de 389km da rede Ferroviária Federal, planejado com o objetivo principal de transporte de produtos de aço e de minérios de ferro, ligando as principais áreas industriais, como parte do plano de desenvolvimento ferroviário do Brasil para os anos 1975 a 1979.

Para a realização do referido estudo, o Governo Japonês enviou uma missão preliminar em fevereiro de 1975 para estabelecer os acordos prévios ao estudo relacionados ao presente projeto e, seguindo o relatório então apresentado, foi decidido realizar o estudo sobre a construção da nova ligação ferroviária e também efetuar a cooperação tecnológica, enviando a presente Missão em maio de 1975.

1-2 Objetivos do estudo.

Essa Missão tem como objetivos:

1. Assessoramento técnico para a elaboração dos Termos de Referência relativos à concorrência para o fornecimento de equipamentos, materiais, serviços especializados e também à elaboração dos projetos relacionados à eletrificação, telecomunicações, sinalização e controle envolvidos na construção do presente plano ferroviário.
2. Assessoramento técnico para a elaboração do plano geral de formação do pessoal.

3. Assessoramento técnico a outros assuntos relacionados com os itens (1) e (2) anteriores.

A presente Missão ainda elaborará o plano fundamental que servirá como base para os assessoramentos acima relacionados.

1-3. Formação das Missões.

Apresentamos a seguir as formações e os períodos das Missões enviadas em duas etapas.

Formação da Missão Preliminar:

Chefe da Missão: Sr. Shin-ichiro Yoshihara.
Chefe da Divisão de Produção de Material Rolante da Repartição de Supervisão Ferroviária do Ministério de Transportes.

Membros da Missão: Sr. Norio Maekawa
Supervisor da seção de desenvolvimento tecnológico da rede ferroviária Japonesa.

Membros da Missão: Sr. Keiji Iimura.
Sub-chefe da seção de planejamento e desenvolvimento da J.I.C.A.

Período: 18 de fevereiro a 17 de março de 1975.

Membros da presente Missão de Estudos

Líder	Sr. Takao Saito	Termos de Referência	Vice-Diretor do Laboratório de Pesquisa Tecnológica da Rede Ferroviária Japonesa
Vice-Líder	Sr. Toshika Matsushigue	Sistema Total	Gerente Administrativo da Japan Electric Consulting Com.
Vice-Líder	Sr. Norio Maekawa	Telecomunicação	Supervisor da Seção de Desenvolvimento Tecnológico da Rede Ferroviária Japonesa
Membros da Missão	Sr. Yokichi Uchiyama	Pátio de Estacionamento	Engenheiro-chefe do Departamento de Desenvolvimento da Japan Electric Consulting Com.
"	Sr. Kazuo Yoshie	Administração e Transportes	Engenheiro civil e Estações. Conselheiro da Pacific Consultants International
"	Sr. Shiro Takahashi	Vias e Treinamento	Assessor da Divisão de Produção de Material Rodante da Repartição de Ferroviária do Ministério de Transportes
"	Sr. Masatoshi Hirayama	Sinalização	Chefe da Divisão de Obras Ferroviárias da Primeira Repartição de obras em Tóquio da Rede Ferroviária Japonesa
"	Sr. Guichi Tanaka	Réde Aérea do Trem e Energia Elétrica	Engenheiro-chefe da Segunda Repartição de Obras de Eletrificação em Tóquio da Rede Ferroviária Japonesa
"	Sr. Akira Kariya	Sistema de Eletrificação e Distribuição de Energia Elétrica	Engenheiro-chefe da Repartição de Obras de Eletrificação em Sendai da Rede Ferroviária Japonesa
"	Sr. Azusa Miura	Operação e Inspeção de Material Rodante	Assessor da Segunda Seção de Energia Elétrica da Repartição de Eletrificação da Rede Ferroviária Japonesa
"	Sr. Kiyoshi Takeda	Desempenho do Material Rodante e Inspeção	Assessor da Divisão de Planejamento da Repartição de Operações da Rede Ferroviária Japonesa
"	Sr. Kiyohiro Matsuda	Coordenador	Assessor do Grupo de Trens Elétricos do Escritório de Projetos de Material Rodante da Rede Ferroviária Japonesa
"	Sr. Kou Mogui		Conselheiro da Divisão de Estudos e Desenvolvimento do Departamento de Cooperação de Desenvolvimento da Japan International Cooperation Agency

Período: 27 de maio de 1975 a 4 de agosto de 1975

A presente Missão recebeu total cooperação e sincero apoio do Governo Brasileiro, da Rede Ferroviária S/A. (RFF S.A. (ENGEFER), além do auxílio da firma Figueiredo Ferraz Ltda., da cooperação da Embaixada e do Consulado do Japão no Brasil, efetuou o assessoramento técnico em cerca de 200 itens conforme apresentado no anexo, além dos estudos in loco para a elaboração do plano fundamental e a aquisição de referências, apresentando o Relatório Intermediário, durante a sua permanência no Brasil de cerca de 70 dias.

1-4 Programa de Estudos

DIA (sequencial)	DATA	DIA DA SEMANA	LOCAL	DESCRIÇÃO DAS ATIVIDADES
1	27/05	3a.	Tóquio - Los Angeles.	Viagem
2			-Lima	
3	28	4a.	Rio de Janeiro	Visita ao Consulado Geral no Rio de Janeiro e arranjos sobre o plano, com o Consul
4	29	5a.	Rio-Brasília-Embaixada.	Visita ao Embaixador. Arranjos sobre o plano com o secretário.
5	30	6a.	Ministério de Transp. do Brasil	Visita ao Ministro de Transportes do Brasil e confirmação dos itens fundamentais no Ministério de Transportes.
6	31	sab.	Brasília-Rio	Reunião da Missão
7	01/06	Dom.		Dia livre
8	2	2a.	Consulado Geral no R. Janeiro	Explanação do ocorrido em Brasília.
9	3	3a.	Rede Ferroviária Federal.	Confirmação e discussão sobre a amplitude do trabalho
10	4	4a.	ENGEFER	Discussão sobre os itens de estudos e providência de conveniências.
11	5	5a.	ENGEFER	Arranjos sobre as presentes atividades da Missão e confirmação por parte da ENGEFER. Discussão Geral
12	6	6a.	ENGEFER	Discussão por área de atividades
13	7	sab.	Hotel	Reunião da Missão
14	8	Dom.	Rio-Belo Horizonte	Locomoção em trem especial e estudos sobre a instalação, principalmente em relação à sinalização e à operação, em cada uma das seguintes estações: D.Pedro II, Barra do Piraí, Juiz de Fora e S. Dumont.
15	9	2a.	B. Horizonte-Jeceaba-S.J. Del Rei.	Inspeção das linhas ferroviárias existentes no trecho B. Horizonte-Jeceaba, em trem especial. Inspeção do local destinado à construção da nova linha no trecho Jeceaba-São João Del Rei.
16	10	3a.	S. João Del Rei-B. Horizonte	Discussão com o encarregado local no escritório comum da ENGEFER e FF em São João Del Rei. Estudo do local destinado à construção da estação de Matadouro, que será o ponto inicial em Belo Horizonte.
17	11	4a.	B. Horizonte-R. Janeiro.	Estudo das minas de ferro de Águas Claras e retorno ao Rio por via aérea.

DIA (sequencial)	DATA	DIA DA SEMANA	LOCAL	DESCRIÇÃO DAS ATIVIDADES		
18	12	5a.	ENGEFER	Análise do material apresentado pelo lado brasileiro	Rio - S.P.	Visita do Líder da Missão (Sr. Saito) juntamente com mais 4 membros, ao Consulado Geral em S. Paulo.
19	13	6a.	ENGEFER	Análise do material apresentado pelo lado brasileiro.	F.F.	Visita à FF e arranjos sobre o plano
20	14	Sab.	Hotel	Reunião da Missão sobre a discussão com a FF	S.P.- Rio	Retorno ao Rio por via aérea.
21	15	Dom.		Dia livre		
22	16	2a.	ENGEFER	Discussão conjunta com a ENGEFER e a FF (Discussão Geral e por área de atividades, com cada parte).		
23	17	3a.	ENGEFER	Discussão por área de atividades		
24	18	4a.	ENGEFER	Discussão por área de atividades		
25	19	5a.	ENGEFER	Resumo das discussões dos dias 16 a 18 e discussão geral com a ENGEFER e a FF.		
26	20	6a.	ENGEFER	Discussão geral com a ENGEFER e a FF		
27	21	Sab.	ENGEFER	Reunião da missão		
28	22	Dom.		Dia Livre		
29	23	2a.	Estudo das redondezas do Rio de Janeiro.	Os principais locais em que foram efetuados os estudos por área de atividades para a instalação das linhas ferroviárias na área do Rio de Janeiro são os seguintes: - Fábrica de material rolante (locomotivas diesel e elétricas) - Locais de sinalização - Subestações - Fábrica de reparos das máquinas de manutenção.		
30	24	3a.	Estudo das redondezas do Rio de Janeiro	Os principais locais de estudo são os seguintes: - Trecho de trens elétricos - Fábrica de trens de passageiros - Centro de CTC - Centro de trilhos		
31	25	4a.	Rio-Sepetiba-Rio-S.Paulo	Estudo das instalações de descarga de minérios de ferro no Porto de Sepetiba Partida do sub-líder da Missão (Sr. Maekawa) e 6 membros de trem, em carro-leito, para discussões com a FF.		

DIA (sequencial)	DATA	DIA DA SEMANA	LOCAL	DESCRIÇÃO DAS ATIVIDADES		
32	26	5a.	Consulado Geral em S. Paulo	Visita ao Cônsul-Geral de São Paulo	ENGEFER	Discussão por área de ati- vidades do sub-líder da Missão (Sr. Maekawa) e mais 5 membros.
			FF	Discussão e confirmação com a FF sobre os itens fundamentais re- lativos aos trabalhos.		
33	27	6a.	FF	Discussão e respostas à lista de perguntas da FF.	ENGEFER	Discussão por área de ati- vidades (Retorno do Sr. Takahashi ao Japão).
34	28	Sab.	Hotel	Reunião da Missão	ENGEFER	Reunião da Missão
35	29	Dom.		Dia livre		Dia livre
36	30	2a.	FF	Discussão e respostas à lista de perguntas da FF	ENGEFER	Elaboração das respostas à lista de perguntas da FF.
37	1/7	3a.	FF	Discussão por área de atividades com a parte em questão em relação às perguntas.		Elaboração das respostas à lista de perguntas da FF
38	2	4a.	FF	Discussão por área de atividades com a parte em questão em relação às perguntas		Elaboração das respostas à lista de perguntas da FF
39	3	5a.	FF	Discussão por área de atividades com a parte em questão em relação às perguntas		Elaboração das respostas à lista de perguntas da FF
40	4	6a.	FF	Discussão por área de atividades com a parte em questão em relação às perguntas	ENGEFER	Elaboração das respostas
41	5	Sab.	Hotel	Reunião da Missão	Hotel	Reunião da Missão
42	6	Dom.		Dia livre		Dia livre
43	7	2a.	FF e Metrô	Discussão por área de atividades com a parte em questão em relação às perguntas. Visita ao Metrô e operação junto ao condutor.	ENGEFER	Elaboração das respostas
44	8	3a.	Linha Santos- Jundiaí Estudo do Porto de Santos	Estudo da linha ferroviária Santos-Jundianópolis por cabo das instalações de recebimento de carga do porto de Santos.	ENGEFER	Elaboração das respostas

DIA (sequencial)	DATA	DIA DA SEMANA	LOCAL	DESCRIÇÃO DAS ATIVIDADES		
45	9	4a.	FF	Discussão por área de atividades com a parte em questão em relação às perguntas.	ENGEFER	Elaboração das respostas e partida do grupo de telecomunicações para medições in loco.
46	10	5a.	FF	Discussão por área de atividades com a parte em questão em relação às perguntas.	Rio-Belo Horizonte Rio-São Paulo	Partida do grupo de engenharia Civil de trem, em carro-leito
47	11	6a.	FF S.Paulo-Rio	Chegada do grupo de engenharia civil e reunião geral da Missão. Discussão por área de atividades com a parte em questão.	FF	Reunem-se à Missão, reunião e discussão por área de atividades.
48	12	Sab.	ENGEFER	Reunião da missão		Reunião da Missão
49	13	Dom.		Dia livre		Dia livre
50	14	2a.	ENGEFER	Discussão por área de atividades com a parte em questão e elaboração do relatório intermediário	FF B. Horizonte - Rio	Discussão por área de atividades com a parte em questão. O grupo de telecomunicações retorna após completar as medições in loco.
51	15	3a.	ENGEFER	Discussão por área de atividades com a parte em questão e elaboração do relatório intermediário.	FF	Discussão por área de atividades.
52	16	4a.	ENGEFER	Discussão por área de atividades com a parte em questão e elaboração do relatório intermediário		Discussão por área de atividades.
53	17	5a.	ENGEFER	Discussão por área de atividades com a parte em questão e elaboração do relatório intermediário	ENGEFER	O grupo de engenharia civil retorna ao Rio por via aérea
54	18	6a.	ENGEFER	Discussão por área de atividades com a parte em questão e elaboração do relatório intermediário		
55	19	Sab.	Hotel	Reunião da Missão		
56	20	Dom.		Dia livre		
57	21	2a.	ENGEFER (redondezas do Rio de Janeiro)	Além da discussão por área de atividades e elaboração do relatório intermediário, efetuar os estudos suplementares por área de atividades, relativos as instalações das linhas existentes nos arredores do Rio de Janeiro.		

DIA (sequencial)	DAT	DIA DA SEMANA	LOCAL	DESCRIÇÃO DAS ATIVIDADES		
58	22	3a.	ENGEFER (redondezas do Rio de Janeiro)	CONFORME DATA ANTERIOR	Rio-Brasília	Arranjos sobre o plano do Sr. Saito e 2 membros na Embaixada.
59	23	4a.	ENGEFER (redondezas do Rio de Janeiro)	CONFORME ACIMA	Brasília - São Paulo	Visita à FF
60	24	5a.	ENGEFER (redondezas do Rio de Janeiro)	CONFORME ACIMA	S.P. - Rio	Retorno ao Rio por via aérea
61	25	6a.	ENGEFER (redondezas do Rio de Janeiro)	CONFORME ACIMA		
62	26	Sab.	Hotel	Reunião da Missão		
63	27	Dom.		Dia livre		
64	28	2a.	RFF	Apresentação do relatório intermediário		
65	29	3a.	Rio-Brasília	Apresentação do relatório intermediário à Empaixada e ao Ministério de Trans- portes do Brasil pelo lí- der da Missão (Sr. Saito) e 4 membros.		
66	30	4a.	Brasília~Rio	Retorno ao Rio por via aérea	Brasília - Saõ Paulo - Rio	Explanação do relatório intermediário ao Consu- lado Geral e à FF pelo sub-líder, Sr. Maekawa
67	31	5a.	ENGEFER	Estudo suplementar por área de atividades		
68	1/8	6a.	ENGEFER	Estudo suplementar por área de atividades		
69	2	Sab.	Rio-Nova York Nova York	} Viagem (Linha de mudança do dia)		
70	3	Dom.	Nova York-Tôkyo			
71	4	2a.	Retorno ao Japão			

2. ESQUEMA GERAL DA NOVA LINHA

2. ESQUEMA GERAL DA NOVA LINHA

2-1. Objetivos da Construção.

A área de Belo Horizonte, no Estado de Minas Gerais, é uma das principais fontes mundiais de minérios de ferro que, além de suprir a demanda interna, são exportados ao Japão e a vários países. A produção tem crescido assustadoramente e a previsão para 1978 da demanda de transporte de matéria-prima e produtos acabados, no corredor de Belo Horizonte, é de 40 milhões de toneladas. Além disso, estão estabelecidos como metas a produção de 25 milhões de toneladas de produtos de aço e a exportação de 100 milhões de toneladas de minérios de ferro, e a demanda de transportes nessa área deve crescer imensamente.

Por outro lado, o sistema existente encontra-se quase em estado de saturação, surgindo a necessidade de construir uma força de transporte para fazer face à crescente demanda e substituí-lo, a chamada "Ferrovia do aço", constituída pelos trechos Belo Horizonte - São Paulo e Itutinga - Volta Redonda, da Rede Ferroviária Federal, atingindo um total de cerca de 830 km. Dentre esses, o trecho Belo Horizonte - Itutinga - Volta Redonda é o de mais alta prioridade, cuja instalação deve completar-se em 1978 devido às seguintes razões:

A primeira é o suprimento dos 8 milhões de toneladas de matéria prima a ser consumida pela Companhia Siderurgica Nacional (CSN), em Volta Redonda e pela Companhia Siderúrgica Paulista (COSIPA); a segunda é o transporte de minérios de ferro para exportação via Porto de Sepitiba. Além disso, a Linha Central da Rede Ferroviária Nacional, que consiste a atual rota para transportes, já se encontra em estado de saturação e

não pode satisfazer a demanda dos transportes acima descritos, sendo planejados grandes melhoramentos na Linha Central até 1992, construindo a nova linha prontamente e ir transferindo, por enquanto, a carga de transporte de Linha Central para a nova linha.

2-2. Posição da Nova Linha no Planejamento a Longo Prazo.

No 2º Plano Nacional de Desenvolvimento do Brasil foram organizadas a estratégia básica do Brasil e as metas da sociedade econômica para o período de 1975 a 1979. O Governo estabeleceu as diretrizes de conter a inflação e realizar o desenvolvimento da sociedade econômica mantendo em alto índice de crescimento econômico baseado em assegurar a moeda estrangeira, principalmente através da exportação de produtos agrícolas e minérios de ferro. Para tanto, é de necessidade imediata a organização e estabelecimento da infraestrutura e, especialmente em relação aos meios de transporte por terra, é necessária a transfereência, de acordo com a política de energia, do transporte baseado principalmente em rodovias para transporte ferroviário, econômico, de alta eficiência e adequado ao transporte de grande quantidade de cargas a grande distância, juntamente com o fator principal de utilização de energia elétrica proveniente de fartos recursos hidráulicos.

De acordo com as Diretrizes Nacionais acima, foi estabelecido o plano de desenvolvimento ferroviário para o mesmo período de 1975 a 1979. Este plano determina o aumento da capacidade de transporte através da construção de novas linhas ferroviárias e melhoramento das já existentes, redução de pessoal e modernização em geral, totalizando um investimento de Cr\$30,5 bilhões, dos quais 35,6% são destinados às instalações de transporte do plano de expansão do aço, como um projeto de alta prioridade. Dentro deste projeto,

que inclui cerca de 1,400km de construção de novas linhas e expansão das existentes, é dada especial importância à nova linha Belo Horizonte - São Paulo - Volta Redonda.

Quanto aos estudos de viabilidade econômica e técnica da nova linha em questão, estão organizados no plano a longo prazo abrangendo 30 anos efetuado pelo Departamento Nacional de Estradas de Ferro (DNEF), para a área que compreende Belo Horizonte, São Paulo, Rio de Janeiro e Brasília. De acordo com esse plano, a rede ferroviária dessa área, que constituirá o eixo econômico do Brasil, é um sistema de vital importância que proporcionará 85% da capacidade de transporte ferroviário do Brasil após cerca de 20 anos, sendo dividido em 2 blocos, onde estão sendo efetuadas análises objetivas dos pontos de vista econômicos e técnicos, mas a rede ferroviária do 1º bloco, que compreende a área de Belo Horizonte - São Paulo - Rio de Janeiro e estruturado em torno da nova linha, é de especial importância e, também de acordo com resultados da avaliação econômica, foi concluído que será obtida independência financeira em curto período, com o investimento de Cr\$27 bilhões em 30 anos.

Podemos, portanto, dizer que o plano da nova linha em questão é de extrema importância e realiza a concretização da política básica do Governo em relação ao Plano de Desenvolvimento Nacional, tendo ao mesmo tempo prioridade máxima no Plano de Desenvolvimento Ferroviário, além de constituir as bases da futura organização e estabelecimento da Rede Ferroviária Brasileira.

2-3. Aspectos Gerais da Nova Linha.

A linha Norte-Sul, de 388,9 km, da ligação Belo Horizonte-Volta Redonda, como trecho da 1ª fase do plano em

andamento, é conectada em Jeceaba à linha Central do 6º Posto de Controle e no caso de prolongar-se na direção de São Paulo, como trecho da fase 2, passa pelo ponto de bifurcação em Itutinga e é conectada à linha Rio - São Paulo, no 6º Posto de Controle em Volta Redonda.

Além de ser conectada à linha da Fábrica da Estrada de Ferro Vitória - Minas (EFVM) em entroncamento, serão construídas várias ramificações de várias estações para as minas. Em São Paulo e Belo Horizonte é planejada a conexão com linhas circulares em planejamento sob outros projetos.

A nova linha em questão é uma via básica projetada com bitola de 1,6m, mínimo raio de curvatura de 900m e máximo declive de 1%, com quase todos os trechos em área montanhosa a altitudes de 800 a 1000m com vários túneis e pontos, mas o trecho de cerca de 90 km nos arredores de Volta Redonda consiste de declive contínuo de 0,7 a 1%.

A presente ferrovia é destinada ao tráfego de trens de carga, especialmente de transporte de minérios de ferro e deve ser planejado de modo que não sofra nenhuma restrição pelo tráfego de trens de passageiros no futuro. Além disso, a sua meta é o tráfego intenso de grandes composições, com operação elétrica e construído de modo a resistir à demanda superior a 200 milhões de toneladas.

Em relação às condições de progresso das obras da nova linha, as obras de engenharia civil foram iniciadas em março do corrente ano e em relação à eletrificação, vias e outros, é planejado abrir concorrência dentro de curto prazo sobre projeto, fornecimento de materiais e equipamentos e obras.

3. DIRETRIZES BÁSICAS PARA A ELABORAÇÃO DO PLANO

3. DIRETRIZES BÁSICAS PARA A ELABORAÇÃO DO PLANO

A ligação ferroviária considerada no presente plano é uma importante artéria, destinada principalmente ao transporte de minério de ferro, ligando as principais centros produtores aos principais centros industriais. Por outro lado, esta ferrovia deverá desempenhar papel fundamental, como base da futura modernização e expansão da rede ferroviária brasileira. Assim sendo, para que a nova ligação ferroviária - que em seu horizonte final deverá alcançar o revolucionário índice de 200 milhões de toneladas - atinja plenamente seus objetivos de transporte em massa, rápido, seguro e a baixo custo, que são aliás as características inerentes às ferrovias, correspondendo assim às expectativas nela depositadas, é necessário efetuar um estudo de caráter global sobre a maneira de ser do sistema que mais se adapte à ferrovia em questão. Ao mesmo tempo, é necessário que se introduza da maneira mais ampla possível as tecnologias mais atualizadas, especialmente nos setores de eletrificação, sinalização e comunicação, para que se torne um sistema realmente moderno, capaz de ser uma ferrovia-modelo para o Brasil.

Com base nesta visão, foram considerados os seguintes pontos ao elaborar e planejamento do sistema básico.

- a- A ferrovia como um sistema global, levando também em conta os fatores externos que possam influenciá-la, deve estar perfeitamente harmonizada, sendo desnecessário dizer que ao se fazer tal consideração é imprescindível levar em conta todos os sub-sistemas de cada setor que compõe a ferrovia.
- b- Deve-se assegurar um nível de segurança e confiabilidade que correspondam às condições impostas à ferrovia.

- c- A ferrovia deve ser um sistema adequado do ponto de vista do relacionamento homem-máquina.
- d- Deve-se levar em conta as medidas a serem tomadas para fazer frente às futuras variações qualitativas e quantitativas da demanda de transporte.
- e- Ao se efetuar a escolha do sistema a ser adotado, deve-se levar em conta os resultados comprovadamente obtidos pelo mesmo, tanto no Brasil como no exterior.
- f- Deve-se tomar medidas para a elevação do nível técnico e modernização dos trabalhos de manutenção, partindo das premissas de exaustivo treinamento do pessoal e mecanização dos trabalhos.

O "Plano Original" referido daqui para frente é o esquema geral apresentado pela ENGEFER à Missão Japonesa durante sua permanência no Brasil, incluindo os itens ainda a decidir.

Dentro do presente relatório, foram respeitadas as idéias contidas no Plano Original e segundo esta diretriz as proposições referentes ao sistema básico ocupam a posição mais importante. Estudos mais objetivos e detalhados são citados a título de exemplos, condicionando cada um destes casos a determinadas premissas ou hipóteses.

4. DIMENSIONAMENTO DA DEMANDA DE TRANSPORTE

4. DIMENSIONAMENTO DA DEMANDA DE TRANSPORTE

4-1. Rota de transporte

Os principais centros produtores de minério de ferro, são, conforme indicados na Figura 4-1-1, as minas de Aguas Claras, Jangada, Tamanduã, Vargem da Botica, etc. Os principais pontos de destino são os portos de Sepetiba e Arara, as minas de Santa Cruz e Volta Redonda e na região de São Paulo a Cosipa (usina siderúrgica localizada em Piaçaguera), nas margens da E.F. Santos - Jundiaí. O minério produzido em Aguas Claras será inicialmente transportada pela ferrovia existente até Jeceaba, entrando daí na nova ferrovia até 1987, sendo que de 1987 em diante transportado diretamente através da nova ferrovia, via Macacos, conforme mostrado na figura. O minério produzido na mina de Fábrica, será em parte levado à Casa de Pedra, mas a maior parte será levada para o porto de Vitória, via E.F. Vitória - Minas. O minério de ferro destinado à CSN em Volta Redonda, será originário de Casa de Pedra.

4-2. Dimensionamento da demanda anual de transporte

A tabela 4-2-1 mostra a evolução da demanda anual de transporte, segundo trecho, de minério de ferro (e pellet) e carga geral (cimento, calcáreo, combustíveis e outros).

Demanda máxima de transporte

	milhões de ton transporte total	milhões de ton minério de ferro
1977	28 (Itutinga - Volta Redonda)	24
1982	41 (Jeceaba - Itutinga)	35
1987	71 (Casa de Pedra - Jeceaba)	62
1992	110 (Entroncamento - Casa de Pedra)	95
2002	216 (Entroncamento - Casa de Pedra)	186

A partir de 1987 todo o trecho Macacos - Itutinga será duplicado, mas o trecho Itutinga - Volta Redonda continuará em linha singela. Por volta de 1987 será atingida a saturação da capacidade de transporte e em 1992 paralelamente às obras de duplicação do trecho Jeceaba - Barra do Piraí, da linha atualmente existente, 65% do transporte de minério de ferro com destino a Santa Cruz, Sepetiba e Arara, será feito pela linha atualmente existente (E.F. Central do Brasil), sendo que os restantes 35% serão transportados pela nova ferrovia. Por volta de 2002 todo minério com os destinos acima será transportado via E.F. Central do Brasil, enquanto que a nova Ferrovia se encarregará exclusivamente do minério destinado a Volta Redonda e Barra Mansa.

A tabela abaixo mostra a previsão de produção de cada uma das minas principais e os destinos do minério de ferro.

Tabela 4-2-1 Demanda de transporte, segundo trecho e segundo ano

- Sentido Exportação -

(10³ t)

Trecho	Ano					
	1977	1982	1987	1992	2002	
Belo Horizonte Macacos	Minério de ferro	0	0	0	0	0
	Outras cargas gerais Total	3,887 3,887	6,948 6,948	10,024 10,024	23,773 23,773	
Macacos	Minério de ferro	240	44,934	70,247	135,188	
	Outras cargas gerais Total	3,887 4,127	6,948 51,882	10,024 80,271	23,773 158,961	
Itabirito	Minério de ferro	4,030	5,830	56,952	92,340	180,857
	Outras cargas gerais Total	29 4,059	3,926 9,756	7,000 63,952	10,093 102,433	23,896 204,753
Entroncamento	Minério de ferro	5,009	8,746	58,928	95,198	185,989
	Outras cargas gerais Total	1,229 6,238	6,896 15,642	11,089 70,017	15,096 105,680	30,089 207,541
Casa de Pedra	Minério de ferro	9,278	16,895	61,531	90,794	179,852
	Outras cargas gerais Total	1,319 10,597	5,996 22,891	9,589 71,120	15,096 105,680	27,689 207,541
Jeceaba	Minério de ferro	23,522	35,493	58,995	53,464	60,634
	Outras cargas gerais Total	3,289 26,811	5,086 40,579	7,971 66,966	10,795 64,259	17,311 77,945
Itutinga	Minério de ferro	23,522	29,876	45,436	25,220	7,202
	Outras cargas gerais Total	4,567 28,089	3,178 33,054	4,687 50,123	4,715 29,935	5,824 13,026
Volta Redonda	Minério de ferro					
	Outras cargas gerais Total					
Itutinga São Paulo (Em seção máxima)	Minério de ferro		5,617	9,186	15,096	28,598
	Outras cargas gerais Total		3,964 9,581	7,481 16,667	12,060 27,156	25,328 53,926
Jeceaba Barra do Piraí (Em seção máxima)	Minério de ferro	0	2,922	5,209	41,017	105,988
	Outras cargas gerais Total	139 139	1,831 4,753	2,997 8,206	6,298 47,315	12,344 118,332

Nova Ligação Ferroviária

Linhas
atuais
existentes

Tabela 4-2-2 Produção prevista de minas principais

Mina \ Ano	Ano					Estação de Partida	Destino
	1977	1982	1987	1992	2002		
Aguas Claras	14	23	23	45	65	Até 1987 Jeceaba	Sepetiba Santa Cruz Casa de Pedra
						Após 1987 Macasos	
Taman- dua	0.2	0.2	13	26	63	Macacos	Sepetiba Itutinga
Jangada	1.4	1.6	2.7	3.6	6.4	Até 2002 Jeceaba	Arara
						Após 2002 Macacos	
Vargem da Botica	3.8	5.6	12	22	46	Itabirito	Piaçaguera Arara

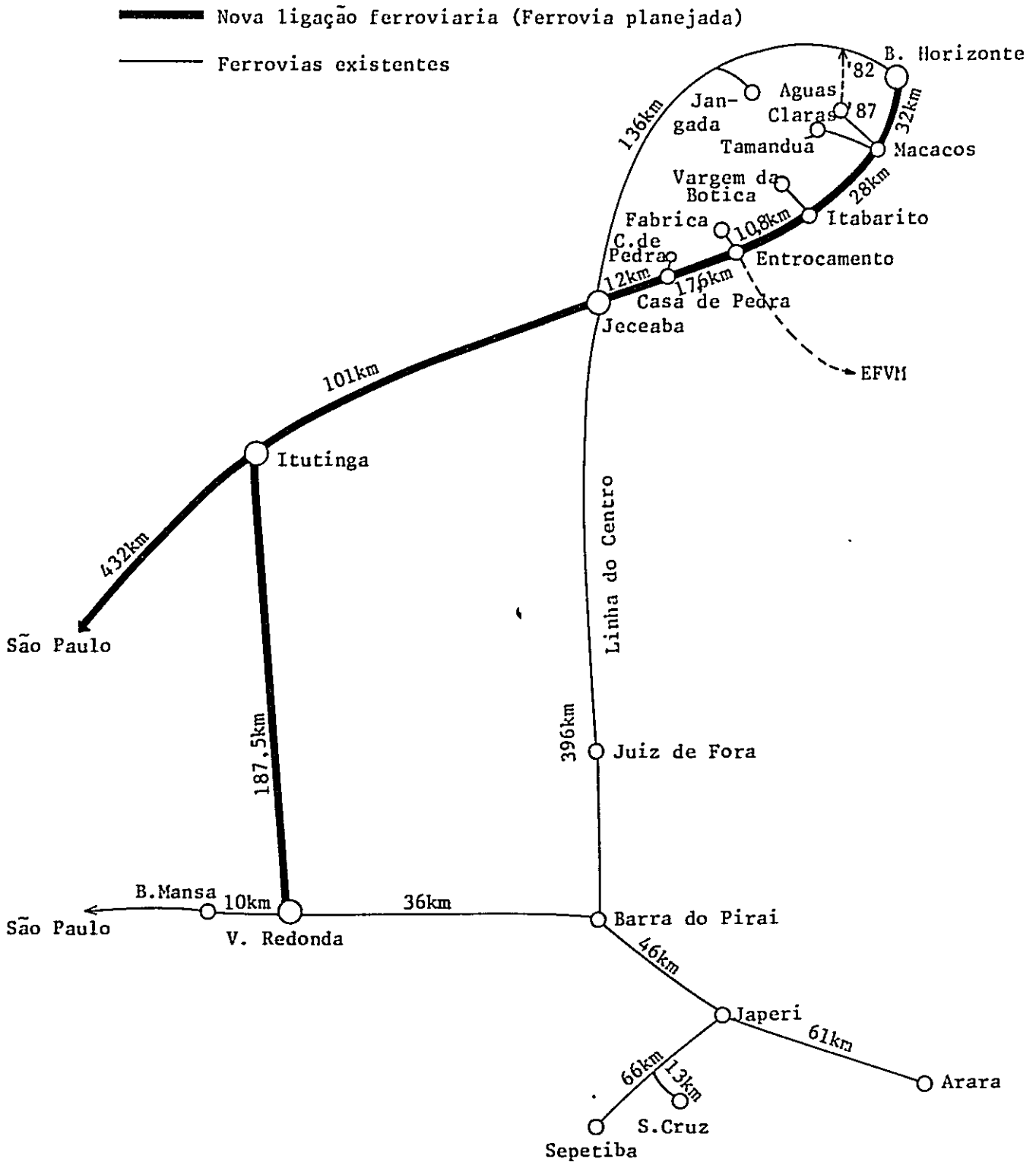


Figura 4-1-1 Localização das minas e pontos de destino

5. PLANO DE OPERAÇÃO E PLANEJAMENTO
DE LOCOMOTIVAS E VAGÕES

5. PLANO DE OPERAÇÃO E PLANEJAMENTO DE LOCOMOTIVAS E VAGÕES

5-1. Plano Original

5-1-1 Características de Operação

Velocidade de operação	máxima 60 km/h ou 80 km/h mínima 30 km/h
Carga tracionada	3000ton/locomotiva 9000ton ou 12000ton/composição
Eletrificação	AC 25000V 60Hz

5-1-2 Características técnicas da ferrovia

Bitola	1600mm
Declividade máxima	1%
Raio mínimo de curvatura	900m

5-1-3 Características das locomotivas e vagões

Características das locomotivas elétricas

Potencia nominal	: 2800kW a 3200kW (regime contínuo)
Velocidade nominal:	aprox. 30km/h
Velocidade máxima	: 60km/h ou 80km/h
Carga por eixo	: 28ton ou 30ton
Disposição dos eixos:	C-C
Distância entre faces de conexão:	20m
Retificador principal:	Totalmente thyristorizado
Freio	: Pneumático automático e elétrico
Detetor de patinagem	: Equipado

Características dos vagões

Cargas por eixo:	25 ton ou 30 ton
Número de eixos:	4
Distância entre faces de conexão:	12m

Características gerais

Freio das composições: Freio pneumático automático

Conector: Tipo AAR-F ou serviço ultra pesado
(Alliance Ultra Heavy Duty)

Equipamento de segurança: ATC

Resistência do trem: Equação de Davis

Distância de frenagem: Equações de Hay

Especificações: AAR(AREA), VIC. Especialmente nas partes relacionadas com freios, conectores automáticos e eixos foram utilizadas especificações AAR.

5-1-4 Trafego de trens e número de composições

Na nova ligação ferroviária são previstas as operações de 3 tipos de trens:

- trens para minério de ferro
- trens para carga geral
- trens para passageiros

Os trens para carga, tendo em vista suas próprias características, são classificadas em 3 tipos:

- trem completo (tração de 9000ton)
- trem direto (ligação direta entre 2 estações)
- trem coletor (trens que são juntados ou decompostos em estações intermediárias do percurso)

Os trens para minério serão em princípio trens completos e ao mesmo tempo trens diretos.

Por outro lado, os trens para carga geral serão trens coletores, levando em conta a eficiência de transporte.

Na Figura 5-1-1 e na Figura 5-1-2 são mostrados os diagramas que indicam o tráfego de trens, segundo

tipos e a sua quantidade, para os períodos de 1982 e 1987 (sentido exportação).

Quanto ao transporte de passageiros, atualmente seu número não passa de 1000 a 2000 pessoas por dia, mesmo no trecho Rio de Janeiro - Belo Horizonte (ida e volta) e, antes de 1982, não serão operados trens para passageiros na nova ferrovia. Após 1982, paralelamente à entrada em operação do trecho Itutinga - São Paulo, será colocado em operação um trem noturno que fará ida e volta entre São Paulo - Belo Horizonte e, ao mesmo tempo, trens que farão 6 idas e voltas entre Belo Horizonte e Rio de Janeiro. Nesse caso, o trecho entre Jeceaba - Rio de Janeiro será feito via linha atualmente existente (E.F. Central do Brasil).

No ano 2002, no trecho Entroncamento - Casa de Pedra, na seção de maior densidade de tráfego, serão necessários uma média de 80 trens de minério e 18 trens de passageiros por dia, em cada sentido.

Somente no sentido exportação

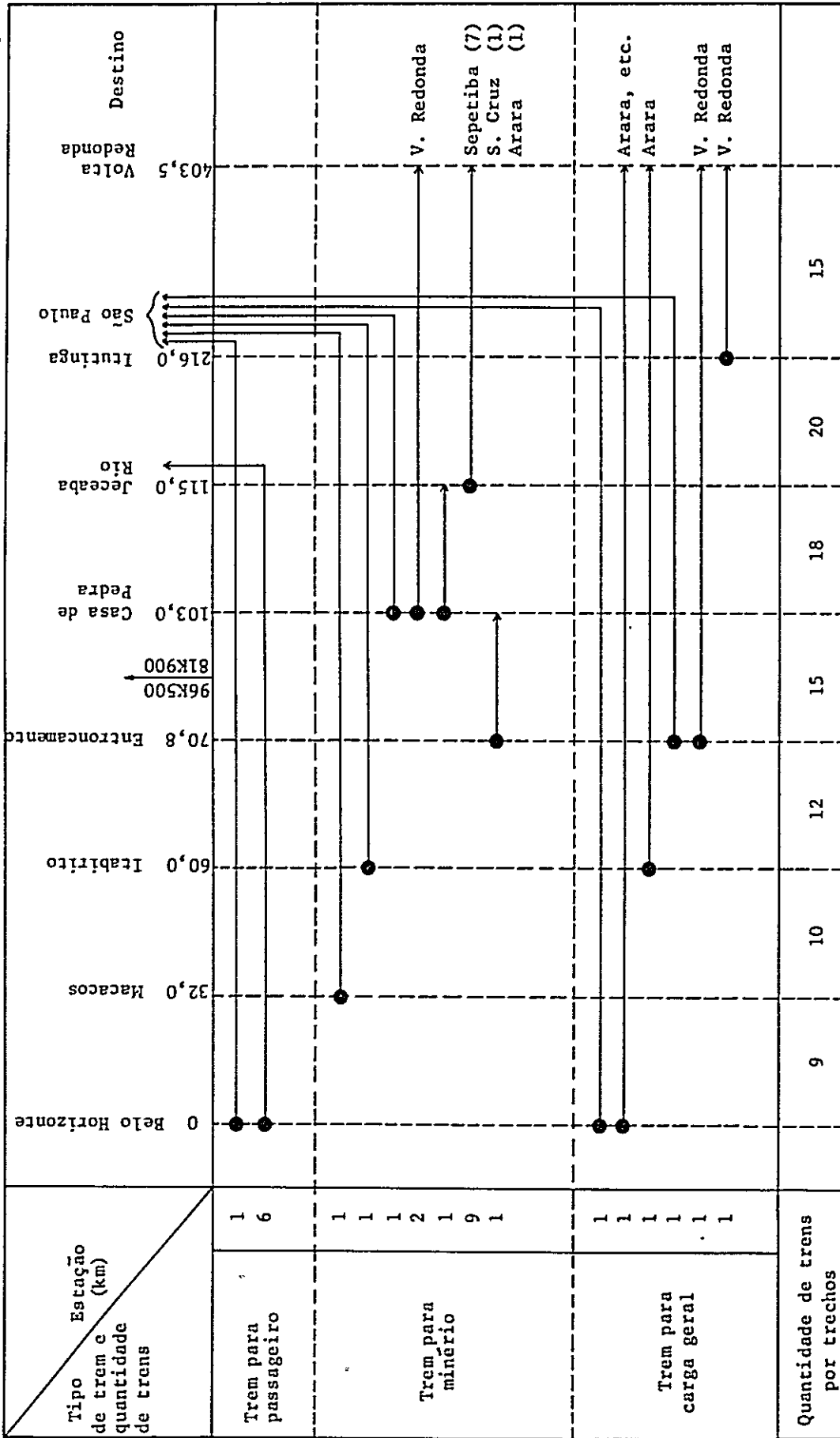


Figura 5-1-1 Tráfego de trens e quantidade de trens - Horizonte 1982

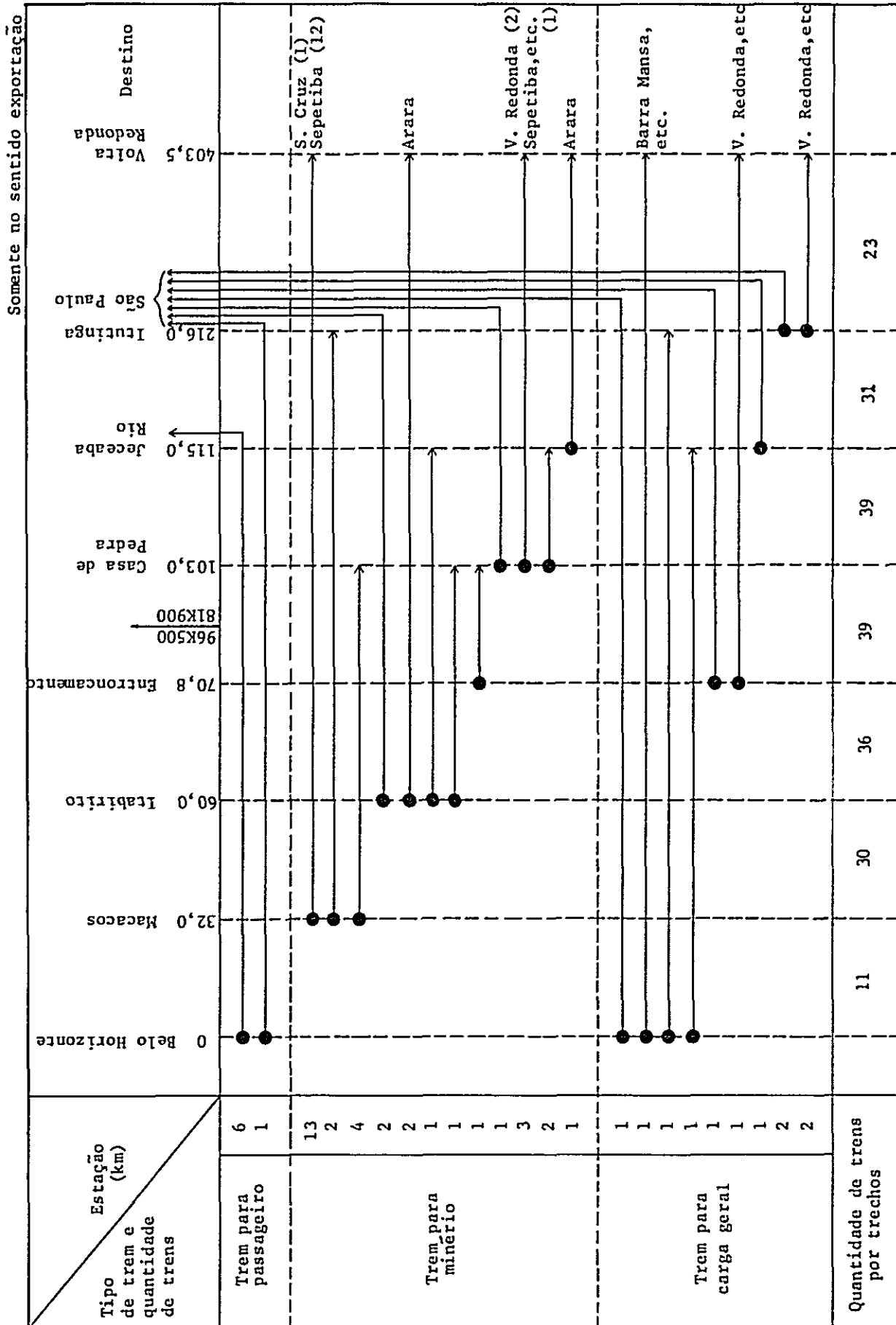


Figura 5-1-2 Tráfego de trens e quantidade de trens - Horizonte 1987

5-1-5 Gráfico Horário

O gráfico horário para operação de trens nos períodos de 1982 e 1987 são mostrados nas Figuras 5-1-3 e 5-1-4. A tabela padrão de horários para operação é mostrada na Tabela 5-1-1.

A filosofia para confecção do gráfico horário é baseada nos seguintes pontos:

- a. Os trens para passageiros entre Belo Horizonte - São Paulo serão noturnos e entre Belo Horizonte - Rio de Janeiro serão noturnos e diurnos.
- b. Os trens para minério e para carga geral não haverá limitação ou preferência de horário (Não haverá limitação ou preferência quanto aos horários de embarque e desembarque).
- c. Os trabalhos de reparo e manutenção da via serão feitos durante o dia, sendo reservada uma faixa de 4 horas para esta finalidade.
- d. Os trechos que permanecerão inoperantes para reparos e manutenções serão basicamente o espaço compreendido entre duas estações sucessivas, sendo sucessivamente deslocado ao longo da linha. Em trechos de linha dupla uma delas permanecerá em operação.
- e. Os trens para minério correndo no sentido exportação serão em principio trens diretos entre dois pontos.
- f. Os trens no sentido importação (sentido Belo Horizonte) serão na sua maioria trens vazios e

mesmo que alguns deles levem carga geral, darão preferência aos trens carregados trafegando no sentido exportação, sempre dando passagem a eles nas estações intermediárias.

Como ilustração, serão mostradas as durações das viagens para transporte de minério de ferro quando feita através da nova ferrovia planejada e através da E.F. Central do Brasil.

Trecho Aguas Claras - Sepetiba (MBR)

- duração atual: 27h 35min. a 29h 55min.

- via nova ferrovia:

Em 1982: aprox. 18h 30min. (trechos Aguas Claras - Jeceaba e Volta Redonda - Sepetiba pela linha existente)

Em 1987: aprox. 15h (Volta Redonda - Sepetiba pela linha existente).

Trecho Casa de Pedra - Volta Redonda (CSN)

- duração atual: 18h 14min.

- via nova ferrovia: aprox. 6h

Obs. A tabela padrão de horários para operação e o gráfico horário foram obtidos pelos engenheiros brasileiros através de simulação e não coincidem com os dados referentes a localização de estações e sua quilometragem, que serão apresentados em 6-2 Engenharia Civil.

Tabela 5-1-1 Tabela padrão de horários para operação

Estação	Horário padrão de operação (mm)	
	Sentido exportação	Sentido importação
Belo Horizonte 1-01	16	11
Posto 1-02	12	10
Posto 1-03	18	16
Macacos 1-04	13	12
Posto 1-05	21	16
Posto 1-06	21	13
Itabirito 1-07	17	13
Entroncamento 1-08	16	18
Casa de Pedra 1-09	18	16
Jeceaba 1-10	22	20
Posto 1-11	11	10
Posto 1-12	24	15
Posto 1-13	17	20
Posto 1-14	16	15
Posto 1-15	15	13
Posto 1-16	20	14
Itutinga 1-17	15	16
Posto 2-01	19	17
Posto 2-02	15	15
Posto 2-03	19	16
Posto 2-04	11	9
Posto 2-05	14	12
Posto 2-06	17	13
Posto 2-07	15	18
Posto 2-08	16	19
Posto 2-09	12	15
Posto 2-10	11	13
Posto 2-11	10	11
Posto 2-12	12	14
Posto 2-13	15	17
Posto 2-14	12	14
Volta Redonda 2-15		
Total	490	451

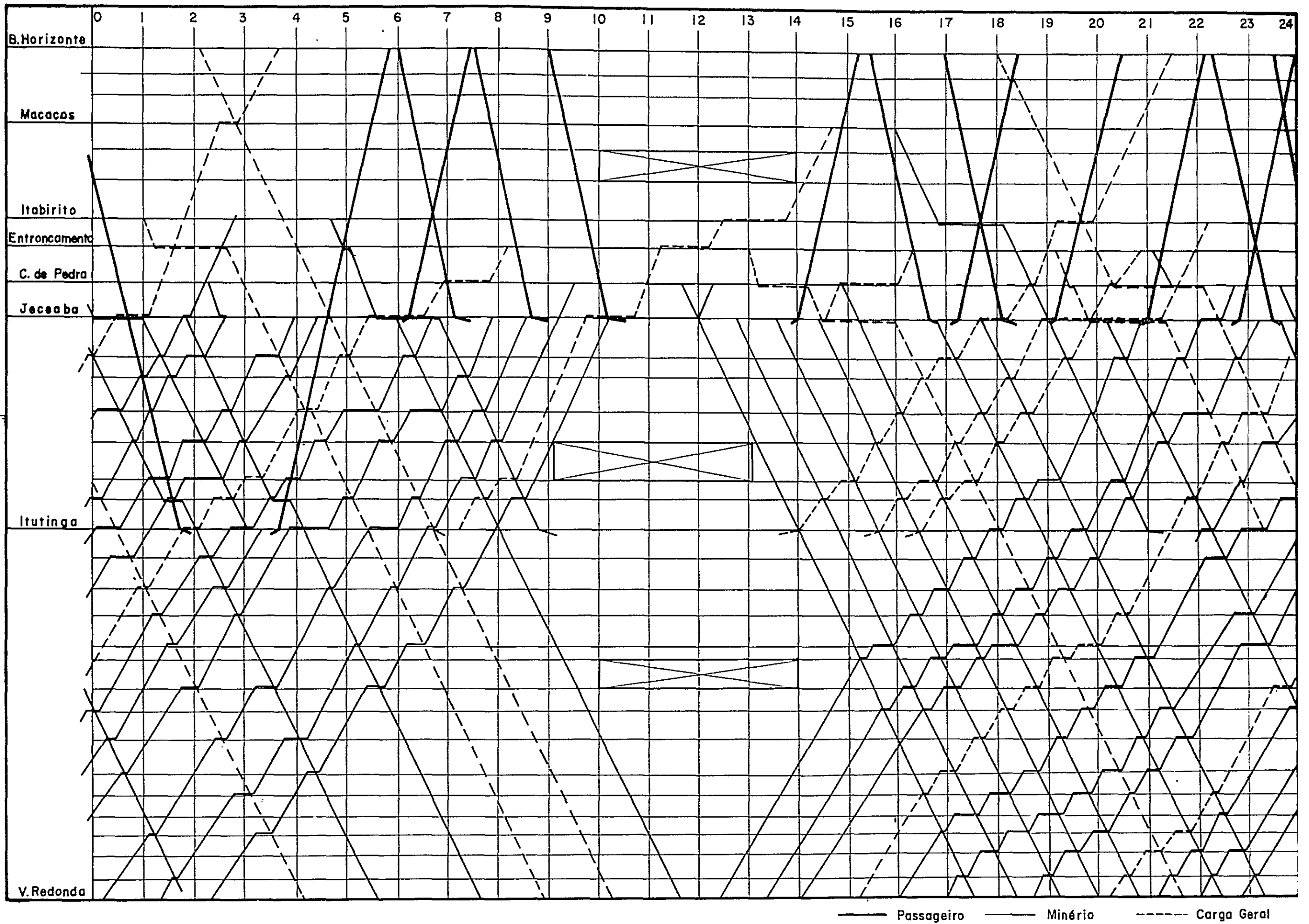


Figura.5-1-3 Gráfico horário - Horizonte 1982

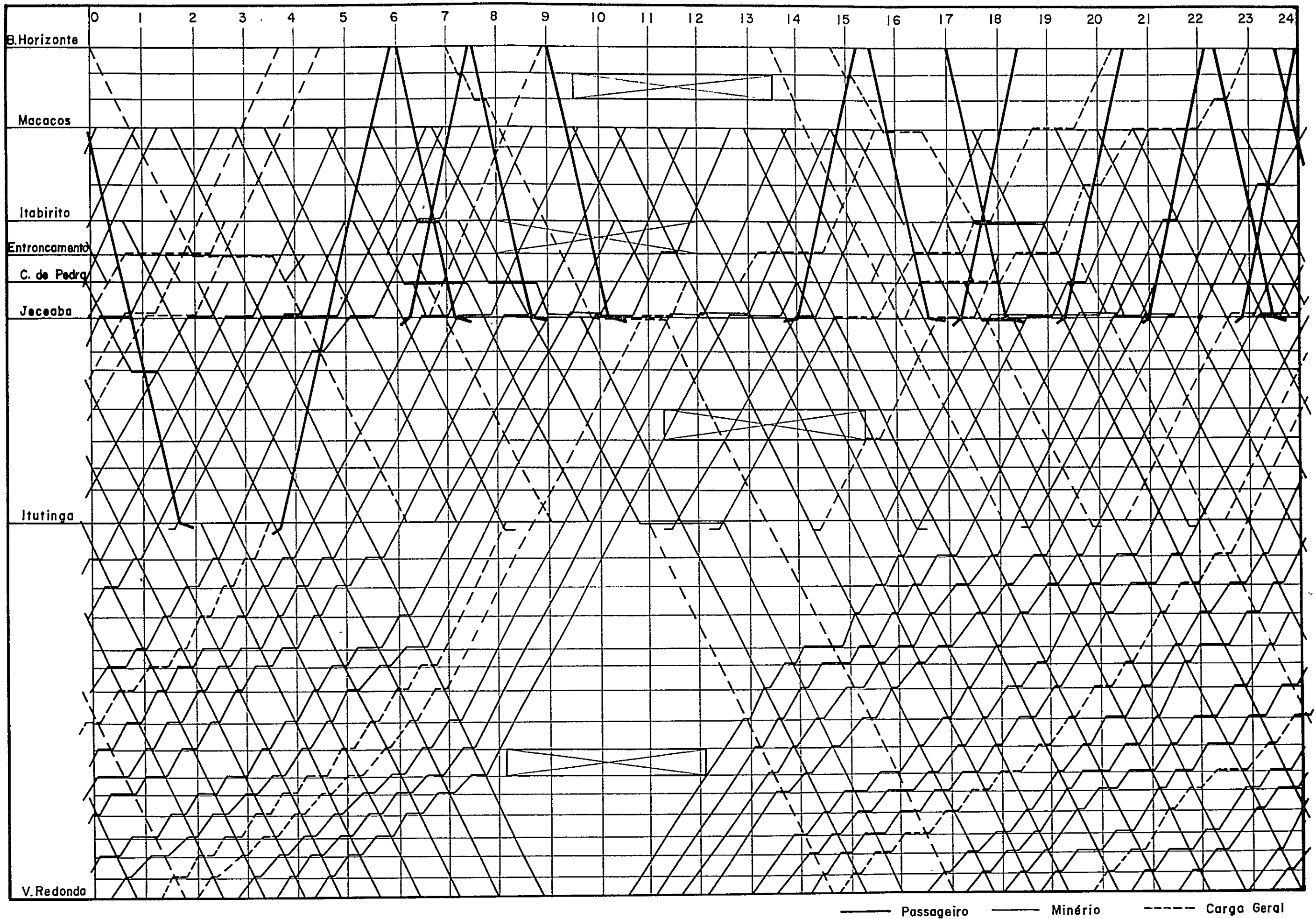


Figura.5-1-4 Gráfico horário - Horizonte 1987

5-1-6 Manutenção - Inspeção

O depósito para manutenção de locomotivas elétricas está previsto para ser instalado em Itutinga e para vagões de minério em Itutinga e Volta Redonda.

O sistema de inspeção de locomotivas e material rodante será estabelecido nas especificações do fabricante.

5-2 Plano de Operação

5-2-1 Constantes de tração e velocidade

As curvas características da locomotiva da Figura 5-3-3 mostram o caso de 28ton. de carga por eixo, tração de 3000ton., potencia de 3200kW. Considerando a parada uma declividade de 1% e sua conseqüente partida, a tração por locomotiva, sob condição de 28t de carga por eixo, foi tomada como 3000ton. no máximo.

Uma maneira efetiva para elevar a capacidade de transporte é aumentar ao máximo possível o comprimento das composições, porém nesse caso é necessário considerar a robustez do conector automático, distância de frenagem, flambagem do trem, comprimento efetivo do pátio das estações, capacidade de alimentação de potencia, etc. Entre estes fatores, há alguns passíveis de reforço físico, porém em relação à robustez dos conectores automáticos, considerando a parada e partida em declividades de 1%, uma tração da ordem de 9000ton é considerada segura (Para detalhes vide 5-3-5 força de conexão automática). Considerando a tração de uma locomotiva como 3000 ton, para uma composição com tração tripla 9000ton é um valor adequado.

Para este caso, quanto à velocidade, tomando em consideração o desgaste do trilho, capacidade de fornecimento de potencia, segurança no tráfego de locomotivas, distancia de frenagem, aumento da capacidade de transporte pelo encurtamento do tempo de trajeto, etc., é conveniente fazer a velocidade máxima como 60km/h. A velocidade de equilíbrio para uma declividade de 1% será de 30km/h.

Ao contrário dos trens para minério, os trens para carga geral normalmente sofrem nas estações intermediárias decomposições e recomposições, não sendo também constante a quantidade de vagões por composição em tráfego. Entretanto, considerando o uso eficaz das locomotivas na nova ferrovia, em principio será adotada a tração tripla com locomotivas do mesmo tipo daquelas usadas para trens de minério, com tração de até 9000t por composição.

Por outro lado, a maior parte dos trens trafegando pela nova ferrovia serão destinados ao transporte de minério e para maximizar a capacidade de transporte da ferrovia, os trens para minério serão operados em paralelo com os trens para carga geral.

Em relação aos trens para passageiros, eles estarão sujeitos às limitações descritas na Tabela 6-3-5, que leva em consideração a insuficiência de sobrelevação e o conforto dos passageiros nos trechos em curva. Ao mesmo tempo, considerando o desconforto dos passageiros, o consumo de energia, o desgaste dos trilhos e das sapatas de freio, a estofa dos maquinistas causado pela frequencia da operação de frenagem, há necessidade de minimizar a aceleração e a deceleração. Na nova ferrovia os trens para passageiros serão operados principalmente no trecho Jeceaba - Belo Horizonte, mas como no trecho em questão há ocorrência de grande número de curvas,

muitas delas com raios da ordem de 900m ou abaixo de 1100m, nestas condições sua velocidade será limitada àquela que não requer frenagem em curvas com raios da ordem de 900m, ou seja 102km/h. Assim, a velocidade máxima adequada a adotar seria de 100km/h. Para se tomar uma decisão final é necessário levar em conta a composição do gráfico horário e as condições e exigências locais.

5-2-2 Limite de velocidade nos AMV e nos trechos em curva

Os AMV a serem usados no presente projeto serão do tipo 20#, semi-cambio, tipo reto, e nesse caso, para "insuficiência" de sobrelevação de 100mm, a velocidade limite de tráfego da composição através do AMV será 94km/h.

Na ferrovia em questão, os trens para minério e para carga geral tem velocidade limite de 60km/h; em vista da condição citada acima, não é necessário levar em consideração a velocidade limite de entrada e saída dos AMV.

Em relação aos trens para passageiros, levando em conta o conforto dos passageiros, para o caso de "insuficiência" de 70mm na sobrelevação, serão impostos os limites de 70km/h do lado da ramificação e 95km/h no lado da reta. (Vide detalhes em 6-3 Planejamento da Via)

Quanto ao estudo do limite de velocidade nos trechos curvos, ajustando a sobrelevação efetiva à velocidade máxima de 60km/h do tren para minério, fazendo-se a "insuficiência" de sobrelevação como 100mm, para a curvatura de raio mínimo de 900m que ocorre no presente caso, tem-se a velocidade-limite de 102km/h.

Nestas condições, não há necessidade de se levar em consideração a velocidade-limite tanto para trens de minério como para trens de carga geral.

Para os trens de passageiros, estabelecendo o limite de velocidade de 100km/h, conforme foi dito em 5-2-1, também não é necessário fazer considerações quanto a limitação de velocidade.

5-2-3 Capacidade de transporte

Na nova ferrovia, no ano de 2002, no trecho Macacos - Itutinga, em linha dupla, a densidade máxima de transporte atingirá 216 milhões de toneladas e na parte em linha singela, o trecho Itutinga - Volta Redonda, em 1987, atingirá um pico de 50 milhões de toneladas.

Será aqui efetuado o estudo da capacidade de transporte que se pode expectar, respectivamente em trecho de linha singela e em trecho de linha dupla, baseado na capacidade de linha. Em relação ao trecho Belo Horizonte - Macacos, apesar de se tratar de linha singela, mesmo no ano de 2002, a demanda de transporte se limitará a cerca de 23 milhões de toneladas e portanto será excluído dos estudos.

(1) Premissas

- a. A carga tracionada será de 9000ton (7020 ton líquidas) por composição.
- b. Cada intervalo de bloqueio será de 1500m, a velocidade média de 45km/h e o intervalo mínimo de operação, em trecho de linha dupla, de 8 minutos. (Vide 8-3-4 Intervalo de operação).

- c. Tanto as instalações para carga como para descarga serão reforçadas, de modo que possibilite a operação de trens de acordo com o intervalo mínimo citado acima.
- d. Para elevar a eficiência de manutenção da via o intervalo de manutenção será de 6 horas; a unidade de trecho sujeita a estes trabalhos será aquela compreendida entre duas estações, sendo que os trechos em linha dupla terão uma das linhas em operação. O cálculo será efetuado considerando o número de dias uteis de manutenção de 220 dias e o número de dias com transporte possível de 330 dias, sendo o número de trechos sujeitos a manutenção de: 25 trechos/ano entre Belo Horizonte - Macacos, 261 trechos/ano entre Macacos - Itutinga, 145 trechos/ano entre Itutinga - Volta Redonda. (Vide 6-3 Planejamento da Via)

Obs. O número de 330 dias com transporte possível é o número planejado pela RFFSA.

- e. Para simplificação dos cálculos, a capacidade de linha foi considerada, no caso de linha singela, em relação ao trecho compreendido entre duas estações com as piores condições (tempo de trajeto mais longo) e no caso de linhas duplas, caso esteja com dois trechos em manutenção, o caso sob piores condições.

(2) Esquema de trechos sob reparo

Baseado nas premissas, o esquema dos trechos sob reparo será classificado em 5 tipos:








Estação	Esquema		Esquema 1	Esquema 2	Esquema 3	Esquema 4	Esquema 5	Total
	Número de dias	Singela/Dupla	41 dias	145 dias	25 dias	9 dias	110 dias	330 dias
B. Horizonte			MA-IT 2 trechos	MA-IT 1 trecho IT-VR 1 trecho	BH-MA 1 trecho MA-IT 1 trecho	MA-IT 1 trecho	Sem manutenção	
	Simple							25 trechos
Macacos			6 horas  					261 trechos
	Dupla							
Itutinga								145 trechos
	Simple							
V. Redonda								

Figura 5-2-1 Esquema dos trechos sob manutenção

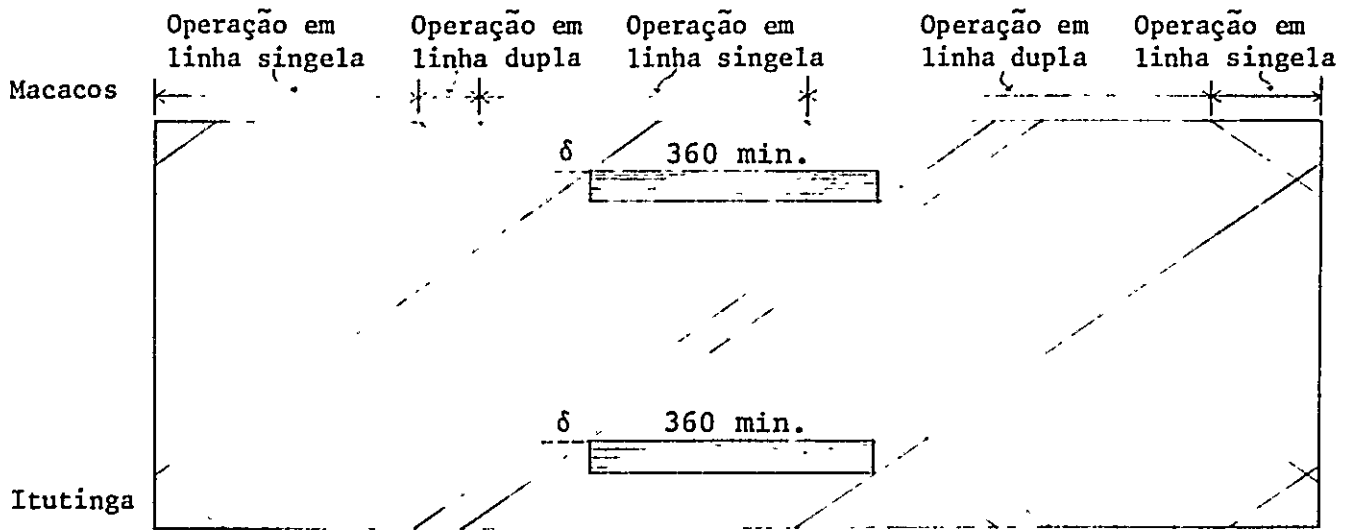


Figura 5-2-2

c. A decorrência de tempo nos trechos de operação em linha singela é mostrada na figura seguinte:

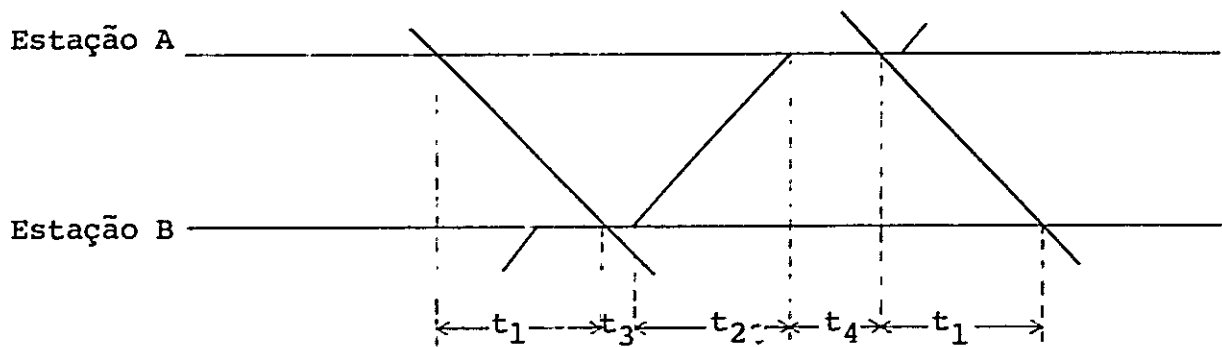


Figura 5-2-3

(3) Filosofia de cálculo

- a. O número de trens nos trechos em linha singela será calculado baseando em pares de trens, um em cada sentido.
- b. Para linhas duplas com dois trechos sob manutenção, o cálculo foi baseado no esquema da figura abaixo, quando o número de composições operáveis sofre a maior restrição e como trechos de operação singela de 360 minutos foram escolhidos os 2 trechos com piores condições. Neste caso a faixa de tempo operável em linha dupla foi considerada como sendo:

$$1440 - 2 \times (360 + 30) = 660\text{min.}$$

Obs. O valor de δ na figura abaixo é da ordem de 24min. a 26min. em trechos (compreendidos entre 2 estações) sob piores condições, mas considerando curta a margem de segurança, foi adotado o valor de 30 minutos.

A simbologia usada tem o seguinte significado:

t_1 : tempo de trajeto do trem carregado; foi acrescentada uma margem de 10% sobre o tempo padrão de operação.

t_2 : tempo de trajeto da composição que fica em espera no ponto de cruzamento; ao tempo padrão de passagem foi acrescentado 10% de margem de segurança e 2 minutos de perdas devidas a aceleração e deceleração.

t_3 : tempo necessário para a partida do trem de espera após a passagem do trem carregado; foram acrescentados 30 segundos, considerando o tempo de operação da alavanca do CTS, o tempo de operação da agulha de chave, o tempo de acionamento dos relés de sinalização, etc.

t_4 : tempo decorrido entre a chegada do trem de espera e a passagem do outro trem; foi tomado como 4 minutos.

d. Nos trechos de linha singela, a taxa de utilização da linha foi considerada 0,75, excluindo o tempo requerido para manutenção.

(4) Capacidade de transporte segundo trecho

Os resultados dos estudos são mostrados na Tabela 5-2-1.

Conforme indicado na tabela, considera-se que é possível atingir 257 milhões de toneladas no trecho em linha dupla Macacos - Itutinga e 47 milhões de toneladas no trecho de linha singela Itutinga - Volta Redonda.

Pode-se ter uma expectativa de capacidade suficiente de transporte para atender a demanda no trecho Macacos - Itutinga, mas no trecho Itutinga - Volta Redonda pensa-se que haverá ligeira insuficiência de capacidade nos picos de demanda de transporte. Portanto na época de pico de demanda, há necessidade de reforços de instalações, tais como instalação de postes de sinalização ou acréscimo parcial de linha, de acordo com as necessidades, nos trechos (compreendidos entre estações) de piores condições.

Tabela 5-2-1 Capacidade de transporte por trecho

Esquema	Esquema 1		Esquema 2		Esquema 3		Esquema 4		Esquema 5		Capacidade anual de transporte (Total) 10 ⁶ t
Número de dias	41 dias		145 dias		25 dias		9 dias		110 dias		330 dias
	Número de trens por dia	Tonelagem transportada (10 ⁶ ton)	Número de trens por dia	Tonelagem transportada (10 ⁶ ton)	Número de trens por dia	Tonelagem transportada (10 ⁶ ton)	Número de trens por dia	Tonelagem transportada (10 ⁶ ton)	Número de trens por dia	Tonelagem transportada (10 ⁶ ton)	
Macacos Itutinga	75	21,6	105	106,9	105	18,4	105	6,6	135	104,3	257,8
Itutinga V.Redonda	23	6,6	17	17,3	23	4,0	23	1,5	23	17,8	47,2

Manutenção 220 dias

Transporte 330 dias

5-3 Planejamento do material rodante

5-3-1 Linhas Gerais

Serão os seguintes os tipos de material rodante a serem usados na ferrovia em questão:

1. Locomotivas elétricas.

As locomotivas elétricas terão as seguintes características:

- potência nominal em regime contínuo: 3.200kW
carga por eixo: 28 ton.
- disposição dos eixos: B-B-B, 6 eixos
- tração por locomotiva: 3000t.
- velocidade: no plano: 60 km/h;
em declividade ascendente: de 1%
mesmo em curvas com raio de 900m
30km/h (garantia), mais partida
possível.

O sistema de controle, considerando-se o fato de serem tracionadas grandes cargas, o uso eficaz da carga aderente e a simplificação da manutenção, será do tipo tiristorizado e em regime contínuo.

Como o sistema de frenagem, além do freio pneumático automático, será instalado o freio de geração para trechos em declividade.

2. Vagões

Como estão em operação nas linhas já existentes grande quantidade de vagões, exclusivamente usados para transporte de minério de ferro e sendo os terminais de Aguas Claras e Sepetiba adaptados a este tipo de material rodante, não é desejável introduzir grandes modificações em relação aos vagões a serem usados na ferrovia em questão.

Com base nestes pontos de vista, serão usados vagões idênticos aos atualmente em operação, tanto do ponto de vista de características técnicas como dimensionais.

Assim sendo, no presente relatório serão feitos estudos referentes somente às locomotivas.

5-3-2 Gabarito do material rodante

O gabarito do material rodante a ser usado na ferrovia em questão é mostrado na figura 5-3-1.

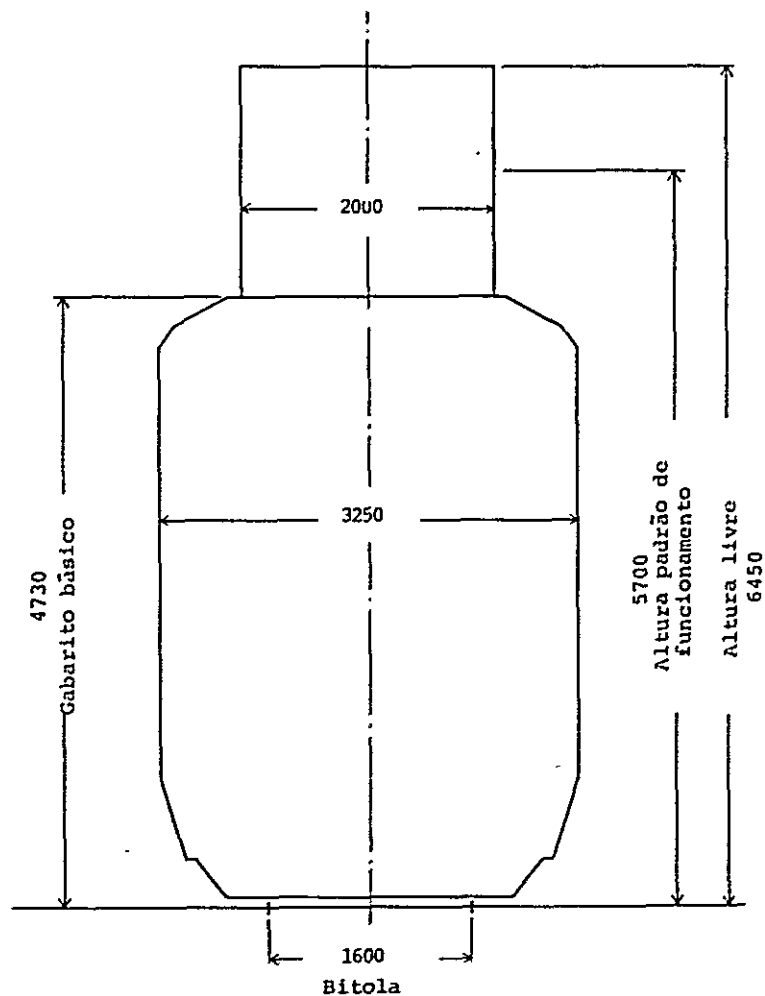


Figura 5-3-1 Gabarito do material rodante

Este gabarito foi determinado levando em conta os seguintes fatores:

- relacionamento mútuo com as linhas já existentes
- distância de isolamento em relação à catenária.
- características do pantógrafo
- outros.

1. Gabarito Básico

O gabarito básico do material rodante, ou seja, aquele que exclui a operação do dispositivo coletor localizado no teto dos mesmos, baseia-se no AAR. Plate C. Este gabarito é satisfeito pela frota mais importante do material rodante atualmente em operação, tornando-se assim possível o intercâmbio de material rodante da ferrovia em questão e as linhas atualmente existentes (casos de circulação de trem vazios, etc.), sem quaisquer interferências prejudiciais.

Nestas condições, o pantógrafo das locomotivas da nova ferrovia deve estar limitado dentro do gabarito básico quando dobrado, não sendo estabelecido gabarito especial para locomotivas com pantógrafo dobrado.

2. Gabarito para dispositivo coletor (do teto das locomotivas) estendido.

O gabarito do pantógrafo (dispositivo coletor localizado no teto) foi determinado em função da altura padrão da catenária (5.700 mm) e a largura da nave do pantógrafo (1.980mm).

5-3-3 Características das locomotivas

O desempenho exigido às locomotivas a serem usadas na ferrovia em questão foram determinadas da ma-

neira indicada abaixo, levando em conta o plano confeccionado pelos engenheiros brasileiros.

1. Potência das locomotivas

As locomotivas deverão ser capazes de desenvolver 3.200kW em regime contínuo. Tomou-se a potência em regime contínuo levando-se em conta o fato do trecho de declividade de 1% prolongar-se por 90km.

Por outro lado, pelo relacionamento com o sistema elétrico, exige-se que a locomotiva elétrica de 6 eixos seja capaz de tracionar 3000 ton. de carga a velocidade de 30km/h, independente das condições de declividade. Assim sendo, a potência requerida foi calculada para a ocorrência simultânea das seguintes condições

- declividade máxima: 1%
- raio mínimo de curvatura: 900m
- velocidade de equilíbrio: 30km/h

O cálculo foi feito através da relação abaixo:

$$P = 2,72 \times R \times V$$

onde:

P: potência requerida [kW]

R: resistência atuante contra o trem [t]

V: velocidade de tráfego [km/h]

onde:

$$R = \frac{R_T + R_I + R_C}{980}$$

onde:

R_T: Resistência ao avanço [daN]

R_I: Resistência de declividade [daN]

R_C: Resistência de curva [daN]

onde:

$$R_T = R_L + R_V$$

$$R_L = 0,65 W_L + 13n + 0,01 W_L \cdot V + 0,03V^2$$

$$R_V = \left(1,1 + \frac{V^2}{5500}\right) W_V \text{ (para carga por eixo 25 ton)}$$

$$R_V = \left(1,0 + \frac{V^2}{6600}\right) W_V \text{ (para carga por eixo 30t0n.)}$$

$$R_V = \left(2,35 + \frac{V^2}{1200}\right) W_V \text{ (vazio)}$$

$$R_I = 0,98 I (W_L + W_V)$$

$$R_C = \frac{900}{r} (W_L + W_V)$$

onde:

R_L : resistência ao avanço (locomotiva) [daN]

R_V : resistência ao avanço (vagão) [daN]

W_L : peso da locomotiva [t]

n : número de eixos principais.

W_V : peso total dos vagões [t]

I : declividade [%]

r : raio de curvatura [m]

As características das locomotivas e vagões usados para o presente cálculo são apresentados a seguir (somente dados relacionados com cálculo)

Tabela 5-3-1 Características do material rodante
(somente para cálculo)

	Locomotiva		Vagão		
	Ⓐ 168t	Ⓑ 180t	Ⓐ carregado 100t	Ⓑ carregado 120t	vazio 22t
Peso					
Carga por eixo	28t	30t	25t	30t	5,5t
Número de eixos	6		4		

Como as cargas por eixo dos vagões ainda são indeterminadas, foram feitos estudos referentes aos valores de 25 ton. e 30 ton respectivamente. Nesse caso tem-se as seguintes combinações locomotiva-vagão:

Ⓐ + Ⓐ

Ⓑ + Ⓑ

Calculando as respectivas potências tem-se 3182kW e 3166 kW, valores bastante próximos.

Como é feita a recomendação de carga por eixo de 28 ton., levando-se em conta os efeitos à via e também como o valor para Ⓐ + Ⓐ é ligeiramente maior, nos estudos efetuados a seguir será adotada a combinação Ⓐ + Ⓐ, a menos que especificado em contrário.

2. Curvas Características

As curvas características imagináveis para o motor principal no caso de locomotivas elétricas com potência nominal em regime contínuo de 3200 kW (30km/h) são apresentadas na Figura 5-3-2.

A curva característica de uma locomotiva usando tal motor é mostrada na Figura 5-3-3.

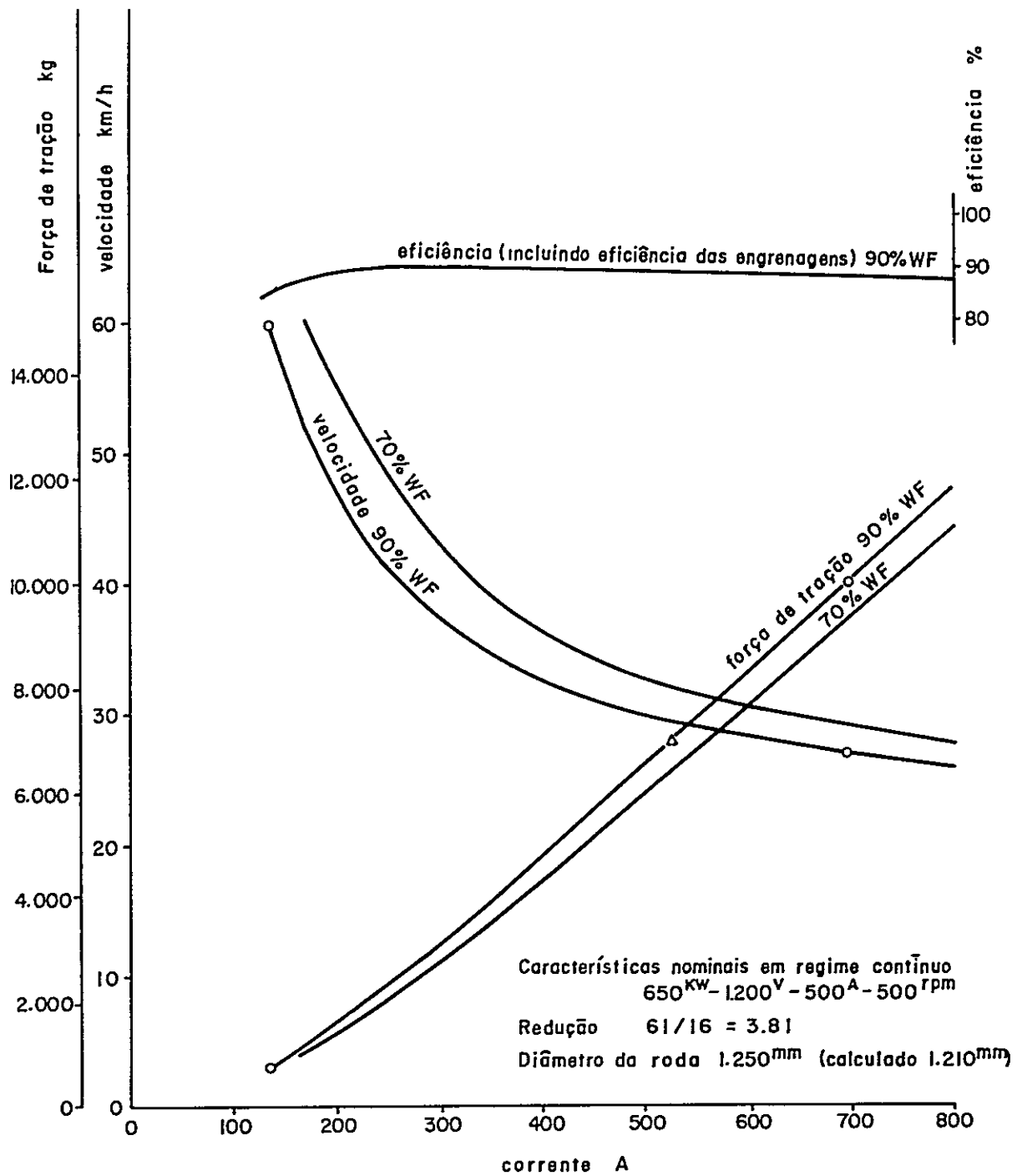


Figura.5-3-2 Curvas características do motor principal.

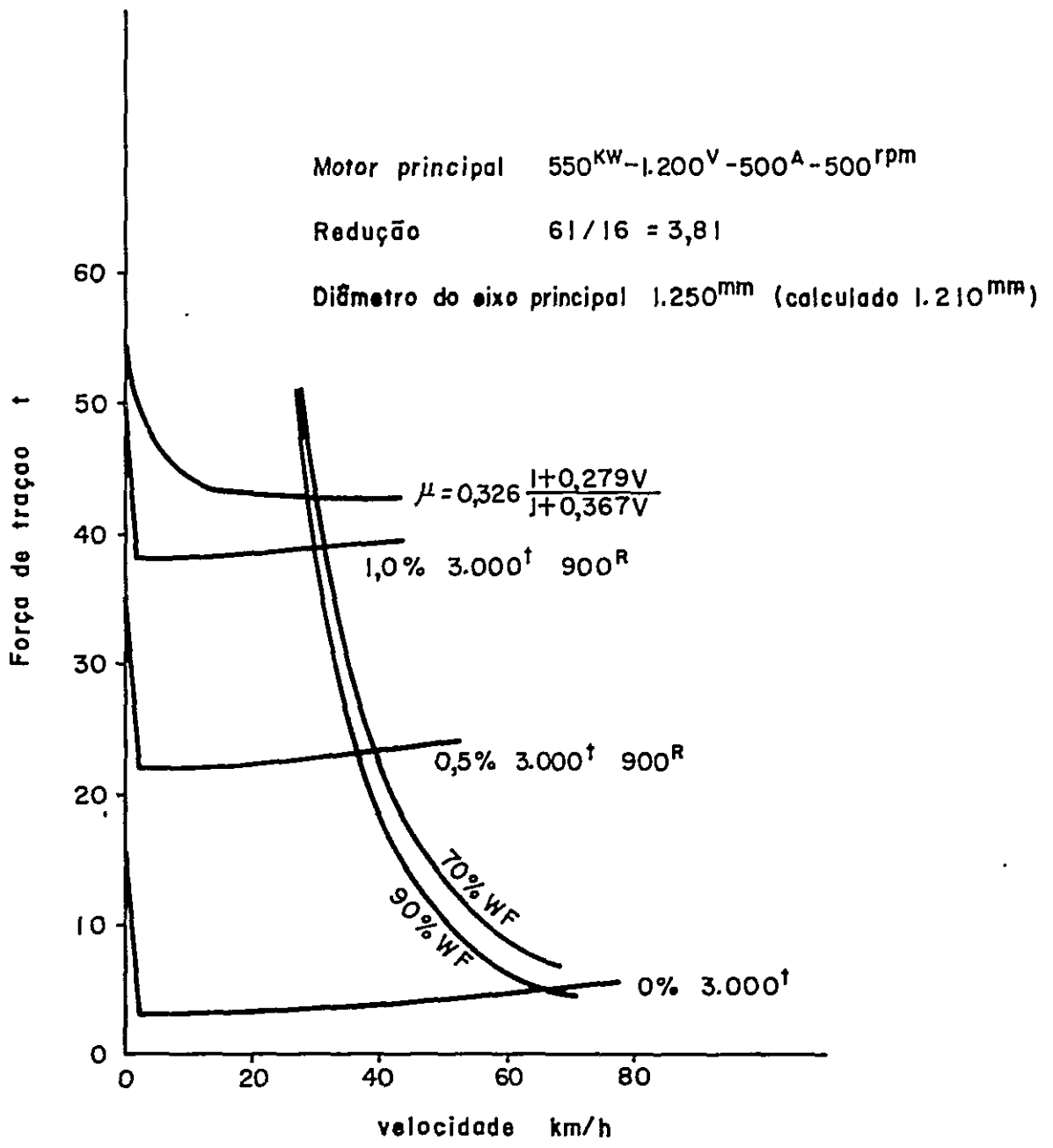


Figura.5-3-3 Curvas características em regime motor.

Neste caso, o esforço de arranque e a aceleração de arranque variam em função da velocidade de tráfego. Entretanto, no caso de se pensar em termos de média na faixa de aceleração por aderência, não haverá ocorrência de grandes erros, mesmo que se tome o valor da resistência equivalente de avanço para toda a faixa como sendo o valor para a velocidade de 20 km/h. Nestas condições tem-se:

$$F_A = \mu_{20} \times W_L - R_{20}$$

$$\alpha = \frac{1000 F_A}{31 W_T}$$

onde:

F_A : força de aceleração [t]

μ_{20} : coeficiente de aderência a 20 km/h

W_L : peso da locomotiva [t]

R_{20} : resistência ao avanço a 20 km/h [t]

α : aceleração [km/h/seg.]

W_T : peso da composição [t]

Pensa-se que o valor de μ_{20} na locomotiva de corrente alternada é da ordem de 28% a 33%. No cálculo feito consideram-se $\mu_{20} = 28\%$. A tabela 5-3-2 apresenta os resultados destes cálculos.

Tabela 5-3-2 Aceleração de arranque

Condições da via	Declive ascendente 1.0% Raio de curvatura 900m	Declive ascendente 0.5% Raio de curvatura 900m	Plano . Reto
Coefficiente de aderência $\mu_{20}(\%)$	28	28	28
Força de aceleração F_A (t)	8,2	24,1	43,2
Aceleração α (km/h/sec.)	0,09	0,26	0,46

Os resultados acima significam que esta locomotiva deve ser capaz de acelerar 0,09 km/h/seg., mesmo nas condições de:

- tração por locomotiva: 3000 t
- declividade: 1%

5-3-4 Frenagem

Como sistema de frenagem a ser adotado na ferrovia em questão, considera-se o freio pneumático automático como sistema básico de frenagem do trem, que é o tradicional. Além desse, para frenagem em declividades longas, as locomotivas disporão de freio gerador.

① Frenagem Pneumática

Como sistemas de frenagem pneumática existem os seguintes:

- a. Sistema de frenagem pneumática automática (conhecido como sistema Westinghouse)
- b. Sistema de frenagem eletro-pneumática automática.
- c. Sistema de frenagem eletro-pneumática direta.

As características de cada sistema são indicadas na tabela 5-3-3.

Tabela 5-3-3 Comparação dos vários sistemas de frenagem

Sistema de frenagem	Prós	Contras	ATC (sistema de frenagem sem abertura gradativa)	ATC (sistema de frenagem com abertura gradativa e refrenagem)
Frenagem pneumática automática	<ol style="list-style-type: none"> 1. Estrutura simples 2. Baixo custo 3. Segurança contra falhas 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Propagação lenta 2. Sincronização insuficiente 3. Recarregamento lento 	<p>Possível aplicação para ATS desatinado somente à parada.</p>	<p>Inadequado (praticamente impossível adotar).</p>
Frenagem eletropneumática automática	<ol style="list-style-type: none"> 1. Propagação rápida 2. Com sincronização 3. Características de recarregamento melhores que o pneumático automático 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Circuito elétrico requerido 2. Custo maior que o pneumático automático 3. Estrutura mais complicada que o pneumático automático 	<p>Aplicabilidade melhor que o pneumático automático</p>	<p>Aplicável se a distância de fechamento for suficiente (tempo de recarregamento for suficiente).</p>
Frenagem eletropneumática direta	<ol style="list-style-type: none"> 1. Boas características de resposta. 2. Boas características de sincronização 3. Possível frenagem repetitiva 4. Boa habilidade 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Possível a falhas 2. Necessário sistema de apoio 3. Necessário circuito elétrico 4. Alto custo 	<p>Perfeitamente aplicável</p>	<p>Perfeitamente aplicável</p>

Levando em conta o fato de que, as locomotivas serão usadas em comum com as linhas já existentes, a elevação dos custos de manutenção das locomotivas é indesejável, é possível atingir nível de segurança suficiente através do uso do ATC (sistema sem abertura gradativa), será adotada a frenagem pneumática automática.

1. Como garantir a taxa de frenagem. Conversão vazio/carregado (vagões).

Para se assegurar a força de frenagem requerida, é necessário obter de maneira estável uma força de frenagem que esteja de acordo com a carga dos vagões.

Para isto pode-se pensar em freios com conversão vazio/carregado e freios com válvula de controle de acordo com a carga, sendo que em alguns casos já estão em uso prático. Entretanto, no caso do transporte de minério de ferro há somente as duas situações de plena carga ou então de vagão completamente vazio, praticamente não existindo meio termo. Portanto, é possível fazer as taxas de frenagem para os casos vazio e carregado, iguais ou apenas ligeiramente diferentes, através do uso da frenagem com conversão vazio/carregado. Levando em conta o custo do dispositivo e também os custos de manutenção, deve-se adotar a frenagem com conversão vazio/carregado para os vagões.

Quanto ao sistema de conversão vazio/carregado e as taxas de frenagem em cada situação, deve-se determiná-los com base em estudos bastante cuidadosos.

2. Distância de frenagem

Ao fazer o estudo da distância de frenagem é necessário considerar o valor da deceleração e o tempo de avanço em falso. O tempo de avanço em falso pode ser dividido em dois elementos:

1. tempo entre o momento em que o maquinista capta a informação até acionar as válvulas de freio.
2. Tempo entre o momento em que as válvulas do freio são acionadas até os freios entrarem efetivamente em ação.

O tempo 1. deve-se basicamente ao fator humano, sendo da ordem de 3 até 8 segundos.

Os estudos aqui desenvolvidos referem-se basicamente a 2., relacionado com o equipamento em si ("hard ware")

a. Tempo de avanço em falso

Sabe-se de resultados experimentais e empíricos que de modo geral o tempo de avanço em falso é diretamente proporcional à extensão da composição. Tomando-se como exemplo o caso de composição mais longa em tráfego no Brasil (caso da CVRD) para cálculo do tempo de avanço em falso e convertendo-se para as composições da ferrovia em questão, tem-se:

$$35 \text{ seg.} \times \frac{90 \text{ vagões} \times 12\text{m (compr.do trem planejado)}}{160 \text{ vagões} \times 10\text{m (compr.do trem da CVRD)}} = 24 \text{ seg.}$$

(35 seg. é o valor efetivamente medido na CVRD)

Deve-se portanto prever 24 seg. como tempo de avanço em falso causado pelas características do equipamento.

b. Deceleração

Quanto a deceleração, tanto de fatos observados em posições de grande extensão operando no Brasil como na ferrovia em questão toma-se o valor de 1 km/h/seg no plano, mas considerando-se fatos como condições atmosféricas, deve-se tomar uma distância de frenagem 1,3 a 1,45 vezes maior.

c. Distância de frenagem

Mostra-se na figura 5-3-4 as relações entre as distâncias de frenagem e as velocidades iniciais de frenagem, calculado com base nas considerações acima sobre deceleração e tempo de avanço em falso.

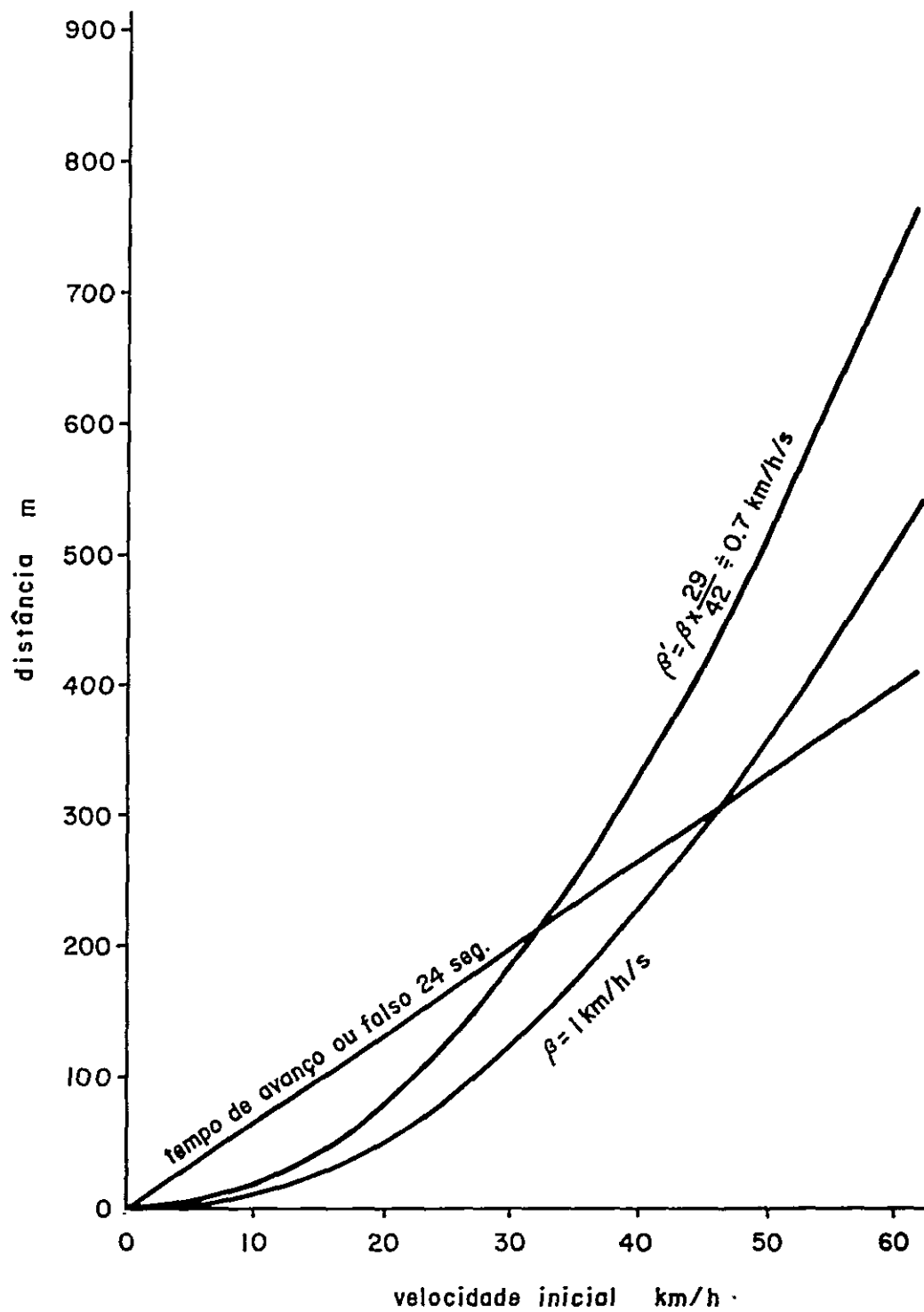


Figura.5-3-4 Relação entre velocidade inicial e distância de frenagem.

Deve-se então que os resultados indicados na figura 5-3-4 referem-se ao caso do plano. Em casos reais, deve-se introduzir correções referentes a acelerações e resistências atuantes oriundas da declividade. A soma da distância de avanço em falso (indicada pelo trecho reto) e a distância de frenagem real (indicada pelo trecho parabólico) corresponde à distância avançada entre o momento de acionamento das válvulas até a parada.

Como foi dito anteriormente, o tempo de avanço em falso se refere somente ao equipamento, não incluindo a parcela referente ao fator humano. Portanto, a distância real de avanço em falso sofre um acréscimo correspondente à segunda parcela.

3. Estacionamento em trecho com declividade.

No caso de uma composição (na qual cada locomotiva traciona 3000 ton.) estacionar por longo tempo em uma rampa com 1% de declividade, pode ocorrer redução na força de frenagem causada pelo esvaziamento de ar nas tubulações do sistema de frenagem. Neste caso, durante o estacionamento, excluindo o caso de queda de tensão na catenária, deve-se fazer o "recarregamento", evitando assim que a força de frenagem sofra quedas sensíveis.

Ao se fazer a operação de "recarregamento", deve-se aplicar todos os freios normais das locomotivas, aliviar os freios dos vagões, fornecer a quantidade necessária de ar à tubulação de frenagem, reaplicar o freio à composição, assegurando-se assim a força de frenagem requerida. Nesse caso, deve-se evitar que a composição entre em movimento quando somente os freios das locomotivas estão acionados.

O coeficiente de aderência para este caso é dado pela seguinte relação:

$$\mu_s = \frac{(I - r_s) (W_L + W_V)}{1000 W_L} \times 100$$

onde:

μ_s : coeficiente de aderência requerido para assegurar estacionamento em declividade [%]

I : declividade [%] I=1,0

r_s : resistência ao arranque [kgf/t] $r_s=0,5$

R_L : peso da locomotiva [t] $W_L=168t.$

W_V : peso total dos vagões [t] $W_V=3000t.$

Nestas condições,

μ_s : 18,9 a 9,4%

Para valores desta ordem é perfeitamente possível efetuar o estacionamento, não sendo necessário considerar dispositivos especiais para frenagem em rampas.

② Frenagem elétrica

Como há trechos longos com declividade de cerca de 1%, para a frenagem em rampa, deve-se adotar frenagem dinâmica (neste caso frenagem elétrica) nesses trechos.

(1) Potência a ser absorvida

A potência a ser absorvida na frenagem é calculada pela seguinte relação:

$$P_B = 2,72 \times V \times \frac{R_I - R_T}{980} \quad [\text{kW}]$$

Considerando-se a velocidade de equilíbrio para declividade de 1% como sendo igual à velocidade de

subida (30 km/h), a potência absorvida será de 2.250kW.

Por outro lado, calculando-se a velocidade de equilíbrio para a mesma absorção de potência (3200 kW) em regime motor (power running), tem-se o resultado de aproximadamente 44 km/h. Portanto, para elevar a velocidade de equilíbrio, deve-se elevar a capacidade nominal de equipamentos como motor principal a valores acima daqueles em regime motor (power running) ou então acrescentar freio pneumático. Tomando-se em consideração o balanceamento entre os equipamentos e a locomotiva como todo, a segunda opção é a mais adequada.

A figura 5-3-5 mostra a relação entre a velocidade de equilíbrio e a capacidade requerida de absorção de potência, para uma declividade de 1%.

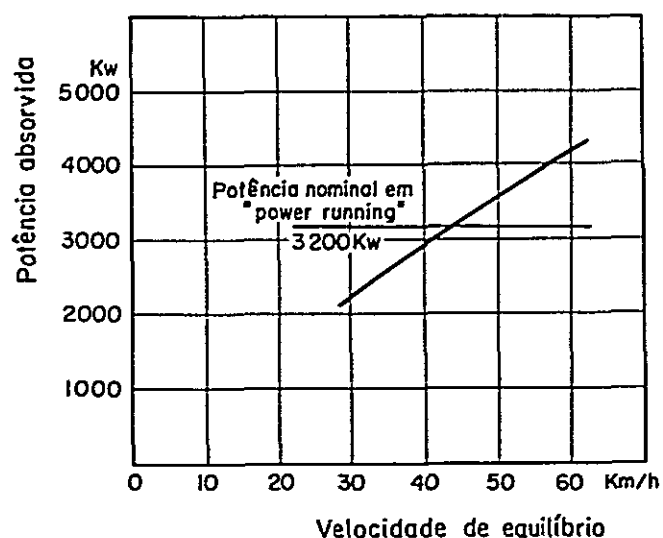


Figura 5-3-5 Velocidade de equilíbrio e absorção de potência

(2) Frenagem elétrica

Levando-se em conta a insuficiência que se verifica em algumas redes de alimentação no Brasil, é desejável introduzir a frenagem reostática, pelo menos na fase inicial. Posteriormente, após consolidar trabalhos experimentais referentes à frenagem regenerativa, pode-se introduzir paulatinamente locomotivas elétricas com esse tipo de dispositivo de frenagem.

São apresentados a seguir os motivos principais que levaram a recomendar esta opção.

- a. Pode-se sempre obter frenagem estável.
- b. Conta-se com bons resultados comprovados em uso já efetuado.
- c. Passa-se a adotar frenagem regenerativa após fortalecimento da rede de alimentação.

Nesse caso, após algum tempo as locomotivas serão divididas em duas classes: uma em operação desde a fase inicial e outra introduzida posteriormente. Ao se fazer o planejamento deve-se levar em conta as remodelações futuras do grupo inicial já na fase de planejamento.

Na tabela 5-3-4 são apresentados os prós e contras dos dois sistemas de frenagem.

Tabela 5-3-4 Frenagem reostatica e frenagem regenerativa

Número	Item	Frenagem reostatica	Frenagem regenerativa
1	Estabilidade da força de frenagem	Estável	Varia de acordo com as condições externas. Portanto, é necessário dispositivo de conversão automática para freio pneumático no caso de falha do sistema regenerativo. Os pontos de seccionamento AC/AC também são fatores de limitação.
2	Peso de dispositivo	Grande	Pequeno
3	Espaço requerido para instalação	Grande	Pequeno
4	Facilidade de controle	Relativamente fácil	Relativamente difícil
5	Economia de energia	Perdido em forma de calor	Convertido em forma de energia elétrica e reaproveitado, resultando em economia.
6	Influência aos sistemas de sinalização, comunicação e fonte de energia	Pequeno	Grande (Interferências indutivas, entrada de harmônicos à fonte).
7	Instalações de solo	Sem problemas	Requeridas medidas de compensação de fator de potência.
8	Manutenção e ajustamento	Relativamente fácil	Difícil
9	Resultados comprovados	Sim (desde 1934 - EF10)	Sim (desde 1967 - ED78901)
10	Custo	Baixo	Alto

(3) Operação de frenagem

Ao se aplicar a frenagem em composições longas é necessário levar em conta a devida atenção, tendo em vista, entre outros fatos, a força de conexão que será referida posteriormente.

1 - Frenagem normal

Em relação à frenagem normal, no caso de composição longas, há defasagem de tempo entre a atuação do freio nos carros localizados no início e no fim das composições, podendo dar origem a forças de conexão excessivas, podendo destruir a conexão ou causar flambagem da composição. Para reduzir ou eliminar tal risco, deve-se adotar a seguinte sequência de operação:

- 1 : Efetuar a redução efetiva mínima de pressão, fazendo atuar a frenagem mínima.
- 2 : Esperar até que as folgas de conexão sejam completamente eliminadas, efetuando aí a redução requerida de pressão.
- 3 : Ajustar os freios das locomotivas, de acordo com a necessidade.

Representando-se graficamente a sequência de frenagem, tem-se a figura 5-3-6.

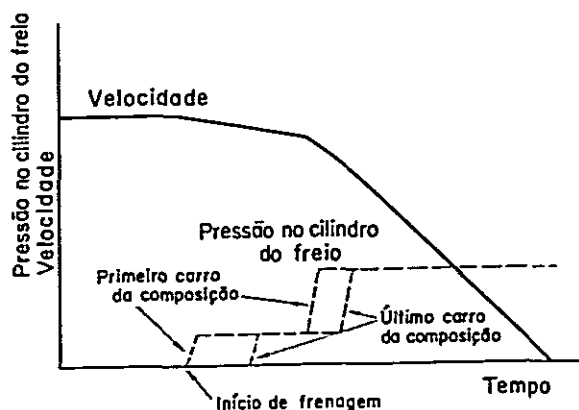


Figura 5-3-6 Gráfico de frenagem

2. Frenagem de emergência.

A aplicação de frenagem de emergência deve limitar-se a casos realmente inevitáveis. Para casos de falhas previsíveis (por exemplo, marcha-a-ré em caso de falha de operação do maquinista), deve-se dar ao sistema uma composição tal que apenas o freio normal seja suficiente, colocando também o ATC dentro deste limite.

5-3-5 Trem unidade (força de conexão)

Como trem unidade será tomada a tração de 9000 ton. por composição, levando em conta a força de conexão.

Tem-se os seguintes problemas relacionados com a força de conexão:

- 1 - Choque entre carros
- 2 - Resistência (robustez) do dispositivo de conexão
- 3 - Flambagem horizontal do trem
- 4 - Flambagem vertical do trem
- 5 - Força de conexão durante o movimento dos trens.

Como no caso da nova linha planejada serão usados trens bastante longos, deve-se estudar cuidadosamente problemas relacionados com 3)-Flambagem horizontal e 5)-Força de conexão.

Embora sejam apresentados os acopladores automáticos dos tipos AAR-F e para serviço ultra pesado (Alliance Ultra Heavy Duty), analisamos neste relatório o tipo AAR-F, do qual possuímos suficiente experiência em utilização e com dados detalhados.

- 1 - Estado da via (declividade, raios de curvatura, formato e estado da superfície da roda)

- 2 - Resistência (robustez) do conector usado
- 3 - Capacidade do dispositivo de amortecimento usado
- 4 - Velocidade de tráfego
- 5 - Força de frenagem
- 6 - etc.

No presente caso o trem unitário será calculado com base no resultado comprovado obtido nos usos e nas cargas estáticas atuantes.

A força estática de conexão F_{CS} t é calculada pela seguinte relação:

$$F_{CS} = \frac{R_T + R_I + R_C}{980} + F \quad \text{ou}$$

$$F_{CS} = \frac{R_I - (R_R + R_C)}{980} + F_B$$

Supondo-se o uso do conector AAR-F, sua resistência prática é de 226 ton (resistência da junta). Quanto à resistência à tração do conector, exige-se a seguinte condição:

$$\frac{226}{K} \geq m \cdot \mu_a \cdot W_L \quad (\text{em regime de aceleração por aderência}).$$

onde:

K : constante (ao mesmo tempo coeficiente de segurança e relação entre carga estática/carga dinâmica).

μ_a : coeficiente de aderência.

W_L : Peso total da locomotiva.

m : número de locomotivas em caso de tração frontal

Tem-se portanto:

$$m \leq \frac{226}{K \cdot \mu_a \cdot W_L}$$

Fazendo:

$$K=1,4 \quad W_L=168 \quad \mu_a=0,28$$

tem-se:

$$m \leq 3,4$$

Dos cálculos acima, obtem-se as seguintes conclusões:

- a. A partir da resistência à tração dos conectores o limite de tração será de 9000 ton. com tração tripla.
- b. Caso futuramente se adote tração de 12.000 ton., pode-se prever a situação de exceder o valor limite.

Nesse caso é necessário estudar métodos como dispersão de locomotivas ou outro qualquer, pois não se pode esperar um valor superior a 1,4 para K. Ao se colocar em prática tal hipótese, será indispensável confirmar a segurança através de testes em situação real, sendo desnecessário falar da advertência sobre cautela especial durante a operação.

Por exemplo, é necessário considerar o sistema de decomposição das locomotivas.

5-3-6 Circuito principal

Tendo em vista o aproveitamento eficaz da aderência, redução de manutenção etc., é natural a adoção de controle tiristorizado, mas ao colocar em prática, há necessidade de atenção especial em relação aos seguintes pontos:

- a. Divisão múltipla da ponte de tiristores e o controle assimétrico.

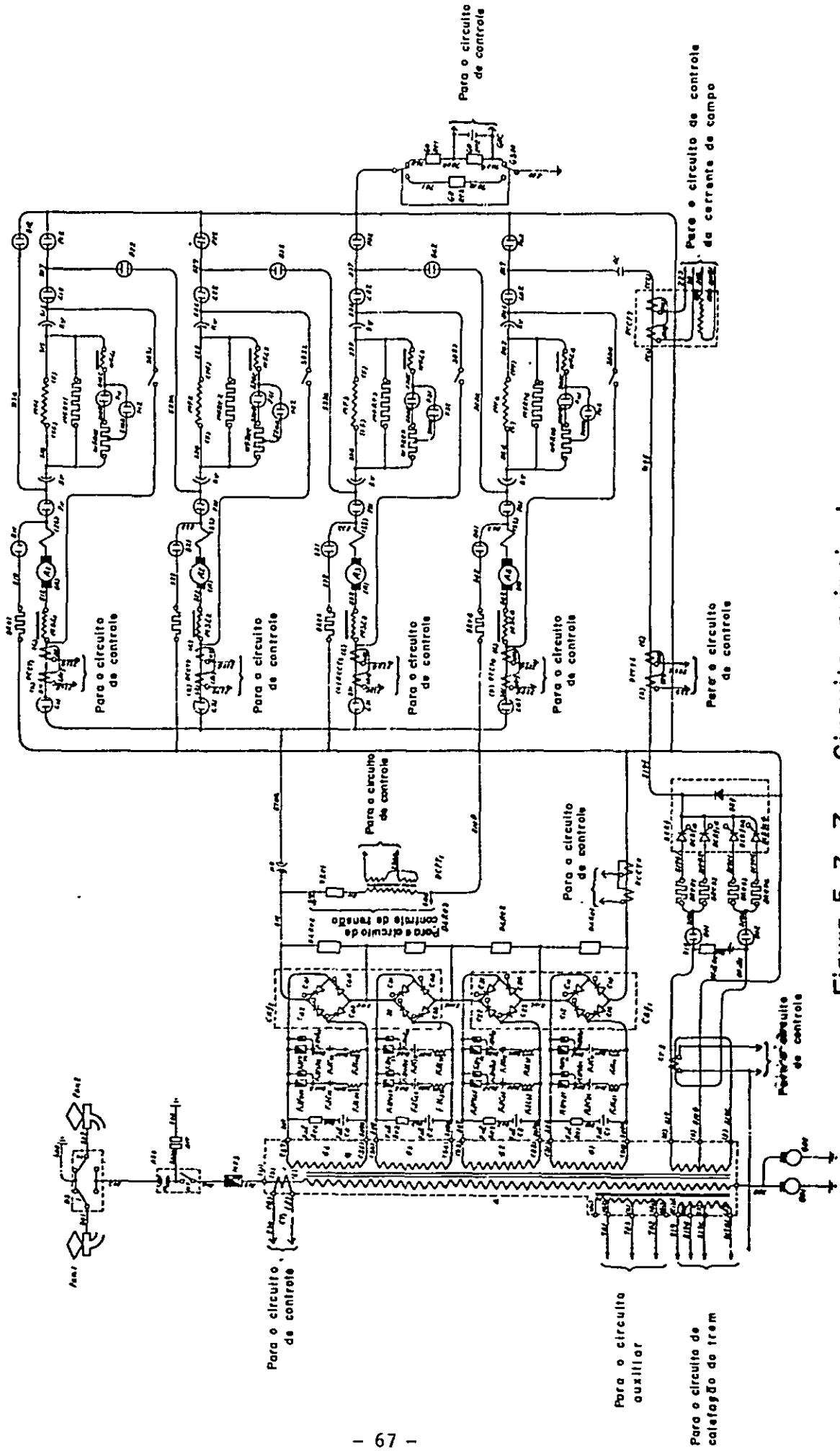


Figura. 5-3-7 Circuito principal

- b. medidas contra rotação em falso e método de aderência.

Os detalhes devem ser discutidos na fase de projeto, mas pelo menos as condições abaixo são indispensáveis às locomotivas da ferrovia em questão.

- a' Divisão múltipla da ponte de tiristores e o controle assimétrico.
- b' Ligação completamente paralela dos motores principais e compensação elétrica das cargas por eixo.

Como referência, o circuito principal da locomotiva regenerativa ED 78 usada pela JNR é ilustrada na figura 5-3-7.

Nessa locomotiva a ponte de tiristores é dividida em 4, e os motores principais são ligados 4 em paralelo.

5-3-7 Condições requeridas às locomotivas

Não há ainda condições de determinar as características das locomotivas em todos os detalhes, mas ao se fazer tal determinação é necessário levar em conta os seguintes pontos:

1. Deve-se tomar a potência em regime contínuo (aprox. 3.200 kW)
2. O retificador principal deve ser tiristorizado, multiplamente dividido.
3. Deve dispor de freio de geração com capacidade igual aquela dos equipamentos principais em "power running". (A frenagem regenerativa deve ser introduzida em fase posterior)
4. Para aproveitamento eficaz da aderência deve-se instalar dispositivos de compensação das cargas por eixo.

5. Deve-se instalar dispositivos contra rotação em falso ou dispositivos para re-aderência.
6. Deve-se tomar medidas contra efeitos nocivos da poeira de minério de ferro suspensas no ar.
7. Deve-se dispor de controle centralizado para tração múltipla.
8. É desejável que o diâmetro das rodas seja de 40 polegadas, mas não havendo necessidade absoluta de satisfazer esta condição, podendo ter um valor máximo de até cerca de 1250mm.
9. Deve-se refoçar a cabine de controle, para proteger o pessoal da guarnição de acidentes.
10. Supõe-se que no início à operação será por meio de duas pessoas; mas prevendo-se a operação por uma pessoa, deve-se concentrar os controles e chaves do lado do maquinista.
11. Como disposição dos eixos pode-se pensar no sistema C-C ou B-B-B. A comparação dos dois sistemas é apresentada na tabela 5-3-5. Levando em consideração os efeitos nos trilhos, caso haja algum meio eficaz para limitar a movimentação lateral do truque intermediário dentro da faixa admissível, é interessante adotar o sistema B-B-B.

Tabela 5-3-5 Sistema C-C e sistema B-B-B

Ítems comparados	Tipo C-C	Tipo B-B-B
Pressão transversal nos trilhos no tráfego de curvas	Grande	Pequena
Oscilação do patógrafo no tráfego de curvas	Grande	Pequena
Movimentação transversal do truque intermediário no tráfego de curvas	Não ocorre	Ocorre
Inspeção/reparos necessários no motor principal (troca de escovas, etc.)	Difícil	Simples

5-3-8 Problemas correlatos

No caso de eletrificação AC ocorrem problemas que não existiam em caso de eletrificação DC.

Exemplos típicos destes problemas são a interferência indutiva e a secção AC/AC, das quais serão feitas referências a seguir:

1. Interferências aos sistemas de transmissão.

Em relação à corrente equivalente de interferência J_p , tomando como base ao material rodante em operação na JNR, pode-se fazer algumas previsões para as locomotivas da ferrovia em questão.

No caso da JNR tem-se:

ED 75501 (sem regeneração) 5,7A (max) aprox. 30 seg.

ED 78 (com regeneração) 9,0A (max) aprox. 30 seg.

Para as locomotivas a serem usadas na ferrovia em questão, tem-se:

Sem regeneração:

$$5,7A \times \frac{20kV(ED75501)}{25kV(p/o\ Brasil)} \times \frac{3200kW(p/o\ Brasil)}{1900kW(ED75501)} = 7,7A \text{ (max)}$$

aprox.30 seg.

com regeneração:

$$9,0A \times \frac{20kV(ED78)}{25kV(p/o\ Brasil)} \times \frac{3200kW(p/o\ Brasil)}{1900kW(ED78)} = 12,1A \text{ (max)}$$

aprox.30 seg.

No caso de se fazer tração tripla;

sem regeneração:

$$7,7A \times \sqrt{3} = 13,4A \text{ (max) } \text{ aprox. 30 seg.}$$

com regeneração:

$$12,1A \times \sqrt{3} = 21,0A \text{ (max) } \quad \text{aprox. 30 seg.}$$

Deve-se ter sempre em mente que as correntes equivalentes de interferências podem atingir os valores calculados acima.

2. Influência ao sistema de potência

Independente da existência ou não de freio regenerativo, o conteúdo de terceiro harmônico é de cerca de 1/4 do harmônico fundamental.

3. Localização da secção AC/AC

Em trecho de secção AC/AC não se pode efetuar "power running" nem frenagem regenerativa. Portanto, no caso da secção AC/AC estar localizada em trecho com declividade ascendente, pode ocorrer impossibilidade de avanço por falta de potência, se houver parada da composição na declividade ou parada da locomotiva na secção.

Por outro lado, em secção localizada em declive descendente o freio regenerativo não atua, podendo ocorrer aceleração e conseqüentemente excesso de velocidade.

Como há ocorrência de problemas desse tipo, deve-se tratar a localização da secção AC/AC não somente como de extensão da alimentação, mas também levando em consideração o estado da via e o estado de operação no local em questão.

Como exemplo de referência, são citadas a deceleração em rampa ascendente de 1% e a aceleração em rampa descendente de 1%, ambos em regime de marcha inércia para os trens planejados. Optando pelo lado

da segurança, a resistência de curva foi incluída para a deceleração, sendo entretanto tomada como nula na aceleração.

Deceleração em rampa ascendente:

aprox. 0,40km/h/seg. (velocidade inicial 25km/h)

Aceleração em rampa descendente:

aprox. 0,26km/h/seg. (velocidade inicial 25km/h)

Especialmente no caso da secção AC/AC localizada em rampa ascendente, ocorrerá a parada natural em cerca de 65 seg. (aprox. 220m). Considerando-se que para a operação com tração tripla a distância mínima com impossibilidade de "power running" é de 90m, deve-se fazer o possível para evitar a localização de secção AC/AC em trecho de declividade de 1,0%. Entretanto, caso não se possa evitar a instalação de secção em tal trecho, deve-se adotar o sistema de "marcha-simultânea em inércia", "power running sequenciado".

5-4 Depósitos - Inspeção - Reparo

Este parágrafo se refere aos estudos feitos em relação ao planejamento dos depósitos e trabalhos de inspeção e reparos das locomotivas elétricas que serão usadas na tração das composições e dos vagões para minério e pellet.

Para os vagões de carga geral procurar-se-á usar, na medida do possível, os depósitos e instalações atualmente existentes, excluindo-se portanto do presente estudo.

Em ferrovias eletrificadas, em casos de acidentes como descarrilhamento, frequentemente ocorrem queda de postes, ruptura da rede aérea, etc., sendo as consequências mais graves que em ferrovias não-eletrificadas. Para prevenção de acidentes, há necessidade de cuidadosos estudos em relação aos trabalhos de inspeção e reparos, especialmente as inspeções de rotina.

5-4-1 Planejamento dos depósitos, inspeção e reparos

(1) Aproveitamento das locomotivas

As locomotivas serão usadas em tração tripla e para minimizar o encaminhamento de locomotivas sem carga tracionada, os trabalhos de inspeção e reparo serão feitos em conjuntos de 3 unidades. Procurar-se-á também simplificar as manobras em pátios e a contagem da quilometragem para controle de inspeção e reparos.

(2) Premissas para a disposição dos depósitos

- a. Os depósitos serão instaladas em pontos onde há descontinuidades grandes nas quantidades de carga transportada e em pontos de retorno.

- b. As locomotivas elétricas são capazes de percorrer longos trajetos e portanto procurar-se-á instalar os depósitos junto às estações terminais da linha.
- c. O trecho a ser eletrificado em CA na primeira fase, se estende por 400 km, sendo necessário levar em conta a estruturação do sistema de reparo. Instalar-se-á um posto de inspeção de emergência num local de concentração de estacionamento, a cerca de cada 200km.
- d. Em trechos onde há depósito para inspeção de vagões, considerando o aproveitamento do material rodante, serão instalados nas proximidades dos mesmos.

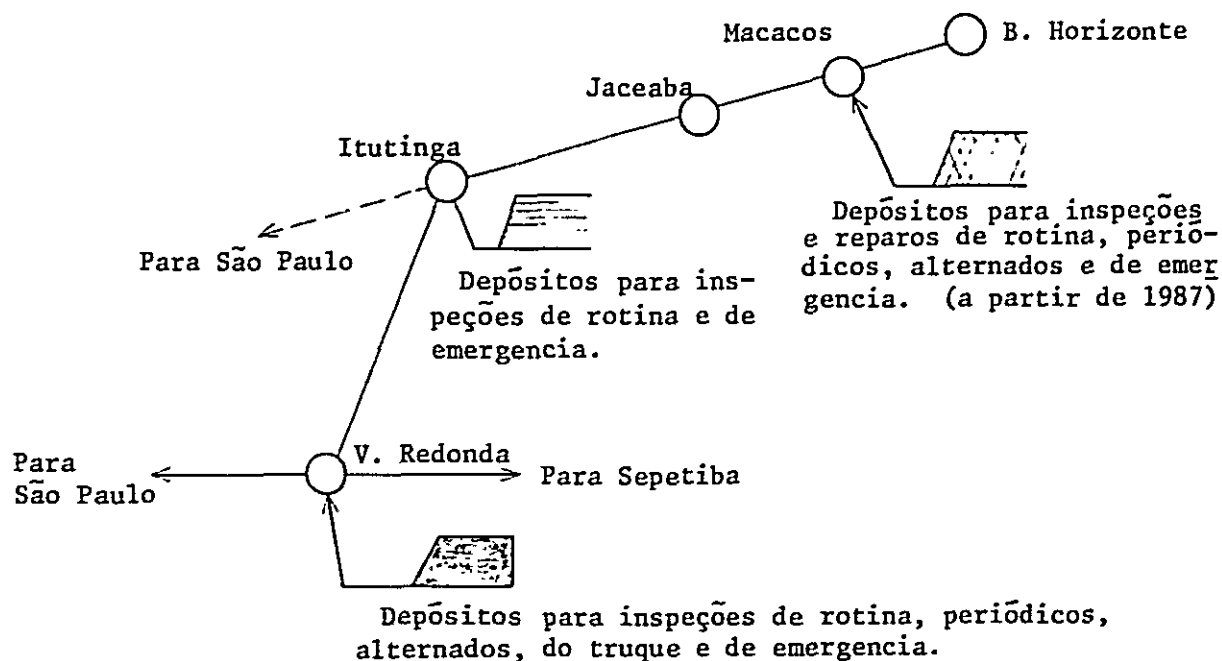


Figura 5-4-1 Disposição dos depósitos para locomotivas

- o Levando em conta a estrutura de operação de composições na fase inicial, o depósito para inspeção e reparos dos truques será instalada em Volta Redonda. Mesmo no futuro o depósito de Volta Redonda dará conta de todo o trabalho.
- o Os depósitos para inspeção e reparos periódicos alternados serão instalados em Macacos e Volta Redonda.
- o Os depósitos para inspeções de rotina serão instalados em Macacos, Itutinga e Volta Redonda.

(3) Planejamento dos trabalhos de inspeção e reparos

O sistema de inspeção cíclica será dividido em cinco estágios a saber:

- inspeção de rotina
- inspeção periódica alternada
- inspeção do truque
- inspeção de pontos principais
- inspeção total

Para falhas ocorridas eventualmente, serão efetuados trabalhos de inspeção e reparos de emergência.

O resumo, o ciclo e os locais dos vários tipos de inspeção acima são apresentados na Tabela 5-4-1.

Tabela 5-4-1 Tipos de inspeção de locomotivas elétricas

Tipo de inspeção	Resumo do trabalho de inspeção	Ciclo de inspeção	Locais de inspeção
Inspeção de rotina	Inspeção externa do estado e do funcionamento das sapatas de freio e do pantógrafo, de acordo com o estado de uso da locomotiva.	Até 48 horas	Depósito
Inspeção periódica alternada	Inspeção do estado e do funcionamento das partes principais, em ciclos pré-determinados.	Até 25.000km percorridos ou até 60 dias	Depósito
Inspeção dos truques	Inspeção das partes principais, tais como motor, sistema de transmissão, engrenagens, sistema de freio, etc., em ciclos pré-determinados.	Até 200.000km percorridos ou até 15 meses	Depósito
Inspeção de partes principais	Desmontagem e inspeção de cada parte do motor principal, sistema de transmissão, engrenagens, sistema de freio, sistema de controle, motores auxiliares, etc., em ciclos pré-determinados.	Até 400.000km percorridos ou até 30 meses	Oficina
Inspeção geral	Desmontagem e inspeção total de todas partes componentes, em ciclos pré-determinados.	Até 800.000km percorridos ou até 60 meses	Oficina
Inspeção de emergência	Inspeção total ou parcial, em casos tais como defeitos nas locomotivas.	De acordo com a necessidade	De acordo com a necessidade, em oficina ou depósito

Pontos a serem considerados no planejamento da inspeção.

- a. A inspeção de rotina será efetuada à composição de tração tripla, prevendo-se uma hora para sua efetivação.
- b. Na inspeção periódica alternada as locomotivas de tração tripla serão levadas à linha de inspeção periódica alternada e desconectadas, prevendo-se um dia para cada locomotiva.

Para melhorar a precisão da inspeção e elevar a eficiência dos trabalhos, é desejável que se instale um equipamento de ensaio que permita a inspeção global, tanto do circuito elétrico como do sistema de freio, sem necessidade de desmontar a locomotiva.

- c. Na inspeção dos truques será feita a troca com os truques de reserva, planejando de modo que seja possível o uso da locomotiva no mesmo dia.

(4) Dimensionamento do parque de locomotivas

Calcula-se a quantidade requerida de locomotivas a partir do gráfico horário, acrescentando-se 15% de reserva para inspeção, reparos, etc.

	1982	1987
Número de composições	35 composições	56 composições
Número de locomotivas	105 locomotivas	168 locomotivas

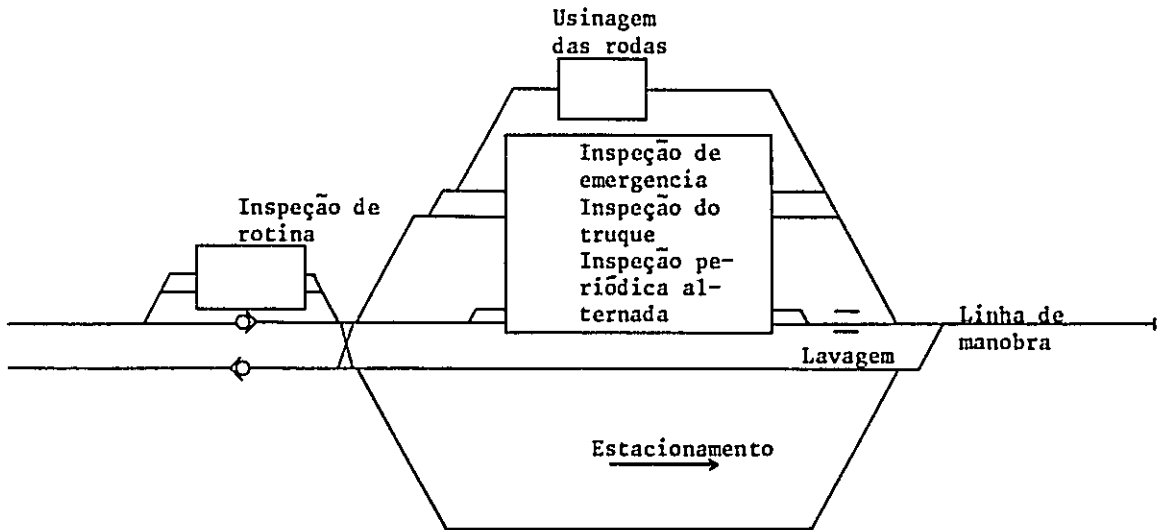
(5) Disposição dos depósitos

Os depósitos devem ser dispostas de tal modo que permitam entrada direta da linha e as linhas dentro

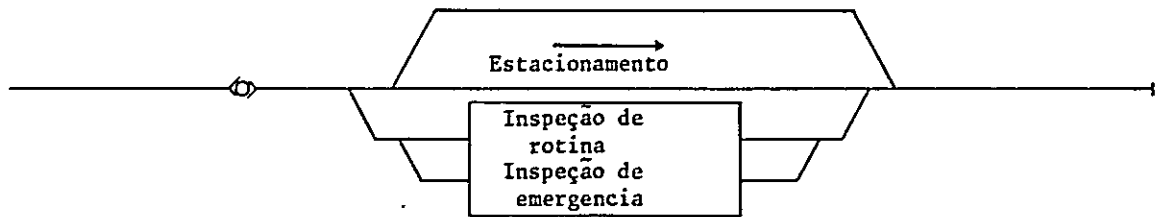
do pátio das mesmas devem ser de tal modo que permitam os trabalhos de entrada e mudança de via.

A disposição de linhas num depósito é mostrada na Figura 5-4-2.

o Depósito de Volta Redonda



o Depósito de Itutinga



o Depósito de Macacos

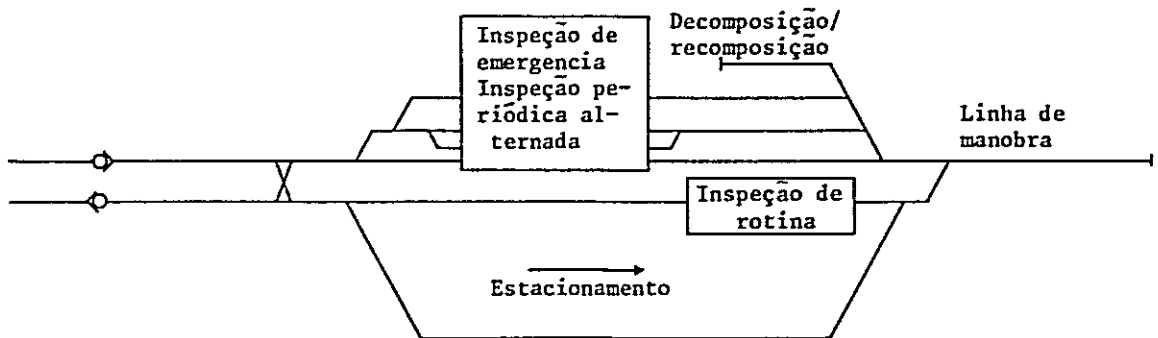


Figura 5-4-2 Disposição das linhas em depósitos de locomotivas

5-4-2 Planejamento dos depósitos para reparos e inspeção de vagões e dos trabalhos de inspeção e reparos

Os novos depósitos a serem instalados para inspeção e reparo de vagões da ferrovia em questão cuidarão, ao longo de toda a linha, de vagões de composições de 9000 ton. de tração.

Quanto às demais composições, serão operadas em comum com os vagões de uso geral atualmente em serviço, procurando dar conta de todo trabalho nos depósitos atualmente existentes.

(1) Aproveitamento dos vagões

90 vagões para trens de 9000 ton. serão agrupados sob forma de composições fixas. Com isto serão eliminados os trabalhos de recomposição, elevando a eficiência operacional dos vagões e ao mesmo tempo os trabalhos de inspeção e reparo podem ser efetuados em lotes de uma composição. Conseqüentemente os trabalhos nos depósitos e o controle de quilometragem podem ser simplificados.

(2) Disposição dos depósitos de inspeção e reparo dos vagões

Levando em conta o aproveitamento de vagões, o planejamento de inspeção e reparos e a modificação de emergência do esquema de aproveitamento, é conveniente instalar o depósito na estação inicial, terminal ou de retorno das composições.

Para se determinar a localização é necessário deixar claramente definida a estruturação do sistema de inspeção e reparo e ao mesmo tempo levar em conta a configuração que tomarão os trens no futuro. Do ponto de grande número de retorno

de trens, é desejável que se concentre o depósito para vagões junto a Macacos. Porém levando em conta a configuração dos trens na fase inicial de operação e a estrutura do sistema para recuperação em casos de acidentes, é necessário que também se instale um depósito junto a Sepetiba.

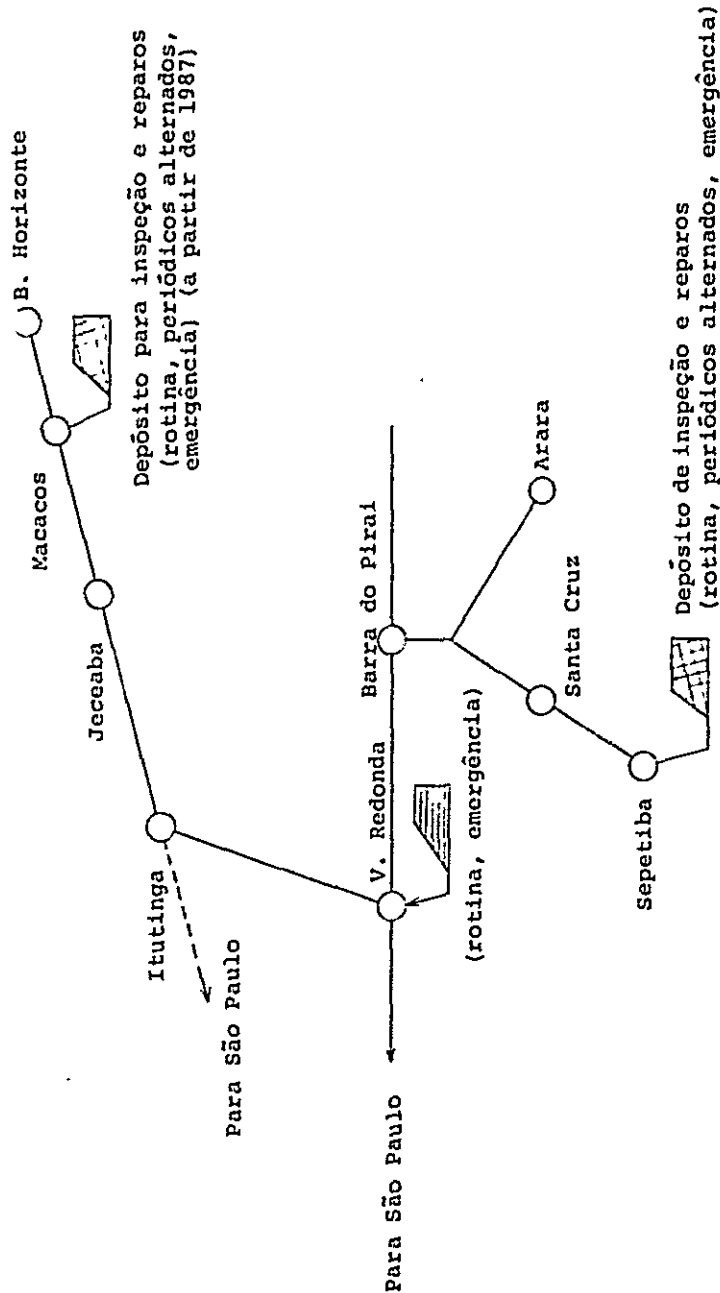


Figura 5-4-3 Disposição dos depósitos de inspeção e reparos

Obs. Na fase inicial de operação da nova ferrovia é desejável que se instale um depósito para inspeção e reparos de emergência também em Jeceaba, mas em 1987 os trens farão passagem direta por Jeceaba e o depósito perderia sua razão de ser. Assim, os reparos de emergência requeridos nas proximidades de Jeceaba deverão ser feitos no depósito de Jeceaba ou na oficina mais próxima.

(3) Planejamento dos trabalhos de inspeção e reparo

O sistema de inspeção cíclica de vagões será dividido em tres estágios a saber:

- inspeção de rotina
- inspeção periódica alternada
- inspeção total

Para falhas ocorridas eventualmente serão efetuados trabalhos de inspeção e reparos de emergência.

Os trabalhos de inspeção serão em princípio efetuados em lotes de uma composição.

O resumo, o ciclo e os locais dos varios tipos de inspeção acima apresentados são indicados na Tabela 5-4-2.

Tabela 5-4-2 Tipos de inspeção de vagões

Tipo de inspeção	Resumo	Ciclo de inspeção	Local de inspeção
Inspeção de rotina	Inspeção do estado e do funcionamento das sapatas e do mecanismo de freio a ser efetuada do lado externo, de acordo com o estado de uso do vagão.	A cada viagem	Depósito
Inspeção periódica alternada	Inspeção das partes principais do vagão quanto ao seu estado e seu funcionamento, em ciclos pre-determinados.	Até 60 dias	Depósito
Inspeção total	Desmontagem e inspeção total dos componentes, em ciclos pre-determinados.	Até 3 anos	Oficina
Inspeção de emergência	Inspeção global ou parcial dos vagões em caso de ocorrência de acidentes ou falhas, etc.	De acordo com a necessidade	De acordo com a situação, em depósito ou oficina

Pontos a serem considerados no planejamento dos trabalhos de inspeção.

- a. A inspeção de rotina será efetuada após a chegada do vagão carregado ou antes do carregamento do minério, na própria linha de chegada.
- b. A inspeção periódica de rotina será efetuada decompondo-se o trem em 3 partes e introduzindo na linha de inspeção. Isto se deve ao fato da composição completa atingir a extensão de 1km, tornando trabalhosa a disposição dos equipamentos de inspeção, e diminuindo assim o rendimento.

c. Por ocasião de inspeções de emergência, as partes danificadas serão substituídas por composições de reserva (lotes de 30 vagões), efetuando assim a inspeção e reparo dos vagões falhos.

(4) Dimensionamento do parque de vagões

Calcula-se a quantidade requerida de vagões a partir do gráfico horário, acrescentando-se 15% de reserva para reparos, inspeções, etc.

(Somente para trens diretos de 9000 ton. de tração)

	1982	1987
Número de composições	28 composições	44 composições
Número de vagões	2.520 vagões	4.500 vagões

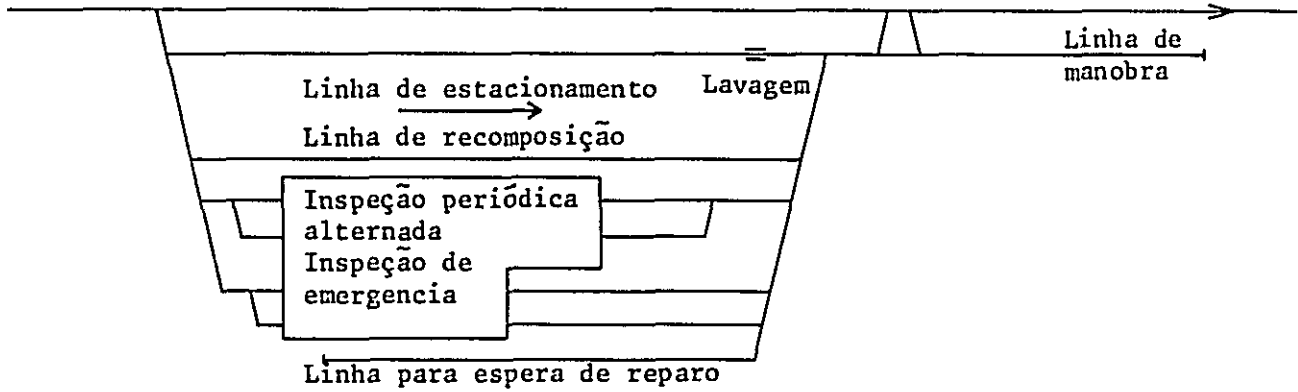
(5) Disposição de linhas no depósitos de inspeção e reparos de vagões

Os depósitos de inspeção e reparo serão dispostas ao longo da rota que vai da linha de chegada à linha de partida, de modo que dispense trabalhos desnecessários dentro do pátio.

Dentro dos depósitos de inspeção/reparo serão dispostas locomotivas que efetuam o trabalho de substituição dos vagões de reserva.

A disposição das linhas em instalações de inspeção/reparo são mostradas na Figura 5-4-4.

o Depósito de inspeção/reparo de Sepetiba, Macacos



o Depósito de inspeção/reparo de Volta Redonda

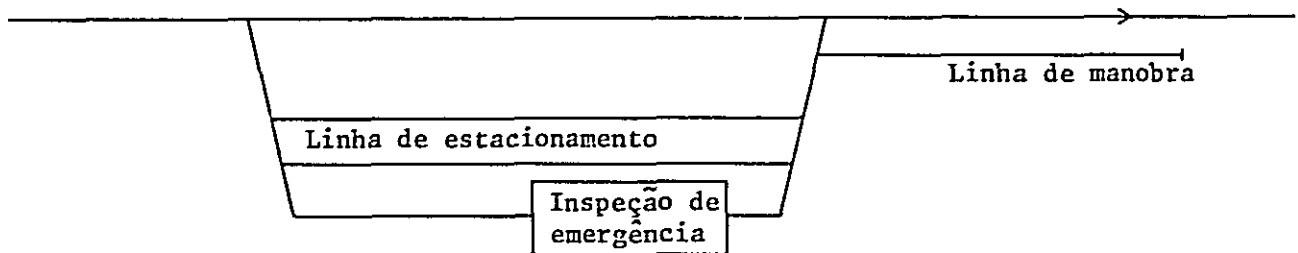


Figura 5-4-4 Disposição das linhas nos depósitos de inspeção/reparo de vagões

6. PLANEJAMENTO DA VIA E ENGENHARIA CIVIL

6. PLANEJAMENTO DA VIA E ENGENHARIA CIVIL

6-1. Plano Original

6-1-1 Generalidades sobre o planejamento da via

As generalidades sobre o planejamento da ferrovia em questão são apresentadas na Tabela 6-1-1.

Na Figura 6-1-1, é apresentada a secção longitudinal das linhas.

6-1-2 Características técnicas de construção

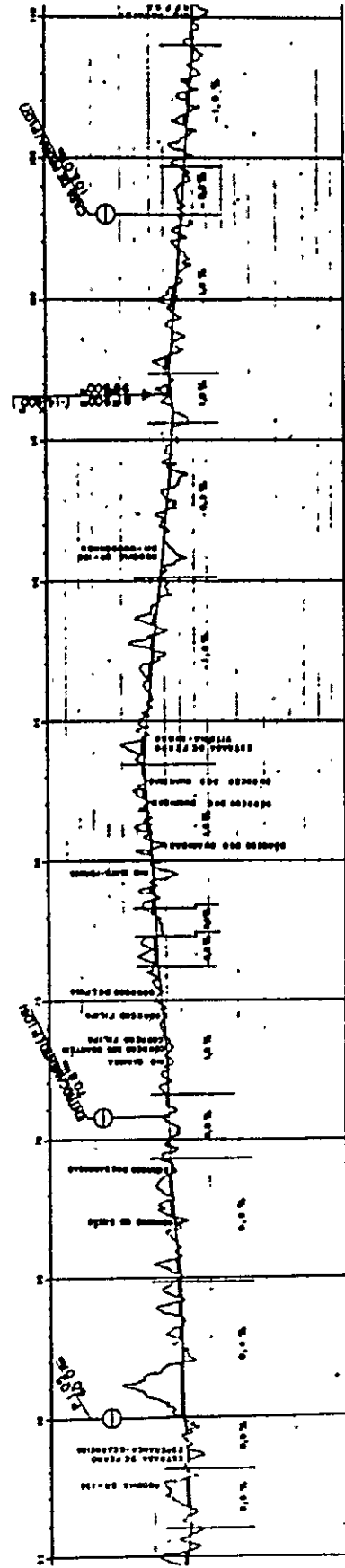
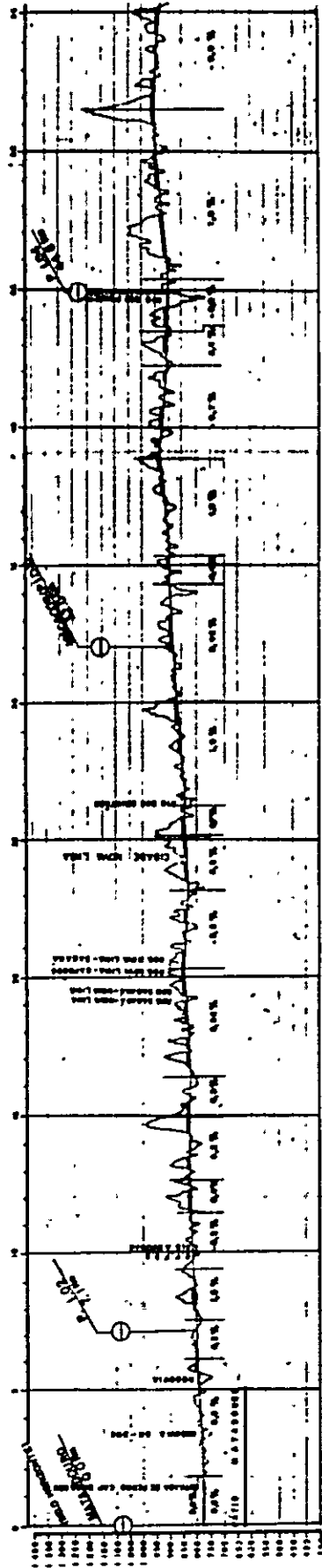
As características técnicas de construção da ferrovia em questão são apresentadas na Tabela 6-1-2.

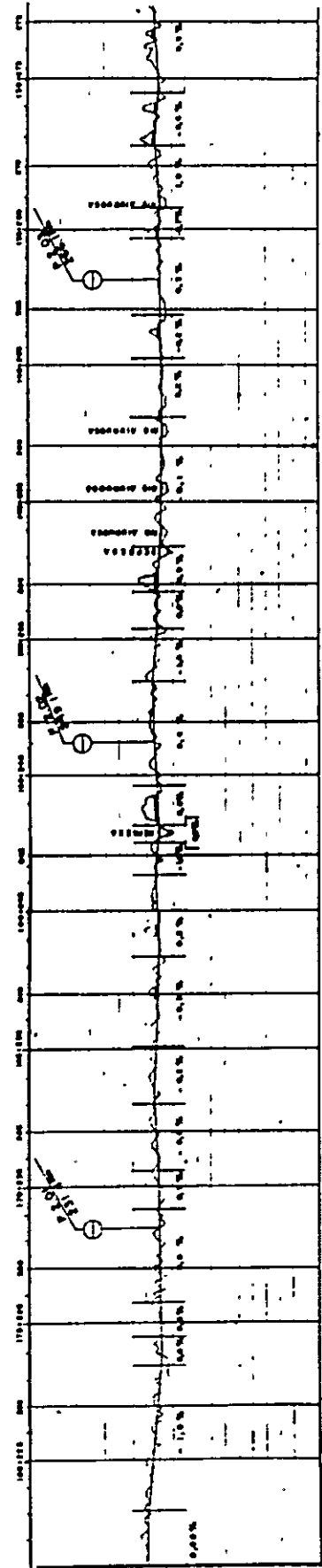
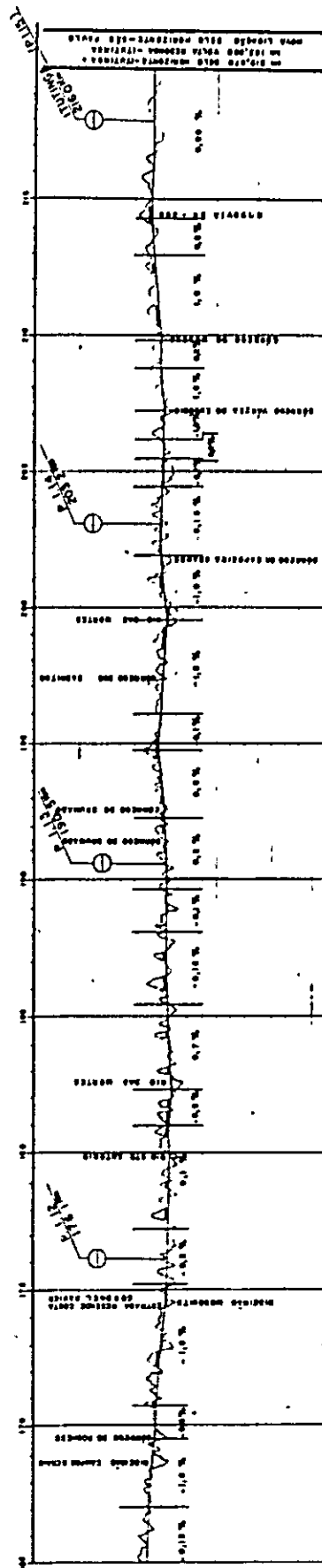
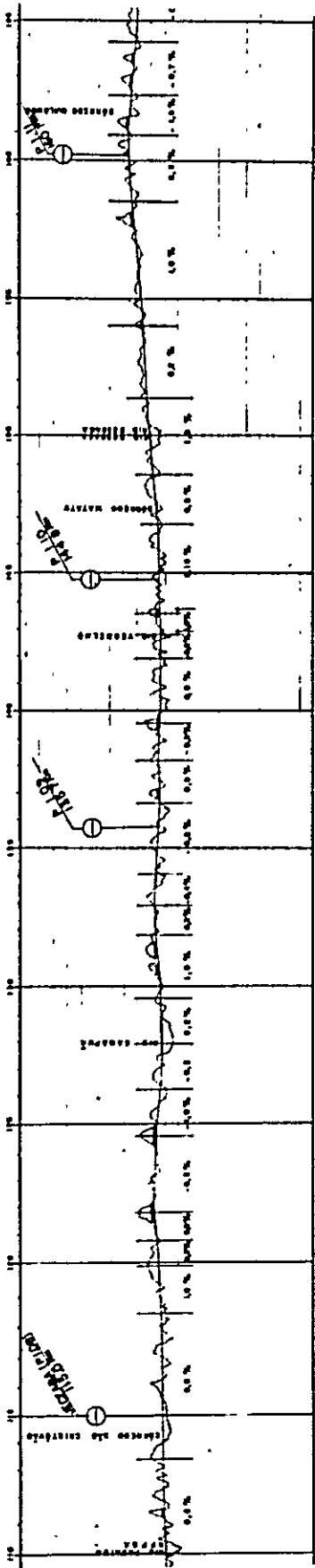
Tabela 6-1-1 Generalidade sobre o planejamento da via

Item	Descrição
Trecho	Belo Horizonte ~ Itutinga ~ Volta Redonda
Extensão da via segundo estrutura	388,9km B. Horizonte ~ Jeceaba 100,4km Jeceaba ~ Itutinga 101,0km Itutinga ~ V.Redonda 187,5km
Cortes, aterros	261,5km
Túneis	86,9km (171 locais, max. 8,4km)
Pontes	40,5km (124 locais, max. 1,09km)
Quantidade de terra movimentada	35 milhões m ³
Pontos de parada	29 (inclusive pátios de cruzamento)
Pátios	Jeceaba, Itutinga, V. Redonda

Figura 6-1-1 PERFIL LONGITUDINAL
 TRECHO: BELÔ HORIZONTE - VOLTA REDONDA

Escala : H : 240.000
 V : 24.000





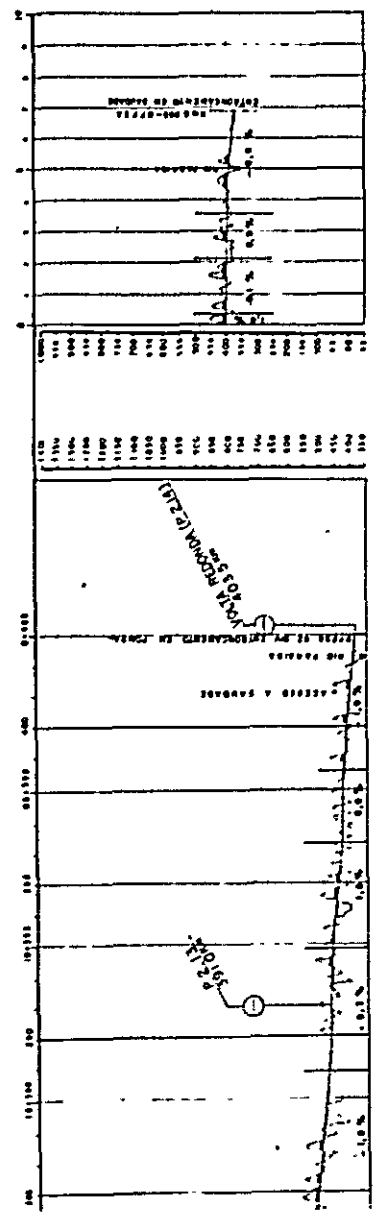
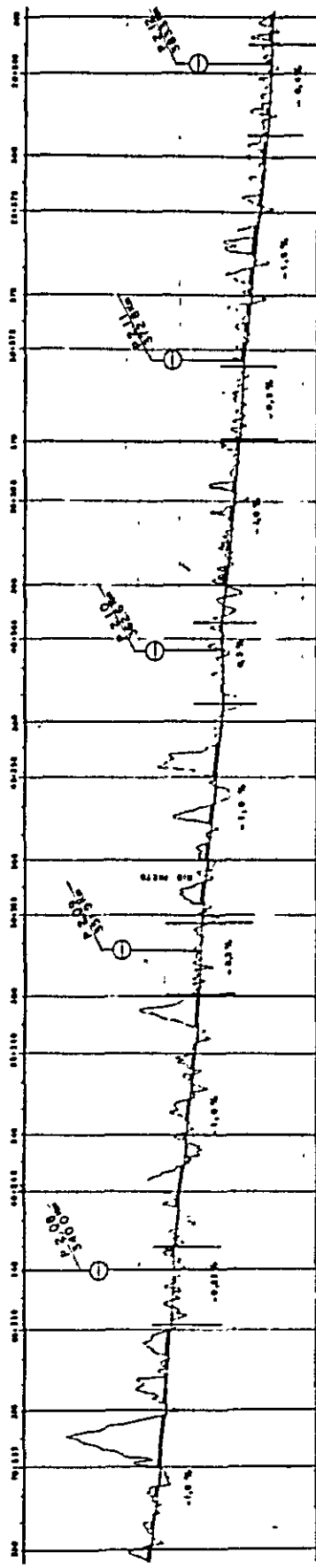
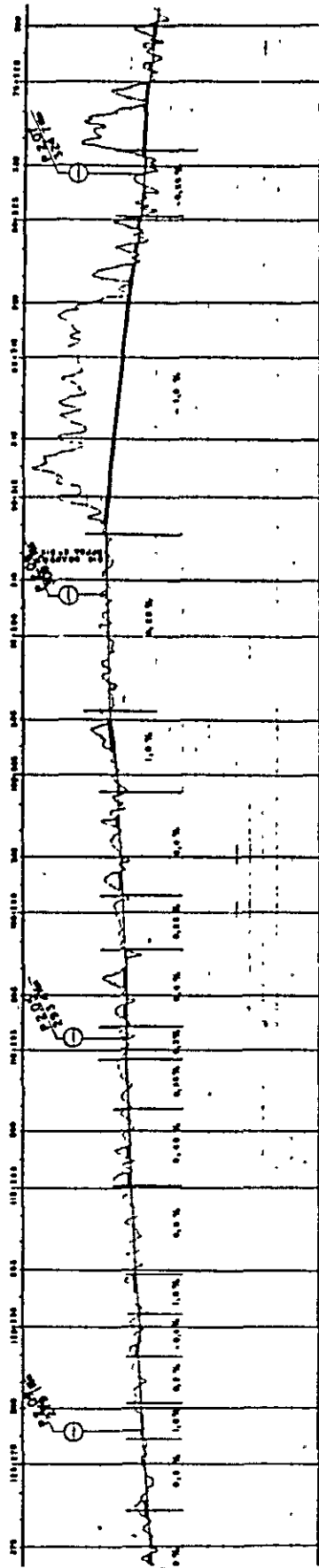


Tabela 6-1-2. Características técnicas de construção

Item	Descrição
Bitola	1.600 mm
Raio mínimo de curvatura	900 m
Extensão de curva de concordância	Adotada curva clotóide Para $R = 900$ m: $L = 140$ m Para $900 \text{ m} < R \leq 1.600$ m: $L = 4,7 \sqrt{R}$ Para $1.600 < R$: $L = 200$ m
Declividade máxima	1,0% (Secção longitudinal da via mostrada figura separada.)
Curva vertical	Inserir-se uma parábola de segundo grau (convexa $r=0,1\%$, côncava $0,05\%$) em locais onde há diferença algébrica de mais de $0,1\%$ em pontos de concordância e mais de $0,2\%$ em pontos de concordância convexa.
Largura do aterro	Trecho em linha singela 8,1 m Trecho em linha dupla 13,1 m
Distância entre outros trilhos	Fora das estações 4,25 m Pátio de estações Entre linhas principais de vias duplas 4,25 m Outros 4,50 m
Tipo de AMV	#20
Extensão do pátio de estação	Entre extremidades dos AMV mais afastados 2.280m
Gabarito do túnel	Figura 6-1-2
Seção transversal de infraestrutura	Figura 6-1-3
Superestrutura da via	Tipo TR-68 Peso 67,6 kg
Trilho	Comprimento 12 m Trilho longo
Dormente	Tipo PC Quantidade 1.666/km
Leito	Tipo Pedra britada Espessura 40 cm
Fixação	Tipo Fixação elástica

Figura.6-1-2a Gabarito Interno dos Túneis.

Linha Simples. Escala 1:50

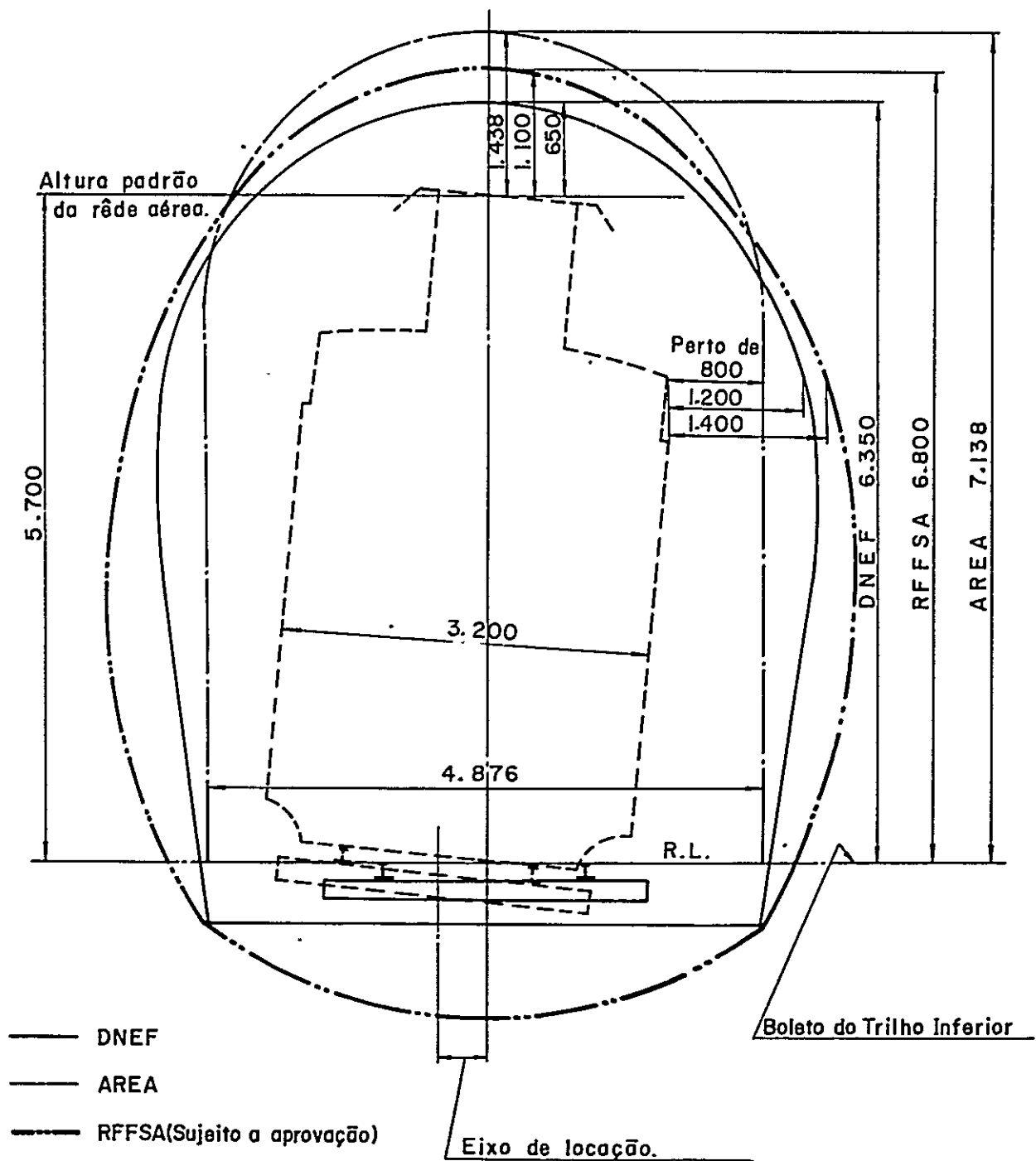


Figura.6-1-2b Gabarito Interno dos Túneis.

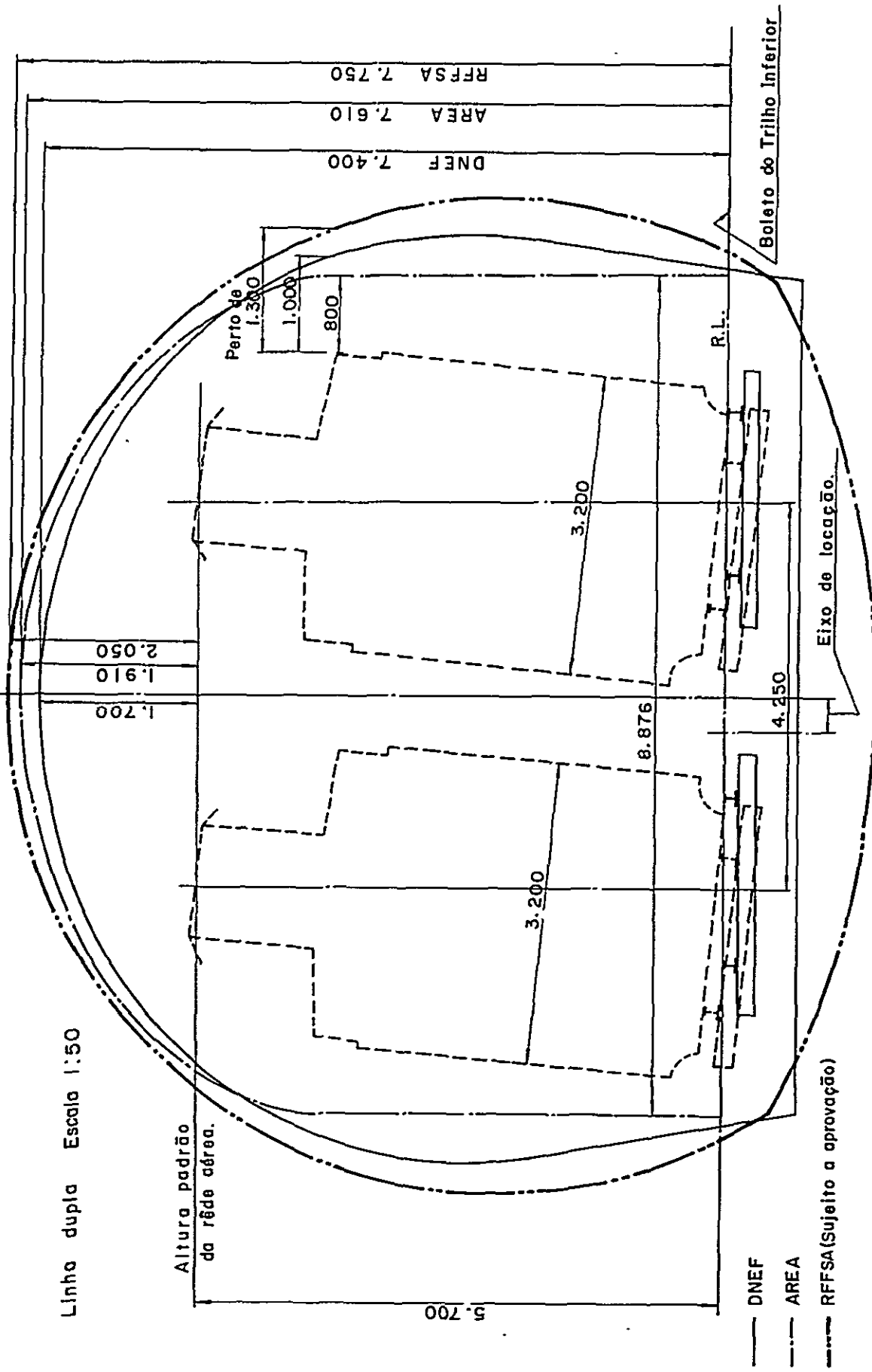
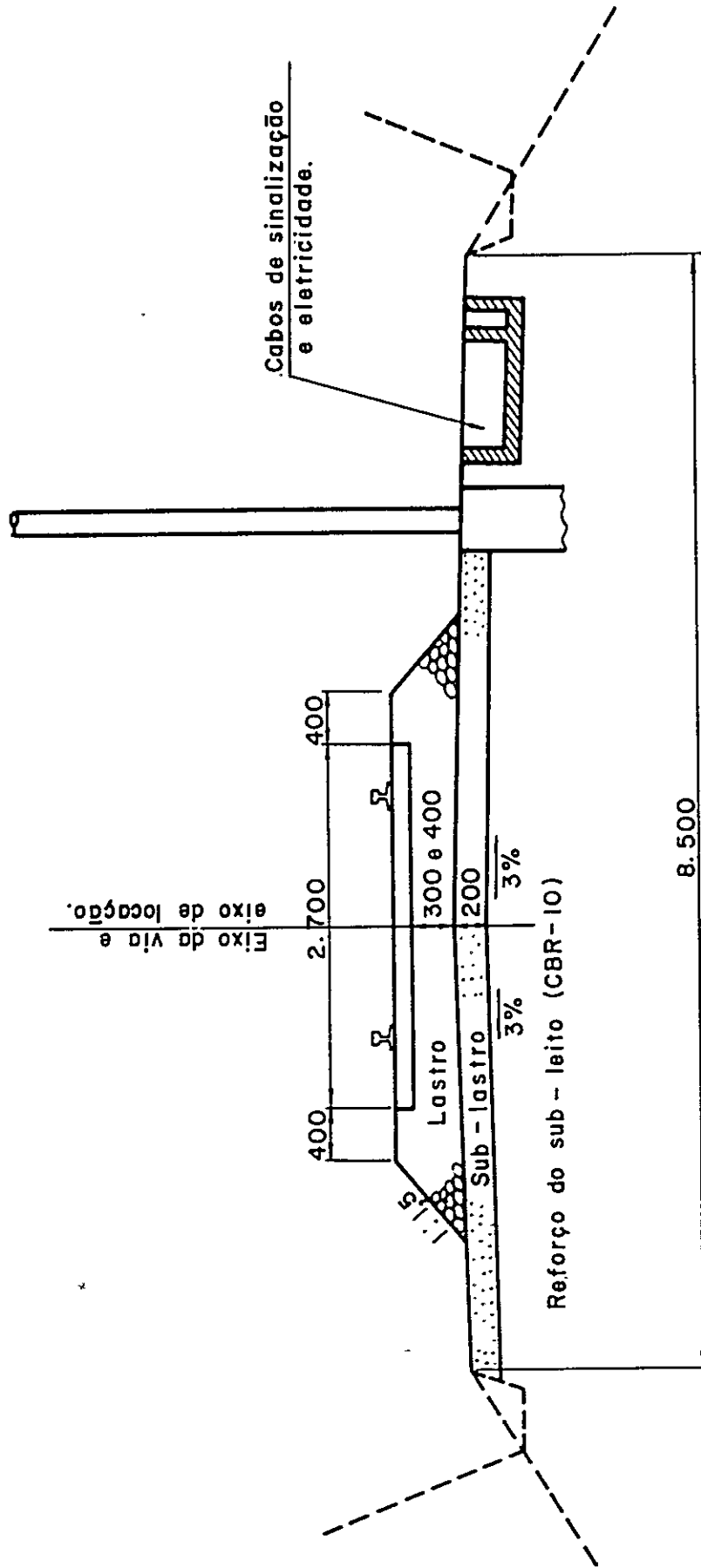
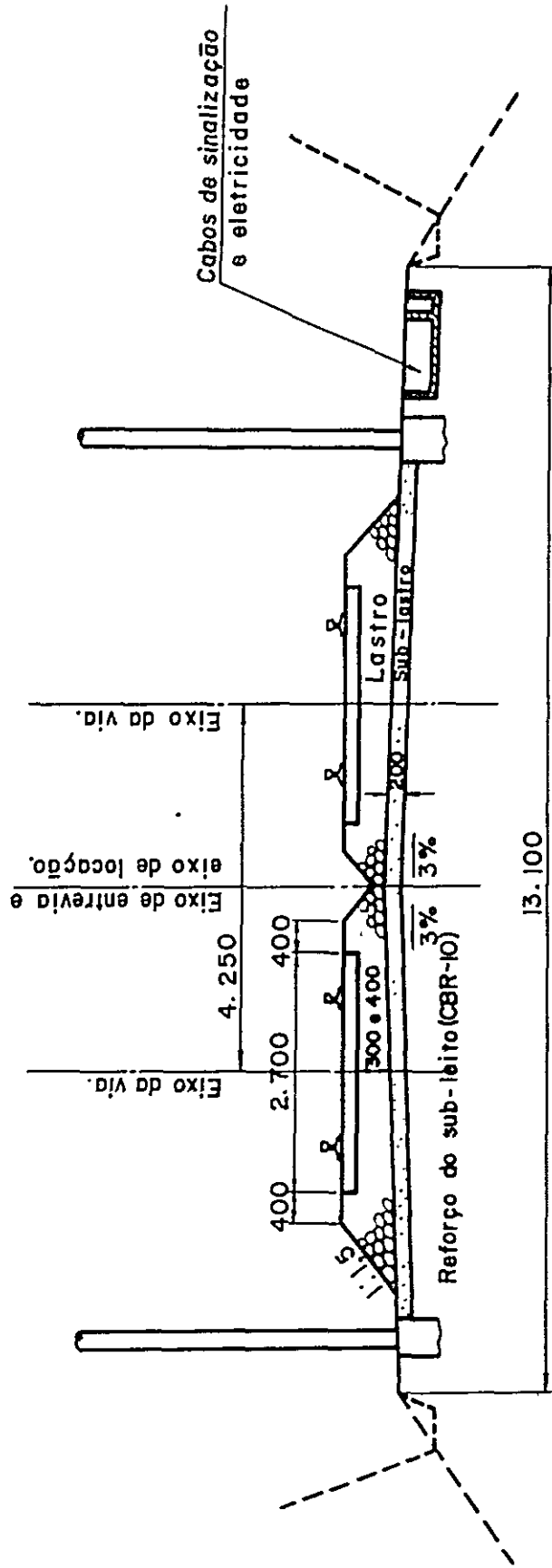


Figura. 6 - 1 - 3a Seção transversal de infraestrutura para via singela de linha principal.



Nota: A canalização para os cabos de sinalização e eletricidade, deverá localizar-se a direita, considerando o sentido Belo Horizonte - São Paulo.

Figura.6 - 1 - 3b Seção Transversal de Infraestrutura de Via Dupla em Linhas Principais.



Nota : A canalização para os cabos de sinalização e eletri-
cidade, deverá localizar-se a direita, considerando /
o sentido Belo Horizonte - São Paulo.

6-1-3 Postos de cruzamento, interligação e pátios

No caso da ferrovia em questão, a densidade populacional ao seu longo é pequena, sendo que, com exceção do trecho Belo Horizonte - Jeceaba e da estação de Itutinga, as estações intermediárias têm apenas a função de posto de cruzamento e desvio para ultrapassagem. A disposição-padrão destas instalações é mostrada na figura 6-1-4. Quanto à disposição de linhas nos pátios do trecho compreendido entre Itutinga e Volta Redonda ainda encontra-se indeterminado.

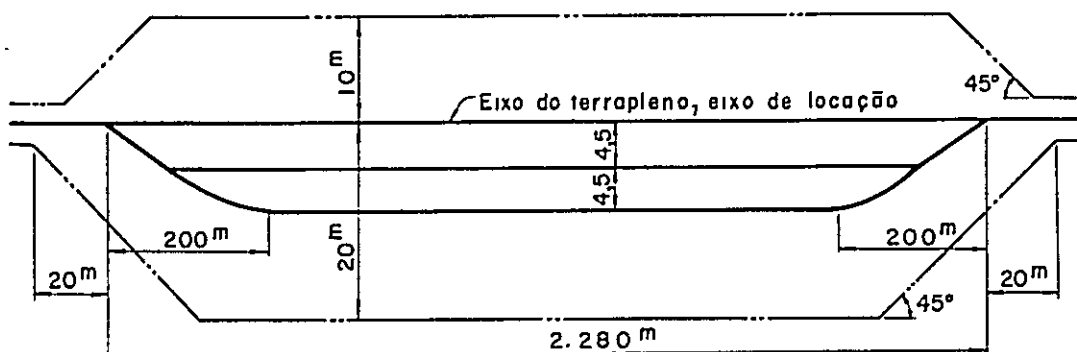
A disposição das linhas nos pátios onde serão efetuadas as interligações da ferrovia em questão com as atualmente existentes, é mostrada na figura 6-1-5.

O relacionamento da ferrovia em questão com as existentes nas proximidades de Jeceaba, Itutinga e Volta Redonda e o "lay-out" resumido, são mostrados nas figuras 6-1-6, 6-1-7 e 6-1-8.

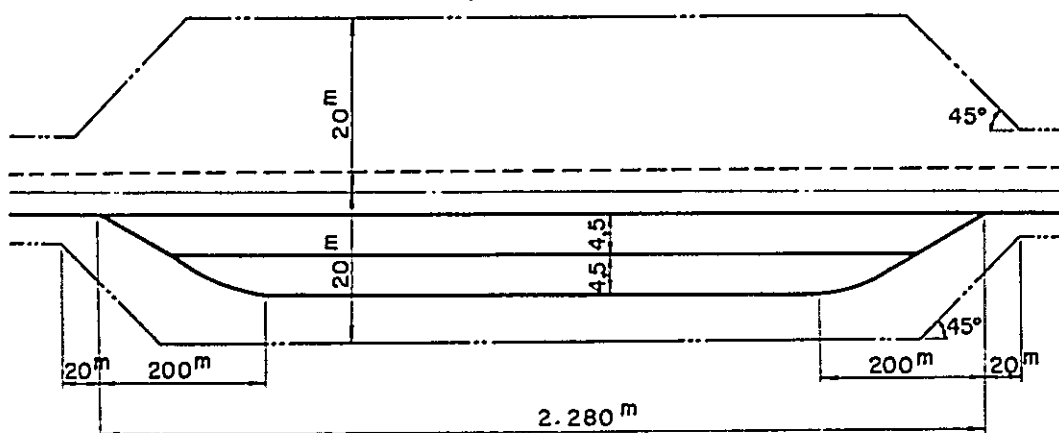
Entretanto, como a disposição das linhas nestes pátios ainda encontra-se indeterminada, limita-se aqui a apresentação do "lay-out".

Figura.6-1-4 Esquema de Posto de Cruzamento

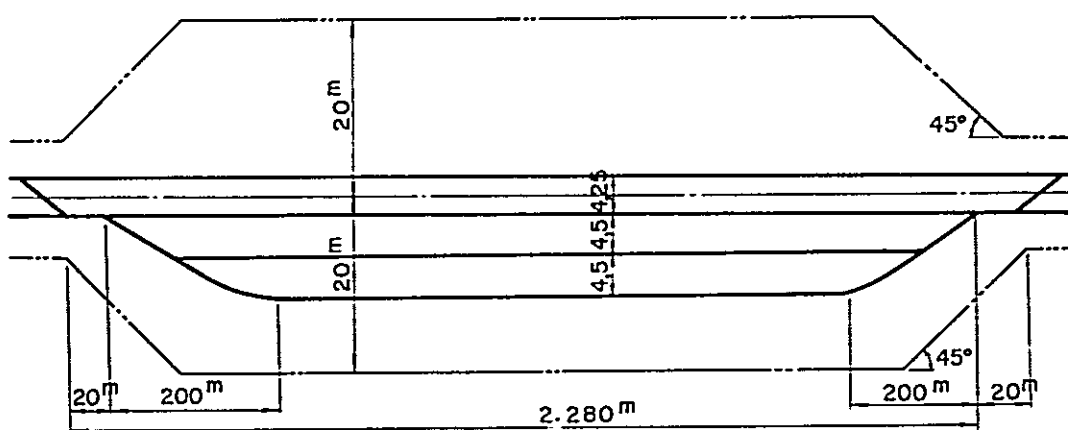
Via Singela
 Infraestrutura para via singela



Via Singela
 Infraestrutura para via dupla



Via Dupla



- Eixo da linha Ferrea
- - - Limite da plataforma
- - - Eixo da locação

Figura.6-1-5 Belo Horizonte - Volta Redonda

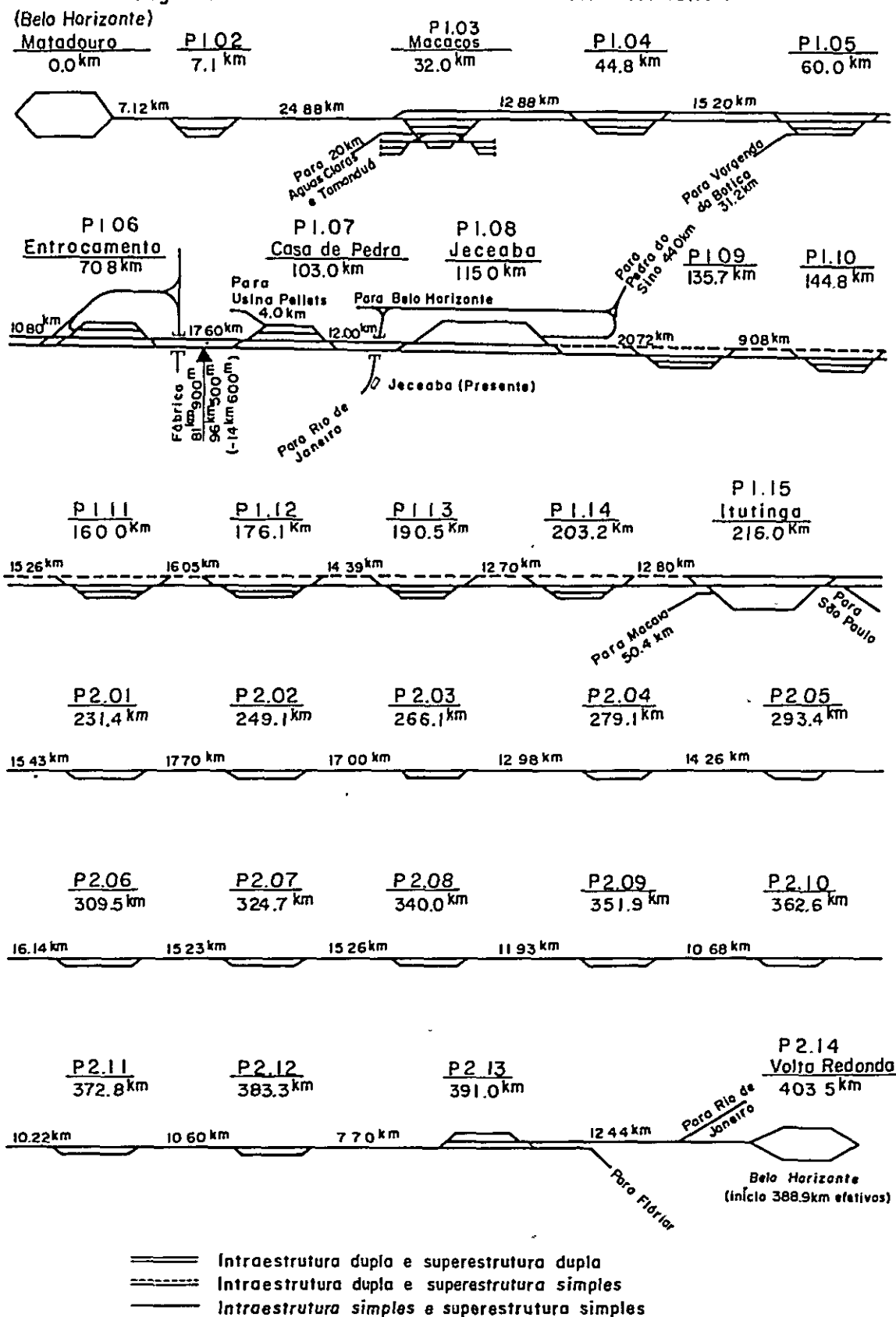


Figura.6 - 1 - 6 Esquema do pátio das conexões com outras ferrovias em Jeceaba.

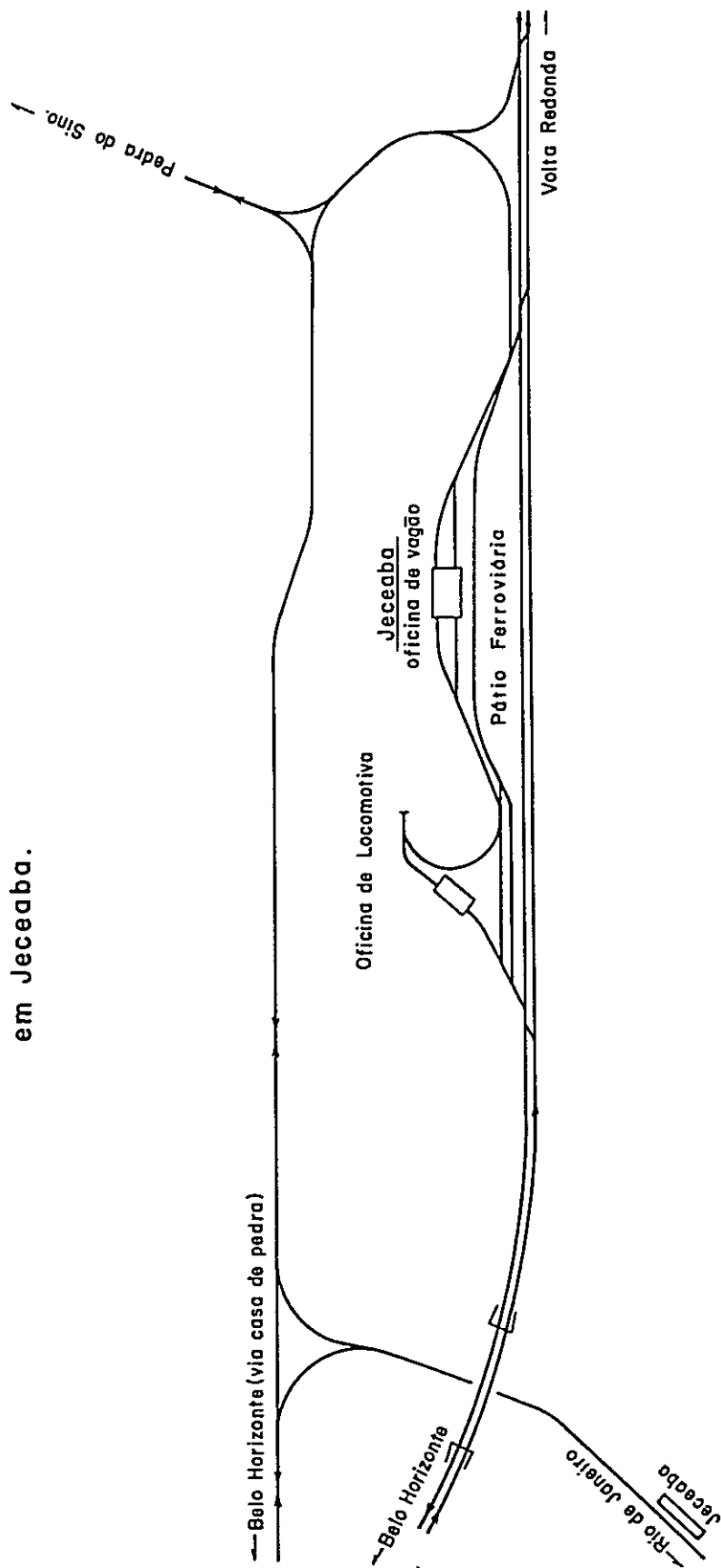


Figura.6 - 1 - 7 Esquema do pátio de Itutinga

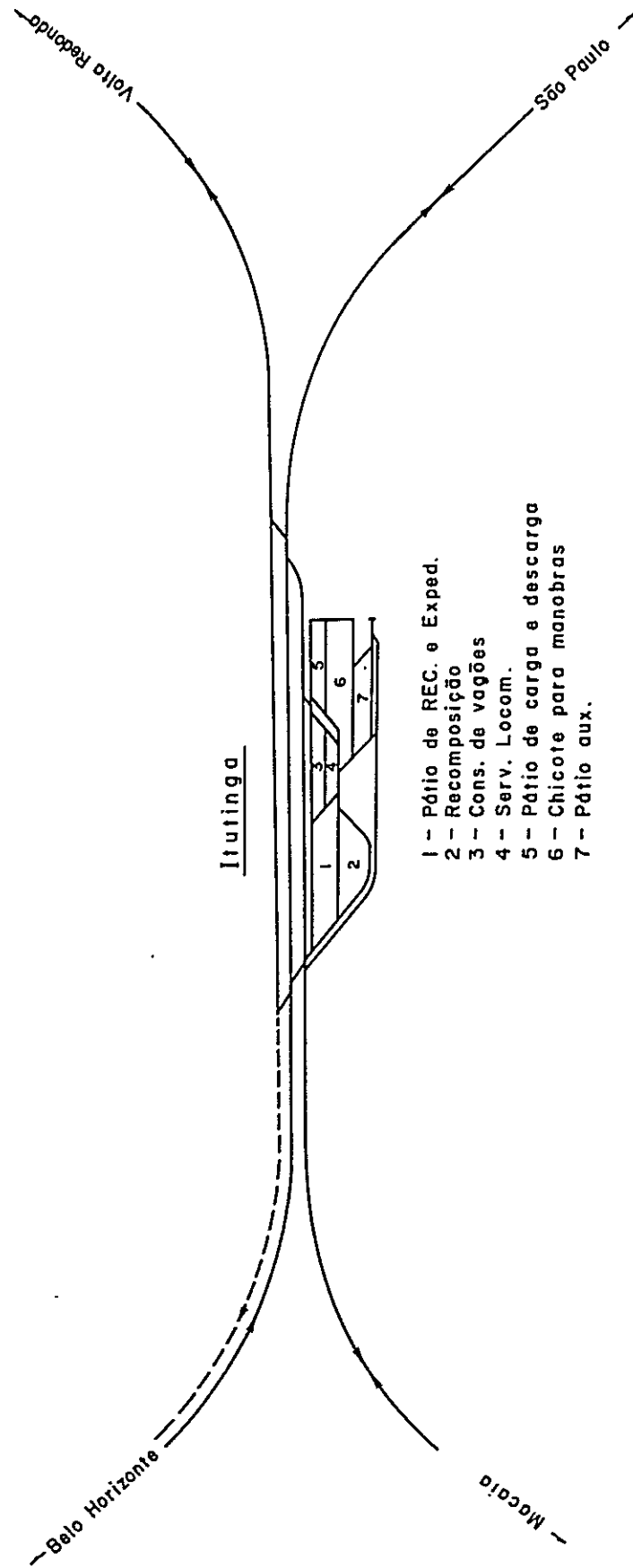
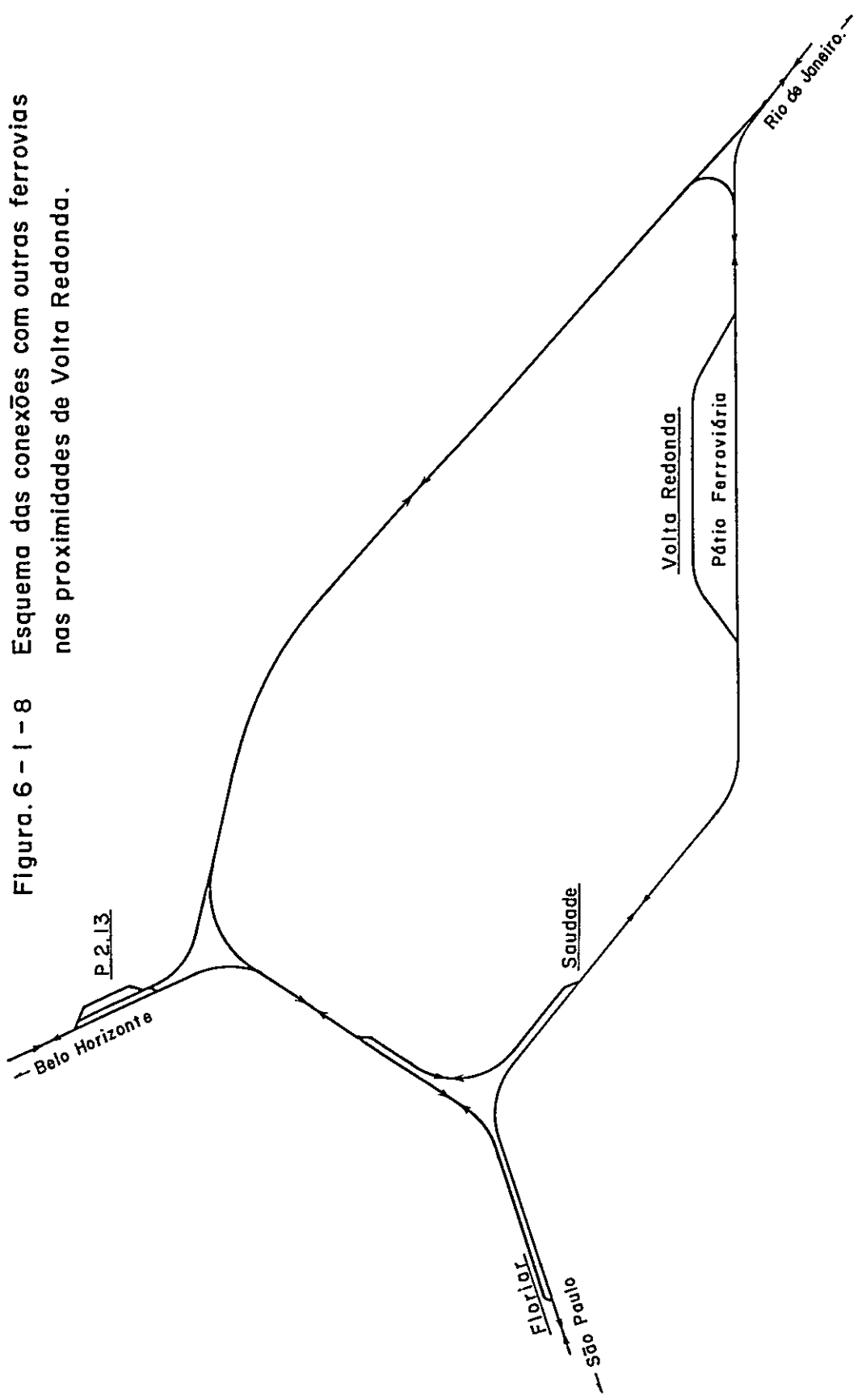


Figura. 6 - 1 - 8 Esquema das conexões com outras ferrovias nas proximidades de Volta Redonda.



6-2. Engenharia Civil

6-2-1 Gabarito de obras

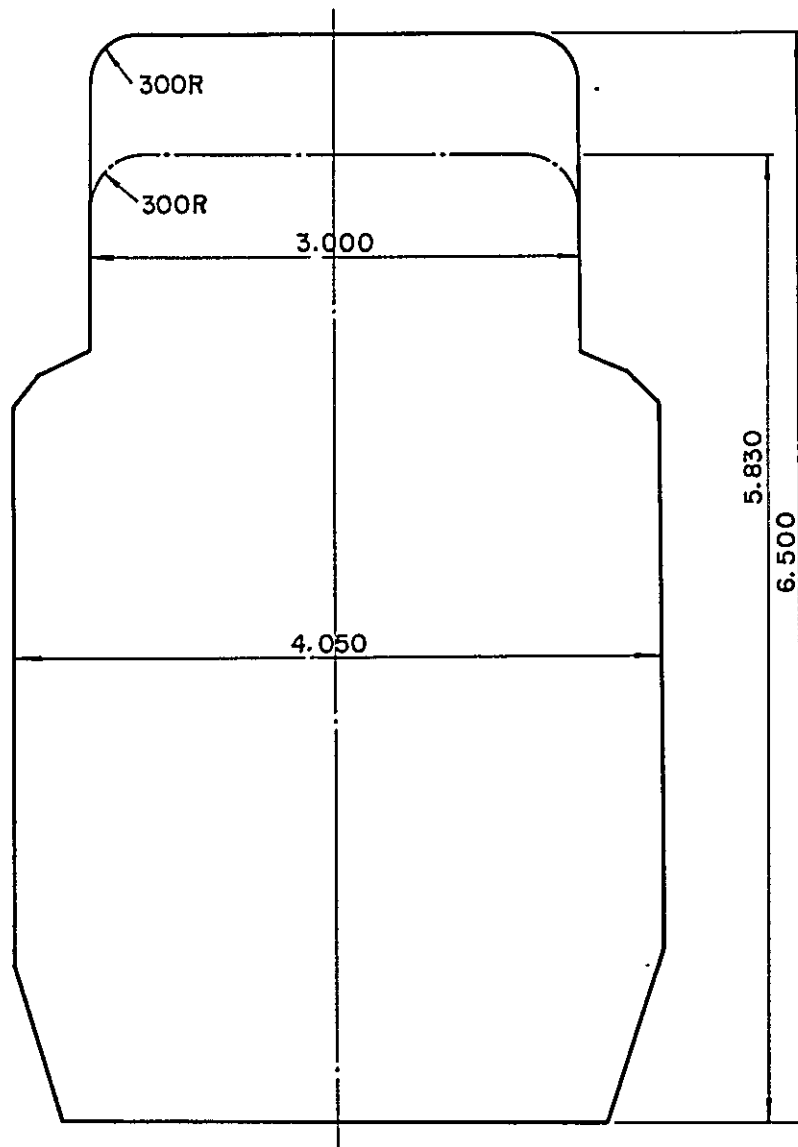
Em relação a túneis e pontes a RFFSA estabelece os gabaritos mostrados nas figuras 6-1-2. Entretanto não há determinações quanto ao espaçamento a ser dado às estruturas adjacentes à via.

Há necessidade de um gabarito que limite o tamanho do material rodante, e caso se instale as estruturas bem próximas ao material rodante, há possibilidade de-les entrarem em choque, ocasionado pela oscilação do material rodante, irregularidades na via, etc. Nestas condições, é necessário construir as estruturas prevendo-se uma certa margem de folga em relação ao gabarito do material rodante. Isto é denominado, gabarito de obra.

A figura 6-2-1. mostra o gabarito de obra proposto. Um padrão internacionalmente aceito é dar um espaçamento de 400 mm de cada lado em relação ao gabarito do material rodante, sendo este o valor adotado também no presente caso. O limite superior é determinado principalmente pelas instalações de eletrificação, sendo a altura padrão de 6500 mm, podendo ser reduzido até 5830mm segundo a necessidade. Detalhes sobre o assunto serão apresentados no parágrafo referente à rede aérea. Quanto à parte inferior e aos cantos, há necessidade de estudar levando em conta o espaçamento com a plataforma de circulação no caso do transporte de passageiros e a barra de reforço (Stiffener) do (Through Bridge).

Em trechos com raio de curvatura menor que 1000m a largura do gabarito de obras será alargado de acordo com o desvio do eixo do material rodante. Para raios menores que 1000m a linha que une os centros dos truques

Figura.6-2-1 Gabarito de obras.



- Gabarito geral
- - - Gabarito de redução

se afasta do centro dos trilhos, de acordo com a expressão mostrada abaixo. Esta expressão indica o desvio do centro dos trilhos e de linha que une os centros dos truques, mas como as extremidades do material rodante também sofre desvio, há necessidade de alargar em ambos os lados.

Em relação ao centro do material rodante

$$\dots\dots \omega_1 = \frac{\ell^2}{8R}$$

Em relação às extremidades do material rodante

$$\dots\dots \omega_2 = \frac{b(b + \ell)}{2R}$$

ω_1 : alargamento para curvatura interna em relação ao centro do material rodante (mm)

ω_2 : alargamento para curvatura externa em relação às extremidades do material rodante (mm)

R : raio da curvatura (m)

ℓ : distância entre centros dos pratos do truque (m)

b : distância entre centro do prato do truque e extremidades do material rodante (Ver Anexo 6-2-1)

Este alargamento será reduzido no trecho compreendido entre a extremidade do segmento de círculo e o trecho de curva concordante com extensão equivalente ao comprimento de uma composição.

O gabarito de túneis e pontes fixado pelos engenheiros brasileiros prevê margem de folga suficiente para instalações de eletrificação, iluminação, sinalização etc. sem interferir no gabarito de obras e com possibilidade de alargamento do material rodante. Contudo, examinando os resultados de administração depois de começar a operação, é desejável determinar condições econômicas em relação ao gabarito de obras, no caso de obra futura para melhoramento ou construção de novas linhas.

6-2-2 Postos de cruzamento e pátios

A extensão dos postos de cruzamento, medido entre extremidades dos AMV mais afastados, será de 2280m, mas é necessário introduzir a idéia de extensão efetiva da linha principal, suficiente para acomodar com segurança as composições e ainda dispor de margem de espaço necessário para a operação. Calculando a extensão efetiva da linha principal para tração de 9000 ton., tem-se o seguinte resultado:

Tração de 9000 ton

90 vagões x 12 m/vagão = 1080 m

3 locomotivas x 20m/locomotiva = 60m

Margem de segurança em relação ao trem parado.	}	50m
Falha na identificação da sinalização		
Elongação dos conectores.		

Total 1190 m.

Por outro lado, calcula-se a extensão da linha secundária a partir de 2280 m, que é a distância entre as extremidades dos AMV mais afastados e tem-se:

$2280 \text{ m} - (200\text{m} \times 2) = 1880 \text{ m}$

Havendo margem de folga de 690m em relação a tração de 9.000 t. Sendo portanto desejável determinar extensão adequada considerando as condições de espera simultânea com trens curtos e de alongamento futuro de trem.

Em relação à declividade da linha principal dentro dos pátios, não havendo decomposição/recomposição de trens, nem estacionamento, admite-se em princípio até 1%. Entretanto, quando há decomposição/recomposição e estacionamento, pode ocorrer falha nos freios, com movimentação espontânea do material rodante. Nesses

casos limita-se a declividade ao valor equivalente à resistência de movimentação.

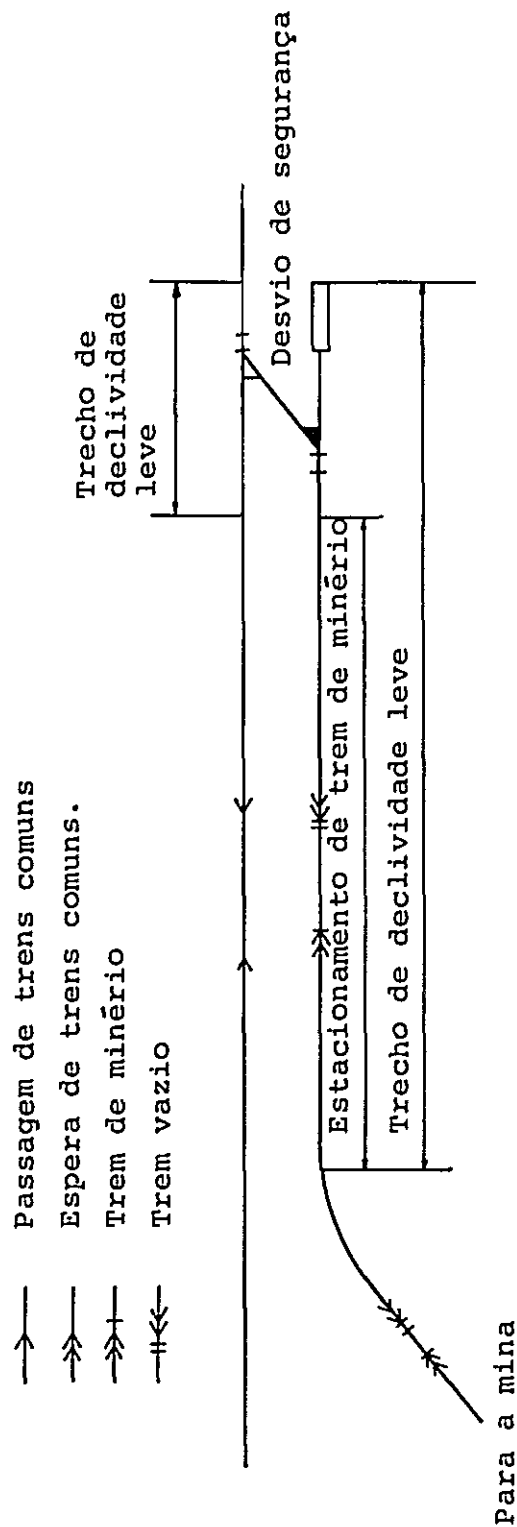
No caso do Japão, a JNR estabelece 0,35% para casos onde há decomposição/recomposição. Entretanto, como no Japão se popularizou o uso de rolamentos de roletes e verificou-se experimentalmente que o limite de movimentação espontânea é de 0,2%, tem-se ultimamente adotado este valor. Em linhas de estacionamento com declividade superior a 0,2%, usam-se calços de ferro em outros dispositivos de segurança.

A limitação quanto à curvatura da linha principal é a mesma, tanto dentro como fora dos pátios. Assim sendo, adotam-se as limitações referentes a trechos normais. Entretanto, caso os pontos de ramificação se localizem em trechos curvos, é necessário usar AMV curvos, sendo indesejável tanto do ponto de vista de segurança como de operação. Deve-se portanto fazer o possível para evitar tal ocorrência.

Para se instalar linha exclusiva para trens de minério, na linha principal, pode-se ligá-la em trecho compreendido entre pátios ou ligá-la ao pátio. No caso de se instalar em trecho compreendido entre pátios, deve-se levar em conta o fato de os trens de minério sofrerem paradas frequentes, fazendo-se a declividade abaixo de 1%, da mesma maneira que em linhas normais. Entretanto, no caso de linhas com declividade descendente, levando-se em conta a possibilidade de "over run" que possa interferir na linha principal, deve-se limitar a declividade ao mínimo possível (é desejável que seja inferior a 0,35%) e instalar um ramal de segurança. Por outro lado, em pátios em que haja necessidade decomposição/recomposição por motivos quaisquer, é desejável que se faça menor que 0,2%.
(Figura 6-2-2)

Figura 6-2-2

Esquema de disposição de linhas no ponto de ligação de linha exclusiva para trens de minério. (caso de ligação em ponto intermediário de dois pátios).



Nos casos em que ocorre ligações desse tipo, a troca entre locomotivas da linha exclusiva para trens de minério e locomotivas da linha principal (e vice-versa) será feita na estação seguinte. (vide figura 6-2-3).

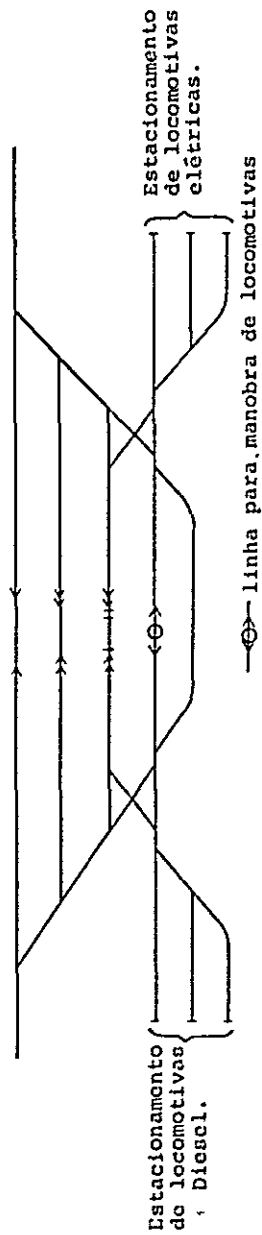



Figura 6-2-3 Estação seguinte (instalações para troca de locomotivas).

Nesse tipo de ligação, o número de trens na linha principal sofre acréscimo e surge também a necessidade de duplicar a linha que se situa após o ponto de ligação.

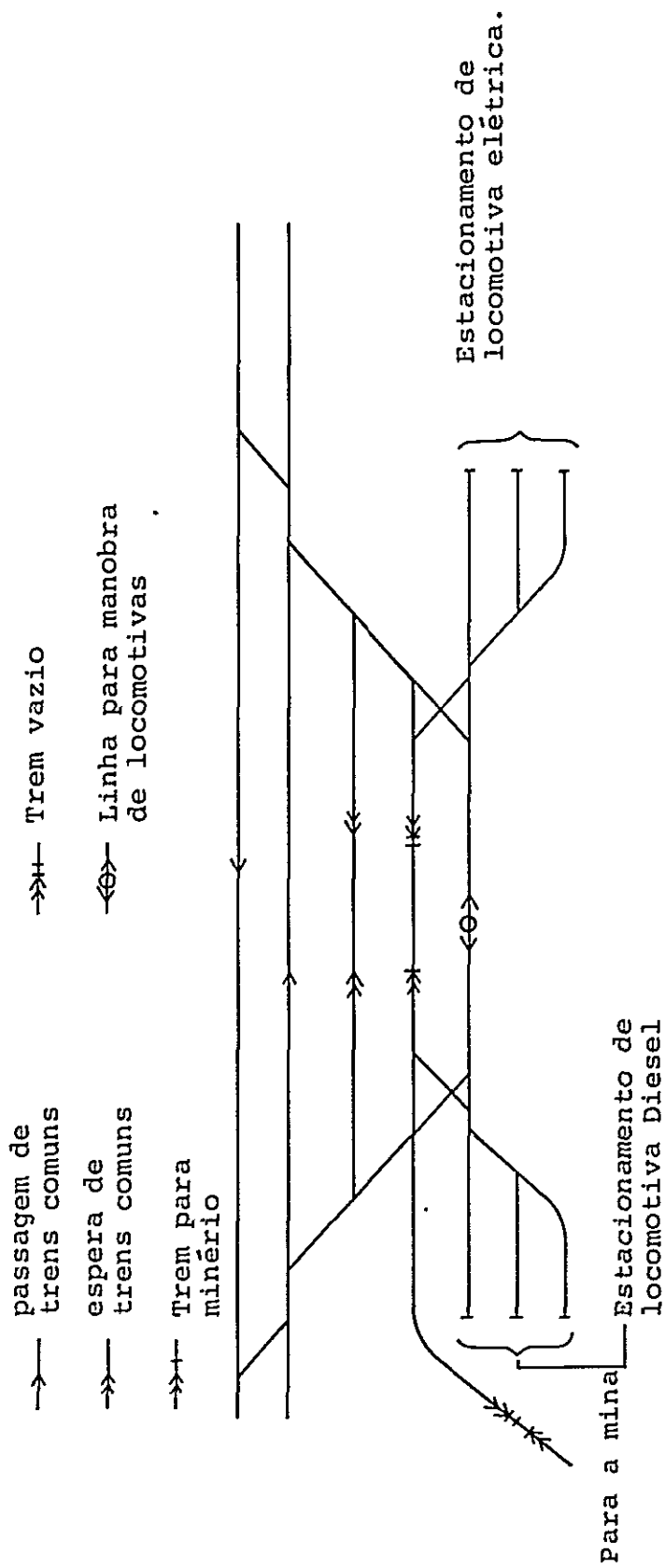
Quando se liga a linha exclusiva para trens de minério ao pátio, a disposição será conforme indicada na figura 6-2-4. Qualquer que seja o caso, a disposição será tal que os trens de minério não usarão a linha secundária de desvio para ultrapassagem dos trens comuns.

(Na figura ).

Serão também instaladas linhas para estacionamento de locomotivas elétricas e Diesel, separadamente, em número necessário, sendo que nas linhas para estacionamento de locomotivas Diesel são necessárias instalações para inspeção de rotina e abastecimento de combustível.

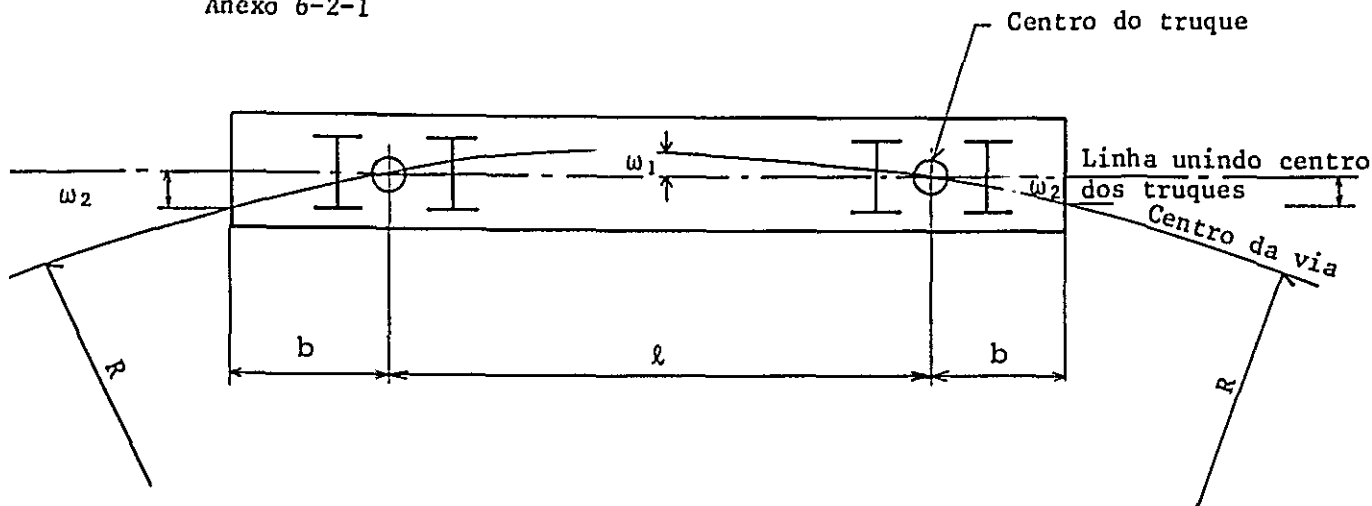
Deve-se frisar aqui que este esquema apresenta apenas uma idéia geral.

Figura 6-2-4 Esquema para ligação da linha exclusiva para trens de minério



Anexo 6-2-1

Anexo 6-2-1



A linha unindo os centros dos truques e a linha central da via sofre desvio máximo no ponto médio entre os truques. O valor do desvio ω_1 é aproximadamente expresso pela seguinte relação:

$$\omega_1 = \frac{l^2}{8R}$$

A extremidade do vagão se desvia da linha central dos trilhos, mas esse valor ω_2 pode ser calculado pela seguinte fórmula aproximada:

$$\omega_2 = \frac{b(b+c)}{2R}$$

O valor ω_2 da parte pendente não é, de uma maneira geral, igual a ω_1 , mas é aproximadamente menor a esse valor de ω , de modo que os desvios esquerdo e direito foram aumentados com valor igualado.

6-3 Panelamento da via permanente

6-3-1 Estrutura da via permanente

(1) Estrutura

A via permanente é uma estrutura que sofre deterioração como, desalinhamento dos trilhos, desgaste de materiais, etc., causada pelo afundamento do leito que tem origem nas cargas repetitivas e vibrações devidos ao tráfego dos trens. Ao se determinar o tipo de estrutura a ser adotado, há necessidade de se efetuar o estudo dos esforços atuantes nos materiais componentes da via e da quantidade de trabalho de manutenção a ser empregado.

Serão aqui feitos estudos referentes a estes pontos, baseados nos dados contidos na Tabela 6-3-1, que indica o tipo de estrutura proposta, cargas atuantes e condições de tráfego.

Tabela 6-3-1 Estrutura da via, cargas atuantes, condições de tráfego

Estrutura da via permanente	Condições de tráfego
Trilho: Tipo: TR68 Peso: 67,6 kg/m	Carga máxima por eixo: 28 ton. Velocidade máxima: 60km/h
Dormente: Tipo: PC Qtd.: 1666/km	
Leito: Tipo: Pedra britada Espessura: 40cm	

1) Estudo dos esforços atuantes

Os resultados dos cálculos dos esforços atuantes sobre a estrutura proposta são indicados na Tabela 6-3-2. Os resultados mostram que a estrutu-

ra possui robustez suficiente, sendo perfeitamente adequada às condições de transporte planejadas para a ferrovia em questão.

As considerações teóricas sobre os esforços atuantes são apresentadas no Anexo 6-3-1.

Tabela 6-3-2 Esforços atuantes sobre a estrutura proposta

Item	Valor calculado do esforço (kg/cm ²)	Esforço admissível (kg/cm ²)
Esforço de flexão dos trilhos	880	1.325
Pressão do leito	2,11	3,25
Pressão do assento da via	0,68	2,12

Observação:

Como valores de esforços admissíveis, foram adotados aqueles relativos às linhas mais solicitadas da JNR. Estes valores foram obtidos como resultados de estudos levando em conta a resistência do material contra fadiga causada pela ação de cargas repetitivas e redução de pressões, em relação às varias classes de ferrovias.

Os valores adotados correspondem à categoria das ferrovias mais solicitadas.

- 2) Relação entre a robustez da via e a quantidade de trabalho de manutenção.

A quantidade requerida de trabalho de manutenção se relaciona de maneira direta com o grau de desgaste. Serão feitos estudos referentes às quanti

dades de trabalho de manutenção requeridos, introduzindo a teoria do coeficiente de destruição da via.

O grau de desgaste da via relaciona-se com a carga atuante, condições de tráfego e robustez da estrutura da via, sendo expresso pela seguinte relação:

$$\Delta = L \times M$$

Δ : coeficiente de destruição da via
L : coeficiente de carga
M : coeficiente de estrutura

O coeficiente de carga e o coeficiente de estrutura são respectivamente expressos pelas seguintes relações:

$$L = K \times W \times V$$

K : coeficiente de material rodante
W : tonelagem trafegada
V : velocidade da composição

$$M = P_b \times \ddot{Y} \times S$$

P_b : pressão do leito da via
 \ddot{Y} : aceleração devida a vibração do leito da via
S : coeficiente de choque

Considerações teóricas sobre o coeficiente de destruição da via são apresentadas no Anexo 6-3-2.

A Tabela 6-3-3 apresenta os resultados dos estudos comparativos dos coeficientes de destruição na estrutura proposta e no Shinkansen da JNR.

Tabela 6-3-3

Coeficientes de destruição da via segundo estrutura

Ítem	Descrição	Ferrovia em questão		Shinkansen da JNR
		Estrutura A	Estrutura B	
Coeficiente de carga L	Coeficiente de material rodante K	0,27		0,18
	Tonelagem trafegada T (x milhões ton./ano)	T		40
	Velocidade média das composições V (km/h)	45		150
	Coeficiente de carga	Equação geral $L=KTV$	12,2T	$10,8 \times 10^2$
	Relações entre os coeficientes de carga	Para T = 50 Para T = 100	$(6,1 \times 10^2)$ $(12,2 \times 10^2)$	$0,56$ $(10,8 \times 10^2)1$ 1,13
	(Obs.) Números entre parêntesis () coeficiente de carga	Para T = 150 Para T = 200	$(18,3 \times 10^2)$ $(24,4 \times 10^2)$	1 1,69 2,26
Coeficiente de estrutura M	Peso do trilho	(kg/m)	67,6	60,8
	Espaçamento entre dormentes de PC	a (cm)	60	58
	Área de apoio (unilateral) B	(cm ²)	3.184	2.640
	Coeficiente de elasticidade do amortecedor D ₁	(t/cm)	100	100
	Espessura do leito	(cm)	40	30
	Coeficiente de leito C	(kg/cm ³)	27	20
	Coeficiente de afundamento do leito	D ₂ = BC (t/cm)	86	53
	Coeficiente de afundamento dos apoios dos trilhos	$D = \frac{D_1 \cdot D_2}{D_1 + D_2}$ (t/cm)	46,24	34,64
	Pressão do trilho P	(kg)	355	347
	Pressão do leito da via	$P_b = \gamma \frac{P}{B}$ (kg/cm ²)	0,111	0,131
Aceleração que atua no trilho da via	Massa do apoio m	(kg)	910	620
	Aceleração do leito da via $\ddot{y} = \sqrt{D_1} \frac{1}{m}$		0,33	0,40
Coeficiente de choque	Coeficiente de afundamento do apoio por comprimento unitário do trilho		771	597
	$k = \frac{d}{a}$ (kg/cm ²)		630×10^7	649×10^7
	Rigidez longitudinal do trilho EI (kg.cm ²)		0,0123	0,0123
	$\beta = \sqrt[4]{\frac{k}{4EI}}$ (cm ⁻¹)		797×10^{-9}	1.018×10^{-9}
	Coeficiente de choque	$S = \frac{1}{EI\beta^2}$		

Coeficiente de choque	M = Pb. $\ddot{Y} \cdot S$	292×10^{-10}	533×10^{-10}
Relação entre co-eficientes de choque destruidores de gás $\sqrt{\text{entre co-eficientes}} = L \times M$	Relação entre os M	0,55	1
	Para T = 50	0,31	1
	Para T = 100	0,62	1
	Para T = 150	0,93	1
	Para T = 200	1,24	1

Analisando-se para o caso de 200 milhões de toneladas de tráfego, as relações entre os vários coeficientes serão os seguintes:

coeficiente de carga : 2,26
coeficiente de estrutura : 0,55
coeficiente de destruição: 1,24

Estes números significam que, tomando-se o Shinkansen como referência, para as condições da carga das composições em tráfego, na ferrovia em questão a força destrutiva que age contra a via será cerca de 2,3 vezes maior e que a robustez que se opõe contra esta ação destrutiva é $1/0,55 \approx 1,8$ vezes maior. Nestas condições, pode-se supor que o grau de destruição ou desgaste da via será cerca de 1,2 vezes maior.

Assim sendo, para a estrutura de via proposta, mesmo para a fase futura de transporte em grandes quantidades, é possível garantir a operação anormal da via sem um acréscimo sensível na quantidade dos trabalhos de manutenção.

(2) Trilho Longo

De um modo geral, nos pontos de ligação dos trilhos ocorrem grandes choques pela passagem dos trens, havendo necessidade da maior quantidade de trabalhos de realinhamento dos trilhos. Além disso, frequentemente ocorre danos nas proximidades dos furos para os parafusos de junção, sendo causa do encurtamento da vida útil dos trilhos.

Como o raio mínimo de curvatura da ferrovia em questão é de 900m, é possível a adoção do trilho longo, ao longo de toda sua extensão. Levando em

conta que o comprimento dos trilhos é de 12m, a adoção do trilho longo pode significar redução de 20% a 30% nos trabalhos de realinhamento.

Nestas condições, é extremamente desejável a introdução em grande escala de trilho longo, do ponto de vista da redução dos trabalhos de manutenção, estabilidade no tráfego das composições, etc.

Serão estudadas a seguir as condições de instalação de trilho longo:

1) A conformação da via e o trilho longo

O raio mínimo de curvatura é de 900m, sendo um valor relativamente grande. Isto significa que não haverá grande influência em relação à resistência de flambagem do trilho longo, sendo que o ciclo de substituição causado pelo desgaste da face lateral do trilho também não será excessivamente curto. Nestas condições não haverá grandes problemas quanto a adoção de trilho longo em trechos curvos.

Entretanto, em trechos de contracurva com raio inferior a 1500m é necessário evitar o uso de um único trilho longo.

2) As estruturas e o trilho longo

Caso haja ao longo da linha túneis com extensão maior que 100m, as condições atmosféricas dentro e fora dos mesmos são extremamente diferentes. Isto causa esforços axiais complexos, podendo resultar em escorregamento ou caminhamento "creeping" anormal dos trilhos. Portanto, em trechos onde ocorrem túneis com extensão superior a 100m, é desejável que se evite o uso de um único

trilho longo.

No caso de se instalar trilho longo em pontes sem leito de assentamento de trilhos, há necessidade de efetuar estudos do relacionamento da dilatação/contração do trilho e da trave da ponte, baseado na teoria do trilho longo em pontes sem leito de assentamento.

- 3) O trilho longo e a superestrutura da via
Os esforços axiais causados por variação de temperatura que agem no trilho longo são expressos pela seguinte relação:

$$P = E.A.\beta.t$$

P: esforço axial atuante no trilho

E: coeficiente de elasticidade do aço do trilho: $2,1 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$

A: secção do trilho: $86,03\text{cm}^2$

β : coeficiente de dilatação do aço do trilho: $1,14 \times 10^{-5}$

t: diferença de temperatura em relação ao valor pré-estabelecido.

Deduzindo da temperatura ambiente, pode-se supor que a temperatura dos trilhos se situa na faixa de 5°C a 65°C . Tomando-se o valor da temperatura pré-estabelecida (padrão) como 35°C e $t = 30^\circ\text{C}$, o esforço axial agindo no trilho nas condições de temperatura máxima e mínima será $P = 62t$. Este valor é ligeiramente inferior a $P = 65t$, obtido no caso de trilho de 60 kg , $t = 35^\circ\text{C}$ na JNR.

Por outro lado, a resistência transversal do leito da via, que é o fator de maior influência à flambagem dos trilhos, é sensi-

velmente reforçada pelo aumento de peso dos dormentes.

Quanto à largura do ombro do lastro (ballast shoulder), o valor planejado de 40cm é suficiente.

O uso de lastro de pedra britada e dormente PC são bastante eficazes como medidas anti-flambagem, não se devendo modificar o plano proposto.

Em pontos onde há ocorrência de rachaduras em casca (shelly crack) e rugas por patinação, não se deve usar trilho longo.

Nas extremidades do trilho longo deve-se instalar juntas de dilatação ou trilho de amortecimento. Estes dispositivos tem a função de absorver a dilatação/contração e o caminhamento (creeping) do trilho longo e também de evitar a atuação de esforços excessivos contra o material isolante do circuito de sinalização.

4) O trilho longo sobre aterros novos

Os aterros novos e acessos de pontes estão sujeitos a sensíveis afundamentos na fase inicial e isto causa flutuação dos dormentes, o que reduz sensivelmente a resistência do lastro. Há portanto a necessidade de efetuar trabalhos bastante eficazes de compactação ao se construir o aterro. Outra medida eficiente para elevar a resistência, é utilizar uma certa quantidade em excesso de lastro após compactação vibratória, no ombro do leito da via.

(3) Trilho

Ao selecionar o tipo de aço para o trilho é necessário levar em conta os seguintes pontos:

- desgaste
- danos
- facilidade de solda
- economicidade

Quanto ao desgaste, levando em conta que o raio mínimo de curvatura é de 900m, que a estrutura do material rodante é composto de truques e outras condições, o ciclo de substituição do material desgastado não parece ser excessivamente longo. Entretanto, caso a tonelagem trafegada seja grande surge a necessidade de se instalar trilhos com boleto endurecido, conforme será exposto posteriormente no parágrafo referente às medidas contra danos nos trilhos. O uso de trilhos com boleto endurecido é uma medida eficaz para a extensão do ciclo de substituição por desgaste. Na JNR, o desgaste dos trilhos com boleto endurecido é de cerca de 1/2 a 1/3 dos trilhos de aço-carbono comum.

Quanto aos danos dos trilhos, como a carga máxima por eixo atinge 28ton, que é um valor bastante alto, há necessidade de cuidadosos estudos referentes aos danos oriundos dos esforços de contacto entre a superfície das rodas e o boleto do trilho. Como esforços de contato causadores destes danos, além da carga vertical as pressões transversais exercem efeito considerável, sendo que quanto mais fechada a curva maiores serão as ocorrências de danos como shelling, desprendimento de lascas, etc. O fato de se limitar o raio de curvatura mínimo a 900m é uma medida eficaz para

a redução de contato.

Para evitar danos dos tipos citados, há necessidade de adotar trilhos capazes de suportar grandes esforços de contacto ou seja, trilhos com alta resistência à tração e grande dureza. Ao mesmo tempo, exige-se que sejam trilhos com excelentes resultados comprovados por uso, com características superiores de soldabilidade e economicidade.

Na JNR usam-se trilhos de boleto endurecido em trechos de curvas fechadas, sendo sua composição química e suas propriedades mecânicas apresentadas na Tabela 6-3-4.

Fazendo-se o teor de carbono 0,68 ~ 0,80 e a dureza 325 - 388HB, poderá ser evitado os danos de shelling.

Tabela 6-3-4 Composição química e propriedades mecânicas dos trilhos com boleto endurecido

Composição química		Propriedades mecânicas	
C	0,60 ~ 0,75	Resistência à tração	mín. 110kg/mm ²
Si	0,10 ~ 0,30	Ponto de escoamento	mín. 80kg/mm ²
M _n	0,70 ~ 1,10	Elongação	mín. 14
P	máx. 0,035	Dureza	325 - 375 HB
S	máx. 0,040	Redução de secção	mín. 48%

Para se obter trilhos de boleto endurecido efetua-se o tratamento térmico no boleto de trilhos de aço-carbono, obtendo-se uma estrutura de cementsita solúvel em austenita ("solvite") que possui alta resistência à tração e grande dureza. A profundidade de camada endurecida deve atingir

mais de 15mm na face superior e mais de 10mm na face lateral. Na JNR estes trilhos de cabeça endurecida são usadas em curvas com raio inferior a 800m, sendo longa a experiência de uso e seus resultados excelentes.

Quanto aos métodos de solda aplicáveis aos trilhos de boleto endurecido, pode-se usar solda de topo a arco (flash but welding) ou solda sob pressão a gás (gás pressure welding), porém como há deterioração da dureza pelo aquecimento da solda, é necessário refazer o tratamento térmico.

Na solda sob pressão a gás usa-se acetileno oxigenio, efetuando a solda sob pressão das partes aquecidas. A robustez da parte soldada é equivalente à solda de topo a arco, sendo que na JNR as novas linhas construídas adotam quase que exclusivamente este método. O dispositivo usado para este tipo de solda é de fácil transporte, efetuando-se o trabalho através da instalação de uma oficina provisória de soldagem no local. Entretanto, recentemente foi desenvolvido um equipamento portátil de solda sob pressão de pequeno porte, efetuando-se o trabalho de solda deslocando o equipamento ao longo da via.

Efetuando-se a avaliação global do problema que inclui danos aos trilhos, desgaste, soldabilidade, economicidade e resultados comprovados de uso, conclui-se que para a ferrovia em questão é recomendável o uso de trilhos com boleto endurecido. Esta solução é especialmente eficaz para reduzir sensivelmente danos como "shelling" e desprendimento de lascas ("break away") causados por esforços de contato altos.

(4) Dormentes

Para a ferrovia em questão foi escolhido o uso de dormentes de concreto protendido (PC), tendo em vista as seguintes condições:

- (i) A vida útil de dormente PC é de 3 a 4 vezes a vida dos dormentes de madeira, segundo a experiência até agora adquirida, significando alta economicidade.
- (ii) É possível elevar a robustez da via, ao mesmo tempo que reduz a quantidade de trabalho de manutenção requerida.
- (iii) Aumenta a estabilidade contra a flambagem do trilho longo, reduzindo a quantidade requerida de trabalho de manutenção do trilho longo.
- (iv) O preço unitário do dormente PC incluindo as ferragens de fixação é praticamente equivalente ao dormente de madeira.

6-3-2 A sobrelevação e a velocidade admissível dos trens

(1) Determinação da sobrelevação

A sobrelevação é determinada pela seguinte relação:

$$C = 13,1V^2/R,$$

sendo a determinação feita de acordo com a velocidade dos trens de carga.

Isto se deve ao fato dos trens de carga ocuparem a maior parte do tráfego, sendo ínfimo o número de trens de passageiros em tráfego (2 a 3/dia). Além disso, sendo bastante elevada a carga por eixo dos trens

para carga, procurou-se minimizar a ação das pressões transversais causadas pelo excesso de força centrífuga dos trens para carga.

- (2) A sobrelevação máxima e a insuficiência máxima de sobrelevação

Na ferrovia em questão a sobrelevação máxima está planejada para 160mm e a "insuficiência" máxima de sobrelevação para 100mm. Estes valores parecem bastante razoáveis tendo em vista o raio mínimo de curvatura de 900 metros, a velocidade máxima de 60 km/h e exemplos de valores adotados em outros países.

Os trens que tráfegarão em condição de "insuficiência" máxima de sobrelevação serão na prática somente os trens para passageiros, mas sendo seu número extremamente reduzido e sua carga por eixo bem menor que os trens para carga, os efeitos da pressão transversal causada pela insuficiência de sobrelevação serão pequenos. Portanto, mesmo fazendo a insuficiência máxima de sobrelevação 100 mm, pensa-se que não ocorrerão problemas relativos à manutenção.

- (3) Extensão da curva de concordância

Para a curva de concordância foi adotada a curva clotóide, sendo suas extensões as seguintes:

Para $R = 900m$	$\ell = 140m$
Para $900m < R \leq 1600m$	$\ell = 4,7 \sqrt{Rm}$
Para $R > 1600m$	$\ell = 200m$

A curva de concordância absorve de maneira contínua a variação de raio de curvatura e a variação de sobrelevação na passagem do trecho em reta ao trecho em curva. Assim, a extensão da curva de concordância é diretamente proporcional à sobrelevação e para uma

mesma velocidade é inversamente proporcional ao raio de curvatura. No trecho em curva de concordância a curvatura varia de maneira contínua, sendo um local difícil para efetuar trabalhos de manutenção. Deve-se portanto determinar um valor adequado de sua extensão.

Para se determinar a extensão da curva de concordância é necessário levar em conta o fator segurança e também o fato de estar planejada para o futuro a operação de trens para passageiros, o que implica também fator conforto. Serão feitas considerações sobre as três condições apresentadas, a seguir:

- (i) O limite de segurança contra descarriamento causado pelo apoio em três pontos do material rodante.
- (ii) O limite de conforto em relação à taxa de variação temporal pré-estabelecida da sobrelevação.
- (iii) O limite de conforto em relação à taxa de variação temporal da "insuficiência" de sobrelevação.

Serão analisadas cada uma das condições:

- 1) O limite de segurança contra descarrilhamento devido ao apoio em três pontos do material rodante.

Com base em cálculos teóricos e resultados experimentais referentes à "flutuação" das rodas devido ao apoio em três pontos do material rodante, é requerida uma extensão pelo menos 400 vezes maior que a

sobrelevação para a curva de concordância. Entretanto, em casos reais, a "flutuação" das rodas depende do estado das molas do material rodante, do desalinhamento dos trilhos, das oscilações da composição, etc.; sendo que o apoio em três pontos se relaciona diretamente com o descarrilhamento das composições, para as linhas mais solicitadas da JNR adota-se uma extensão equivalente a 1000 vezes a sobrelevação.

- 2) O limite de conforto em relação à taxa de variação temporal pré-estabelecida da sobrelevação.

Quando um trem trafega por um trecho de curva de concordância o valor da sobrelevação varia entre 0mm até o valor pré-estabelecido em centímetros. Nesse caso, para se assegurar a sensação de conforto, é necessário limitar a taxa de variação dentro de uma determinada margem.

Determinando-se a extensão da curva de concordância com base nesta condição tem-se:

$$L = 0,0056 \text{ Cm.V}$$

- 3) O limite de conforto em relação à taxa de variação da "insuficiência" de sobrelevação.

Quando um trem tráfega a velocidade superior (ou inferior) a velocidade de equilíbrio, é necessário limitar a variação temporal da "insuficiência" de sobrelevação abaixo de um determinado valor. O valor-

limite será o seguinte:

$$L = 0,0056 \text{ Cd.V}$$

- 4) Determinação de extensão da curva de concordância será adotado baseado nas considerações acima, como valor da extensão da curva de concordância o maior entre L_1 , L_2 e L_3 calculados a seguir:

$$L_1 = 1,0 \text{ Cm}$$

$$L_2 = 0,0056 \text{ Cm V}$$

$$L_3 = 0,0056 \text{ Cd V}$$

L_1 , L_2 , L_3 : extensão curva de concordância (m)

Cm : valor pré-estabelecido da sobrelevação (mm)

Cd : "insuficiência" de sobrelevação (mm)

V : velocidade de composição (km/h)

Caso não sejam operados trens para passageiros, o valor adotado será L_1 .

Os valores de Cm, Cd e V implicam desde já, futuras elevações de velocidade, sendo que já na fase de construção deve-se incluir a extensão futuramente requerida para a curva de concordância.

No Anexo 6-3-3 serão expostos os fundamentos nos quais se baseiam os cálculos de L_2 e L_3 .

(4) Velocidades das composições nas curvas e nos AMV

A velocidade admissível para composições que trafegam em trechos de curvas é determinada pelo limite da sensação de conforto e pelo limite de tombamento pela ação da força centrífuga. Optando pelo fator segurança o limite de velocidade determinado pelo conforto é o mais adequado e além disso essa opção não implica em limitação de velocidade dos trens cargueiros, que ocuparão a maior parte do tráfego. São apresentados a seguir os resultados dos estudos baseados no fator conforto:

O cálculo da sobrelevação é feita pela relação seguinte:

$$C = C_m + C_d = 13,1 \frac{V^2}{R}$$

Modificando a relação acima tem-se a velocidade limite para a composição

$$V = \sqrt{\frac{C_m + C_d}{13,1}} \cdot \sqrt{R}$$

1) O raio de curvatura e a velocidade das composições

(a) Trem cargueiro

Tomando-se $C_m = 160\text{mm}$ $C_d = 0\text{mm}$ e
 $R = 900\text{m}$ (raio mínimo de curvatura)
e calculando-se a velocidade da composição, tem-se $V = 104 \text{ km/h}$.

Assim sendo, não há qualquer problema quanto à adoção da velocidade máxima planejada para a ferrovia em

questão de 60 km/h, como velocidade-limite para tráfego em trechos curvos.

(b) Trens para passageiros

A velocidade-limite de tráfego de trens para passageiros em trechos curvos é calculada tomando-se a sobrelevação de equilíbrio em relação à velocidade dos trens cargueiros (60 km/h) como sendo a sobrelevação pré-estabelecida C_m , e tomando-se $C_d = 100\text{mm}$.

A Tabela 6-3-5 indica as velocidades limites dos trens para passageiros em trechos curvos para diferentes raios de curvatura. Esta relação é de 100km/h para $R = 900\text{m}$, 110km/h para $R = 1200\text{m}$, 120km/h para $R = 1500\text{m}$, etc.

Tabela 6-3-5 Velocidades-limite dos trens para passageiro segundo raio de curvatura, tomando-se velocidade dos trens cargueiros como 60km/h

Raio de curvatura R (m)	C_m (mm) para V=60km/h	$C_m + C_d$ (mm) ($C_d = 100$)	Velocidade limite (km/h)
900	52	152	102
1000	47	147	105
1100	43	143	109
1200	39	139	112
1300	36	136	116
1400	34	134	119
1500	31	131	122

Os números da Tabela 6-3-4 são as velocidades-limite para trens de passageiros supondo-se a velocidade dos trens cargueiros 60 km/h. Deve-se observar que para um mesmo raio de curvatura as velocidades-limite variam de acordo com o valor pré-estabelecido da sobrelevação (Cm).

- 2) A velocidade do trem para passagem por uma ramificação deve ser calculada levando-se em conta a estrutura da ramificação e a falta de desnível na passagem pela parte avançada da ramificação.

- (a) No caso de trens de carga

Os dispositivos de ramificação têm rigidez de estrutura suficiente, especificados para velocidade de 60 km/h, que é a velocidade máxima da ferrovia em questão, tanto para o lado de referencia como para o lado da ramificação, tendo sido levado em consideração o peso por eixo dos trens de carga.

Ademais, estabelecendo o raio de curvatura de ramificação Nº 20 igual a 1.169 m, conforme a norma AREA, a falta de desnível ao passar pelo lado de ramificação será $C_d=40\text{mm}$, não apresentando nenhum problema em particular.

- (b) Trens para passageiros

Como não serão instaladas curvas de concordância junto aos AMV e também pela ocorrência de choque no momento

da passagem pelos mesmos, haverá maior sensação de desconforto. Toma-se $C_d = 70\text{mm}$ e a velocidade de tráfego pelo lado da ramificação do AMV será de $V = 70\text{km/h}$. Por outro lado, a velocidade admissível de tráfego no lado da linha de referência será de 95 km/h , levando-se em conta a estrutura dos AMV.

6-3-3 Coexistência

Em locais onde há coexistência de curva, declividade, AMV, etc. com disposição de linhas ou estruturas especiais, os trabalhos de manutenção se tornam extremamente difíceis de serem executados, havendo também efeitos indesejáveis quanto à estabilidade de tráfego das composições. Há portanto necessidade de cuidadosos estudos quando da determinação da disposição da linha.

(1) Coexistência de curva de concordância e curva vertical

Os trechos de curva de concordância possuem más características de planicidade de via em vista da redução da sobrelevação. A introdução de efeitos oscilatórios verticais às composições pela inserção de curvas verticais em trechos de curva de concordância piora a estabilidade de tráfego, também dificultando consideravelmente a execução dos trabalhos de manutenção. Deve-se portanto fazer o máximo para evitar a coexistência de curva de concordância com curva vertical. Uma maneira para isto é modificar ligeiramente a declividade do trecho.

- (2) Coexistência de AMV com curva de concordância ou curva vertical

O AMV possui estrutura complexa e comparado com trechos normais, origina grandes pressões transversais e acelerações devidas a vibrações, sendo também um trecho difícil de executar trabalhos de manutenção. A inserção de curvas de concordância e curvas verticais em tais trechos dificulta ainda mais a execução dos trabalhos de manutenção e além disso aumenta também os perigos contra a segurança de operação. Assim, deve-se fazer o possível para evitar a coexistência de AMV com curva de concordância ou curva vertical.

- (3) Coexistência de AMV com declividade

No caso de se instalar AMV em trecho de declividade, a aderência da agulha será prejudicada por efeitos como o caminhamento (creeping) dos trilhos e pode ocorrer a atuação de forças anormais nos parafusos do AMV, resultando efeitos indesejáveis à segurança de operação.

Caso seja inevitável a instalação de AMV em trecho de declividade, deve-se instalar "anti-creeper" no AMV e nas suas imediações, minimizando a possibilidade de caminhamento (creeping) dos trilhos.

- (4) Coexistência de acessos a pontes com AMV e juntas de trilhos

Nos trechos de aterros para acesso a pontes normalmente ocorrem afundamentos no leito da via, em maior intensidade. Quando se instalam AMV nas imediações de pontes, é recomendável

afastá-los pelo menos 20 metros da extremidade do vão da ponte. Quanto às juntas e pontos de solda de trilhos deve-se também fazer o possível para afastá-los das pontes.

Anexo 6-3-1 Considerações Teóricas dos esforços sobre a via

Quando se analisa a via do ponto de vista da mecânica estrutural, pode-se tomar dois tipos de modelos teóricos:

- Considerar os trilhos apoiados sobre uma fase elástica contínua.
- Considerar os trilhos apoiados sobre "molas" localizadas em cada dormente.

O segundo modelo se aproxima mais da realidade; porém, o primeiro modelo dá uma precisão suficiente para efeitos práticos, sendo também mais vatajoso para o desenvolvimento de considerações dinâmicas.

Assim sendo, as presentes considerações se referem ao modelo do apoio elástico contínuo.

Os símbolos usados são esclarecidos a seguir:

- E - coeficiente de elasticidade do trilho.
- I - momento geométrico de inércia do trilho.
- x - eixo horizontal na direção axial do trilho.
- y - eixo vertical na direção perpendicular a X.
- k - constante de elasticidade da "mola" de apoio do trilho.

Nestas condições tem-se:

$$EI \frac{d^4 y}{dx^4} = -ky$$

A solução geral para esta equação diferencial será dada pela seguinte relação:

$$y = e^{\beta x} (C_1 \cos \beta x + C_2 \sin \beta x) + e^{-\beta x} (C_3 \cos \beta x + C_4 \sin \beta x)$$

onde: $\beta = \sqrt[4]{\frac{k}{4EI}}$

As condições de contorno do trilho serão as seguintes:

para $x=0$

$$dy/dx=0 \quad EI \frac{d^3 y}{dx^3} = P/2$$

para $x=\infty$

$$y=0 \quad \frac{dy}{dx} = 0$$

Nestas condições, calculando-se:

- as constantes $c_1, c_2, c_3,$ e $c_4,$
- a deflexão $dy/dx,$
- o momento fletor $M,$
- e a força de cisalhamento S

Tem-se as seguintes relações:

$$y = \frac{P}{8EI\beta^3} e^{-\beta x} (\cos\beta x + \sin\beta x) = \frac{P}{8EI\beta^3} \varphi_1(\beta x)$$

$$\frac{dy}{dx} = - \frac{P}{4EI\beta^2} e^{-\beta x} \sin\beta x = - \frac{P}{4EI\beta^2} \varphi_2(\beta x)$$

$$M = -EI \frac{d^2 y}{dx^2} = - \frac{P}{4\beta} e^{-\beta x} (\sin\beta x - \cos\beta x) = - \frac{P}{4} \varphi_3(\beta x)$$

$$S = -EI \frac{d^3 y}{dx^3} = \frac{P}{2} e^{-\beta x} \cos\beta x = \frac{P}{2} \varphi_4(\beta x)$$

Os valores de $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3, \varphi_4$ são representados graficamente.

Denomina-se a pressão exercida pelo trilho sobre o dormente como, pressão de trilho.

Denominando-se a pressão de trilho da roda, localizada exatamente acima de um dormente, como $P_1,$ a pressão de trilho sobre o dormente vizinho como $P_2,$ a pressão de trilho sobre o dormente subsequente como $P_3,$ e assim por diante e deno-

minando-se o espaçamento entre os trilhos como A, tem-se:

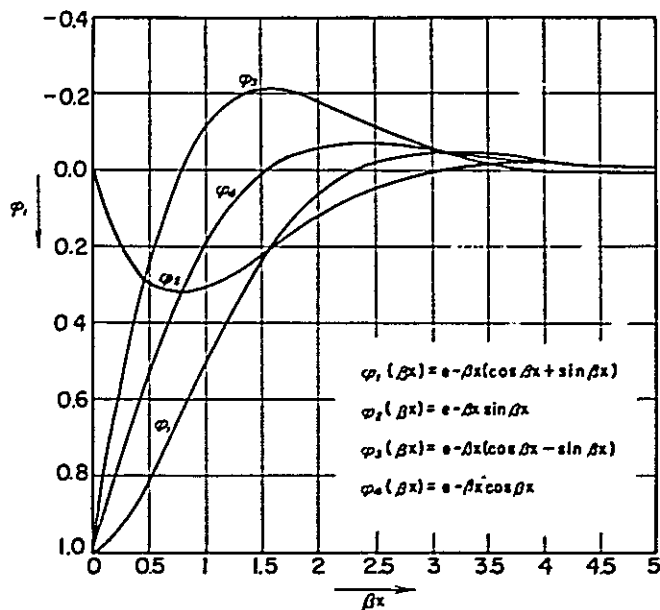
$$P_1 = \int_0^{\frac{a}{2}} ky dx = P \left\{ 1 - \gamma_4 \left(\frac{a}{2} \right) \right\}$$

$$P_2 = \int_{\frac{a}{2}}^{\frac{3}{2}a} ky dx = \frac{P}{2} \left\{ \gamma_4 \left(\beta \frac{a}{2} \right) - \gamma_4 \left(\beta \frac{3a}{2} \right) \right\}$$

$$P_3 = \int_{\frac{3}{2}a}^{\frac{5}{2}a} ky dx = \frac{P}{2} \left\{ \gamma_4 \left(\beta \frac{3}{2} a \right) - \gamma_4 \left(\beta \frac{5}{2} a \right) \right\}$$

$$P_4 = \dots\dots\dots$$

Por outro lado, quando o peso da roda é exercido no meio do trecho compreendido entre dois dormentes, tem-se:



Figura

$$P_1 = \int_0^a ky dx = \frac{P}{2} \{ 1 - \varphi_4(\beta a) \}$$

$$P_2 = \int_a^{2a} ky dx = \frac{P}{2} \{ \varphi_4(\beta a) - \varphi_4(2\beta a) \}$$

$$P_3 = \dots\dots\dots$$

A pressão P_s , que o dormente exerce sobre o trecho de leito localizado imediatamente abaixo dele, considerando-se a largura do dormente como b e seu comprimento como l , será:

$$P_s = \varphi \frac{2P}{bl}$$

No caso de dormente de concreto protendido teremos:

$$\varphi = 1$$

Tomando-se a espessura do leito da via como h , a pressão P_r sobre o assento da via será dada pela seguinte expressão empírica:

$$\frac{P_r}{P_s} = \frac{50}{10 + h^{1,35}}$$

Em relação aos efeitos da velocidade do trem, se um trem normal trafega sobre uma via normal, verificam-se experimentalmente que os efeitos exercidos pela velocidade são relativamente pequenos. Entretanto, após uma série de ensaios verificam-se que na realidade existem fatores como defeitos na via, oscilações da composição, "calosidades" na roda, etc...., e tomam-se as seguintes taxas de choque:

- Para o esforço fletor do trilho: $1 + \frac{V}{100}$

- Para pressão do apoio: $1 + \frac{0,6V}{100}$

onde, V : velocidade da composição km/h

Anexo 6-3-2 Coeficiente de destruição da via

Pela ação das cargas e vibrações que se repetem pela passagem dos trens, ocorre a deterioração da via, representada pelo desgastes dos materiais, afundamento do assento da via, etc. e contra isto tomam-se medidas de manutenção tais como, reparos na via, substituição de materiais, etc., para assegurar a perfeita operação dos trens que trafegam pela ferrovia. Os custos destes trabalhos de manutenção representam um fator importante dentro da operação comercial da ferrovia. De um modo geral, quanto mais robusta a via menor a manutenção requerida, mas maior o custo para sua construção, e vice-versa. É importante que se faça um dimensionamento adequado da estrutura da via levando em conta as condições de demanda de transporte, custo de construção e custo de manutenção.

A teoria do coeficiente de destruição de via leva em consideração, as condições de carga, a robustez da via e a destruição da via, fazendo um relacionamento entre os mesmos. Esta teoria tem sua utilidade para se ter uma idéia da estrutura adequada da via e a quantificação dos trabalhos de manutenção para as condições de transporte requeridas.

(1) Coeficiente de destruição

O coeficiente de destruição expressa o grau de destruição da via, sendo seu valor fixado principalmente em função da relação entre a robustez da estrutura da via e as condições de carga. É representado pela seguinte relação:

$$\Delta = L \times M$$

Δ : coeficiente de destruição da via

L : coeficiente de carga

M : coeficiente de estrutura

(2) Coeficiente de carga

O coeficiente de carga expressa a intensidade de destruição da via pela ação da carga representada pelo tráfego de trens. É determinado principalmente pela velocidade da composição, tonelagem trafegada, estado das locomotivas e vagões, sendo expresso pela seguinte relação:

$$L = K \cdot T \cdot V$$

K = coeficiente de material rodante

T : tonelagem trafegada

V : velocidade da composição

O coeficiente de material rodante expressa quantitativamente os efeitos destrutivos que diferentes tipos de estruturas de material rodante exercem sobre a via. Este coeficiente é obtido calculando-se teoricamente o aumento dinâmico da carga de uma roda causada pelos choques que ocorrem quando das composições em movimento, sendo expresso em termos de proporção em relação à carga estática das rodas.

(3) Coeficiente de estrutura

O coeficiente de estrutura representa a resistência da via à destruição em sentido transversal, ou seja a robustez da via.

É expresso pela seguinte relação:

$$M = P_b \cdot \ddot{Y} \cdot S$$

P_b: pressão de leito da via.

\ddot{Y} : aceleração devida a vibração do leito da via.

S : coeficiente de choque.

A aceleração devida à vibração do leito da via relaciona-se principalmente com o coeficiente de

elasticidade D_1 da "mola" do dormente e com a massa sustentada m e é expressa pela seguinte relação:

$$\ddot{y} = \sqrt{D_1} / \sqrt{m}$$

O coeficiente D_1 pode ser calculado levando em conta condições tais como tipo de dormente, tamanho do dormente, condições de amortecimento, tipo do leito da via, espessura do leito da via, etc.

A expressão que representa os choques que agem sobre a via foi obtida experimentalmente como sendo a seguinte:

$$S = \frac{1}{EI\beta^2}$$

onde: $\beta = \sqrt[4]{k/4EI}$ $k = \frac{D}{a}$

Ei : rigidez do trilho à flexão

D : coeficiente de afundamento dos apoios dos trilhos

a : espaçamento dos dormentes.

Os coeficientes acima apresentados são normalmente expressos sob forma de relação de proporção tomando como padrão o coeficiente de carga, coeficiente de estrutura, etc., de uma via que serve como referência. Nos estudos referentes à ferrovia em questão, o padrão adotado foi o Shinkansen da JNR, conforme indicado na tabela 6-3-3.

Anexo 6-3-3 Comprimento das curvas de concordância para operação de trens de passageiros

Para se determinar o comprimento das curvas de concordância em casos de operação de trens de passageiros, além da segurança, há necessidade de considerar o conforto. Quanto à segurança já foram feitas referências dentro do presente relatório. Aqui são feitas considerações quanto ao conforto dos passageiros, ao se fazer a determinação do comprimento das curvas de concordância.

- (1) Limite de conforto em relação à taxa de variação temporal da superelevação pré-determinada.

Quando um trem corre sobre um trecho de curva de concordância a superelevação varia de 0 mm até o valor pré-estabelecido (em cm). Para se manter a sensação de conforto do passageiro durante esta variação, há necessidade de se limitar a variação temporal da superelevação pré-estabelecida dentro de determinado valor. Esta condição é expressa pela seguinte relação

$$C_{ma} \geq \frac{V \cdot C_m}{3,6L}$$

onde:

$$\left\{ \begin{array}{l} L : \text{comprimento da curva de concordância} \\ C_m : \text{superelevação pré-estabelecida} \\ C_{ma} : \text{valor-limite da variação temporal da superelevação pré-estabelecida} \\ V : \text{velocidade da composição} \end{array} \right.$$

O valor da C_{ma} obtido por trabalhos experimentais na Inglaterra, EUA e JNR no Japão foi da ordem de 37 a 57 mm/s.

Tomando-se $\bar{C} = 50\text{mm}$, o comprimento da curva de concordância L será:

$$L = \frac{V \cdot \bar{C}m}{3,6 Cma} = 0,0056 \text{ CmV}$$

- (2) Limite de conforto em relação à taxa de variação temporal da "insuficiência" de superelevação.

Quando um trem trafega com velocidade superior (ou inferior) à velocidade de equilíbrio, a taxa de variação temporal da "insuficiência" de superelevação deve ser mantida abaixo de um determinado valor limite.

Esta condição é expressa pela seguinte relação:

$$Cda \geq \frac{V \cdot Cd \cdot g}{3,6 G \cdot L}$$

onde:

- L : comprimento da curva de concordância
- Cd : quantidade "insuficiente" de superelevação
- Cda : valor-limite da taxa de variação temporal da quantidade "insuficiente" de superelevação.
- V : velocidade do trem
- g : aceleração da gravidade
- G : distância entre os centros dos trilhos

O valor de Cda obtido com o resultado de trabalhos experimentais na Inglaterra, EUA e JNR no Japão é da ordem de 0,025g a 0,03g. Calculando-se o comprimento da curva de concordância para $Cda = 0,03g$, temos o seguinte valor:

$$L = \frac{V \cdot Cd \cdot g}{3,6 G \cdot Cda} = 0.0056 \text{ Cd.V}$$

6-4 Manutenção da via permanente

Pela atuação do tráfego de trem, a via está sujeita a deterioração de sua capacidade funcional devido a desgaste, desalinhamento, deformações, etc. Para corrigir tais falhas há necessidade de efetuar trabalhos de manutenção incluindo reposição do material, realinhamento dos trilhos, etc., para que seja possível assegurar o tráfego seguro das composições.

É portanto necessário efetuar a avaliação adequada dos resultados de inspeção da via permanente, refletindo isto no planejamento dos trabalhos de manutenção.

Por outro lado, para maximizar a economicidade dos trabalhos de manutenção é necessário maximizar o rendimento através da organização de uma rotina de trabalho adequado e da mecanização.

6-4-1 Sistema de manutenção

Há dois tipos de trabalhos de manutenção:

- reparos periódicos
- reparos eventuais

Para os reparos periódicos determina-se o ciclo de reparo com base nos resultados das inspeções e nos estados de desgaste e deterioração dos materiais inferíveis da experiência passada, efetuando os trabalhos baseando-se em planejamento racional.

Os reparos periódicos possibilitam a efetivação simultânea de uma série de operações que vão desde a compactação geral por meio da mobilização de grupos de equipamentos de grande porte. Ao mesmo tempo, estes trabalhos possuem a vantagem de possibilitar a redução da mão de obra, padronização e uniformização das operações. Entretanto, como os trabalhos são

feitos de maneira cíclica em âmbito bastante largo, pode ocorrer a substituição eventuais de alguns materiais que não tenham ainda atingido o fim de sua vida útil, podendo implicar e alguma perda de economicidade.

Para os reparos eventuais efetuam-se inspeções cuidadosas na via permanente, fazendo os reparos quando o desalinhamento da via e a perda de capacidade funcional atingem um grau que requeiram reparos.

Os reparos eventuais são muitas vezes feitos de maneira concentrada em alguns pontos, implicando em grande perda de tempo para a movimentação de equipamentos, sendo difícil a operação mecanizada em grande escala, havendo dispersão de pessoal, fato que requer grande quantidade de mão de obra. Entretanto, nos locais onde se observa deterioração, torna-se possível a uniformização do grau de manutenção.

Assim, cada um dos sistemas de reparo acima citados tem seus prós e contras. Entretanto, analisando de maneira global, o reparo periódico é mais vantajoso.

Com base nestes pontos, deve-se adotar a sistemática de trabalho apresentada a seguir:

(1) Reparos de classe A

Os reparos de classe A são aqueles efetuados periodicamente em relação à via permanente de maneira global, para mantê-la sempre em condições satisfatórias.

Além de efetuar simultaneamente toda a série de operações que vão desde a reposição dos materiais em más condições até a compactação global, serão feitos todos os trabalhos complementares

incluindo-se, assento da via, valas laterais e toda a via permanente, mobilizando máquinas de grande porte.

O ciclo de reparo deve variar de 2 a 4 anos, dependendo da importância da via, sendo que para a ferrovia em questão o ciclo adequado é de 2 anos.

(2) Reparos de classe B

Os reparos de classe B serão efetuados nos períodos intermediários entre os ciclos dos reparos classe A, com o objetivo de manter a via permanente em estado satisfatório. Sua efetivação baseia-se em um planejamento racional.

Os reparos de classe B terão basicamente como objeto o realinhamento da via, que inclui, correção de irregularidades, compactação global, alinhamento dos trilhos, etc., mas dependendo do caso, pode incluir reposição de peças do AMV, reparos na fixação dos trilhos, capinação, etc., que devem ser feitos em ciclos mais curtos que o reparo de classe A.

Nos reparos classe B serão utilizados equipamentos como "multiple tie tamper", "track liner", vaporizador de herbicida, etc.

O ciclo do reparo classe B deve ser de 0,5 a 1 ano, dependendo da importância da via, sendo que para a ferrovia em questão 0,5 ano é um ciclo adequado.

(3) Reparos de classe C

Os reparos classe C são aqueles que ocorrem de maneira eventual, requerendo execução imediata

dos trabalhos, não sendo possível fazê-los de maneira planejada de ante-mão, ou que a efetivação planejada o torna anti-econômico. Estes reparos serão efetuados a qualquer hora, em qualquer local. Serão usados basicamente equipamentos como "hand tie tamper", alinhadores, etc.

6-4-2 Inspeção da via permanente

Para manter sempre a via permanente em condições satisfatórias é necessário efetuar uma completa inspeção da mesma para tomar conhecimento do seu estado real, refletindo os resultados destas inspeções no planejamento dos trabalhos de reparo e no planejamento da reposição do material, constituindo-se a inspeção na base da manutenção.

É portanto necessário determinar de maneira clara os pontos e itens a serem inspecionados e seus respectivos ciclos.

Os tipos de inspeção a serem efetuados podem ser, a grosso modo, classificados em:

- inspeção de manutenção
- inspeção do material
- inspeção itinerante

Os itens de inspeção e seus respectivos ciclos e detalhes, são apresentados na Tabela 6-4-1.

Tabela 6-4-1 Padrões de inspeção na linha principal

	Item de inspeção	Ciclo de inspeção	Conteúdo
Inspeção de manutenção da via	Desalinhamento da via	Mais de 4 vezes/ano	Inspeção geral, bitola dos AMV, nivelamento, altos/baixos, desalinhamento.
	Inspeção da oscilação da composição	Mais de 4 vezes/ano	Inspeção das oscilações por meio do medidor de acelerações devidas a vibrações do trem.
	Inspeção do assento de via	1 vez/ano	Inspeção da drenagem, irrupção de lama, existência ou não de folgas excessivas nas juntas, continuidade das juntas cegas.
	Inspeção das folgas nas juntas dos trilhos	Mais de 2 vezes/ano	
	Inspeção dos trabalhos	Mais de 1 vez/ano	Verificação do uso e da manutenção adequada dos materiais na via.
Inspeção dos materiais na via	Inspeção dos trilhos Inspeção geral	Mais de 1 vez/ano	Inspeções referentes a desgaste, falhas/defeitos, corrosão.
	Inspeção detalhada	2 vezes/ano em trechos onde há perigo de ocorrer falhas/defeitos profundos, mais de 3 vezes/ano	Inspeções basicamente referentes a falhas/defeitos, desmontando em caso de necessidade.
	Inspeção dos AMV Inspeção geral	Mais de 1 vez/ano	Inspeções referentes a desgaste, falhas/defeitos e corrosão.
	Inspeção detalhada	Mais de 1 vez/ano	Inspeções basicamente referentes a falhas/defeitos, desmontando em caso de necessidade.
	Inspeção do funcionamento	1 vez/mes	Inspeção de contacto, aderência, "back gauge", largura de "flange way" e outros pontos importantes.

Item de inspeção		Ciclo de inspeção	Conteúdo
Inspeção dos materiais na via	Inspeção dos dormentes, lastro do leito e outros materiais usados na via	Mais de 1 vez/ano	Deterioração, rachadura, afundamento dos dormentes; insuficiência de secção, intromissão de areia/cascalho na camada de lastro; em relação a outros materiais, inspeção de desgaste, falhas/defeitos.
	Inspeção itinerante	Inspeção feita a pé, 1 vez/3 dias	Inspeção global da via e especialmente locais que requerem atenção mais detalhada.

Na inspeção da via permanente é necessário adotar métodos de trabalho de alta eficiência e avaliação quantitativa dos resultados, sendo para isso usados equipamentos de vários tipos.

A seguir serão feitas referências sobre os equipamentos de alta eficiência e desempenho que realizam papel importante nos trabalhos de inspeção.

- (i) Medidor das acelerações devidas às vibrações do trem e carro de inspeção/medição da via em alta velocidade.

O medidor de acelerações devidas às vibrações do trem amplifica mecanicamente as oscilações devidas às vibrações, registrando as acelerações devidas às vibrações, sendo um equipamento que possibilita as medições com apenas 1 ou 2 pessoas. O desalinhamento da via exerce influência direta às vibrações das composições. Este medidor é eficaz na avaliação do grau de desalinhamento dinâmico da via, outras condições da via e o estado

de tráfego do material rodante. Considera-se portanto indispensável ter sempre em mãos dados indicativos da situação da via através do uso deste equipamento.

O carro para medição/inspeção da via em alta velocidade permite a medição do desalinhamento da via, acelerações devidas a vibrações, etc., no estado em que há aplicação de carga. Este carro efetua medições conectando-o a um trem, sendo seu esquema mostrado na Figura 6-4-1.

Este carro dispõe de uma unidade motor/gerador diesel que serve como fonte de energia para medições, iluminação e condicionamento de ar. Esta unidade serve como fonte de potência no caso de não estar sendo efetuadas medições, o que permite movimentar-se com velocidade de 20 km/h. Portanto pode efetuar a conexão/desconexão às composições sem necessidade de locomotiva para reboque.

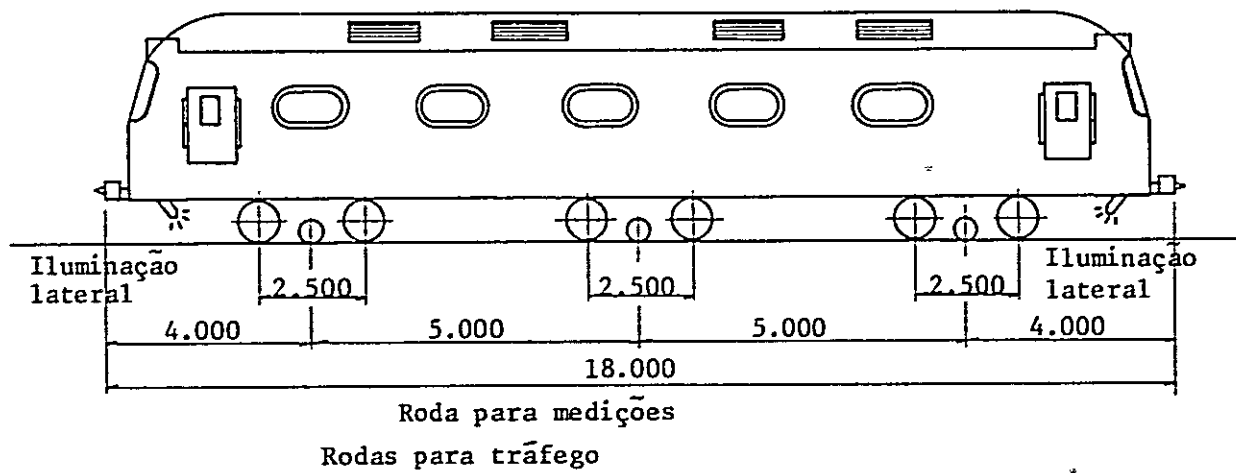
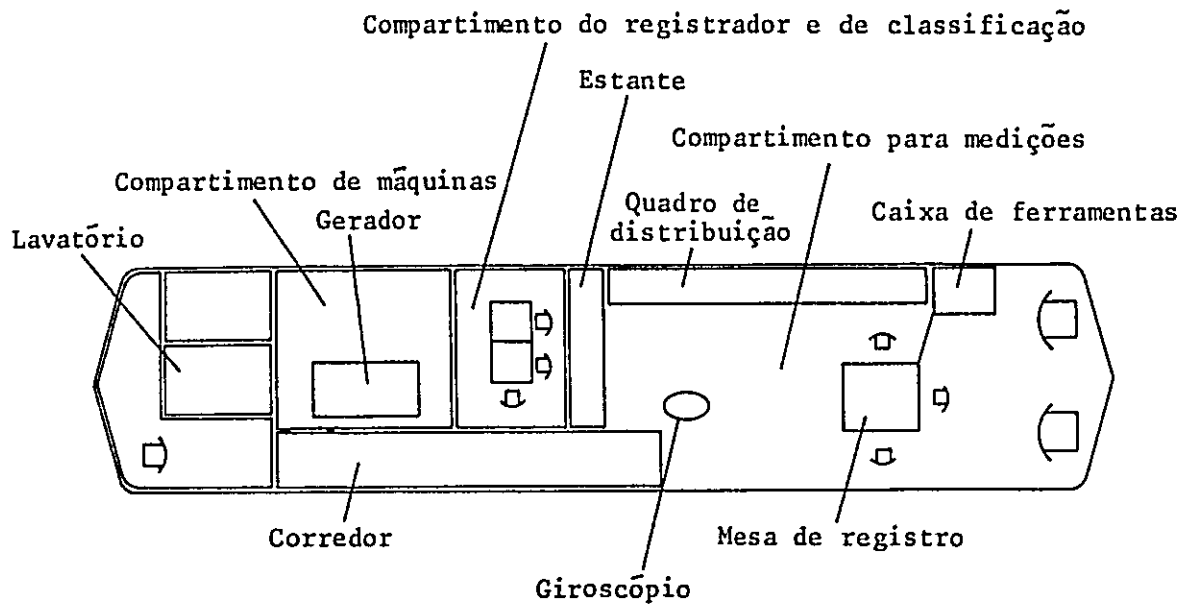


Figura 6-4-1 Carro para medição/inspeção em alta velocidade

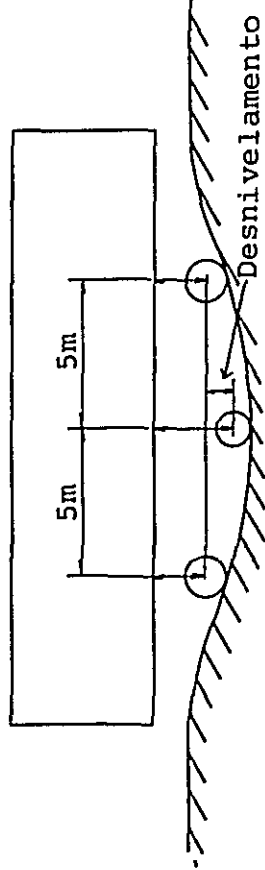
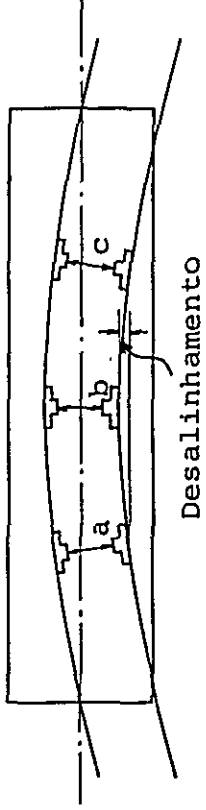
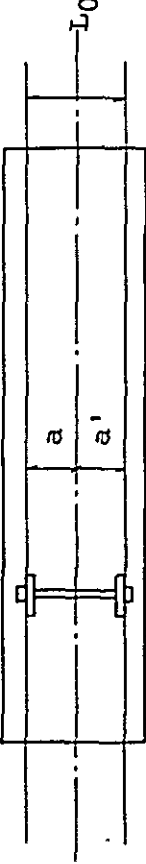
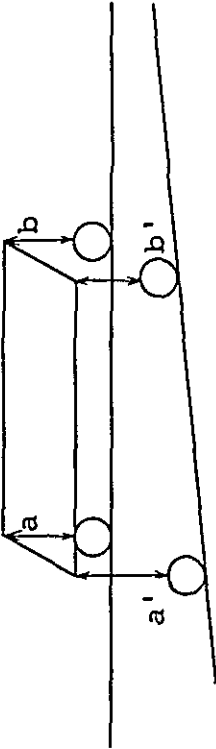
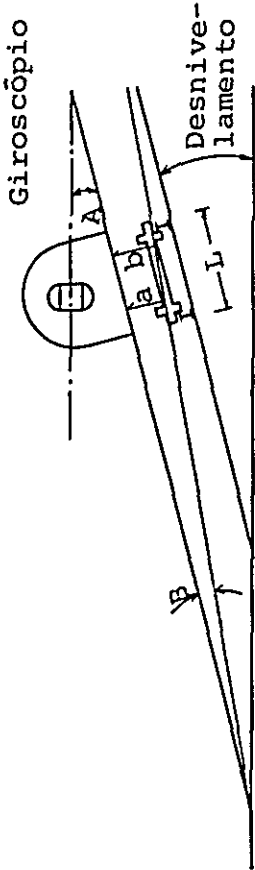
Item	Princípio de medição	Relação algébrica p/ cálculo
Nivelamento		$\frac{a + c}{z} - b$
Alinhamento		$\frac{a + c}{z} - b$
Bitola		$a + a' - L_0$
Planicidade		$(a - a') - (b - b')$
Nivelamento		$A - B = A - \frac{b - a}{L}$

Figura 6-4-2

Princípio de funcionamento do carro para medição/inspeção da via em alta velocidade

Os itens a serem medidos são: bitola, nivelamento (direita/esquerda), alinhamento (direita/esquerda), planicidade, aceleração devida a vibração (vertical, direita/esquerda), sendo os valores medidos das várias grandezas registrados em papel apropriado, juntamente com as quilometragens e tempo de tráfego. Os valores destas grandezas são obtidas através do processamento elétrico das variações observadas nas rodas de tráfego e nas rodas de medição, sendo os itens medidos indicados na Figura 6-4-2. Os resultados das medições são processados em computadores para serem usados como dados para manutenção e controle.

Serão tiradas cópias dos resultados de medição nas quantidades necessárias e distribuídas nos vários locais de trabalho, sendo inseridas no planejamento dos reparos periódicos. Quanto às irregularidades excessivamente grandes, poderão ser imediatamente inseridas na programação dos reparos classe C. Observa-se portanto que estes dados são bastante eficazes como referência para a manutenção e controle da via. Por outro lado, como este carro pode ser conectado às composições em tráfego normal para a efetivação das medições necessárias, torna-se possível ligá-lo diretamente à administração central da ferrovia, fazendo a medição referente a trechos bastante extensos de linha usando um número reduzido de pessoal.

Ao introduzir este carro de inspeção/medição em alta velocidade, deve-se fazer um estudo cuidadoso para adequá-lo às condições da ferrovia em questão.

- (ii) Carro para medição de falhas/defeitos profundos nos trilhos e aparelho para a mesma finalidade.

No plano da ferrovia em questão está previsto o uso de "long rail", sendo a inspeção de falhas/defeitos profundos um item importante a ser efetuado. O uso de carros para tal finalidade é bastante eficaz no caso.

O carro de medição tem aproximadamente 10 metros de comprimento, fazendo a medição através de uma ponta de prova ultra-sônica que é contactada à face do trilho, registrando os resultados das medidas efetuadas durante o tráfego. No papel de registro são gravados os ecos ultra-sônicos correspondentes às junções e às várias partes dos trilhos. A velocidade de tráfego para efetivação de medições é de aproximadamente 25km/h, enquanto que em caso contrário é de aproximadamente 75km/h.

O aparelho para medição/deteção de falhas/defeitos profundos nos trilhos é um equipamento portátil que detecta as falhas/defeitos por meio de ultrassom, projetando-o na face de um tubo de raios catódicos, sendo possível também fotografá-los.

Como este aparelho é portátil, sendo possível efetuar inspeções minuciosas, uma vez sendo detectada a existência de falhas/defeitos através do carro ou inspeção visual, será possível fazer a inspeção/deteção detalhada do local, tamanho e características, sendo portanto um equipamento eficaz nas manutenções referentes a falhas/defeitos profundos.

6-4-3 Manutenção mecanizada

Pela mecanização dos trabalhos de manutenção pode-se elevar o rendimento dos trabalhos, a resistência da via após a manutenção, a economicidade dos trabalhos, sendo também possível mecanizar cerca de 70% dos trabalhos. Deve-se portanto introduzir a mecanização em larga escala, como figura central na modernização dos trabalhos de manutenção.

(1) Tipos de equipamento para manutenção

Como os trabalhos de manutenção são bastante variados, os tipos de equipamentos para manutenção da via permanente são também bastante diversos, incluindo máquinas de grande, médio e pequeno porte, ferramentas, etc. Por outro lado, uma operação requer o uso de grupos compostos por máquinas diversas, sendo que no desenvolvimento dos mesmos deve-se estudar o conteúdo e o método dos trabalhos a serem efetuados, exigindo-se o desempenho satisfatório não só de cada uma das máquinas individualmente, como do conjunto das mesmas como um todo.

Ao se projetar as máquinas deve-se considerar a velocidade, distância de frenagem, capacidade de carga, força de tração, facilidade de carga/descarga, manobrabilidade, etc. maximizando a facilidade de operação, manutenção, reparo, etc., com intercambiabilidade de peças, economicidade e flexibilidade de uso.

Na Tabela 6-4-2 apresenta-se como referência as principais máquinas para manutenção da via permanente utilizadas pela JNR e seus respectivos usos.

Tabela 6-4-2 Equipamentos principais usados na
manutenção da via permanente

Denominação	Uso
Carro para transporte de trilhos	Transporte de trilhos de 200m, composição de vagões com dispositivo para carga/descarga de trilhos de 200 metros.
"Ballast cleaner"	Substituição de lastro.
Carro "hopper"	Transporte e descarga de pedra britada para lastro.
"Multiple tie tamper"	Compactação global do leito da via, para uso geral, para AMV, equipado com "liner", etc.
"Multiple power wrench"	Lubrificação e aperto dos parafusos dos dispositivos de fixação.
"Ballast regulator"	Movimentação do lastro para dar conformação adequada ao leito da via.
"Ballast sweeper"	Aplainamento da via após o uso do "ballast regulator".
Carro transportador de dormentes	Transporte e descarga de dormentes
Carro trocador de dormentes	
Percussor para prego de dormente	
Extrator de prego de dormente	
"Vibration compactor"	Compactação vibratória do leito
"Track liner"	Realinhamento
Locomotiva Diesel	Tração do carro transportador de trilhos e do carro "hopper".
Carros auto-motores	Dispondo de guindaste, etc., pode ser usado no transporte de materiais, etc.
Truques	Vários tipos Transporte de materiais, dispondo de guindastes, etc.
Carro retificador de trilhos	Retificação de trilhos ondulados

(2) Manutenção usando grupos de máquinas

Os trabalhos que usam grupos de máquinas requerem a concentração de vários equipamentos num só lugar, para a efetivação simultânea de uma série de operações, tornando possível evitar a queda de rendimento causado pela efetivação individual de cada operação, constituindo-se na base dos reparos periódicos.

Para exemplificar o que foi dito acima, será apresentado a seguir a sistemática de trabalho do reparo classe A em trecho com dormentes PC.

Em primeiro lugar, o carro "hopper" tracionado por um carro auto-motriz faz o espalhamento de lastro sobre a via, após o qual o "ballast regulator" faz a sua movimentação. Em seguida o "multi power wrench" desatarracha os parafusos dos dispositivos de fixação efetuando a sua lubrificação automática, apertando os parafusos a seguir. A seguir, o "multiple tie tamper" equipado com nivelador e alinhador corrige os nivelamentos e alinhamentos dos trilhos, ao mesmo tempo compactando o lastro e recolhendo por meio do "ballast sweeper" a parte de lastro espalhado, finalmente fazendo a compactação definitiva. Desta maneira, torna-se possível efetuar a série de trabalhos de manutenção em uma só sequência.

Para tornar possível a efetivação desta sequência de maneira ordenada é necessário planejar de maneira racional a ordem das operações a distribuição dos equipamentos, para que não haja espera para entrada em ação de determinada máquina ou pessoal, uniformizando o avanço dos trabalhos.

(3) Administração dos equipamentos mecânicos

Para que os equipamentos mecânicos para manutenção da via permanente possam sempre ser utilizados em condições satisfatórias, com consumo normal de combustível e operação econômica, é necessário organizar uma estrutura de inspeção, reparos e manutenção dos mesmos. Deve-se determinar de maneira clara os tipos de inspeção, seus ciclos, pessoa responsável e sistemas adequados de reparo.

1) Tipo de inspeção

a) Inspeção de rotina

A inspeção de rotina inclui a inspeção, lubrificação, limpeza e manutenções leves das partes mais importantes que são feitas antes e após o uso das máquinas, de maneira diária ou sempre que necessário durante o uso. Pela inspeção de rotina pode-se ter idéia do estado geral do equipamento, servindo para a prevenção de falhas mais importantes. A inspeção de rotina é extremamente importante para a manutenção do equipamento em estado satisfatório até a inspeção periódica subsequente, não devendo ser omitida de maneira alguma.

b) Inspeção de classe A

Na inspeção classe A efetua-se a inspeção global e detalhada do equipamento em ciclos ou número de horas de uso pré-determinados, de acordo com o estado de uso. Caso se julgue necessário efetua-se

simultaneamente o recondicionamento completo. A capacidade funcional do equipamento deteriora gradativamente pelo desgaste das partes, resultando em elevação dos custos operacionais, podendo implicar em perigo caso se prossiga no uso sem reparo. Efetuando em ciclos adequados a inspeção, com desmontagem e posterior reparo, pode-se estender a vida útil do equipamento e assegurar sua operação em condições econômicas.

c) Inspeção de classe B

A inspeção de classe B é uma inspeção periódica de caráter intermediário que se efetua até a época da inspeção classe A subsequente, sendo seu ciclo determinado pelo tempo decorrido ou pelo número de horas de uso, de acordo com as condições de uso. A inspeção é concentrada em alguns pontos. Os resultados da inspeção classe B, juntamente com os resultados das inspeções de rotina e fatos observados durante a operação, servem como dado para determinar meios para evitar falhas e as épocas adequadas para o recondicionamento geral.

2) Ciclo das inspeções

Os ciclos dos trabalhos de inspeção dos equipamentos de manutenção da via permanente serão os seguintes:

inspeção de rotina:	a cada uso
inspeção de classe A:	a cada 24 meses
inspeção de classe B:	a cada 3 ou 6 meses

O ciclo de inspeção classe B dependerá da parte considerada, sendo de 3 ou 6 meses. O conteúdo das inspeções também deve ser padronizado de antemão.

3) Falhas/defeitos profundos nos eixos

Os eixos são partes importantes das peças móveis, devendo-se fazer a inspeção para detecção de falhas/defeitos profundos a cada 30.000km percorridos, efetuando a inspeção classe A após esta decorrência. Para detecção de falhas/defeitos profundos nos eixos podem ser usados 3 métodos:

- ultra-son
- limalha magnetizada
- penetração

Uma maneira relativamente simples, com avaliação fácil dos resultados e precisão razoável é o uso da limalha magnetizada.

6-4-4 Tempo de manutenção

Entre os trabalhos de manutenção, os reparos de classe C, que incluem correção de desnivelamentos do leito e substituição de material em pequena escala, podem ser feitos em intervalos entre tráfego de trens. Entretanto os reparos de classe A e classe B são trabalhos mecanizados, havendo exigência de continuidade de tempo..

No caso de manutenção mecanizada, há necessidade de fazer a ida e a volta dos depósitos das máquinas até o local de reparo, o preparo das máquinas no local até sua entrada em ação, preparo para recolhimento das máquinas aos depósitos, etc., tudo isso significando

consumo de tempo. É portanto desejável maximizar o tempo efetivamente gasto no trabalho de manutenção, elevando assim o rendimento.

Pelo que foi exposto acima, verifica-se que é interessante tomar o tempo mais longo possível para a manutenção propriamente dita, mas por outro lado, levando em consideração a rotina de trabalho do pessoal, o número de horas de trabalho nos depósitos de equipamento, é adequado tomar o tempo de manutenção como 6 horas.

Nesse caso, o número de horas efetivamente trabalhadas na manutenção varia ligeiramente de acordo com o tipo de trabalho mas é de cerca de 4 a 5 horas.

Tomando-se o tempo de mobilização como 6 horas e o número de horas efetivamente trabalhadas como 4 a 5 horas, serão necessários estes intervalos a cada ciclo de manutenção. A Tabela 6-4-3 indica o número de dias requeridos para a manutenção de cada trecho.

Tabela 6-4-3 Número de dias por ano requeridos para a manutenção de grande escala de cada trecho

Trecho	Extensão do trecho (km)	Número de dias requeridos por ano
B. Horizonte - Macacos	32	25
Macacos - Itutinga	340	261
Itutinga - V. Redonda	188	145

6-4-5 Instalações para manutenção

(1) Depósito para equipamento

Para se mecanizar os trabalhos de manutenção há necessidade de se montar um depósito de operações que serve para depósito, estacionamento e reparos dos equipamentos, e também depósito e processamento dos materiais a serem usados.

Os depósitos de operações para os trabalhos de manutenção serão classificados em depósitos principais e depósitos secundários, segundo suas finalidades. Os depósitos principais serão usados para inspeção periódica e reparos dos equipamentos, depósito e processamento dos materiais, sendo dispostos a cerca de cada 40km. Os depósitos secundários serão usados como depósito de equipamentos para encurtamento do tempo requerido para deslocamento até o local de trabalho e também para reparos simples do equipamento, sendo instalado em cada estação.

As bases de operações disporão das instalações citadas a seguir, que são requeridas para o desempenho de suas funções:

1) Depósitos principais

- Linhas para estacionamento dos carros usados para manutenção
- Servirão para estacionamento de carros de trabalho e motrizes usados para manutenção, tendo uma disposição de linha que facilite a entrada/saída das bases e composição/recomposição.

- Linhas para inspeção/reparo

Servirão para inspeção e reparo dos carros para manutenção, dispendo de cobertura, valas para inspeção da parte inferior, pontes rolantes, etc.

- Linha para material

Servirão para entrada/saída do material a ser usado, dispendo de equipamentos de transporte como guindastes tipo pórtico, etc.

- Linha "hopper"

Servirão para entrada/saída de pedra britada, dispendo de instalações como correia transportadora, "hopper", etc.

- Instalações para combustível

Servirão para alimentação de combustível aos carros usados na manutenção.

- Linha para treinamento

Servirão para treinamento de operação dos carros a serem usados na manutenção.

- Depósito de material

- Outras instalações

2) Depósitos secundários

- Linha para estacionamento de carros usados na manutenção.

- Linha para reparos/inspeção

Deverão dispor de cobertura e vala para inspeção.

- Outras instalações

Um exemplo de disposição de depósitos é mostrado na Figura 6-4-3. Deve-se frisar aqui que as instalações de soldagem para substituição dos trilhos devem ser planejadas em separado.

(2) Instalações diversas

Os seguintes marcos de sinalizações são necessários, para servir de referência nos casos de manutenção e para efeito de segurança operacional às guarnições dos trens.

Marcos de quilometragem - Servirão para indicar a quilometragem exata da ferrovia, sendo no mínimo marcos de cada 500 metros ou 1km. Na realidade é desejável instalar também marcos de 100 metros.

Marcos de declividade - Serão instalados em cada ponto de variação de declividade, indicando claramente seu valor.

Marcos de curvas - Serão instalados em cada início e fim de curvas de concordância e curvas circulares, indicando claramente o raio de curvatura, extensão do trecho curvo, sobrelevação, folga ("slacking"), etc.

Marcos referenciais de curvas - Serão implantados a cada 5 metros, do lado de fora do trilho externo, indicando os pontos de referência para compensação de curvatura.

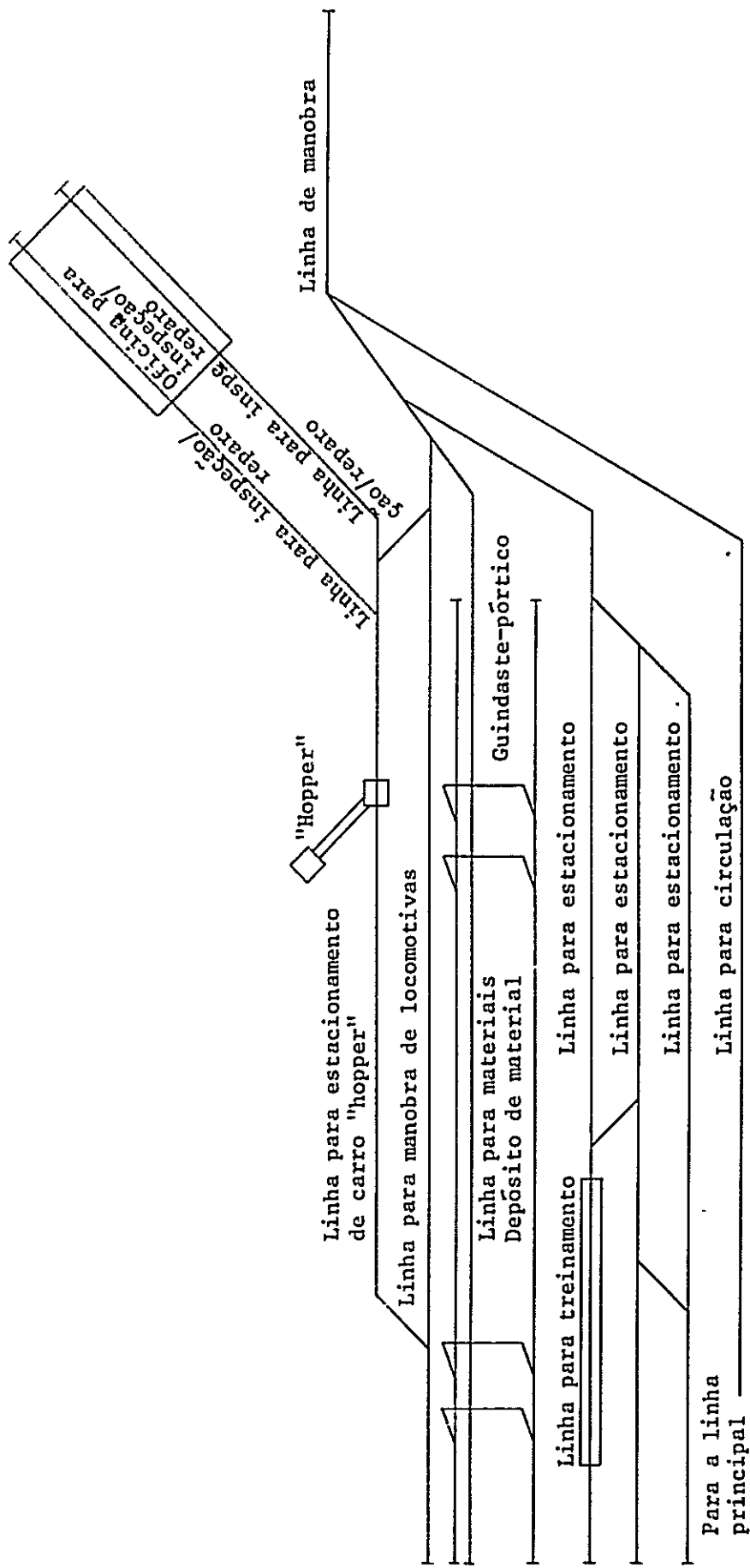


Figura 6-4-3 Exemplo de depósito para manutenção

6-4-6 Planejamento da manutenção da via permanente

A ferrovia em questão tem a peculiaridade de ser uma linha nova em toda sua extensão e que simultaneamente entrará em uso, sendo naturalmente presumíveis diferenças na sistemática de manutenção em sua fase inicial, quando comparada às linhas já existentes.

Na fase inicial pode-se prever a ocorrência frequente de afundamentos no assento da via, havendo necessidade de compactação e alimentação de lastro suplementar na maioria dos trabalhos. Além desses, haverá necessidade de aperto dos fixadores de trilhos, troca das agulhas dos AMV, etc.

No caso de linhas novas, a localização de seus pontos mais vulneráveis é difícil, sendo portanto necessário efetuar trabalhos de manutenção adequados, com base em inspeções rigorosas.

Por outro lado, como a época para substituição de materiais se concentra quase que simultaneamente, é necessário iniciar de maneira racionalmente planejada a substituição, bem antes da chegada do fim de sua vida útil, para se atingir uma programação convenientemente sequenciada.

Para isto é necessário avaliar o estado de desgaste e deterioração dos materiais, determinando com antecipação a época de sua substituição, instalando os depósitos requeridos e introduzindo os equipamentos necessários.

As se fazer a substituição dos materiais são necessários depósitos de grande porte, sendo necessário na fase de planejamento destes depósitos a previsão da demanda de uso em épocas futuras.

7. PLANO DE ELETRIFICAÇÃO

7. PLANO DE ELETRIFICAÇÃO

7-1 Plano Original

7-1-1 Método de Eletrificação

(1)- Método

C.A. monofásica 25 KV, 60 Hz

(2)- Tensão

Tensão nominal	25,0 kV
Tensão máxima	27,5 kV
Tensão mínima (regime contínuo)	19,0 kV
Tensão mínima (valor instantâneo)	17,5 kV

7-1-2 Plano de Alimentação

(1)- Tensão de alimentação planejada

69 kV e 138 kV.

(2)- Taxa de desequilíbrio de tensão

- regime contínuo:

$$\frac{\text{potencial monofásica [MVA]}}{\text{capacidade trifásica de curto circuito [MVA]}} \leq 0,03$$

- Surto de curta duração:

$$\frac{\text{Potência monofásica [MVA]}}{\text{capacidade trifásica de curto circuito [MVA]}} \leq 0,05$$

(3)- Capacidade de curto-circuito no ponto de alimentação

500 - 600 MVA

7-1-3 Planejamento das Subestações

(1)- Condições básicas para seleção e localização das Subestações.

- 1) O planejamento foi efetuado com base nos dois pontos seguintes:
 - queda máxima admissível de tensão
 - distorção mínima na rede de alimentação
- 2) As subestações serão em princípio localizadas junto às instalações de cruzamento. A carga padrão a ser aplicada a um transformador monofásico de uma subestação será de uma composição, sendo que em casos de condições desfavoráveis são consideradas duas composições como carga.

Caso haja previsão de maior número de composições como carga em determinados trechos, por força do espaçamento entre as subestações, serão instalados "Sub-feeders", separando-se a fase alimentadora.

(2) Subestações

- 1) Número de Subestações: 8 (oito)
- 2) Alimentação
 - (a) Em decorrência da nova ligação ferroviária, deverão ser construídas linhas de transmissão de grande porte. Tal trabalho estará a cargo das concessionárias.

Exemplos:

- Trecho São João Del Rei - MFC 138 kV 80 km
- Trecho Mindri - Liberdade 138 kV 95km

(b) A alimentação às subestações será feita por 2 circuitos. Entretanto instar-se-á barramento no lado de tensão extra-alta, usando-se apenas um disjuntor.

3) Transformadores

(a) Serão basicamente usados transformadores monofásicos.

(b) A ligação a partir do trifásico, -p.ex. ligação a partir de uma fase ou cíclica do trifásico- ainda está em estudos.

(c) O uso de transformadores com ligação Scott também está em estudos.

(d) Serão instalados reguladores automáticos de tensão no lado de 25 kV para estabilização da tensão de saída. Amargem de regulação será de 5kV.

4) Proteção

Será usado como proteção principal do circuito de alimentação o relê de distância efetuando o religamento automático duas vezes.

7-1-4 Circuito de Alimentação

(1)-Tipo de Circuito de Alimentação

Alimentação direta. Detalhes da composição do circuito de alimentação a decidir.

(2)-Constantes do Circuito de Alimentação

-Trecho de linha singela:

$0,17 + j0,55 \quad \Omega/\text{km}$

(caso de $0,18 + j0,53 \quad \Omega/\text{km}$ também em estudo).

-Trecho de linha dupla:

$0,09 + j0,34 \quad \Omega/\text{km}$

7-1-5 Rêde Aérea

(1) Tipo de catenária

Catenária simples tipo Y modificado.

(2) Tipo de Cabo

- Cabo de contato: cabo estriado de cobre duro
(grooved hard copper wire) 107 mm²

- Cabo de sustentação: cabo trançado de bronze 65mm²

(3) Altura Padrão do Cabo de Contato:

5,7 m

(4) Capacidade de Corrente

A secção equivalente de cobre da catenária será de 150mm² (também em estudo o caso de 130mm²). Sendo corrente admissível em regime contínuo de 5A/mm², usa-se o valor de 650A como corrente na catenária e com base neste dado estuda-se a composição do sistema de alimentação.

7-1-6 Energia

Como linha de distribuição de alta tensão será instalado um cabo de alta tensão de 6kV no leito da via.

7-2 ELETRIFICAÇÃO

7-2-1 Sistema de Eletrificação

- (1) Como tensão de alimentação no caso de eletrificação CA, frequência de linha, pode-se pensar nos valores de 20kV, 25kV, 50kV, etc.

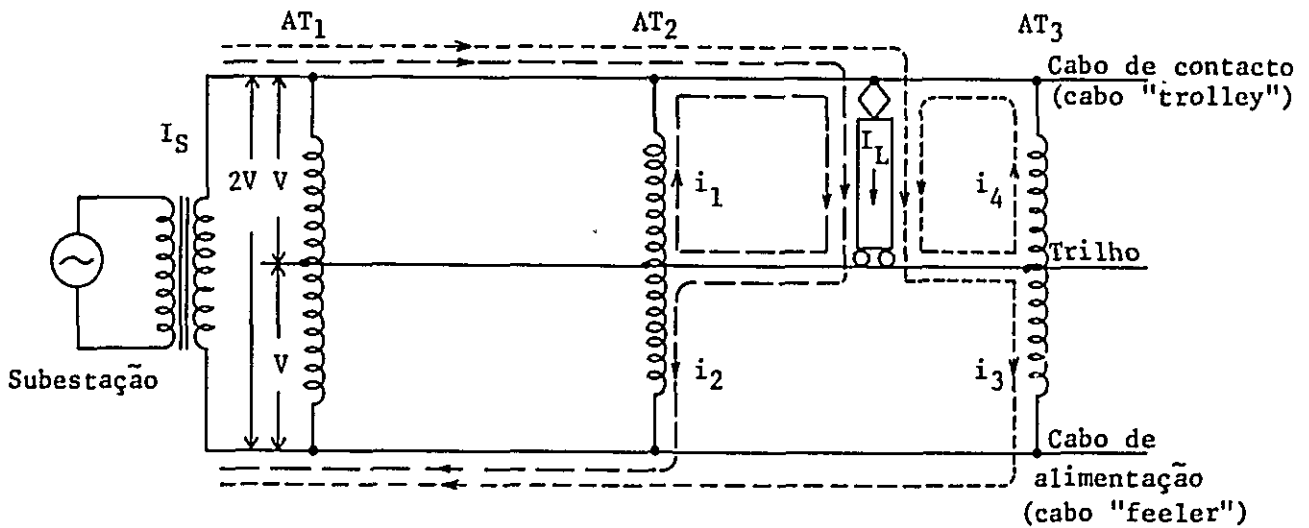
Com a elevação do valor da tensão de alimentação, a corrente de carga será menor, com conseqüente

redução na queda de tensão resultando na vantagem de poder dar um distanciamento maior entre as subestações. Entretanto, embora haja casos de utilização de 50kV para esta finalidade, os resultados positivamente comprovados ainda são poucos, havendo ainda possibilidade de aparecer problemas com o isolamento. Especialmente no caso de transporte de minério de ferro, prevê-se dificuldades com a manutenção dos isoladores dentro dos túneis. Assim sendo, para a nova ligação ferroviária planejada, considera-se ideal a eletrificação em 25kV, que além de ser um padrão internacional, tem o maior número de casos de resultados comprovados no mundo todo.

(2) Dentro do sistema de eletrificação em 25kV há tres sistemas de alimentação possíveis que são citados a seguir:

- alimentação direta (alimentação efetuada diretamente entre a rãde aãrea e os trilhos, sem o uso de transformador "booster" ou auto-transformador
- alimentação por transformador "booster" (doravante chamada alimentação BT).
- alimentação por Auto-transformador (doravante chamado alimentação AT).

Efetuando-se o estudo comparativo dos tres sistemas acima citados, chegou-se à conclusãõ de que a alimentação AT indicada esquemãticamente na Fig. 7-2-1 é o sistema mais adequado ao presente caso. Os motivos que fundamentam tal conclusãõ sãõ citados a seguir:



I_L : Corrente de carga

I_S : Corrente na subestação

V : Tensão entre cabo de contacto e trilho (25 kV)

$2V$: Tensão fornecida pela subestação (50 kV)

$$I_L: i_1 + i_2 + i_3 + i_4$$

$$I_S: i_2 + i_4$$

$$i_1: i_2, \quad i_3 = i_4$$

Fig. 7-2-1 Sistema de alimentação AT Representação esquemática

- 1) A tensão do circuito de alimentação e as classes de isolamento são para 25kV mas eletricamente possui performance igual ao sistema de 50kV.

Como foi dito no relatório preliminar, para o sistema de alimentação AT, excluindo uma parte dos equipamentos das subestações, basta isolamento de terra da classe de 25kV para os vagões, locomotivas e rede aérea. Por outro lado, as características de queda de tensão do circuito de alimentação são equivalentes ao do sistema de 50kV. Pode-se assim dizer que este sistema dispõe simultaneamente de todas vantagens dos sistemas de 25kV e de 50 kV.

- 2) O distanciamento entre subestações pode ser maior.

Como a queda de tensão no circuito de alimentação é equivalente ao do sistema de 50kV, o distanciamento entre as subestações pode ser estendida até cerca de 100km e no trecho Belo Horizonte-Volta Redonda gastaria 5 subestações para efetuar as alimentação. Sendo menos o número de subestações, torna-se possível a concentração maior de equipamentos, resultando em economicidade e também facilidade de manutenção.

- 3) Maior grau de liberdade na escolha das fontes de alimentação.

Para a eletrificação da Ligação Ferroviária em questão, caso se adote a alimentação direta ou a alimentação BT, tornar-se-á necessário um grande número de subestações.

Caso já exista ao longo da ferrovia linhas de transmissão com capacidade suficiente para alimentar a carga representada pela mesma, não surgirá problemas mesmo que haja aumento no número de subestações. Entretanto, caso não existam tais linhas de transmissão, com o aumento do número de subestações, o custo de construção das linhas de transmissão sofrerá sensível acréscimo.

No "Plano Original" prevê-se a construção de cerca de 200km de linha de transmissão de 138kV para alimentar oito subestações. Para tal plano, há desvantagens não só pelo acréscimo do seu custo de construção mas também a redução ainda mais sensível na capacidade de curto circuito nas extremidades devido a interferência de linhas de grande extensão.

Por seu lado, caso se adote alimentação AT, o distanciamento entre subestações será maior, com conseqüente aumento do número de composições correndo em trechos compreendidos entre duas subestações. Assim sendo, naturalmente exige-se maior capacidade de curto-circuito do lado receptor, mas como há uma liberdade maior na escolha do ponto de recepção é mais fácil sua determinação, bastando menos instalação de linhas de transmissão, o que resulta em maior economia.

(Vide detalhes do Plano de Recepção em 7-3-3).

- 4) Obtem-se sensível redução nos efeitos indutivos aos sistemas de comunicação.

Ao se efetuar a eletrificação em corrente alternada é necessário levar em consideração os efeitos indutivos aos sistemas de comunicação que se localizam nas proximidades. Quando se efetua o

controle do circuito principal das locomotivas elétricas por meio de thyristor há geração de grande quantidade harmônicos e há necessidade de cuidados especiais.

Tomando em consideração o aumento de corrente de carga e a expansão da rede de comunicação decorrente do futuro aumento da demanda de transporte, há necessidade de escolher o sistema de eletrificação que traga consigo a menor quantidade possível de causas de interferências indutivas.

A redução de interferências indutivas que se obtém, pela adoção da alimentação AT é equivalente àquela obtida com a alimentação BT. A alimentação BT apresenta pontos positivos quanto à redução de interferências indutivas à rede de comunicação, mas sua adoção no presente caso significaria um número ainda maior de subestações que no caso da alimentação direta e por este motivo torna-se inconveniente.

5) Redução do potencial dos trilhos

No caso da alimentação AT, a corrente que retorna das composições é dividida entre os dois Auto-Transformadores que se situa à frente e atrás das mesmas, entrando pelo neutro dos Auto-Transformadores. Assim sendo, a corrente que passa pelos trilhos é menor que no caso da alimentação direta, sendo que o trecho em que há passagem de corrente é aquele limitado pelos Auto-Transformadores.

O potencial do trilho é a manifestação de uma parte da tensão longitudinal que se obtém como resultado do produto da impedância do trilho e da corrente passando por ele. Assim sendo, o

potencial de trilho no caso da alimentação AT é em princípio menor que no caso da alimentação direta.

7-2-2. Recepção de Energia

Os pontos em que uma carga representada pela ferrovia eletrificada difere de uma carga comum são os seguintes:

- (a) Trata-se de carga monofásica.
- (b) Trata-se de carga variável.
- (c) Trata-se de carga com grande geração harmônicos.

O fato de se tratar de carga monofásica traz desequilíbrio no sistema trifásico e o fato de se tratar de carga variável dá origem a oscilações ("flickering"). Por outro lado, o fato de gerar grande quantidade de harmônicos causa o aumento da corrente equivalente de fase negativa e isto da mesma maneira que no caso do desequilíbrio de tensão pode causar elevação de temperatura nos equipamentos (geradores) do sistema, e dependendo das condições pode também causar fenômenos como ressonância com o sistema.

Assim sendo, ao se fazer o estudo do sistema de recepção há necessidade de considerar com o devido cuidado, os efeitos dos fatores acima citados e as medidas a serem tomadas para combatê-los.

Entretanto ao se fazer o estudo do sistema de recepção a atenção maior deve ser dispensada ao problema da cintilação ("flickering") citado em (b) acima.

- (1) Taxa de desequilíbrio de tensão e tipo de ligação dos transformadores.

Limitar a taxa de variação da taxa de desequilíbrio (k) dentro de 3% em regime contínuo e dentro de 5% durante surtos de curta duração, é um padrão aceito internacionalmente.

Nos casos a que a capacidade trifásica de curto de fonte é bem maior que a capacidade da carga, não havendo qualquer problema quanto à taxa de desequilíbrio, pôde-se adotar a ligação monofásica no transformador principal das subestações sem maiores problemas. Porém em casos como a ferrovia em questão, em que a capacidade da fonte é relativamente pequena comparada com a carga, há necessidade de tomar em consideração medidas para a redução do desequilíbrio de tensões.

Exemplos de tais medidas são citadas a seguir:

- (a) Reduzir o distanciamento entre subestações, diminuindo a carga monofásica de cada subestação.
- (b) Buscar a redução do desequilíbrio pelo uso de ligações de conversão bifásica - trifásica como a ligação Scott no transformador.

A primeira destas medidas é uma solução de caráter básico para obter a redução do desequilíbrio, mas tomando em conta o problema do ΔV que será citado mais adiante, verifica-se que a capacidade da fonte não poderá ser muito reduzida. O acréscimo no número de subestações, como foi dito anteriormente, não é um fato favorável.

No caso da conversão bifásica-trifásica citado em segundo lugar, caso sejam ligadas cargas iguais nos dois bancos monofásicos, no lado primário haverá

passagem de corrente trifásica desequilibrada, sendo que no caso em que em apenas um banco está ligada a carga, em relação à fonte isto naturalmente significa carga monofásica. No caso da ligação T a taxa de desequilíbrio será:

$$K = \frac{P_A \sim P_B \text{ [MVA]}}{P_s \text{ [MVA]}} \times 100 \quad [\%]$$

Onde:

P_A, P_B : Capacidade de cada carga monofásica nos dois bancos da ligação T.

P_s : Capacidade trifásica de curto-circuito.

Como se nota, a diferença das duas cargas monofásicas é que contribui para a expressão do desequilíbrio e isto evidentemente é vantajoso quando se considera o sistema operando por longo tempo. (doravante os dois bancos da ligação T serão chamados banco A e banco B).

Os efeitos que aparecem em consequência do desequilíbrio são fenômenos com constante de tempo relativamente longas, tais como elevação de temperatura nos enrolamentos das máquinas rotativas ligadas ao sistema. Assim sendo, as cargas P_A e P_B da relação mostrada acima são tomadas como cargas médias de duas horas.

Baseado nestas considerações, nos estudos apresentados daqui para frente no presente relatório, a diferença média entre as potências médias aparentes dos bancos A e B são consideradas menores ou iguais a 3% da capacidade trifásica de curto-circuito.

A ligação T mais conhecida é a ligação Scott. Entretanto, como a ligação Scott não é aterrada, este sistema

é aplicável sem maiores problemas em tensões até 138kV, mas se a alimentação é efetuada em classes de tensões mais elevadas através de sistemas com aterramento efetivo é desejável que se adote transformadores com ligação Woodbridge modificada.

Na ligação Woodbridge modificada, o lado primário é ligado em estrela (Y) sendo possível o aterramento direto e isto o torna favorável do ponto de vista de projeto de isolamento. Por outro lado, como não há variação no potencial do ponto neutro causada pela corrente do lado secundário, não havendo passagem de corrente de ponto neutro, possuindo a propriedade de não causar interferências indutivas aos sistemas de comunicação. O tipo de ligação neste caso é em forma de cruz (+), mas quanto aos efeitos de redução do desequilíbrio é igual ao sistema Scott da ligação T.

(2) Taxa de variação de tensão ΔV .

No Brasil não há um valor estabelecido que limite a taxa de variação da tensão ΔV de fonte causada pela variação de carga mas baseando em novas experiências adquiridas em trabalhos de eletrificação, é desejável que se limite tal valor dentro de 4%.

Como variação causada pela carga representada por ferrovia eletrificada pode-se classificar em dois tipos quanto a duração do ciclo de variação:

- variação de longo ciclo, da ordem de horas, causado pela variação da carga total.
- variação de curto ciclo, causada por exemplo pela partida de uma composição que estava estacionada, cuja duração é da ordem de segundo(s) ou minuto(s).

As variações que causam problemas como cintilação (flickering) é aquela de curta duração.

(Quanto às variações de longa duração citada acima, pode ser solucionado por controles de fluxo de potência, tais como ajustadores de tensão e/ou ajustadores de fase. Entretanto, as variações de curta duração exercem influência direta às cargas de outros consumidores ligados ao sistema).

A variação de tensão ΔV quando se adota ligação Scott nos transformadores de alimentação das subestações de ferrovias eletrificadas, será máxima quando somente o banco B está ligado à carga e seu valor será expresso pela seguinte relação:

$$\Delta V = \frac{\sqrt{3} \cdot V \cdot I_T}{P_S} \sin \left(\Theta + \frac{\pi}{6} \right) \times 100 \quad [\%]$$

onde:

- V : tensão de alimentação 27,5 [kV]
I_B: corrente no banco B [A]
P_S: capacidade trifásica de curto [kVA]
 Θ : defasagem da carga (cos Θ = 0,8)

Limitando-se a parcela de ΔV apenas àquela causada por variações de curta duração, sua causa principal será a corrente máxima para a partida de uma composição. Assim, determinando-se as características da locomotiva pode-se determinar a relação entre a capacidade de curto da fonte e a variação ΔV , independente do distanciamento das subestações e da densidade de tráfego dos trens.

Na figura 7-2-2. indica-se o caso de tração de 9000 ton. (corrente máxima de acionamento 640 A) e pode-se observar que para manter ΔV abaixo de 4% exige-se

uma capacidade de curto circuito acima de 700 MVA para a fonte.

Ao se efetuar o planejamento da alimentação é necessário levar em conta este fato.

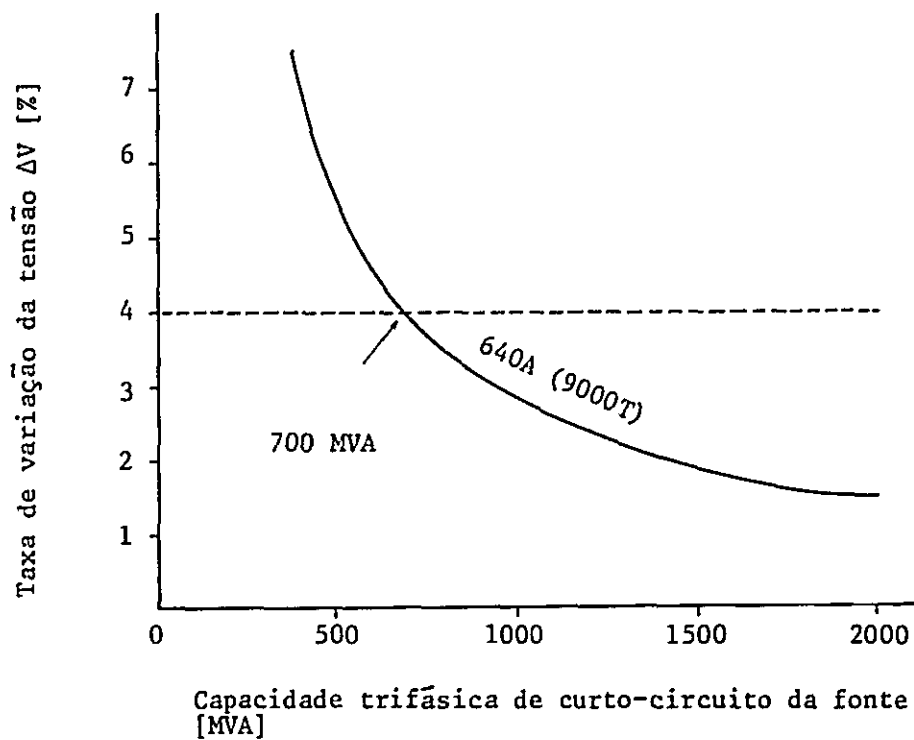


Fig. 7.2.2 Relação entre capacidade trifásica de curto-circuito da fonte e ΔV . (Com o banco B do transformador em ligação SCOTT em ação)

(3) Frenagem regenerativa e seus efeitos à fonte.

Na frenagem regenerativa inverte-se a polaridade do motor CC principal da locomotiva, tornando assim negativa a tensão do lado CC e efetua-se a operação de conversão pelo controle da fase do thyristor.

As características gerais da frenagem regenerativa estão indicadas na tabela 5-3-4 referente ao planejamento de locomotivas. Além disso, no caso de regeneração em CA, não há necessidade de instalar equipamentos com os conversores, podendo devolver diretamente a potência à fonte, sendo esta sua característica mais favorável.

No caso da ferrovia em questão, há longos trechos em rampas. Especialmente no trecho que vai de Itutinga a Volta Redonda há um longo trecho em declive contínuo e a adoção da frenagem regenerativa pode ser uma medida eficaz de economia de energia.

Entretanto, do ponto de vista do sistema de potência, além da existência de outras cargas que absorvem a potência regenerada, há necessidade de levar em conta os seguintes fatores:

No caso da regeneração a potência ativa será $-P$ mas a potência reativa sofrerá um atraso e o fator de potência visto do lado do gerador será de $-0,4$ a $-0,5$. piorando-se sensivelmente.

Se a potência da locomotiva é pequena o fato citado acima não criará grandes problemas, mas no presente caso a potência das locomotivas são grandes e isto traz dificuldades. Especialmente no caso em que um sistema com a mesma fonte opera simultaneamente nos regimes de consumo de potência e regeneração de potência, a potência ativa é compensada mas a potência

reativa que sofre atraso é acrescida, resultando em deterioração do fator de potência, podendo surgir a situação em que o fator de potência pode chegar a zero dependendo das condições de carga. Isto significa grande queda de tensão na fonte de energia, havendo possibilidade de não ser praticável o fornecimento da tensão requerida à locomotiva. Por outro lado, será grande a variação de tensão causada pela variação de carga (representada pelas composições) e isto prejudica as cargas dos demais consumidores ligados ao mesmo sistema de potência.

No presente caso, como a potência regenerativa é grande quando comparada com a capacidade do sistema e como não há experiência de operação de locomotivas de grande potência em regime regenerativo em longa distância considera-se recomendável adiar sua adoção. Assim sendo, na fase inicial é desejável que se adote o freio resistivo, fazendo paralelamente em cuidadoso estudo sobre o controle da potência reativa e da estabilidade do sistema de frenagem enquanto se espera pelo reforço do sistema de suprimento de potência. Em fase posterior deve-se efetuar testes operacionais na própria ferrovia, adotando-se o sistema após confirmada sua viabilidade.

Pelos motivos apresentados acima, no planejamento das subestações que serão apresentado a seguir, os estudos são desenvolvidos sem supor a adoção do freio regenerativo.

7.3. PLANEJAMENTO DAS SUBESTAÇÕES

7-3-1. Hipóteses adotadas

As hipóteses referentes ao planejamento, transporte e da operação, características das locomotivas foram apresentadas em 5-2 e 5-3. O resumo das hipóteses que influe diretamente no fornecimento de energia é apresentado a seguir:

- (1) Condições referentes ao planejamento das instalações:

Deve ser tal que materialize a demanda do ano de 1987.

- (2) Tonelagem tracionada e gráfico horário dos trens
Quanto à tonelagem tracionada, levando em conta os problemas de fornecimento de energia e de força de conexão, torna-se por hipótese o valor de 9000 ton por composição.

Futuramente caso seja necessário tracionar 12000 ton, estuda-se o problema do reforço da fonte e reaparelhamento das instalações de fornecimento de energia.

Utiliza-se o gráfico horário confeccionado pelos engenheiros brasileiros referente aos períodos de 1982 e 1987 (ambos supondo tração de 9000 por hipótese).

- (3) Características das locomotivas e corrente elétrica passando pelas composições.

Calculando a partir da Fig. 7.3.3 as correntes do lado primário correspondentes a cada valor de declividade, obtem-se a tabela 7.3.1.

Tabela 7.3.1 Condições de operação e corrente nas composições

Tipo de trem	Trem para minério					Trem para passageiro
	Sentido exportação (carregado)		Sentido importação (vazio)			
Condição	ton 9,000	ton 12,000	ton 1,980 (9,000)	ton 2,640 (12,000)	ton 660	
Máximo para partida	$\mu=0.3$	A 640	A 850	A 430	A 215	
Equilíbrio a 1%	FF(30 km/h)	530	710	FF(42 km/h)	305	75
Equilíbrio a 0.5%	FF(35 km/h)	370	500	FF(48 km/h)	240	60
Equilíbrio a 0%	FF(56 km/h)	140	190	FF(60 km/h)	145	35

- Observação
- 1) Foram efetuados cálculos referentes a declividades intermediárias de 0,1%, 0,2%, etc., mas os resultados foram omitidos na tabela.
 - 2) Os valores das correntes foram arredondados a cada 5A.
 - 3) Para o cálculo da corrente de partida de trem no sentido importação (vazio) foi suposto que a corrente limite cai para 2/3.
 - 4) Foi suposto que o trem de passageiro é equivalente ao trem de 3000 t vazio (660t).
 - 5) Todos os estudos são considerados em relação à tração de 9000 t. A tração de 12000t é citada apenas como referência.

Em relação aos trens de carga geral não se tem ainda os valores da tonelagem tracionada e da corrente de carga, mas consideram-se como hipótese iguais aos trens de minério.

Em relação aos trens de passageiros há ainda muitos dados não esclarecidos. Pode-se pensar em usar locomotivas diferentes daquelas de trens de minério, dependendo da velocidade máxima a adotar e do método de operação. Entretanto, extrapolando-se do caso dos trens normais de passageiros (400 a 500 ton) consideram-se um valor igual ao do trem de minério vazio (660 ton). Para o cálculo da corrente elétrica apresentado abaixo, usam-se aquele valor.

- (4) Constante do circuito de alimentação e taxa de queda de tensão.

Quando se adota a alimentação AT, a impedância do circuito de alimentação (convertido para o lado de 25kV) será aproximadamente dado pela seguinte expressão:

$$Z_l = 0,12 + j0,22 \quad \Omega/\text{km}$$

(No relatório preliminar foi dado o valor $Z_l=0,06 + j0,22 \quad \Omega/\text{km}$ supondo-se o uso de cobre nos cabos de suspensão).

A taxa de queda de tensão pode ser calculada da expressão:

$$V = r \cos \theta + jx \cdot \sin \theta \quad [\text{V/A.km}]$$

Considerando-se fator de potência da carga ($\cos \theta$) como 0,8 e adicionando uma certa margem de folga considerou-se seu valor como:

$$V = 0,17 \quad [\text{V/A.km}]$$

7-3-2. Localização das Subestações

Ao se fazer a escolha da localização das subestações os seguintes pontos foram tomados em consideração.

(1) Condições básicas

1) Calcula-se as características de queda de tensão do circuito de alimentação a partir das condições referentes às composições e do gráfico horário e daí determina-se o distanciamento adequado das subestações.

2) Deve-se localizar as instalações das subestações e seccionamento (localização dos seccionadores) e local mais plano possível.

(No caso desta ferrovia há grandes trechos em declive e sendo bastante longas as composições a seleção do local de instalação dos seccionadores é um problema importante).

3) Deve-se escolher a localização de modo que a carga de cada subestação (energia consumida) no sentido importação e no sentido exportação seja a mais equilibrada possível.

(2) Condições inerentes à ferrovia em questão.

Estudando-se com base nas condições inerentes ao trecho Belo Horizonte - Volta Redonda, conclui-se que é desejável instalar subestações nas localidades de Jeceaba, Itutinga e Volta Redonda.

1) Motivos que recomendam a instalação de subestação em Jaceaba.

- (a) O trecho entre Macacos e Jeceaba é em linha dupla, sendo daí para diante em linha singela (futuramente em linha dupla). Assim sendo do ponto de vista de - composição do circuito de alimentação é necessário instalar ali uma subestação.
 - (b) Serão instalados pátio e oficina para reparo de vagões e há necessidade de suprimento de energia aos mesmos.
 - (c) Jaceaba é local de cruzamento de linhas já existentes, sendo ponto estratégico.
- 2) Motivos que recomendam a instalação de subestações em Itutinga.
- (a) É um ponto de ramificação do trecho correspondente à primeira fase das obras que vai até Volta Redonda e do trecho correspondente à segunda fase das obras que vai até São Paulo.
 - (b) Serão instalados pátio, oficinas para reparo das locomotivas e vagões e há necessidade de suprir energia aos mesmos.
- 3) Motivos que recomendam a instalação de subestação em Volta Redonda.
- (a) Volta Redonda é uma das extremidades do trecho a ser eletrificado de imediato e nas presentes circunstâncias a subestação será para alimentação monofásica. Entretanto, em paralelo

com o plano da presente ferrovia está prevista a eletrificação CA do trecho entre Rio de Janeiro e São Paulo. Assim sendo, poderão servir de ponto de suprimento de energia para esta outra linha.

- (b) Volta Redonda pode ser facilmente alimentada através da rede da Light-Rio e por outro lado, afastando-se de Volta-Redonda, não há outra fonte de suprimento de energia.
- (c) Serão instalados pátio e oficina para reparo de vagões e há necessidade de suprir energia aos mesmos.

Com base nestas condições, estudando-se a localização das subestações objetivando a carga devida a demanda no horizonte 1987, chegou-se à conclusão de que é possível efetuar a alimentação do trecho Belo Horizonte-Volta Redonda por meio de cinco subestações.

A tabela 7.3.2 mostra a localização das subestações e das seccionadoras.

Tabela 7.3.2 Disposição e espaçamento das subestações e seccionadores (Alimentação AT)

SS ou SP	Localização	Espaçamento SS-SP	Espaçamento SS
		*1	*2
SS ₁	41,0 km	41,0	70,8
SP ₁₋₂	70,8	29,8	
		*3	74,6
SS ₂	117,0	31,6	
SP ₂₋₃	160,0	43,0	96,0
SS ₃	215,0	55,0	
SP ₃₋₄	256,0	41,0	95,0
SS ₄	298,0	42,0	
SP ₄₋₅	351,0	53,0	(52,0)
*4 SS ₅	403,0	52,0	

Observações

- *1 Na extremidade B.H. não há SP
- *2 Trecho alimentado pela SS₁
- *3 Adotado km 31,6 porque há frenagem em km 146.
- *4 Na fase inicial será feita alimentação monofásica. Com a eletrificação de linha Rio de Janeiro - São Paulo será feita a alimentação também daquela linha, adotando-se aí a ligação em T.

7-3-3. Entrada de potência.

A localização das subestações foi determinada baseado na hipótese da adoção da alimentação AT e nas seguintes condições:

- Satisfazer todas as condições inerentes à ferrovia em questão.
- do ponto de vista da entrada de potência localizar nos pontos mais favoráveis ao suprimento da quantidade de energia necessária e suficiente à operação da ferrovia.
- localizar em pontos tais que evitem a necessidade de construção de novas linhas de transmissão.

Como resultado foram escolhidos cinco pontos para instalação de subestações.

A Fig. 7-3-1. mostra a localização das subestações e o plano de entrada de potência.

A tabela 7-3-3 apresenta o resumo dos resultados dos estudos referentes ao planejamento da entrada de potência. Fica evidente que a subestação necessitando maior capacidade é a SS₂ situada no km 117, cuja capacidade de curto circuito deve ser de 840 MVA.

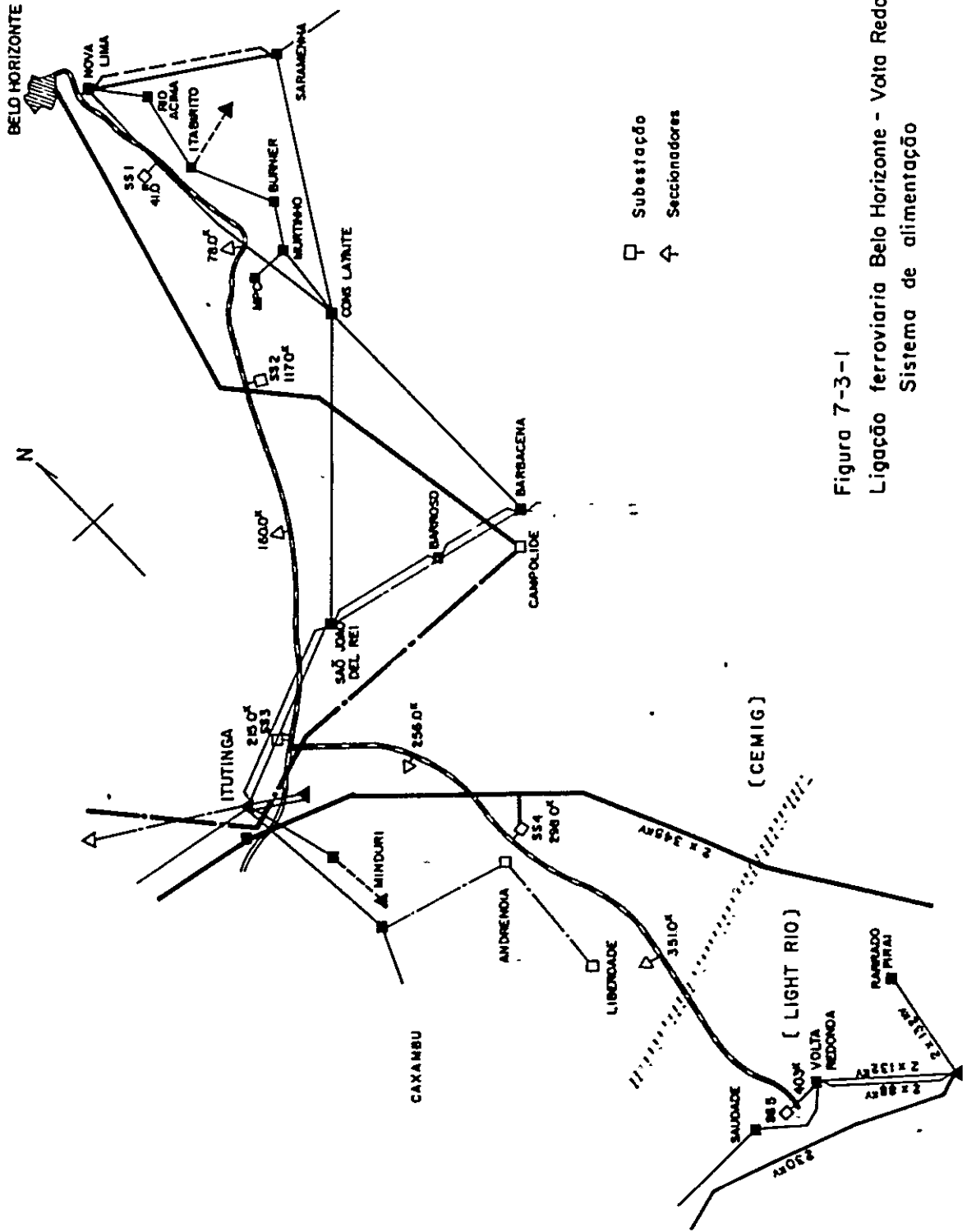


Figura 7-3-1
 Ligação ferroviária Belo Horizonte - Volta Redonda
 Sistema de alimentação

Tabela 7.3.3 Entrada de potência e capacidades trifásicas de curto-circuito requeridas nos pontos de entrada
(Para fazer frente às demandas de transporte segundo gráficos horários dos horizontes 1982 e 1987)

Subestações da ferrovia e esquema de entrada de potência	Localização [km]	Observações	*1) Comprimento da linha de transmissão a ser construída [km]	Capacidade trifásica de curto-circuito requerida no ponto de entrada das subestações				
				Capacidade calculada a partir da taxa de desequilíbrio de tensão [MVA]		Capacidade calculada a partir da queda de tensão [MVA]	Capacidade calculada a partir de ΔV (4%) [MVA]	Capacidade requerida de curto-circuito [MVA]
				k<3% (regime contínuo)	k<5% (surtos de curta duração)			
	Nova Lima SS ₁ 41,0	Ramificação da linha já existente Nova Lima - Lafaiete (138kV)	Aprox. 2~3	578	117	176	700	*2) 700 (580)
	B.H. SS ₂ 117,0	Ramificação da linha de transmissão de 345kV entre Belo Horizonte - Campolide	Aprox. 3~4	583	453	838	700	840 (840)
	São João Del Rei SS ₃ 215,0	Ramificação da linha de transmissão de 138kV entre Itutinga - São João Del Rei	Aprox. 5~6	511	200	310	700	700 (520)
	Itutinga SS ₄ 298,0	Ramificação da linha de transmissão de 345kV entre Itutinga - Adrianapolis	Aprox. 15	561	193	486	700	700 (570)
	Volta Redonda SS ₅ 403,0	Entradas de 132kV da subestação de Volta Redonda	Aprox. 8~10	475	380	341	470	480 (480)

*1) Como não se tem em mãos o mapa detalhado das linhas de transmissão, foi inferido a partir da Fig. 7.3.1

*2) Os números entre parenteses são as capacidades obtidas pelos cálculos baseados em exigências além daquela que determina $\Delta V < 4\%$, servindo apenas como dado de referência.

Foi informado à Missão que considera-se uma capacidade de curto da ordem de 600 MVA no ponto de entrada de potência. Entretanto, em casos como o SS₂, onde a alimentação é feita de uma rede de 345 kV, pensa-se que é possível assegurar capacidade superior a 840 MVA. Caso a entrada seja feita de rede de 345 kV, não havendo planos de reforço da rede das proximidades além daquela referente à eletrificação agora considerada, pode-se obter a partir de 345 kV a tensão de 55 kV por meio de abaixamento por um estágio de transformação. (Em casos utilizados no Japão tem-se feito o abaixamento em um estágio a partir de tensões extra altas de 275 kV e 220 kV).

Em outras subestações, a limitação de ΔV 4% adotada como medida contra cintilação (flickering) da fonte tornou-se uma condição bastante severa, resultando em exigência de 700 MVA de capacidade.

Para limitar o valor de ΔV há apenas duas medidas a tomar:

- aumentar a capacidade de fonte, ou
- reduzir a corrente de partida das locomotivas (ou seja reduzir a tonelagem tracionada).

Deve-se levar em conta que mesmo reduzindo o distanciamento entre subestações, sendo ainda a carga de uma subestação de apenas uma composição, o valor de ΔV será o mesmo que no caso de distanciamento maior.

Para efeitos de manutenção da qualidade do sistema de potência, o ΔV ocupa posição importante ao lado do desequilíbrio, sendo necessário harmonização entre eles ao se fazer o planejamento da entrada de potência.

Em relação ao SS₅, foi adotada a capacidade de 480 MVA, aparentemente menor que os demais. Entretanto isto se deve ao fato de que aqui se exige somente a corrente de partida para composições vazias (Foi suposto que a corrente-limite da locomotiva é reduzida para 2/3 da situação de composição carregada. Assim a corrente máxima de partida também será 2/3 da situação de composição carregada). Por outro lado, caso sejam introduzidas locomotivas com as mesmas características quando da eletrificação do trecho Rio de Janeiro-São Paulo, naturalmente haverá necessidade de se prever capacidade de 700 MVA.

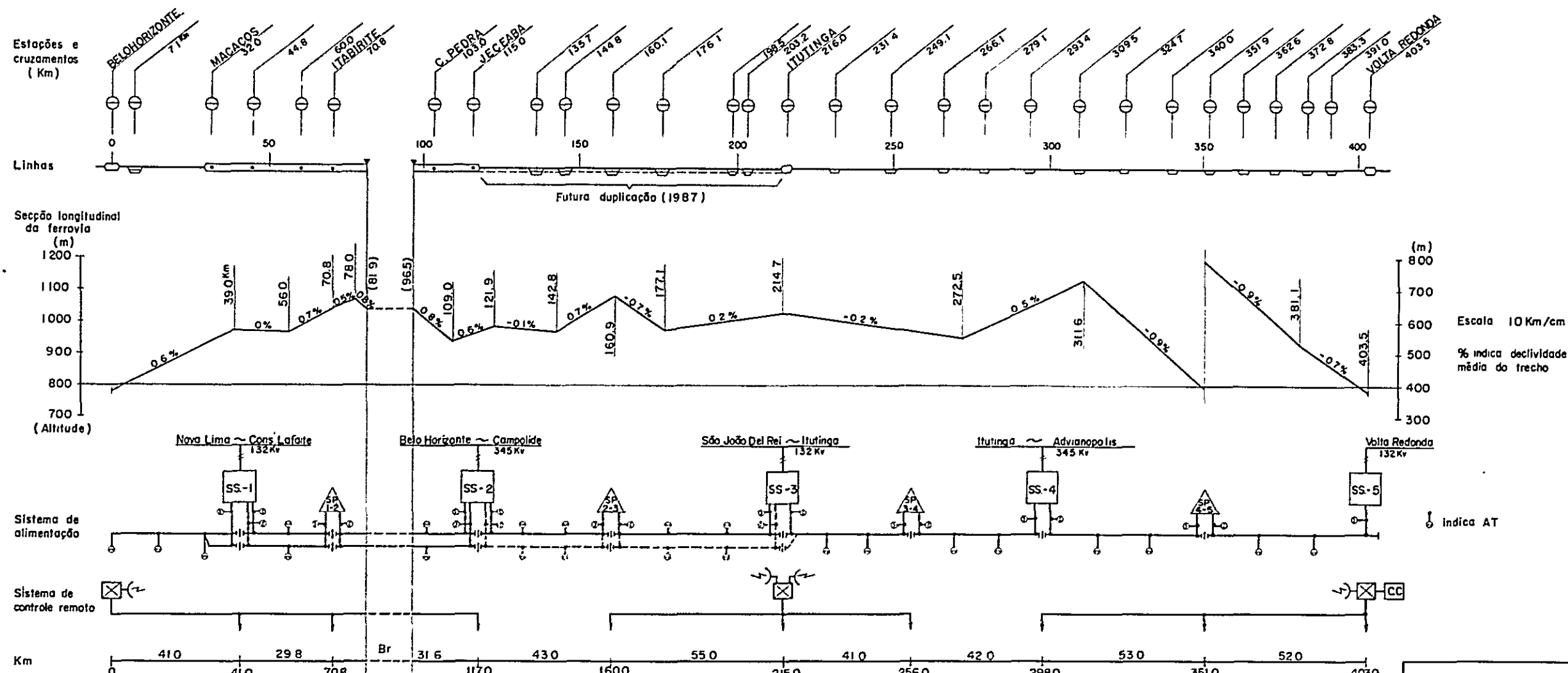
Ao se efetuar a eletrificação o ponto mais importante a considerar é assegurar uma fonte com a capacidade requerida. É necessário escolher um sistema de eletrificação com alta confiabilidade global, e que resulte em economicidade, incluindo os custos de reforço da fonte.

7-3-4. Composição do sistema de alimentação

- (1) Alimentação AT em 60 Hz, 50/25 kV, com faixa de tensão de alimentação igual ao citado no Plano Original (vide 7-1-1).
- (2) Nos trechos compreendidos entre subestações instalam-se seccionadores. Os seccionadores servirão de fronteira dos trechos alimentados por cada subestação.
- (3) Os transformadores de alimentação das subestações terão ligação para conversão bifásica/trifásica para efeitos de redução do desequilíbrio de tensão. A alimentação para cada um dos lados da subestação serão efetuados através de fases diferentes.

- (4) Em trechos com linha dupla, as r edes a ereas das duas linhas s ao conectadas nos seccionadores para evitar a queda de tens ao.
- (5) Nos pontos limit iferos de fases diferentes de uma fonte das r edes a ereas instalam-se secc oes neutras (dead section) e as composi oes passam por elas em situa ao de "notch-off".

Os resultados dos estudos acima s ao resumidos na Fig. 7-3-2. Para facilitar o entendimento do plano em geral foram tamb em adicionados nesta figura outros itens correlatos.



Corrente de equilíbrio (por composição)	Carregado	Vagão Número		Km												Obs.								
		9000t (100t x 90)	221t (22t x 90)	0	410	708	1170 (1024)	1600	2150	2560	2980	3510	4030	640										
Horizonte 1987	Energia consumida KWH/dia (tração 9000t)	Exportação	138.543	189.509		113.286	240.617			148.435	86.096		165.794	65.848		13.851	0	Total KWH/dia						
		Importação	12.921	21.896		73.166	34.326			95.209	51.998		16.497	101.430		116.885	465							
		Total	151.464	211.405		186.452	274.943			243.644	138.094		183.291	167.278		130.736	465		1.687.772					
Queda máxima de tensão	Km	0	410	545	70 (72)	(95)	(1024)	1170	121	156	175	215	219.5	249.1	258	273	298	298.5	314	340	362	387	403	Setas indicam sentido de tráfego dos trens, S indica partida do trem
	Localização de carga																							
	Corrente de carga A	640		140	440	640	410	410	440	430		140	430	140	370	370	220	430	220	430	430	200		
	Queda de tensão V	4460		2538	3823					3196	2924		2600	2525				3700	3541					

Obs.) A energia consumida não inclui parcela devida à corrente de partida.

Figura 7-3-2 Plano de eletrificação

Os ítns apresentados são os seguintes:

- (1) Na figura da projeção longitudinal de ferrovia as rampas médias foram calculadas com base nos desenhos detalhados pelos engenheiros brasileiros. Nestes desenhos não ficam bem clara a parte que se refere à correção de distância que resulta em km 81,9 /km 96,5 e por este motivo foi adotada a hipótese de $-8^0/00$ para o trecho km 78,0 - km 109,0.

No ítem referente ao estudo da queda de tensão que será apresentado posteriormente, na parte referente ao estudo da queda de tensão foi adotado o valor acima referido de rampa média, e por outro lado, no estudo do consumo de energia foi usado o valor diretamente calculado dos desenhos detalhados.

- (2) São apresentados o esquema e a localização dos AT do sistema de alimentação.

Os AT intermediários, não pertencentes nem às subestações nem aos seccionadores podem ser instalados em pequenos espaços ao longo da ferrovia e portanto não foram tomadas em conta fatores como declive da rampa para sua localização, tendo sua distribuição sido igualmente espaçada. O espaçamento médio entre os AT foi de 15,5 km.

- (3) Está apresentada a composição básica do sistema de controle remoto das subestações, seccionadores, etc.

O controle central será em Volta Redonda, sendo composto por 3 blocos.

- (4) A corrente de equilíbrio apresentada refere-se à rampa média.

- (5) A queda da tensão e o consumo de potência são discutidos em 7-3-6 e 7-3-7 abaixo.

7-3-5. Queda de tensão.

Foram efetuados estudos de queda de tensão aos períodos de 1982 e 1987.

A queda máxima de tensão foi calculada a partir da condição de maior queda de tensão nas extremidades de alimentação, condição esta obtida do gráfico horário de trens. O valor da declividade da rampa adotado para o ponto onde está localizado o trem foi a declividade média indicada na fig. 7-3-2. O valor da corrente elétrica adotado foi a corrente de equilíbrio para aquela declividade.

Ao se fazer o estudo da tensão mínima do circuito de alimentação este trabalho é grandemente facilitado caso se tenha em mãos as constantes do sistema elétrico da fonte. No presente caso uma parte destas constantes não estão perfeitamente claras.

É então necessário primeiramente calcular em separado a parcela de queda de tensão que cabe ao circuito de alimentação e a ele acrescentar a parcela de queda de tensão que cabe aos transformadores de alimentação. Além disso calculou-se a queda de tensão admissível no lado da fonte e daí foi efetuado o cálculo de quantos MVA representa este valor em termos de capacidade trifásica de curto-circuito. O valor da queda máxima de tensão indicada na fig. 7-3-2. é somente a parcela correspondente ao circuito de alimentação.

Em trechos de linha dupla, fazendo-se a ligação entre as duas linhas, a impedido circuito de alimentação cairá para cerca da metade, tornando-se bastante

vantajoso em relação à queda de tensão, sendo que na realidade são ligados. Entretanto, tomando em consideração a operação em linha singela, no presente cálculo indica-se o valor de quando não há ligação das duas linhas. A redução da queda de tensão quando ligadas as linhas foi considerada como margem de folga.

7-3-6. Cálculo da Carga

(1) Consumo de energia (consumo diário)

A partir dos desenhos detalhados e das características dos trens foram obtidas as taxas de consumo expressas em [kWH/k ton - km] para cada trecho com determinada declividade. A seguir, utilizando o número de composições trafegando por cada trecho e a tonelage tracionada foi calculado o consumo diário de energia cujo resultado está indicado na tabela 7-3-4.

A taxa média de consumo no sentido exportação (trens carregador) foi calculada em 13,0 [kWH/kton - km] , no sentido (trens vazios) 26,35 [kWH/kton - km] . O consumo de energia foi calculado em:

horizonte 1982 970 x 10³kWH (diário)
320 x 10⁶kWH (anual).

horizonte 1987 1688 x 10³kWH (diário)
557 x 10⁶kWH (anual).

Tabela 7.3.4 Consumo de energia (diário)

		1987	
SS ₁	Para Belo Horizonte	MWH 151,5	362,9
	Para Volta Redonda	211,4	
SS ₂	Para Belo Horizonte	186,5	461,4
	Para Volta Redonda	274,9	
SS ₃	Para Belo Horizonte	243,6	381,7
	Para Volta Redonda	138,1	
SS ₄	Para Belo Horizonte	183,3	350,6
	Para Volta Redonda	167,3	
SS ₅	Para Belo Horizonte	131,2	131,2
Total		1687,8	

(2) Potência máxima requerida no período de uma hora.

A metodologia de cálculo é a mesma usada acima. O número de trens trafegando pelo trecho em questão em horário de maior densidade de tráfego é introduzido no cálculo e daí obtém-se a potência máxima requerida no período de uma hora. Os resultados dos cálculos são indicados na tabela 7-3-5.

Os números contidos nesta tabela são usados para o estudo da capacidade dos transformadores de alimentação das subestações e para o estudo do desequilíbrio de tensões.

Tabela 7.3.5 Consumo de energia (máximo no período de uma hora)

		1 9 8 7	
		Energia máxima no período de uma hora	Diferença das potências aparentes dos bancos A e B
SS ₁	Para Belo Horizonte	MWH	MVAH
		Para Volta Redonda	15,5
		16,0	
SS ₂	Para Belo Horizonte	8,8	12,4
		Para Volta Redonda	
SS ₃	Para Belo Horizonte	13,8	6,0
		Para Volta Redonda	
SS ₄	Para Belo Horizonte	13,5	0,8
		Para Volta Redonda	
SS ₅	Para Belo Horizonte	9,1	11,4

Obs.: Fator de potência 0.8

7-3-7. Capacidade dos Transformadores de alimentação e capacidade requerida da fonte

A tabela 7-3-6. indica a capacidade dos transformadores e a capacidade de curto-circuito da fonte correspondente às cargas previstas para horizonte 1987.

Tabela 7.3.6 Horizonte 1987 (tração 9000t) Capacidade de entrada de potência das subestações e capacidades dos transformadores

SS, SP e portos km	Trecho alimentado (km)	Estudo da capacidade dos transformadores				Cálculo das quedas de tensões nas várias partes					Estudo da capacidade de fonte requerida					
		Corrente instantânea máxima (A)	Potência aparente instantânea máxima (KVA)	Energia aparente máxima no período de uma hora (KVAH)	Capacidade do transformador (impedância) (MVA)	Total corrente de carga (A)	Transformador		Queda no circuito de alimentação (V)	Queda admissível na fonte (V)	Capacidade a partir da queda de tensão (MVA)	Capacidade a partir de ΔV (4%) (MVA)	Capacidade a partir da taxa de desequilíbrio (k)		Capacidade requerida (MVA)	
							Taxa de queda (V/A)	Queda de tensão (V)					k=5% surtos de curta duração (MVA)	k=3% regime contínuo (MVA)		
		<1>	<2>	<3>	<4>	<5>	<6>	<7>	<8>	<9>	<10>	<11>	<12>	<13>	<14>	
41 km SS1	41	1.050	28.875	19.400	20 x 2 (11)	640	0,50	320	4.460	3.720	156	700	578	20	700	
	29,8 x 2	750	20.620	20.000		580	0,50	290	2.538	5.672	93		412			
70,8 SP1-2	BrM	31,6 x 2	1.060	29.150	11.000	20 x 2 (15)	1.050	0,68	714	3.823	3.963	240	700	583	413	700
117 SS2	43	975	26.810	23.400	850		0,68	578	3.196	4.726	163	536				
160 SP2-3	55	930	25.570	17.200	15 x 2 (11)	430	0,67	288	2.924	5.288	74	700	511	200	700	
215 SS3	41	570	15.670	11.200		570	0,67	382	2.600	5.518	94		313			
256 SP3-4	42	740	20.350	16.800	15 x 2 (15)	510	0,91	464	2.525	5.511	84	700	407	27	700	
298 SS4	53	1.020	28.050	16.000		1.020	0,91	928	3.700	3.872	239		561			
351 SP4-5	52	850	23.750	11.400	15 x 1 (11)	630	0,67	422	3.541	4.537	126	470	475	380	500	
403 SS5																

Os itens contidos são os seguintes:

<1> Corrente instantânea máxima I_m [A] :

Foi calculado com base no gráfico horário de trens e a corrente característica das locomotivas. Indica a corrente máxima dentro do trecho alimentado.

<2> Potência aparente instantânea máxima P_m [kVA] :

$$P_m = I_m \times 27,5 \text{ kV}$$

<3> Potência aparente máxima no período de uma hora P_h [kVAh] :

Calculada a partir da potência máxima no período de uma hora da tabela 7-3-5., tomando o fator de potência como 0.8.

<4> Capacidade do transformador P_T [kVA] :

Para os períodos de 1982 e 1987 foi considerado de modo a corresponder a cerca de 100% a 120% da carga máxima em uma hora e cerca de 200% da carga instantânea máxima.

Para a capacidade do ano de 1987 cada banco foi considerado como unidade de 5MVA.

As reatâncias dos transformadores foram considerados com base nas capacidades dos transformadores:

para 132 kV	11%
para 345 kV	15%

<5> Total da corrente de carga I_L [A] :

Valor da corrente quando ocorre a máxima queda de tensão no circuito de alimentação, calculado a partir do gráfico horário de trens.

<6> Taxa de queda de tens e dos transformadores

e_T [V/A] :

Toma-se a reatância do transformador como X_T [%] e faz-se a compensação de 80% por meio de capacitor série.

$$e_T = \frac{10 \cdot X_T \cdot E^2 \sin \theta \cdot (1-0,8)}{P_T} = \frac{907 \cdot X_T}{P_T}$$

<7> Queda de tensão nos transformadores V_T [V] :

$$V_T = I^A \times e^{V/A}$$

<8> Queda de tensão no circuito de alimentação V_L [V] :

Calculado a partir das condições de carga do trem indicador na fig. 7-3-2..

$$V_L = \Sigma i \cdot z \cdot l$$

<9> Queda de tensão admissível no lado da fonte V_P [V] :

Considera-se a queda de tensão admissível total como 8500 [V] e faz-se:

$$V_P = 8500 - (V_T + V_L).$$

<10> Capacidade de fonte requerida, analisada a partir da queda de tensão P_V [MVA] :

Considerando a reatância do lado da fonte como X_o % (conversão para 10 MVA), a queda de tensão da fonte calculada com base na tensão do circuito de alimentação será:

$$V_P = \frac{2 \cdot 10 \cdot X_o \cdot E^2 \cdot \sin \theta}{10.000} \times I_L = \frac{X_o}{10.000} \times 9075 I_L$$

assim tem-se:

$$P_V = \frac{10 \text{ MVA}}{X_o} \times 100 = \frac{907,5}{V_P} \times I$$

Serão adotados aqui:

para I_L o valor de <5>

para V_P o valor de <9> .

<11> Capacidade analisada com base em ΔV

$P_{\Delta V}$ [MVA] :

Considerando a taxa de variação da tensão de fonte (ΔV) causada pela variação da carga como 4%,

quando ocorre a máxima variação de corrente devido a uma composição no banco B, que exerce a maior influência na taxa de variação, a capacidade da fonte será:

$$P_{\Delta V} = \frac{\sqrt{3} \cdot V \cdot I \cdot \sin(\theta + \frac{\pi}{6})}{\Delta V} = 1095 \cdot I \text{ [kVA]}$$

onde: $\theta = \cos^{-1} 0,8$
 $V = 0,04$

Assim, tomando $I = 640$ [A], teremos:

$$P_{\Delta V} = 700 \text{ MVA.}$$

<12> Capacidade analisada com base na taxa de desequilíbrio de tensão k (caso de k = 5%) P_{u1} [MVA] :

Considerando o desequilíbrio como sendo de curta duração, no caso em que a carga de um banco é a potência aparente instantânea máxima, teremos:

$$P_{u1} = \frac{P_m}{k} \times 100 = 20 P_m \text{ [kVA]}$$

Usa-se o valor de P_m dado em <2>.

<13> Idem (caso de k = 3%) P_{u2} MVA :

Considera-se como desequilíbrio de carga contínua e a diferença entre as potências máximas em cada banco no período de uma hora.

$$P_{u2} = \frac{100}{3} \times (P_{hA} - P_{hB}).$$

Toma-se para P_h o valor indicado em <3>.

<14> Capacidade requerida.

Toma-se o valor máximo dentre aqueles obtidos em <10> ,<11> ,<12> e <13> .

Das considerações acima apresentadas foram obtidos os seguintes resultados:

- para SS_1, SS_2 20 MVA x 2
- para SS_3, SS_4 e SS_5 15 MVA x 2

(a indicação x2 mostrada acima significa os bancos A e B do transformador com ligação SCOTT. Na realidade são dois bancos porque existem ainda os transformadores de reserva e em relação a SS, a capacidade instalada será $(20 \text{ MVA} \times 2) \times 2$
Em relação à capacidade de fonte requerida, já foram feitas considerações em 7-3-3.

7-3-8 Capacidade do auto-transformador

- (a) não haver ocorrência de sobrecarga sob corrente de carga normal.
- (b) a capacidade nominal do AT deve ser determinada de modo que esta capacidade seja maior que $1/3$ da sobrecarga de curta duração.
- (c) a capacidade nominal do AT deve ser determinada de modo que a corrente nominal do AT seja maior que $1/25$ da corrente de curto-circuito.

Consideram-se:

- a sobrecarga de curta duração como sendo a corrente de partida nas proximidades imediatas do AT.
 $640 \times 27,5/3 = 5867 \text{ kVA}$ (capacidade da linha)
- a sobrecarga geral como sendo a corrente de equilíbrio para declividade de $0,7\%$
- a taxa de sobrecarga como 200% , tem-se:
 $440 \times 27,5/2 = 6050 \text{ kVA}$ (capacidade da linha).

Portanto basta uma capacidade de 3000 kVA (capacidade de linha 6000 kVA) para o AT.

Por outro lado, considerando a capacidade trifásica de curto-circuito da fonte como 700 MVA , a impedância percentual do transformador de alimentação como 11% , a reatância de fuga do AT como $0,45\Omega$, calculando a corrente de curto-circuito baseado nestes dados obtém-se o valor de aproximadamente 4060 A .

Portanto a taxa de sobrecorrente para um AT com capacidade própria de 3000 kVA é menor que 20, estando satisfeita a exigência apresentada anteriormente.

7-3-9 Composição das subestações

(1) Generalidades

1- As 5 subestações e os 4 seccionadores terão controle remoto centralizado em Volta Redonda, sendo sua operação completamente automatizada.

2- Os sistemas de entrada de potência e os transformadores nas subestações serão todos duplicados, de modo que assegurem a operação tanto em casos de manutenção como em caso de falhas acidentais de um deles.

Deverá ser possível a extensão da alimentação, de modo que mesmo havendo parada de uma subestação por queda da fonte, seja possível assegurar a operação de um número mínimo indispensável de trens.

3- O padrão de proteção das subestações será o mesmo apresentado na "Resposta ao Questionário" anexado ao Relatório Preliminar.

(2) Composição dos equipamentos

1- Sistema de entrada de potência e transformadores
O equipamento de entrada de potência e os transformadores são combinados em uma unidade, sendo instalados um conjunto para uso normal e outro conjunto como unidade de reserva.

Para tensões até 132 kV serão usados transformadores em ligação SCOTT e para tensões de 345 kV serão usados transformadores em ligação Woodbridge modificado.

O uso da ligação Woodbridge modificada tem como

objetivo o aterramento direto do ponto neutro. No Japão tal ligação tem apresentado bons resultados em usos rotineiros.

- 2- A operação dos disjuntores e seccionadores serão feitas pneumáticamente.
- 3- Para cada setor de alimentação será usado um disjuntor e em casos de linhas duplas serão usados seccionadores de carga (chaves a vácuo) para cada linha.
- 4- Para o controle dos equipamentos das subestações será usada a energia CA obtida através de um abaixador ligado ao sistema de alimentação; efetuando a carga flutuante das baterias por meio de fonte CC será possível efetuar a proteção e controle.

(3) Sobrecarga suportável pelos transformadores

Ocorrem grandes variações de carga nos transformadores de alimentação e nos auto-transformadores e suas condições de operação são bem mais severas que a dos transformadores normais.

Em relação a estes transformadores exigem-se portanto características especiais. Em relação a eles além das exigências relativas à operação em regime contínuo, há as exigências relativas a variações de curta duração

operação contínua	100%
2 horas	120%
2 minutos	300%
instantâneo	2500%

(4) Fiação

Os diagramas de fiação são mostrados nas seguintes figuras:

Fig. 7-3-3. Subestação entrada de potência em 132 kv.

Fig. 7-3-4. Subestação entrada de potência em 345 kv.

Fig. 7-3-5. Seccionadores de alimentação.

(5) Esquema de distribuição de equipamentos

Os esquemas de disposição dos equipamentos são mostrados nas figuras a seguir

Fig. 7-3-6. Subestação entrada de potência em 132 kv

Fig. 7-3-7. Subestação entrada de potência em 345 kv

Fig. 7-3-8. Seccionadores de alimentação.

Fig. 7-3-9. Postos de transformação (incluindo diagrama de fiação).

Figura 7-3-3 Diagrama de fração dos transformadores
(Sistema de unidades de AT)

3Ø 132 KV. 60 HZ.

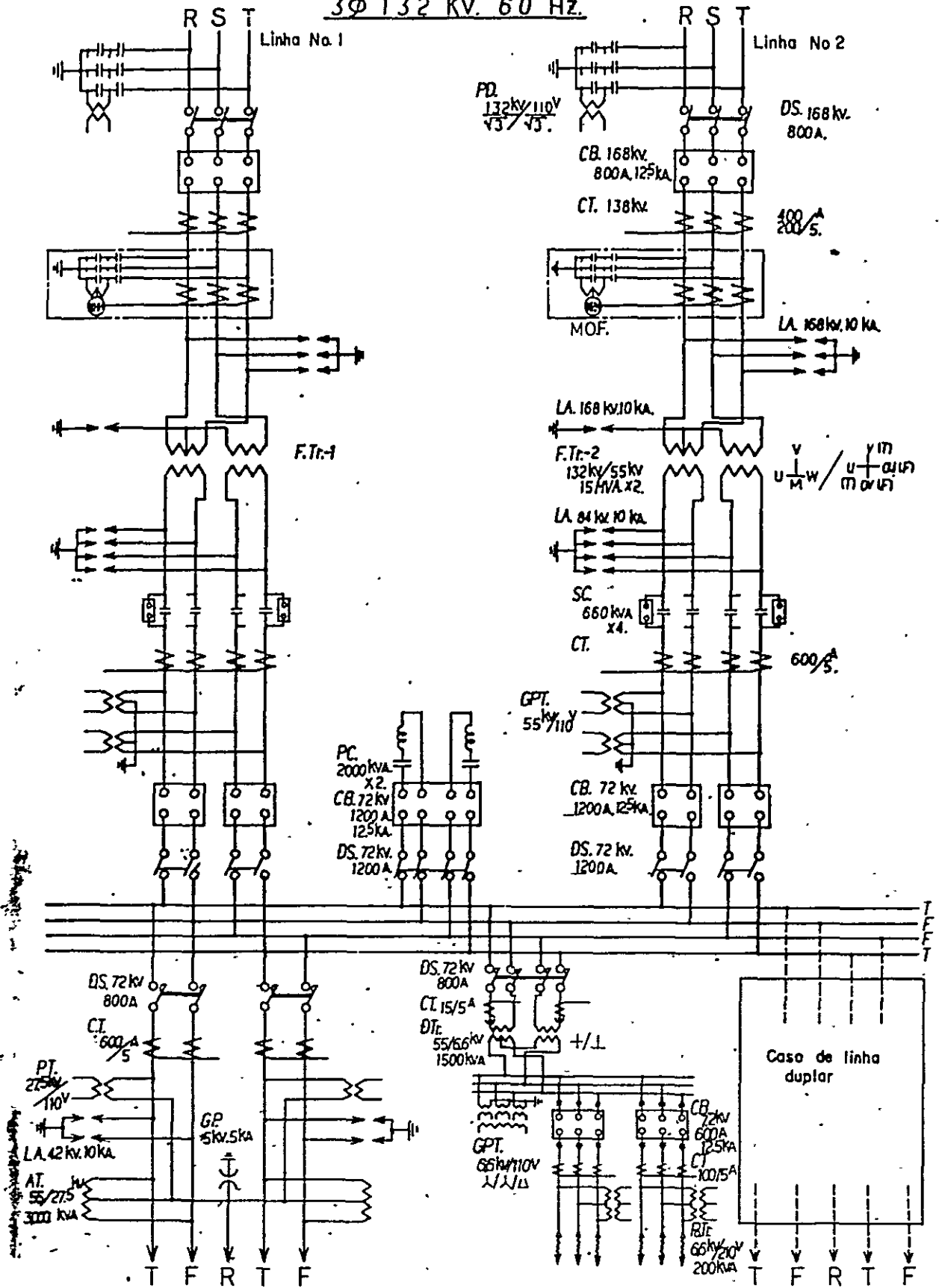
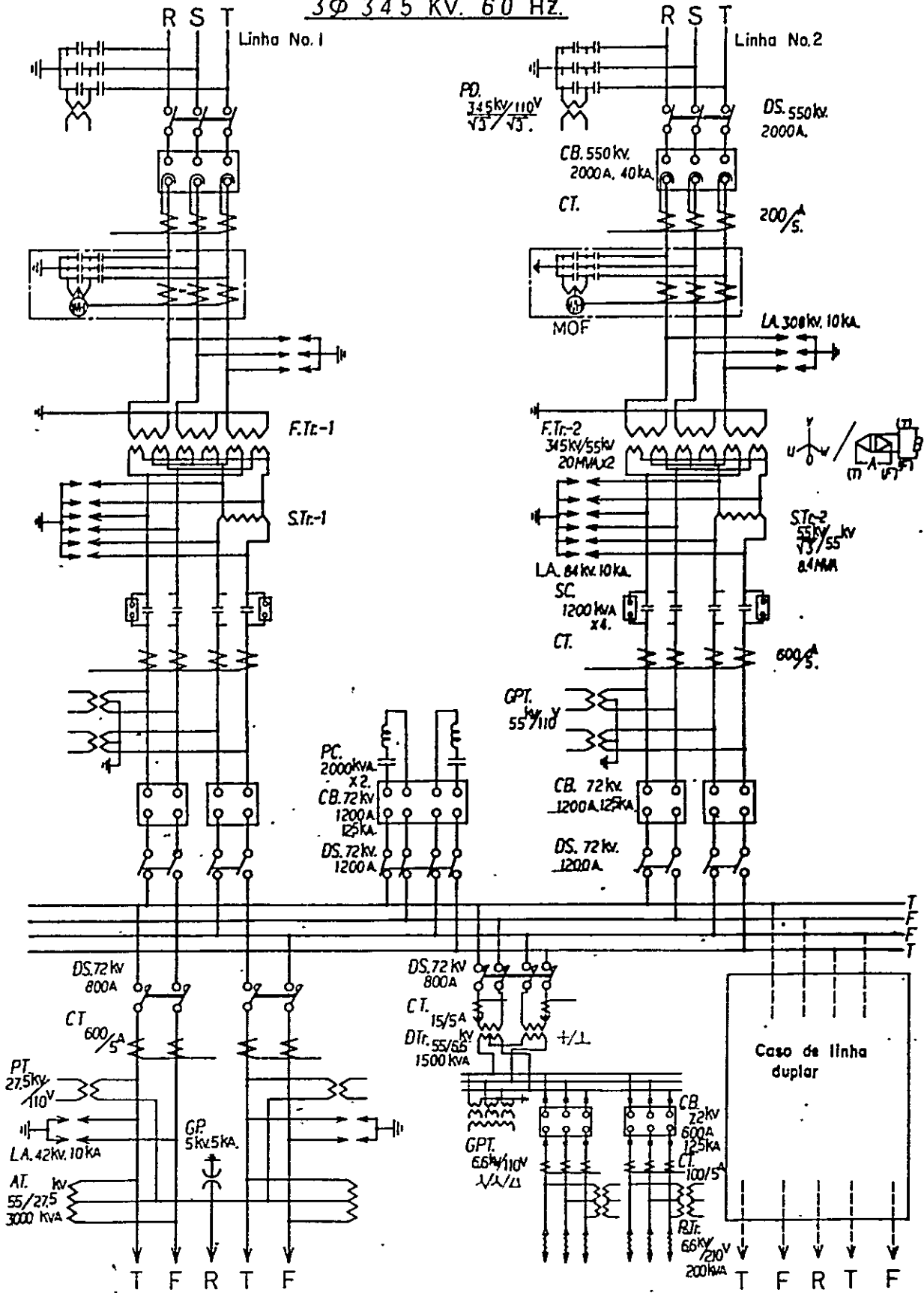


Figura 7-3-4 Diagrama de fração dos transformadores
(Sistema de unidades de AT)

3Ø 345 KV. 60 Hz.



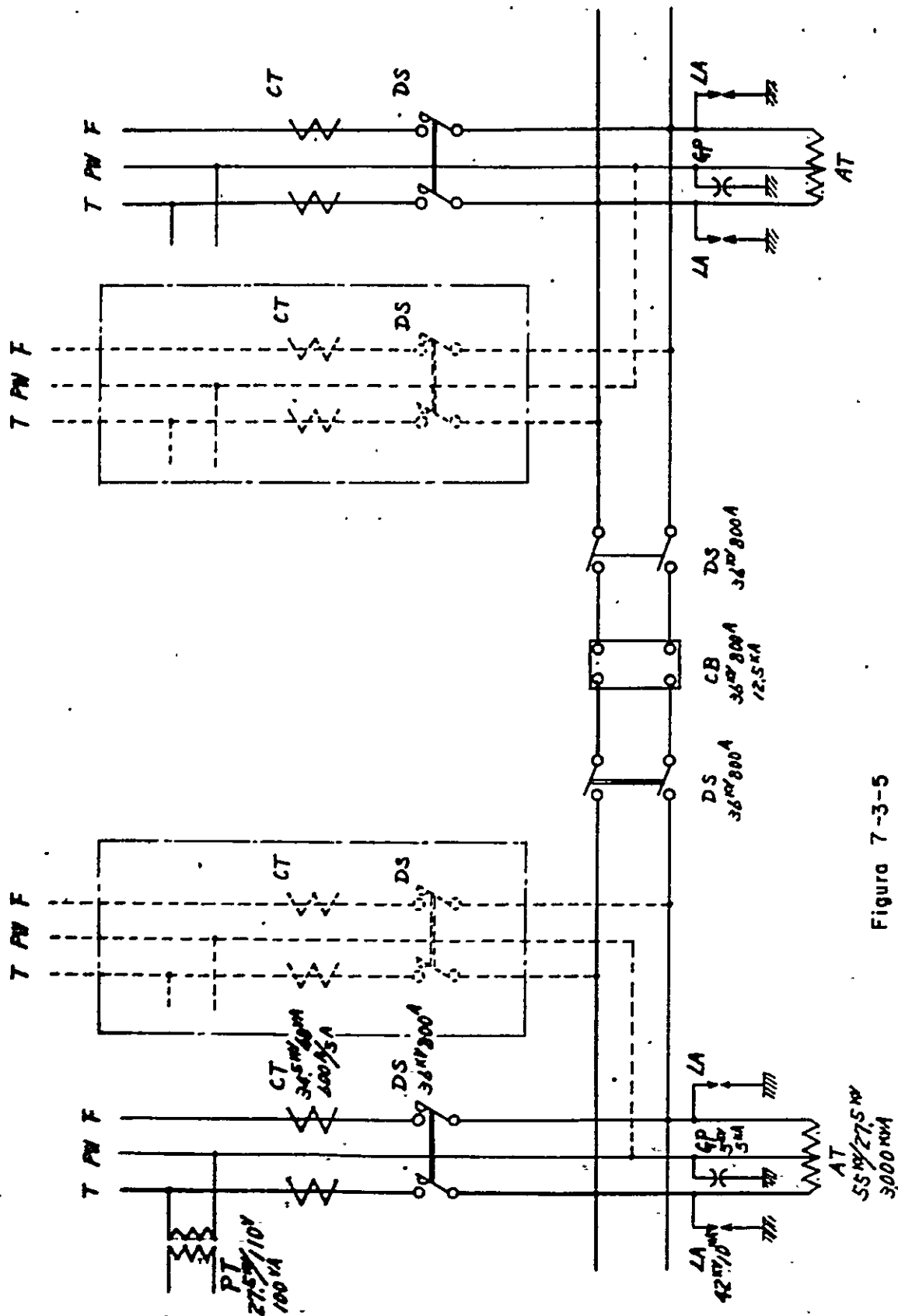


Figura 7-3-5
Diagrama de fiação dos seccionadores (Sistema AT)

Figura 7-3-6
Disposição dos equipamentos das subestações
(132 KV, 60Hz)

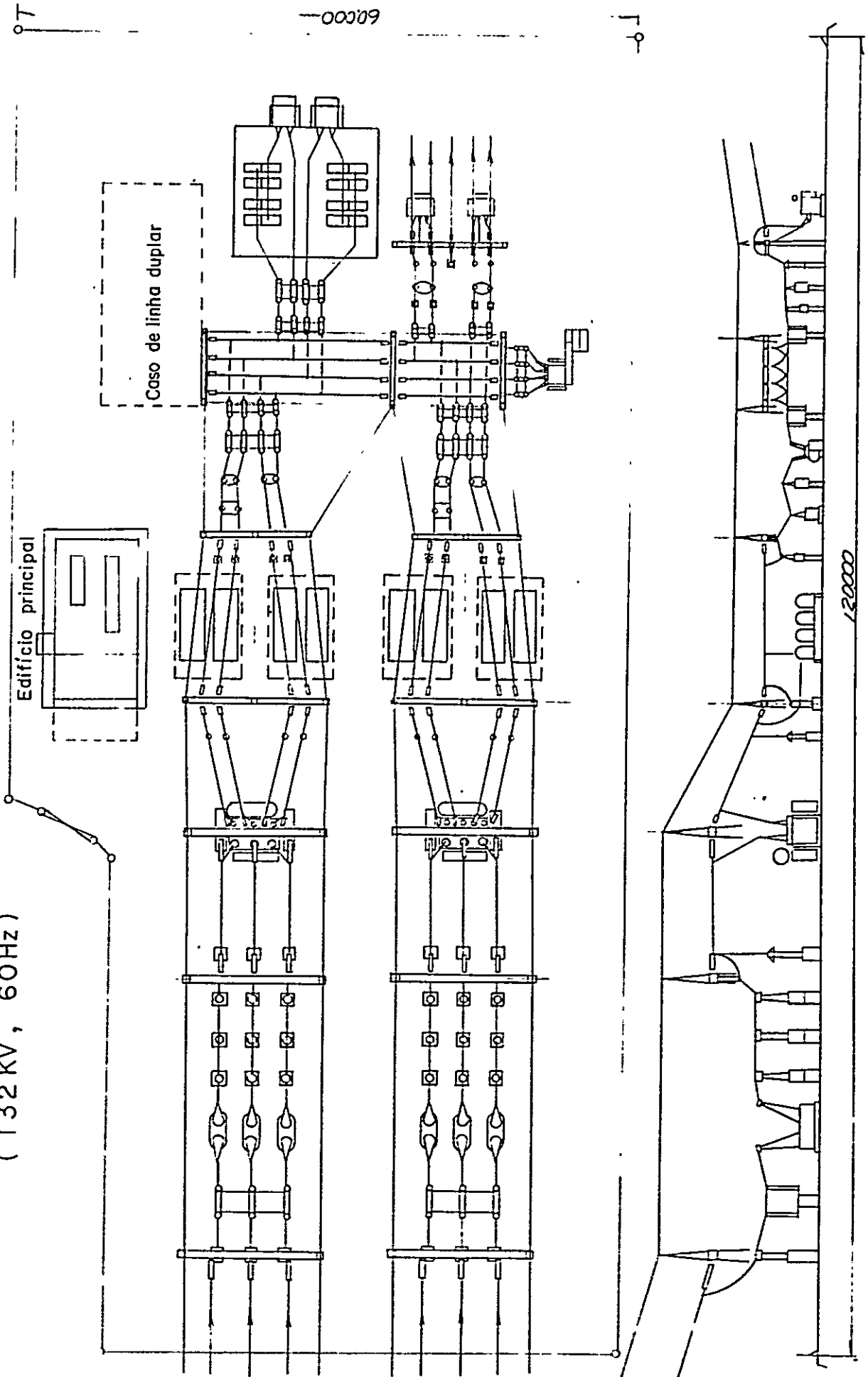


Figura 7-3-7

Disposição dos equipamentos das subestações
(345 KV , 60Hz)

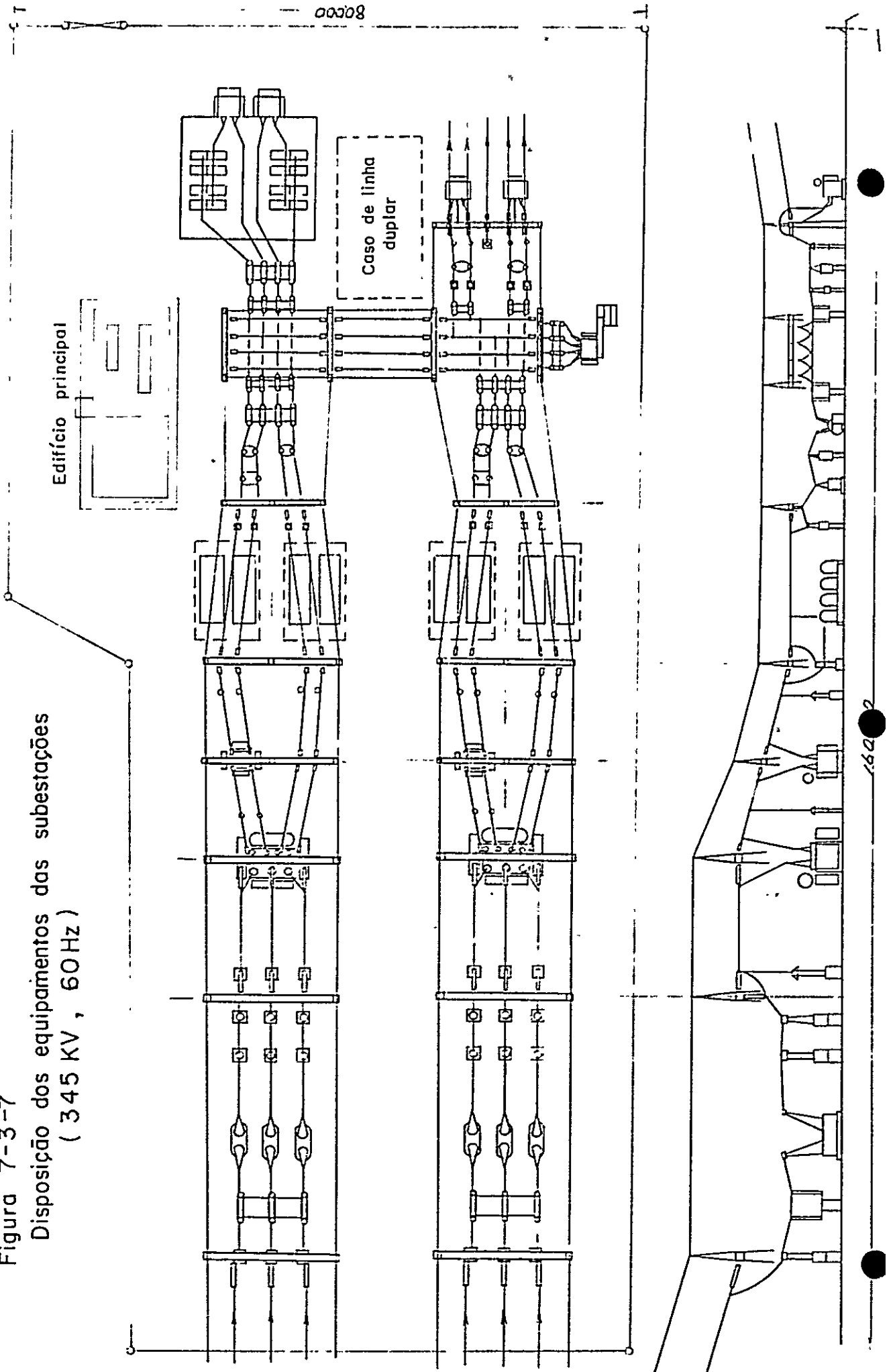
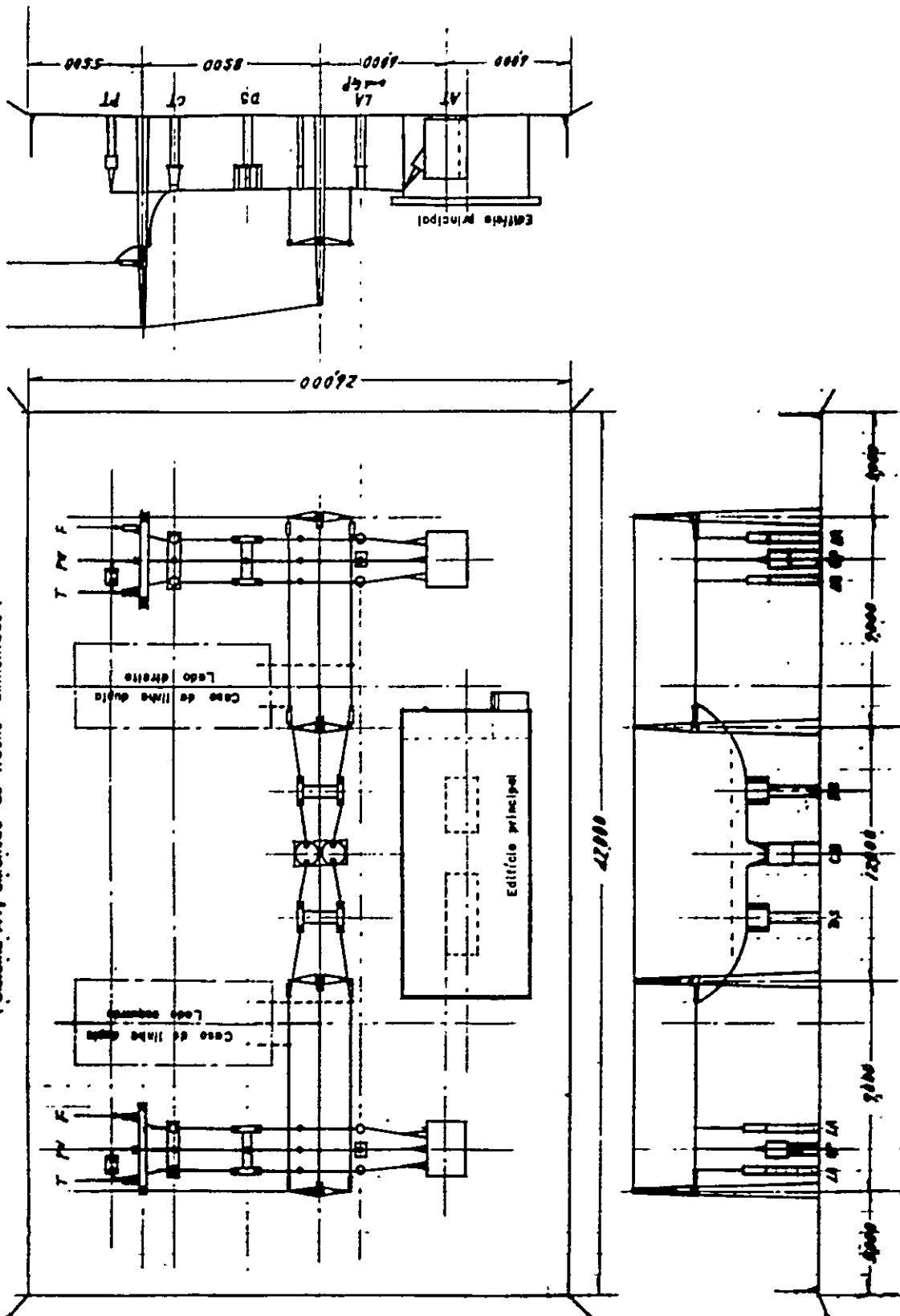


Figura. 7-3-8
 Disposição dos equipamentos em seccionadoras
 (Sistema AT, estremo de trecho alimentado)



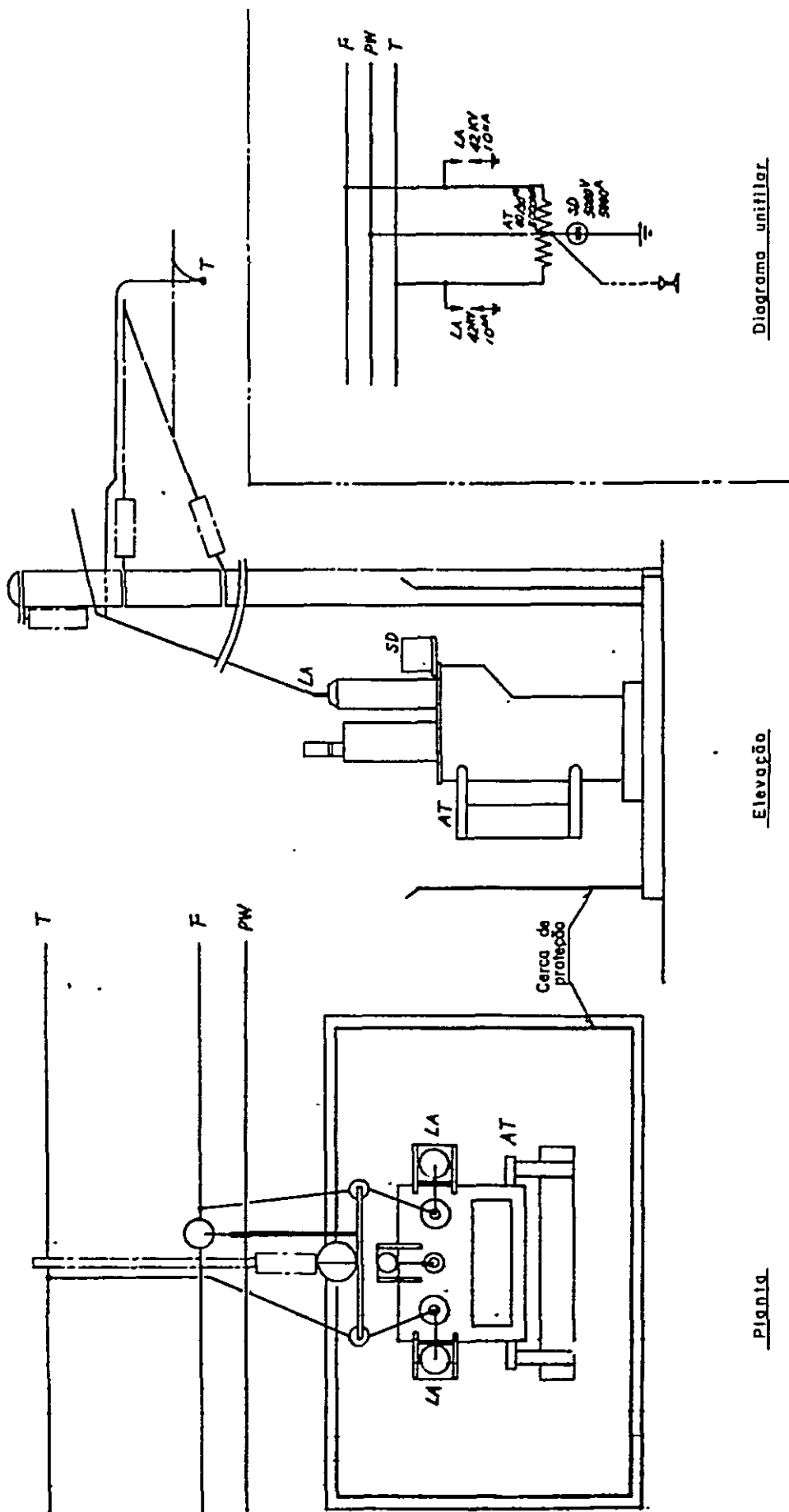


Figura. 7 - 3 - 9
 Diagrama de fiação e disposição de equipamentos
 em postos de transformação

7-4 Planjamento da rēde aērea

7-4-1 Premissas

Sāo adotados as seguintes premissas em relaēāo ā rēde aērea:

- (1) A tonelagem de traēāo de cada composiēāo serā de 9000 ton.
- (2) A velocidade māxima das composiēōes serā de 60km/h mas deverā estar em condiēōes de dar conta de aumento de velocidade no futuro.
- (3) Temperatura e velocidade do vento.

- 1) O cālculo das estruturas e da forēa de tensionamento dos cabos ē calculada para as seguintes condiēōes:

Temperatura

mīnima	0°C
māxima	50°C
padrāo	20°C

Velocidade do vento

māxima	110km/h
--------	---------

Obs.) A velocidade do vento e a temperatura baseiam-se em dados da ABNT para a regiāo considerada.

- 2) Para o cālculo do desvio da rēde aērea foi adotado o valor de 30m/s para a velocidade do vento.
- (4) A rēde aērea deve levar em conta a economicidade e ser livre de manutenēāo (maintenance free).
- (5) A rēde aērea deve ser de fācil reparo, sem necessidade de māo de obra altamente especializada para sua manutenēāo.

- (6) A rēde aérea deve ter características que facilitem a introdução de métodos científicos de manutenção e contrōle.
- (7) A rēde aérea deve ser de alta confiabilidade, tal como um sistema no qual esteja introduzido o conceito de confiabilidade.

7-4-2 Tipo de catenária

O tipo de catenária deve ser determinado considerando-o como um sistema mecânico incluindo a catenária e o pantógrafo, levando em conta fatores como o empuxo da catenária, vibração, "descolamento", etc.

- (1) Condições que devem satisfazer a rēde aérea.
 - 1) Nivelamento: A altura do cabo de contacto em relação ao trilho deve ser constante. As diferenças de altura entre os pontos de apoio e pontos intermediários, a variação de força tensora devido à temperatura e a variação de altura devido ao grāu de tensionamento devem ser mínimas.
 - 2) Força tensora uniforme: A força tensora agindo sobre a rēde aérea deve ser uniforme. A variação na força tensora devido à temperatura deve ser mínima.
 - 3) Desgaste uniforme: O desgaste da rēde aérea deve ser uniforme. Ao mesmo tempo que os pesos das várias partes da rēde aérea deve ser uniforme, o empuxo da rēde aérea que age contra a pressão do pantógrafo deve ser uniforme e seu valor deve ser mínimo.

(2) Desempenho da catenária

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

- Características de carga (capacidade de corrente).
- Características de velocidade (capacidade de coleção de corrente).

A característica de corrente será diretamente proporcional à condutividade e da área da secção da catenária.

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

1) Pressão de pantógrafos

Quanto maior a pressão de pantógrafo, maior a probabilidade do pantógrafo interferir nos tirantes e outras ferragens da catenária. Portanto quanto menor a pressão de pantógrafo, melhor será o resultado.

2) Vibração da catenária

Quanto maior a vibração da catenária, piores serão os efeitos contra as ferragens e ao pantógrafo. Portanto é desejável que a vibração seja mínima, da mesma forma que o empuxo.

3) "Descolamento"

"Descolamento" é o fenômeno de separação do pantógrafo do cabo de contato durante o movimento da composição. A taxa de "descolamento" é expressa da seguinte maneira:

$$\text{Taxa de "descolamento"} = \frac{\text{Tempo em que o pantógrafo está separado do cabo de contacto durante o movimento da composição}}{\text{Tempo em que a composição está em movimento}} \times 100\%$$

O "descolamento" é causa de desgaste do cabo de contacto, sendo desejável sua minimização.

(3) Tipo de catenária a ser adotada

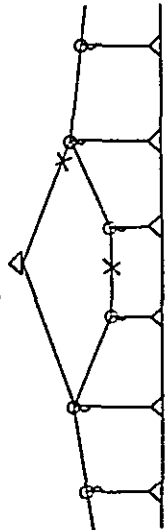
Para a ferrovia em questão, mesmo levando em conta a elevação da velocidade operacional no futuro, é possível a operação em catenária simples.

Dos vários tipos de catenária simples existentes, os mais adequados para a ferrovia em questão são a catenária com cabo auxiliar (stitched catenary) e a "heavy simple catenary".

Os prós e contras dos dois tipos acima, baseados nas experiências adquiridas pela J.N.R. são mostradas na tabela 7-4-1. Dos pontos de vista de desempenho, obra de instalação e manutenção a "heavy simple catenary" apresenta vantagem sobre a catenária com cabo auxiliar.

Portanto na ferrovia em questão deve ser adotada a "heavy simple catenary".

Tabela 7-4-1 Prós e contras da catenária com cabo auxiliar e da "heavy simple catenary"

Tipo Item	Catenária com cabo auxiliar	Heavy simple catenary
Desempenho da catenária	<ul style="list-style-type: none"> o Empuxo grande de modo geral. o Em altas velocidades há grande variação de altura do pantógrafo. 	<ul style="list-style-type: none"> o Empuxo de modo geral pequeno. o Taxa de "descolamento" equivalente à catenária com cabo auxiliar. o Bom desempenho contra a ação do vento.
Construção	<ul style="list-style-type: none"> o O ajuste da força tensora do cabo auxiliar é difícil. 	<ul style="list-style-type: none"> o Os trabalhos de construção são simples.
Manutenção	<ul style="list-style-type: none"> o O empuxo e a oscilação são grandes, sendo grandes as fadigas dos tirantes e das ferragens. o A instalação do cabo auxiliar é complicado, sendo frequente o aparecimento de falhas. o Na figura abaixo são indicados os locais onde há facilidade de ocorrer ruptura. 	<ul style="list-style-type: none"> o Manutenção fácil quando comparada com a catenária com cabo auxiliar, oferecendo maior segurança.

7-4-3 Estrutura da rede aérea

A estrutura da rede aérea está indicada na Figura 7-4-1. As Figuras 7-4-2, 7-4-3, 7-4-4, 7-4-5 e 7-4-6, mostram respectivamente o esquema do aterro, da ponte, tunel (linha singela e linha dupla) e o posteamento padrão no pátio de estação.

7-4-4 Especificações das instalações

(1) Tensão da rede aérea

A tensão na rede aérea deve ser suficiente para assegurar a operação das composições, sendo seu limite mínimo de 19.000 Volts.

(2) Temperatura máxima admissível nos condutores elétricos.

A temperatura máxima admissível nos condutores elétricos, no caso do cabo de contacto de cobre duro será de 90°C e no caso dos demais condutores nus será de 100°C .

(3) Resistência de isolamento

- 1) As instalações elétricas disporão de para-raios nos locais necessários, com resistência de isolamento que se harmoniza com o sistema.
- 2) A resistência padrão de isolamento da rede aérea para surtos impulsivos deverá ser superior a 200.000 Volts.

(4) Composição do sistema de alimentação

A composição do sistema de alimentação será tal que em casos de acidentes ou queda da fonte a faixa atingida pela parada de fornecimento seja a mais limitada possível, seccionado-o por sistema e por trecho, tendo em vista também a facilidade de da detecção e o isolamento da parte atingida.

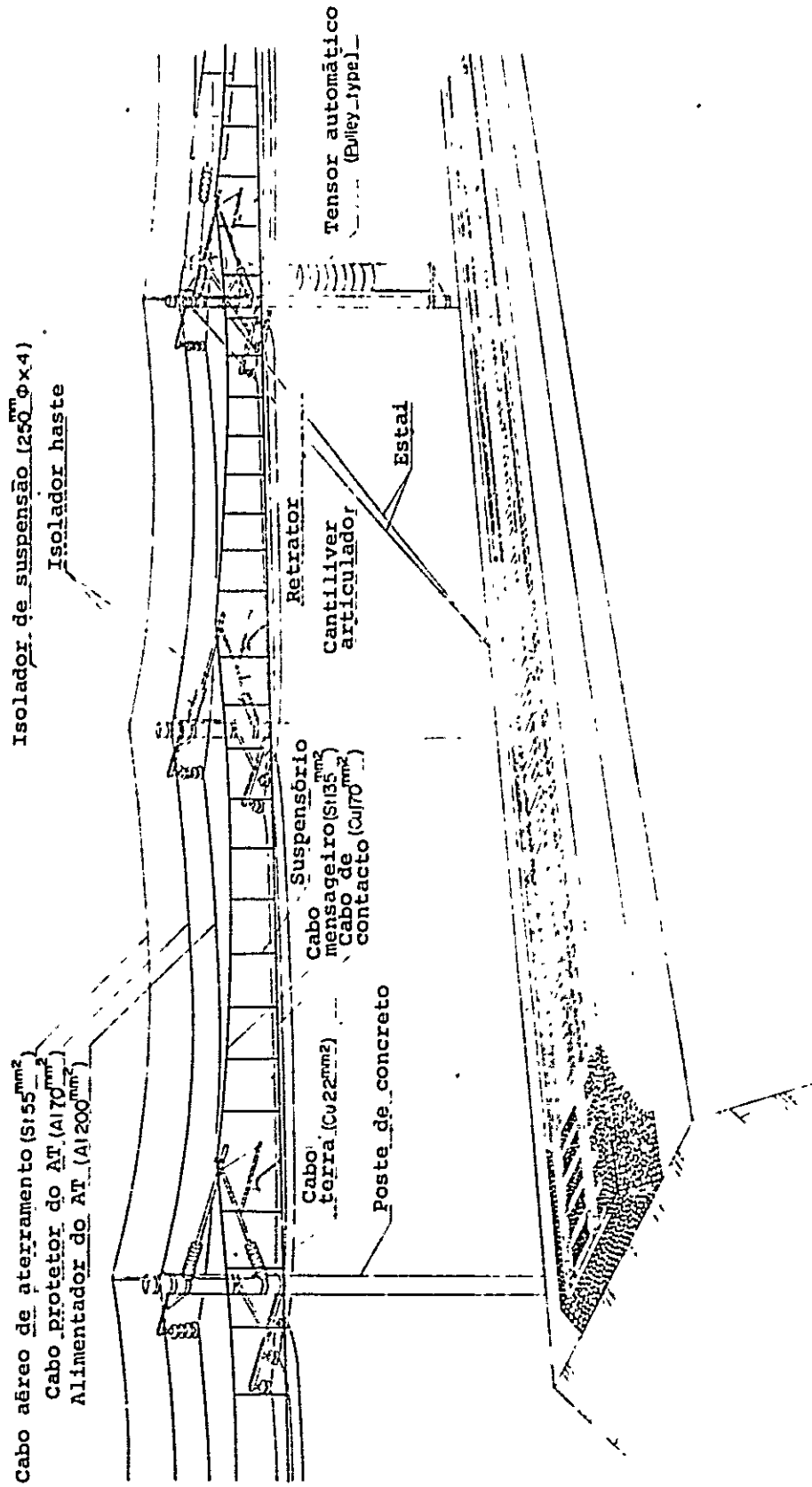


Fig. 7-4-1 Estrutura da rede aérea

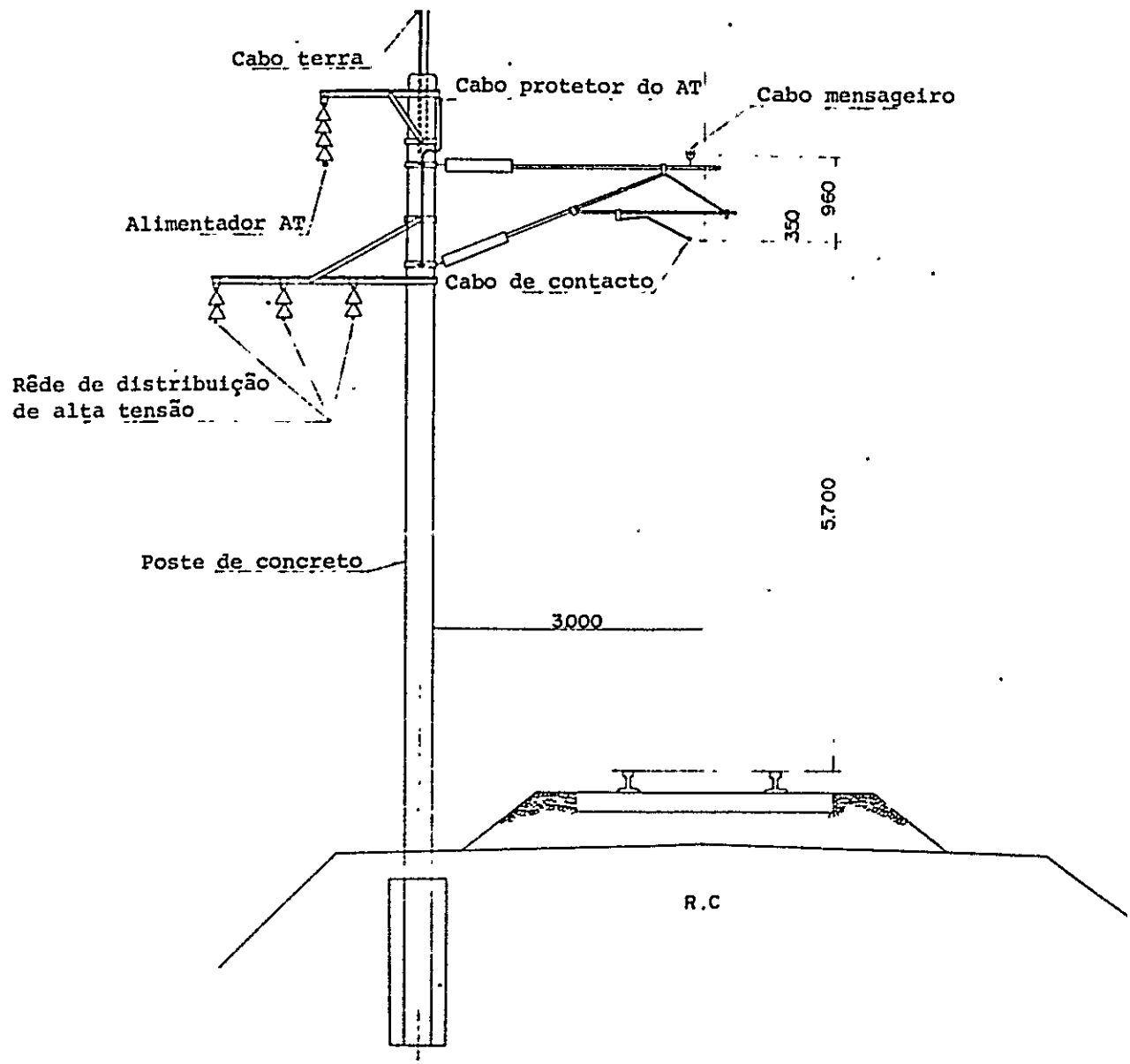


Fig. 7-4-2 Estrutura padrão (aterro)

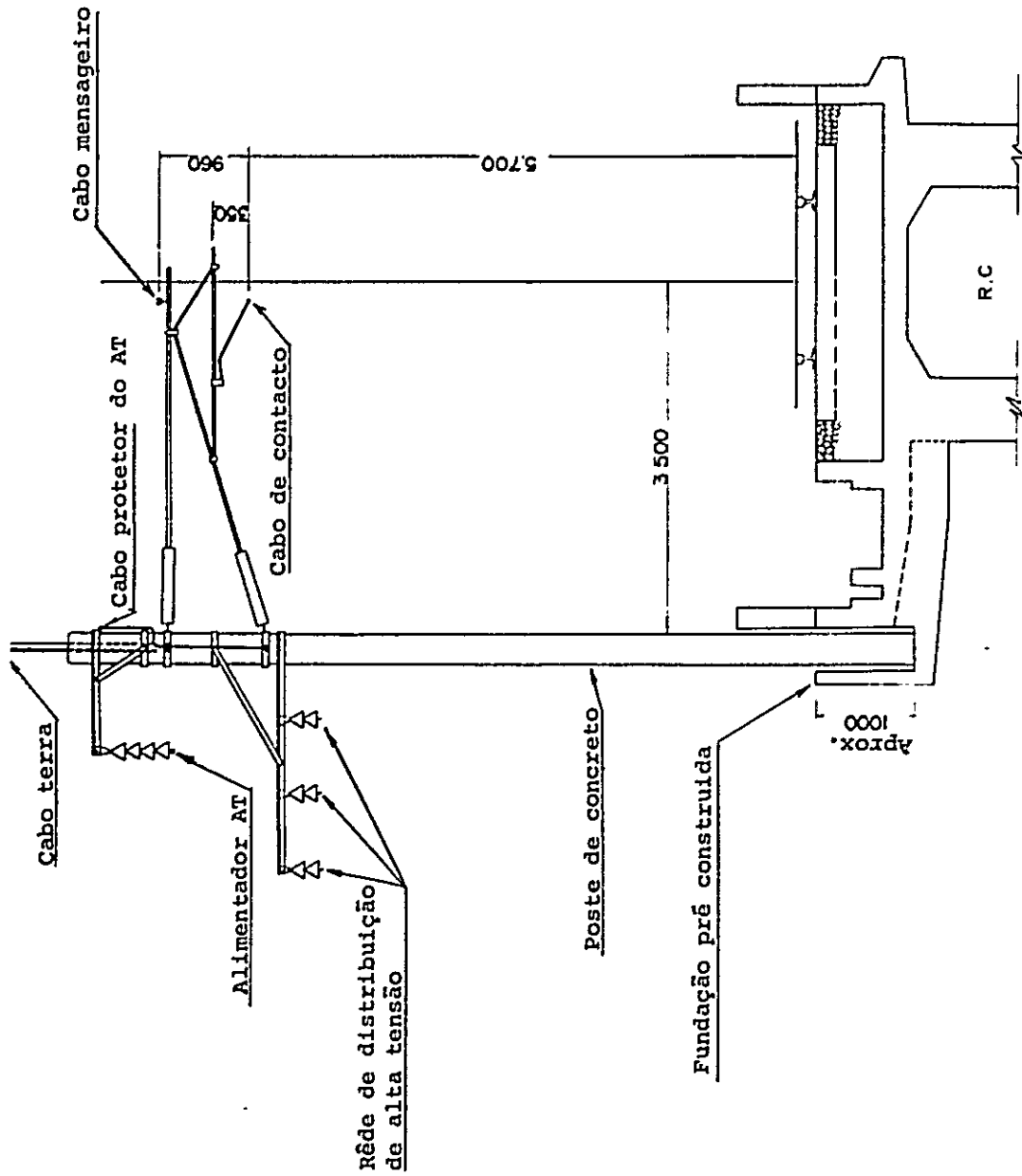
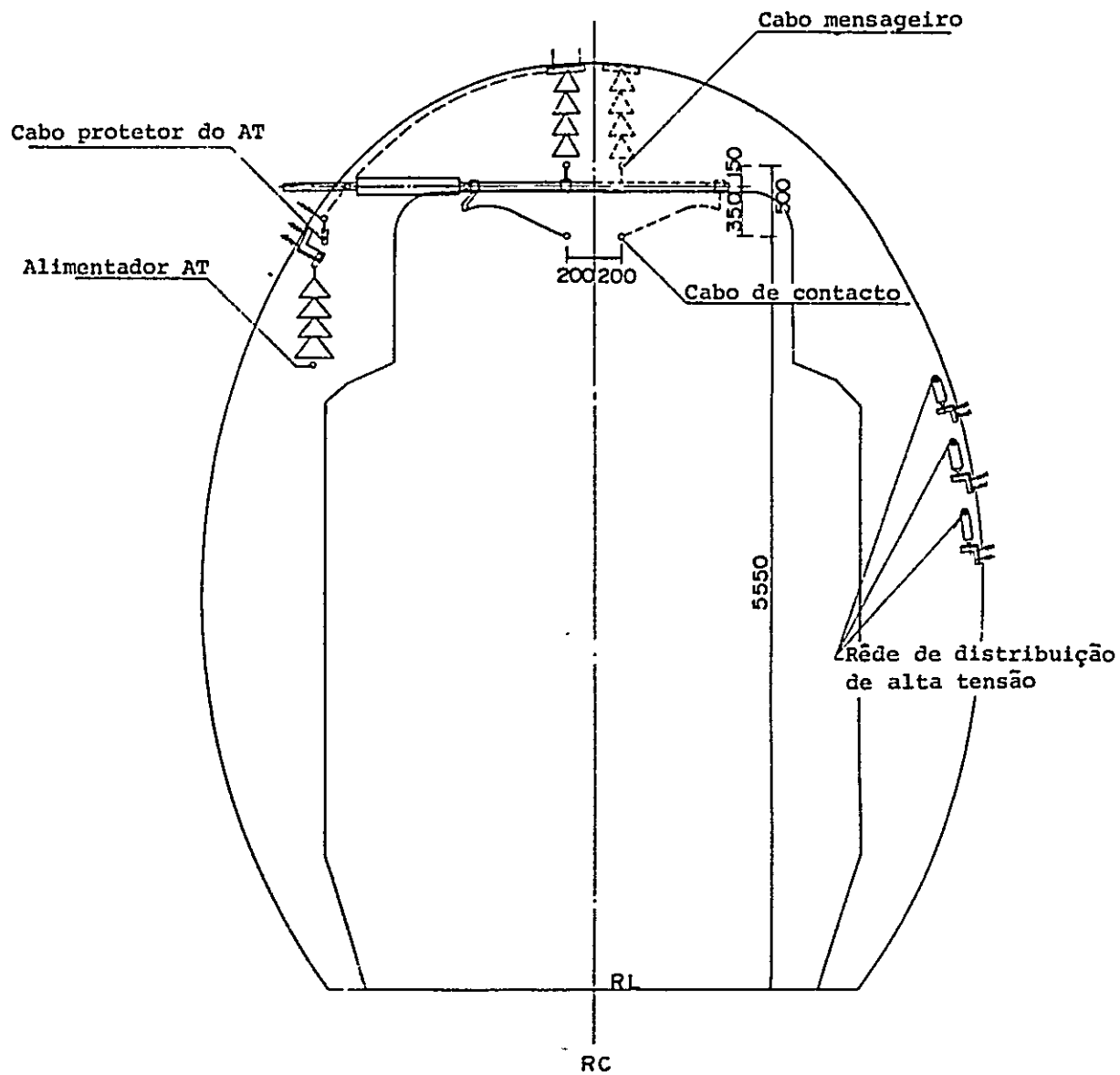


Fig. 7-4-3 Estrutura padrão (ponte)



Escala 1:40

Fig. 7-4-4 Estrutura padrão (túnel singelo)

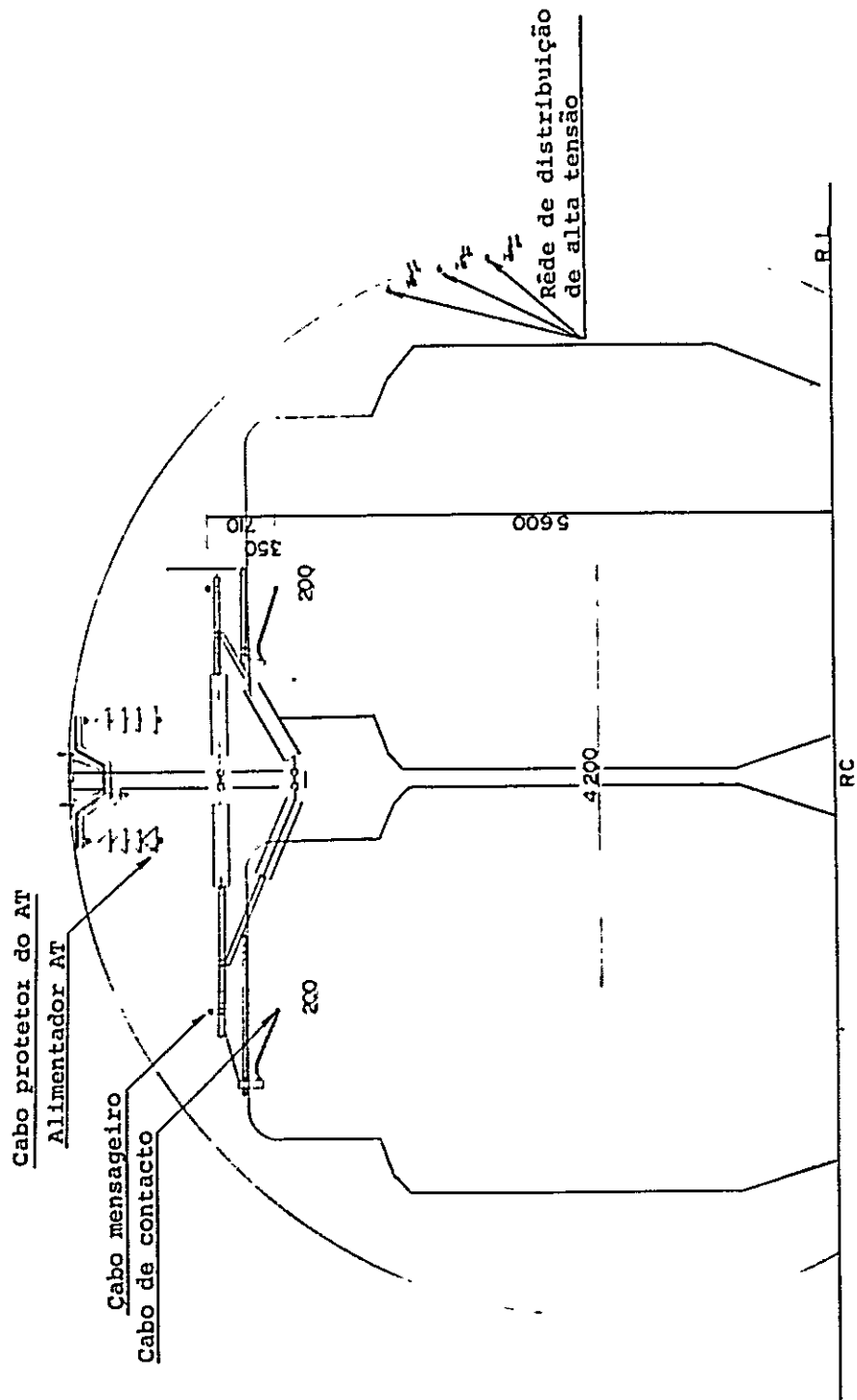


Fig. 7-4-5 Estrutura padrão (túnel duplo)

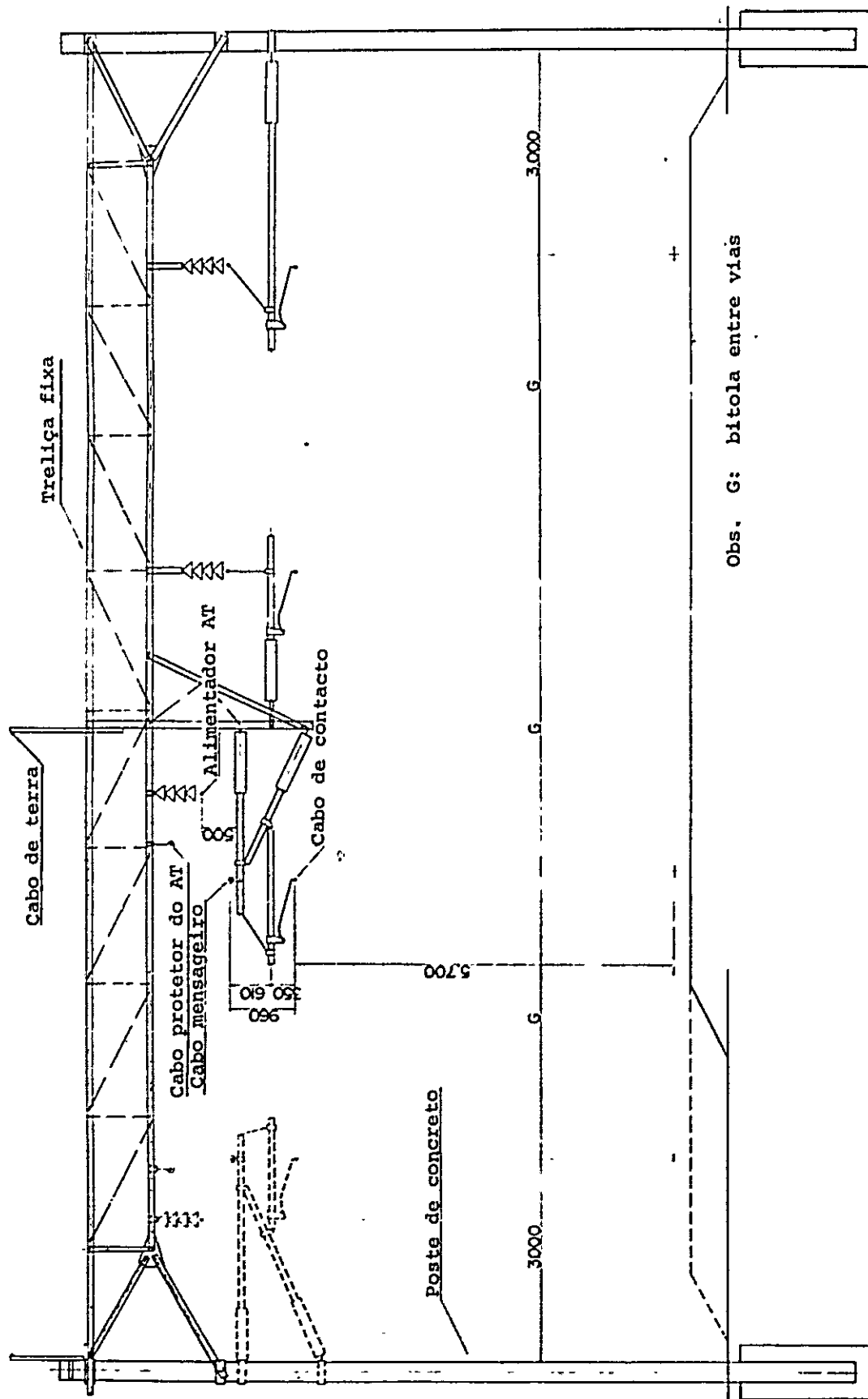


Fig. 7-4-6 Estrutura padrão (pátio)

(5) Espaçamento

- 1) O espaçamento a ser estabelecido entre as partes aterradas e cabos de proteção dos autotransformadores e os cabos de alimentação, a rede aérea e as demais partes sujeitas ao mesmo nível de tensão são indicados na Tabela 7-4-2.

Tabela 7-4-2 Espaçamento

Tipo	Espaçamento
Caso geral	Acima de 300mm
Limite mínimo indispensável	Acima de 250mm
Limite mínimo para aproximações impulsivas	Acima de 150mm

- 2) O espaçamento entre os cabos de alimentação e a rede aérea no caso da alimentação AT será acima de 500mm. Todavia, em casos inevitáveis poderá ser de até 450mm.
- 3) Em locais onde se efetuam frequentes elevações e abaixamentos do pantógrafo, a distância entre o pantógrafo dobrado e o cabo de contacto deverá ser maior que 300mm.

(6) Resistência dielétrica

A rede aérea deve ter características que assegurem resistência dielétrica suficiente mesmo quando exposto a ambiente salino, poeira, fumaça, etc. A Tabela 7-4-3 mostra os valores requeridos.

Tabela 7-4-3 Resistência dielétrica

Item	Tipo	Tensão	
		Frequência industrial	Impulso
Tensão de circuito	Tensão normal	25kV	—
	Tensão máxima	27,5kV	—
Resistência dielétrica padrão	Ensaio impulsivo	—	200kV
	Ensaio c/freq. industrial	70kV	—
Rêde aérea	Isolador haste	230kV (sêco) 180kV (húmido)	380kV
	Isolador de suspensão (250mm x 4)	270kV (sêco) 170kV (húmido)	440kV

(7) Margem de segurança

- 1) A rêde aérea deve ser capaz de suportar a todas cargas devidas à pressão do vento, força tensora dos cabos elétricos, etc., assegurando as margens de segurança indicados na Tabela 7-4-4.

Tabela 7-4-4 Margem de Segurança

Classificação	Denominação	Condição	Margem de segurança
Condutores	Cabo de cobre duro	Contra força tensora	Acima de 2,2
		Contra força tensora	Acima de 2,5
Estrutura	Aço	Ponto de escoamento	Acima de 1,5
	Concreto (poste)	Ponto de ruptura	Acima de 2,0
	Fundação de poste	Carga suportada	Acima de 2,0
	Cabo de sustentação	Carga tensora	Acima de 2,5
Isoladores	Isolador haste	Carga fletora	Acima de 2,5
		Carga tensora	Acima de 2,5
	Isolador suspenso	Carga de ruptura	Acima de 3,0
Outros		Carga de ruptura	Acima de 2,0

2) A rede aérea deve ser capaz de suportar ventos de 30m/s sem interferência à operação dos trens.

(8) Estruturas

1) Tipos de postes

- a) Os postes serão em princípio de concreto. Entretanto, em locais especiais poderão ser usados postes de aço.
- b) Os postes de aço serão postes compostos ou postes tubulares. Os postes compostos

serão estruturas soldadas.

2) Distanciamento

- a) As estruturas de suporte da rede aérea terão um distanciamento padrão entre centros de 50 metros, sendo a diferença entre distanciamentos adjacentes de 20 metros no máximo. (Vide Anexo 7-4-1)
- b) Em trechos onde há previsão de interferência do vento ou outros inconvenientes inevitáveis o distanciamento entre centros de estruturas de suporte pode ser de 60 metros no máximo.

3) Distanciamento dos postes

O distanciamento entre o centro da via (trilhos) até a face interna do poste deve ser de 3 metros no mínimo. (Vide Anexo 7-4-2)

4) Fundação dos postes

A fundação dos postes será de concreto.*

5) Tipos de cruzetas

As cruzetas serão do tipo móvel ou do tipo fixo.

6) Tratamento anti-ferrugem das estruturas de aço.

Como medida anti-ferrugem, as estruturas de aço serão galvanizadas.

(9) Isoladores

1) Tipos de isoladores

Os isoladores serão do tipo haste ou do tipo suspenso.

2) Uso dos isoladores

O uso dos isoladores está classificado na Tabela 7-4-5.

Tabela 7-4-5 Uso dos isoladores

Tipo de Isolador Local de Uso		Isolador de suspensão		Isolador haste	Observações
		180 mm	250 mm		
Sustentação dos cabos suspensores e dos cabos de alimentação			4		
Sustentação dos cabos de retorno das subestações		1			Cabo neutro
Suspensão dos cabos de alimentação	Geral		4		
	Duplo		4		
Secção aérea			4		
Sustentação de condutores curvos			4		
Brocadeiras móveis	Horizontal			1	
	Inclinada			1	
Cruzeta			4		

(Vide Anexo 7-4-3)

(10) Rêde aérea

1) A sustentação rêde aérea será por suspensão e a altura padrão de suspensão será de 960mm. Entretanto em trechos de túneis e sob viadutos e passarelas poderá ser reduzida.

2) Tipo de cabo de contacto

Os cabos de contacto usados serão cabos de

cobre duro ranhurado com 170mm^2 na linha principal e 110mm^2 em linhas secundárias laterais. (Vide Anexo 7-4-4).

3) Tipo de cabo de sustentação

Os cabos de sustentação serão cabos de aço galvanizado trançado, com 135mm^2 na linha principal e 90mm^2 nas linhas secundárias laterais.

4) Tensionamento dos cabos

Os valores-padrão das forças de tensionamento dos cabos de contacto e dos cabos de sustentação são indicados a seguir:

a) Cabos de contacto

Cabo ranhurado de cobre duro	170mm^2	1000kg
Cabo ranhurado de cobre duro	110mm^2	1000kg

b) Cabos de sustentação

Cabo trançado de aço galvanizado	135mm^2	2000kg
Cabo trançado de aço galvanizado	90mm^2	1000kg

5) Altura dos cabos de contacto

As alturas dos cabos de contacto são indicadas na Tabela 7-4-6

Tabela 7-4-6 Altura dos cabos de contacto

Tipo	Altura	Observações
Máximo	6000mm	Altura livre do pantógrafo 6500mm
Padrão	5700mm	
Mínimo	5030mm	Altura do pantógrafo recolhido 4730mm + Distanciamento de isolamento 300mm

(Vide Anexo 7-4-5)

- 6) Inclinação da rede aérea e desvio em zig-zague
 - a) O ângulo formado entre o plano definido pelo cabo de contacto e o cabo de sustentação e o plano definido pelo centro dos trilhos no ponto de sustentação (apoio) deve ser menor que 10° .
 - b) Em trechos retos, o desvio em zig-zague (direita/esquerda) do cabo de contacto não pode ter sua amplitude superior a 200mm.
 - c) O desvio do cabo de contacto em trechos curvos não pode exceder 200mm no ponto de sustentação (apoio).

- 7) Declividade do cabo de contacto

A declividade ou diferença de declividade dos cabos de contacto em relação à face dos trilhos não deve ser maior que 3/1000 em linhas principais e 15/1000 em linhas secundárias laterais.

- 8) Comprimento do trecho de ancoragem da rede aérea

O comprimento do trecho de ancoragem da rede

aérea não deve exceder a 1600mm.

- 9) Dispositivos de regulagem da força tensora
- a) Para manter a capacidade coletora da rede aérea em condições satisfatórias contra os efeitos da variação de temperatura, o cabo de contacto da linha principal terá um dispositivo de ajuste da força tensora.
 - b) Para os cabos de contacto que cruzam diretamente com a linha principal dentro dos pátios de estações serão instalados dispositivos de ajuste de força tensora, de acordo com as necessidades.
 - c) Os tipos e o uso de dispositivos ajustadores de força tensora utilizados em redes aéreas de ferrovias são indicadas na Tabela 7-4-7.

Tabela 7-4-7 Tipos e usos de ajustadores de força tensora

Tipo	Detalhe	Uso
Ajustador automático de força tensora	Tipo polia	Usados na linha principal e nos cabos de contacto que cruzam com a linha principal. Caso o comprimento de ancoragem seja menor que 1000m será instalado em uma extremidade, caso seja maior que 1000m em ambas as extremidades.
		Em linhas laterais mais importantes, instala-se de acordo com as diretrizes acima citadas.
	Tipo mola	Usado em cabos de transição da linha principal ou em rede aérea e cabos de contacto da linha lateral.

10) Seccionadores

- a) Os dispositivos de seccionamento serão instalados em locais onde não sejam curto-circuitados pelo pantógrafo por ocasião da parada das composições, levando-se em conta o relacionamento com os sinalizadores.
- b) Os seccionadores de fases diferentes de corrente alternada serão instalados em locais que não interfiram na operação levando-se em conta a operação dos entalhes (notch) de marcha.
- c) Os tipos e usos de seccionadores são indicados na Tabela 7-4-8.

Tabela 7-4-8 Tipos e usos de seccionadores

Secção	Tipo	Detalhe	Uso	Velocidade (km/h)	Observação
Secção elétrica	Secção aérea		Seccionamento de mesma fase na linha principal	120	
	Isolador de secção	Feito de resina (FRP)	Seccionamento de linhas de sentidos diferentes (de via dupla) de mesma fase e seccionamento de linhas laterais	85	
	Secção morta	Resina (FRP)	Seccionamento de fases diferentes	120	
Seccionamento mecânico	Junção aérea	Seccionamento mecânico da rede aérea		120	Eléctricamente ligado

- d) Na parte paralela da secção aérea, a distância entre as rês aéreas deve ser de 300mm.
- e) O comprimento da secção morta para sectionamento de fases diferentes de corrente alternada será de 8 metros.
- f) Na parte paralela da junção aérea, a distância entre as rês aéreas deve ser de 150mm.

11) Suspensórios e tirantes

- a) O espaçamento padrão de suspensórios será o seguinte:
 - Suspensórios 5m
 - Tirantes 10m
- b) O comprimento mínimo dos suspensórios será de 150mm.

12) Cabos protendidos

- a) Os cabos de contacto e os cabos de sustentação serão protendidos, para minimizar a elongação da rês aérea.
- b) A força e o tempo de protendimento são indicados na Tabela 7-4-9

Tabela 7-4-9 Força e tempo de protendimento

Cabo	Tipo	Força	Tempo
Cabo de contacto	Cu 170mm ²	2.500kg	30 minutos
	Cu 110mm ²	2.500kg	30 minutos
Cabo de sustentação	St 135mm ²	2.500kg	10 minutos
	St 90mm ²	2.000kg	10 minutos

(12) Cabo de alimentação

O cabo de alimentação AT será de alumínio trançado de 200mm^2 , com força tensora padrão de 400kg. (Vide Anexo 7-4-4).

(13) Instalações de proteção

1) Na rede aérea disporá de instalações de proteção contra acidentes causados por curto-circuito de cabos, etc.

2) Os sistemas de proteção serão os seguintes:

a) Cabo de aterramento

Ligar o cabo do lado negativo do isolador diretamente ao cabo protetor do AT.

b) Aterramento protetor

Ligar os postes de aço, cruzetas, braços, ferragens, etc. por meio de cabo condutor e aterrará-lo com resistência inferior a 10 Ohm.

c) Aterramento individual

Aterrará postes de aço, cruzeta, braços, etc. com resistência inferior a 10 Ohm.

d) Uso dos sistemas de proteção

O uso dos sistemas de proteção são indicados na Tabela 7-4-11.

Tabela 7-4-10 Uso dos sistemas de proteção

Local	Sistema de proteção
Trecho entre estações	Aterramento por meio do cabo protetor do AT.
Pátio de estação	Aterramento por meio do cabo protetor do AT. Aterramento protetor
Oficinas e túneis	Aterramento protetor
Subestação, etc.	Aterramento protetor
Bases e apoios dos equipamentos	Aterramento individual

3) Os tipos de cabos para instalações de proteção e a força tensora padrão são indicadas a seguir:

- a) Condutor de aterramento: Cabo de cobre duro trançado 22mm^2 .
- b) Cabo de aterramento protetor: Cabo de alumínio duro trançado 70mm^2 ; força tensora padrão 100kg.
- c) Cabo aéreo de aterramento: Cabo trançado de aço galvanizado 55mm^2 ; força tensora padrão 300kg.
- d) Cabo de proteção do AT: Cabo de alumínio duro trançado 70mm^2 ; força tensora padrão 100kg. (Vide Anexo 7-4-6)

4) Dispositivo de aterramento

As instalações da rede aérea que requerem aterramento e os valores da resistência de terra são indicados na Tabela 7-4-11.

Tabela 7-4-11 Instalações a aterrar e resistências de terra

A aterrar	Resistência de terra
Aterramento protetor	Até 10Ω
Cabo aéreo de terra	Até 30Ω
Postes de aço	Até 10Ω
Cercas e alambrados	Até 100Ω
Partes metálicas de construções sujeitas a aparecimento de tensões induzidas	Até 100Ω
Plataformas, pontes, passarelas, etc. que sustentam a rede aérea	Até 10Ω
Postes de aço, caixa, suportes de equipamentos elétricos	Até 10Ω

(14) Cabo de retorno

1) Cabo neutro

O cabo neutro será um cabo CV 6kV, Cu 100mm².

(15) Identificação

1) Identificação de extremidade de catenária

Instala-se uma identificação na extremidade da catenária.

2) Identificação do trecho morto da catenária

Instalam-se identificações nas extremidades das partes vivas da catenária.

3) Identificação de seccionamento

Nas extremidades dos dispositivos de seccionamento (exclusive secção morta) instalam-se identificações.

4) Identificação dos postes

Instalam-se números de identificação nas fa-

ces dos postes voltados aos trilhos.

5) Advertência

Em locais onde as partes energizadas da rede aérea se encontram próximas a entradas de túneis, estradas, etc. instalam-se identificações de advertência.

6) Identificação de operação com motor acionado

Antes de trechos mortos da rede aérea instalam-se identificações de operação com motor acionado.

7) Identificação de marcha por inércia

A frente de trechos mortos da rede aérea instalam-se identificações de marcha por inércia.

7-4-5 Trecho com catenária

O trecho com catenária está indicada na Figura 7-4-7.

7-4-6 Fontes de energia

As fontes de energia relacionadas com a ferrovia em questão terão as seguintes características:

- (1) Será instalada em paralelo com a rede aérea um sistema aéreo trifásico de alta tensão, levando em conta fatores de economicidade, confiabilidade e "maintenance-free". Servirá como fonte de alimentação para sinalização, comunicação, via e manutenção.
- (2) A fonte para a sinalização dentro do pátio das estações poderá ser obtida também da rede aérea.
- (3) Em um dos lados do túnel será instalada a iluminação interna para a manutenção do interior do

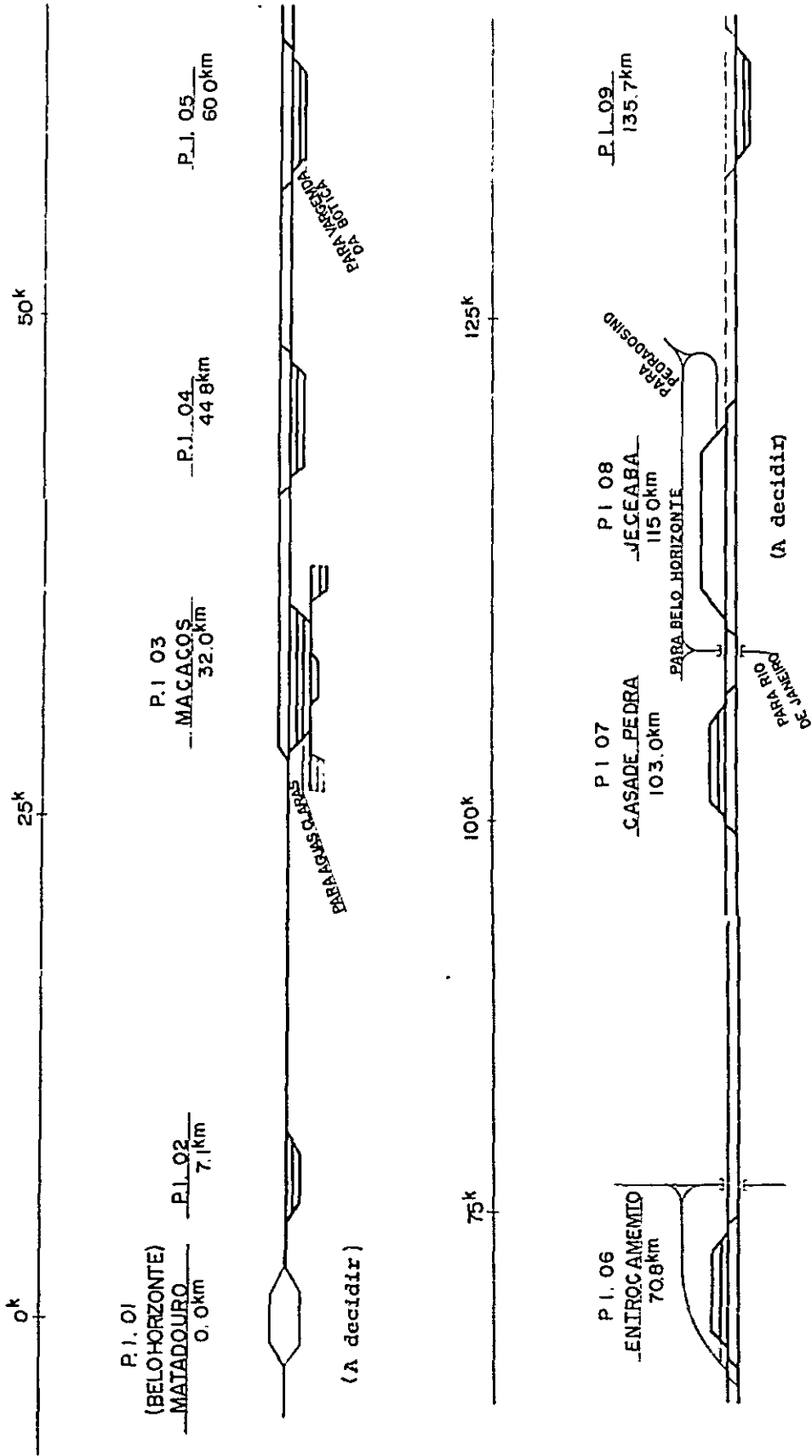


Fig. 7-4-7-a Linhas a serem equipadas com catenária

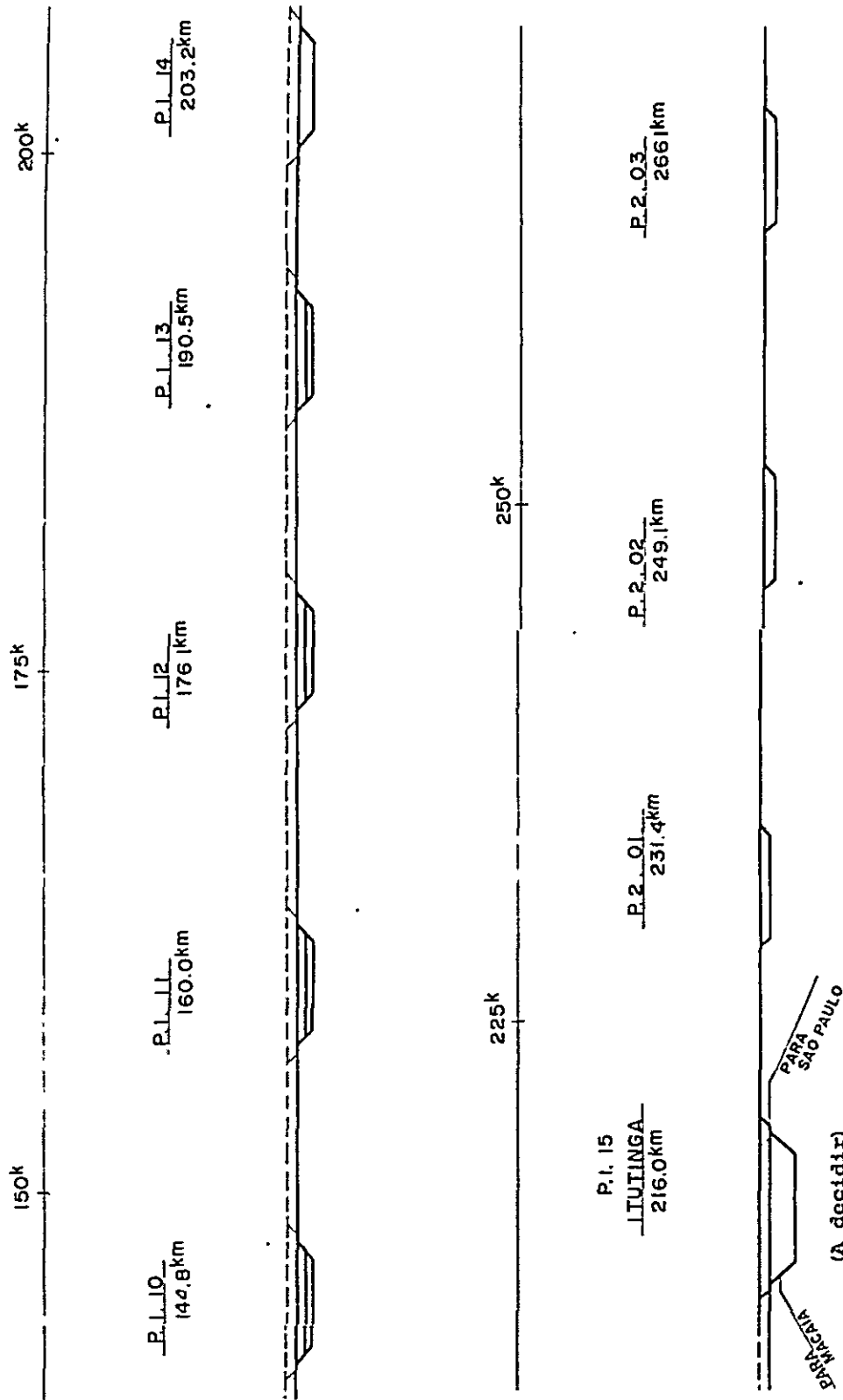


Fig. 7-4-7-b Linhas a serem equipadas com catenária

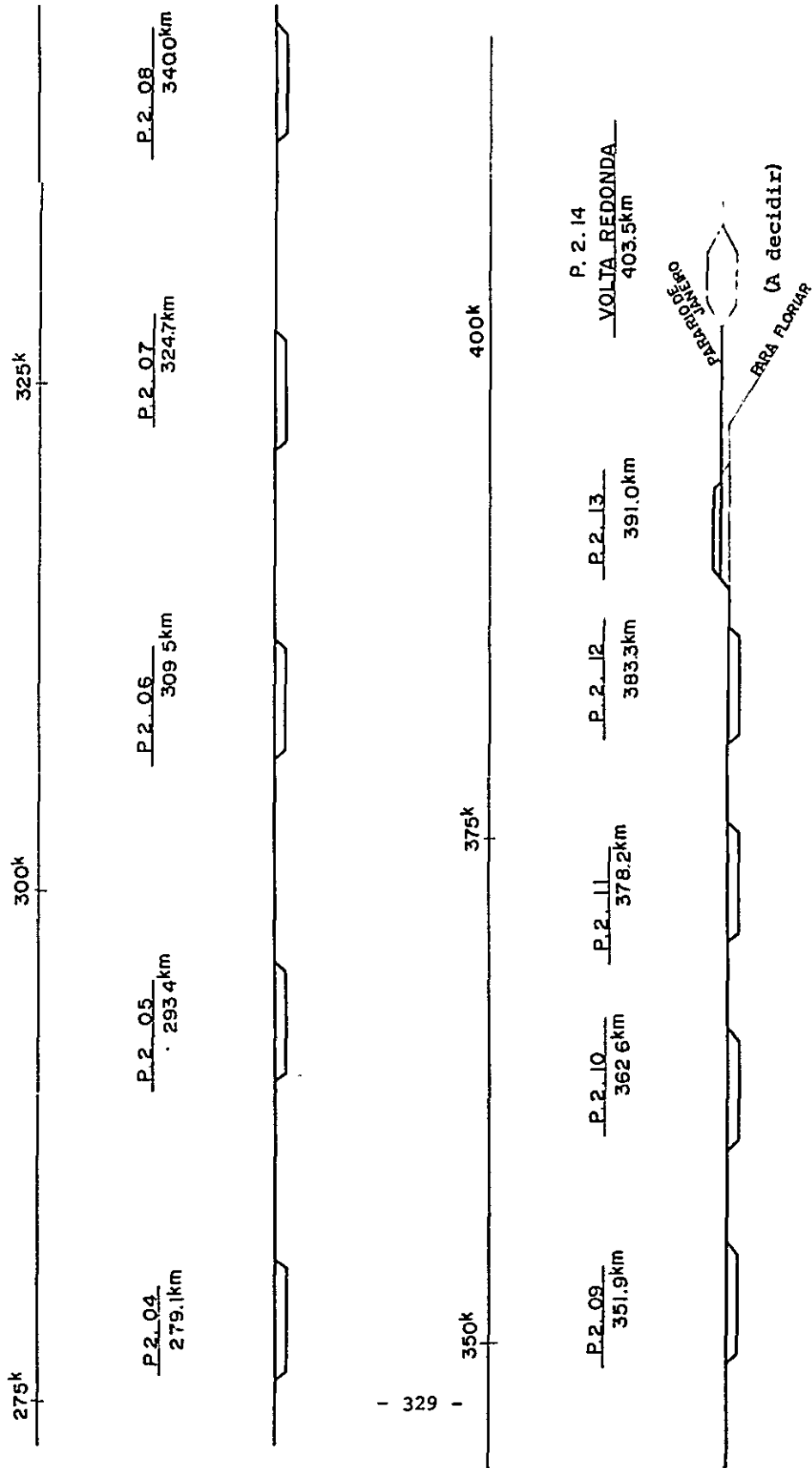
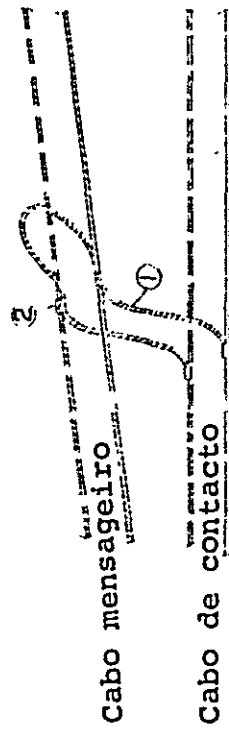
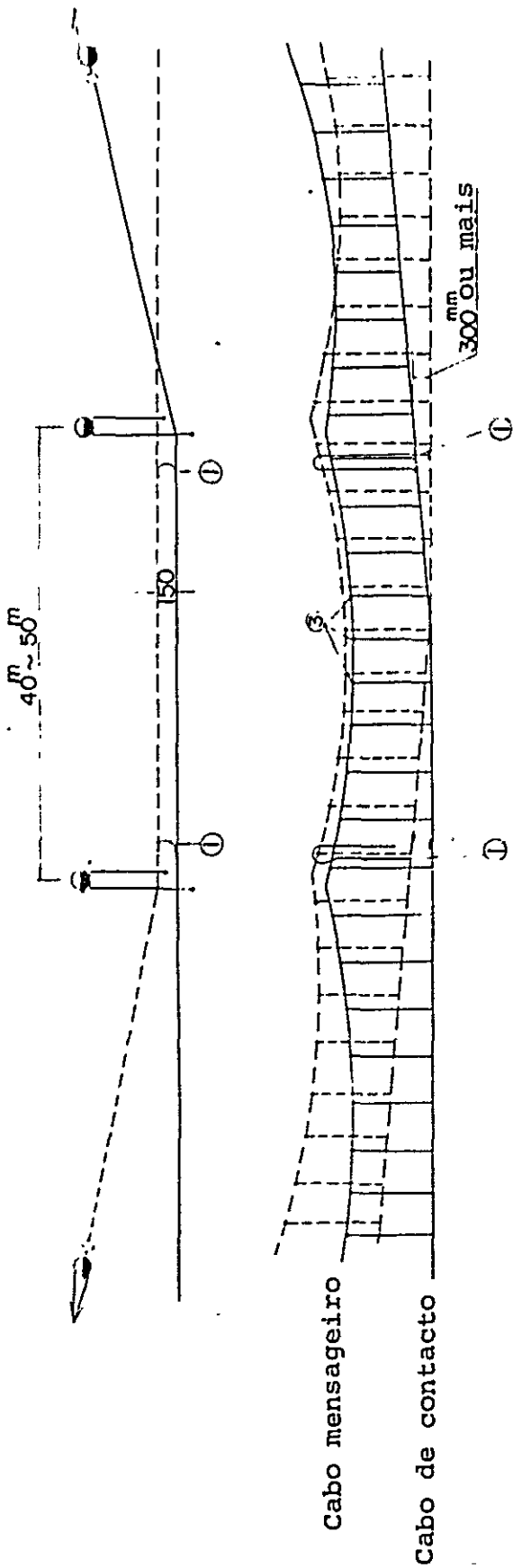
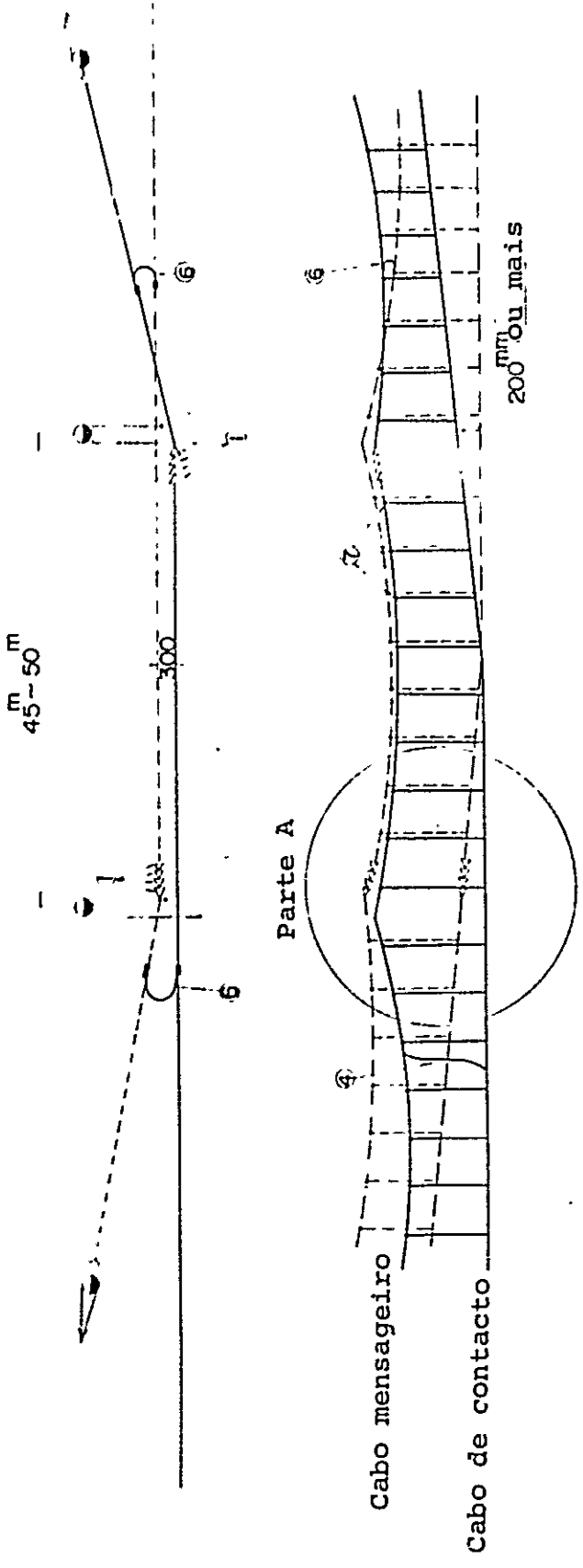


Fig. 7-4-7-c Linhas a serem equipadas com catenária

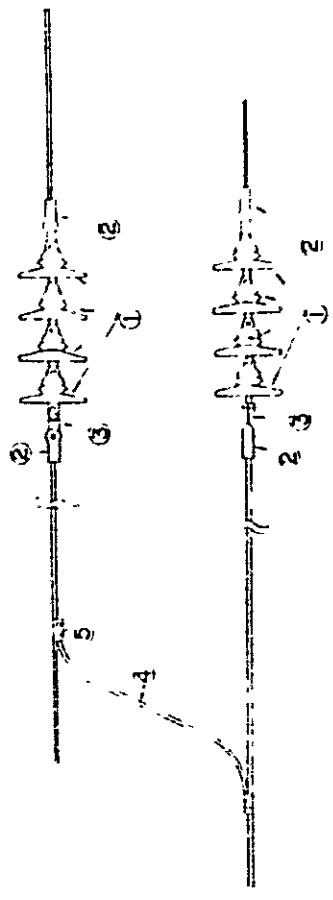


3	Capa protetora do cabo mensageiro
2	Grampo
1	Laço de alimentação
NO	Nome da peça

Fig. 7-4-8 Ligação aérea

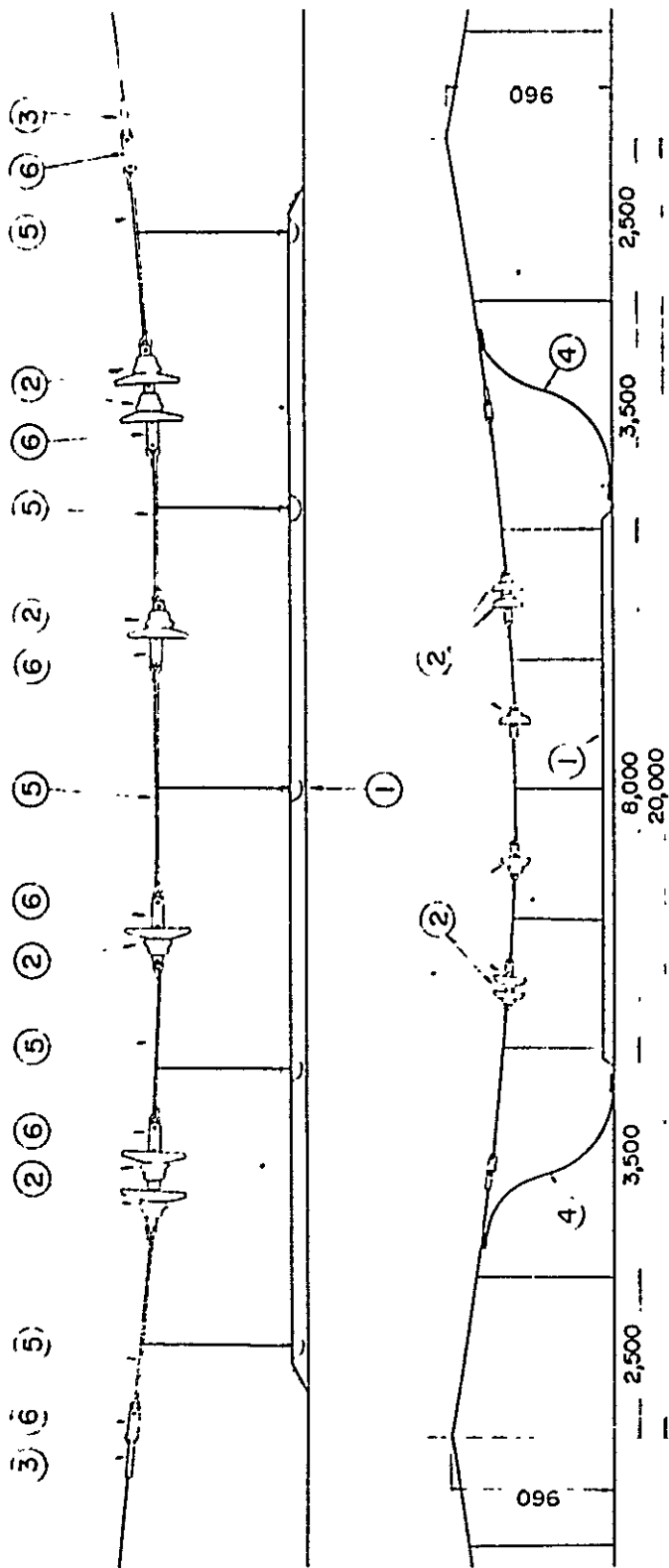


Detalhe da parte A



7	Capa protetora do cabo mensageiro
6	Conector
5	Grampo conector
4	Conector
3	Ferragem de conexão
2	Grampo de terminal morto
1	Isolador de suspensão
NO	Nome da peça

Fig. 7-4-9 Secção aérea



6	Ferragem de conexão
5	Haste tensora
4	Conector
3	Grampo do terminal morto
2	Isolador suspenso
1	Isolador de secção
NO	Nome da peça

Fig. 7-4-10 Secção morta (AC - AC 8^m)

H AI 200 ^{mm²} (Sem vento)

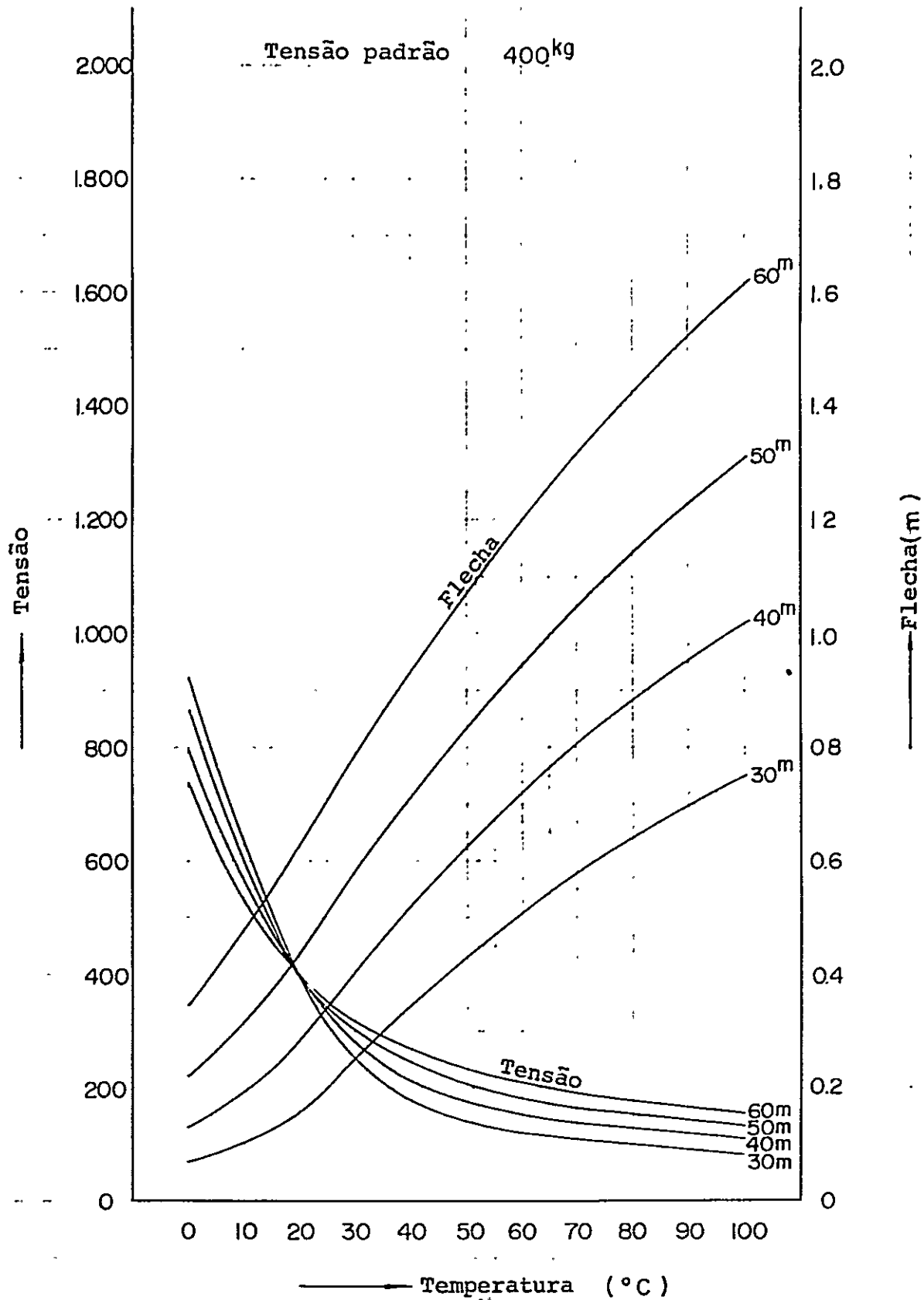


Fig. 7-4-11 Curva flecha - tensão

H Al 200 mm^2 (Velocidade do vento 30 m/sec)

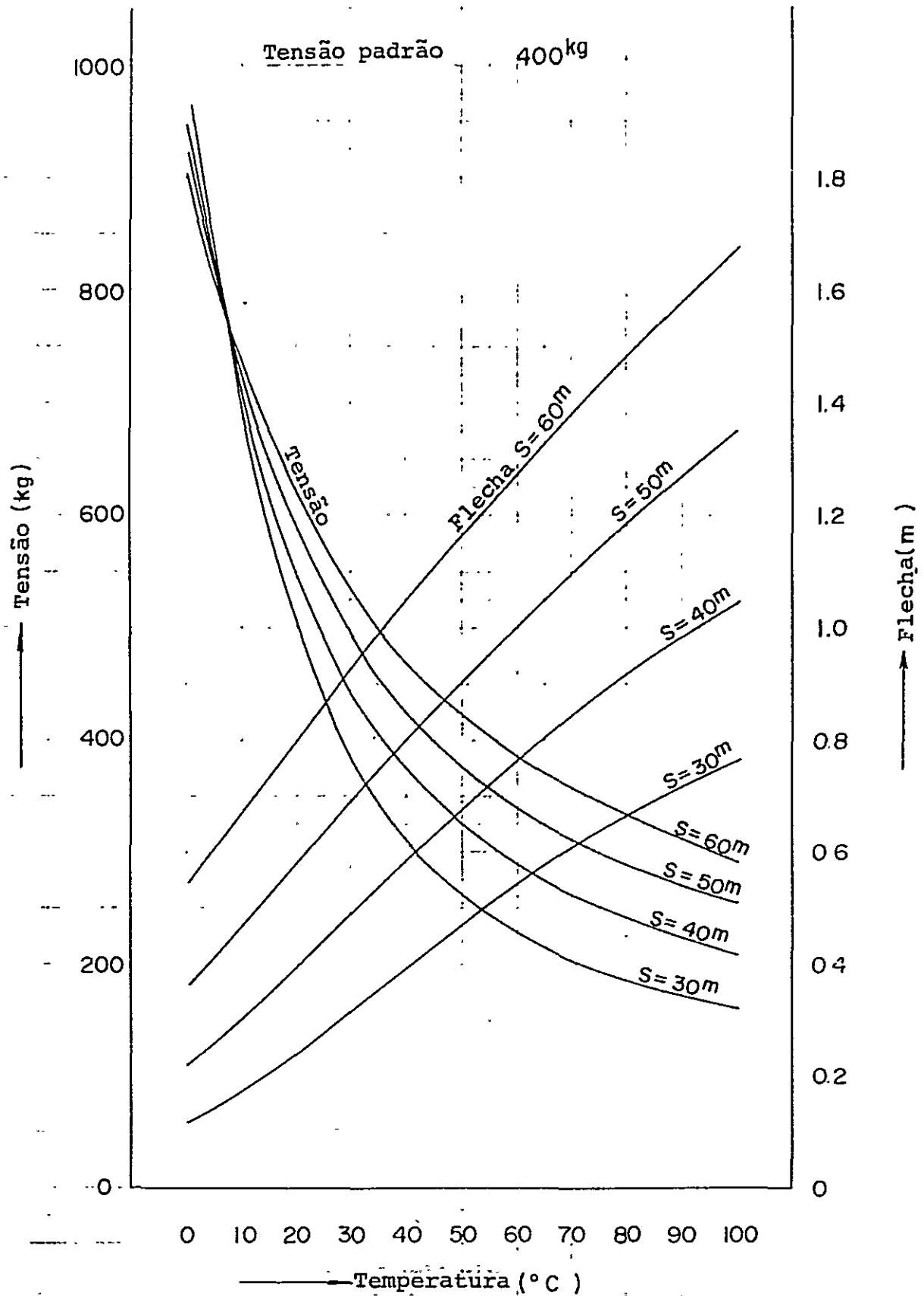


Fig. 7-4-12. Curva flecha - tensão

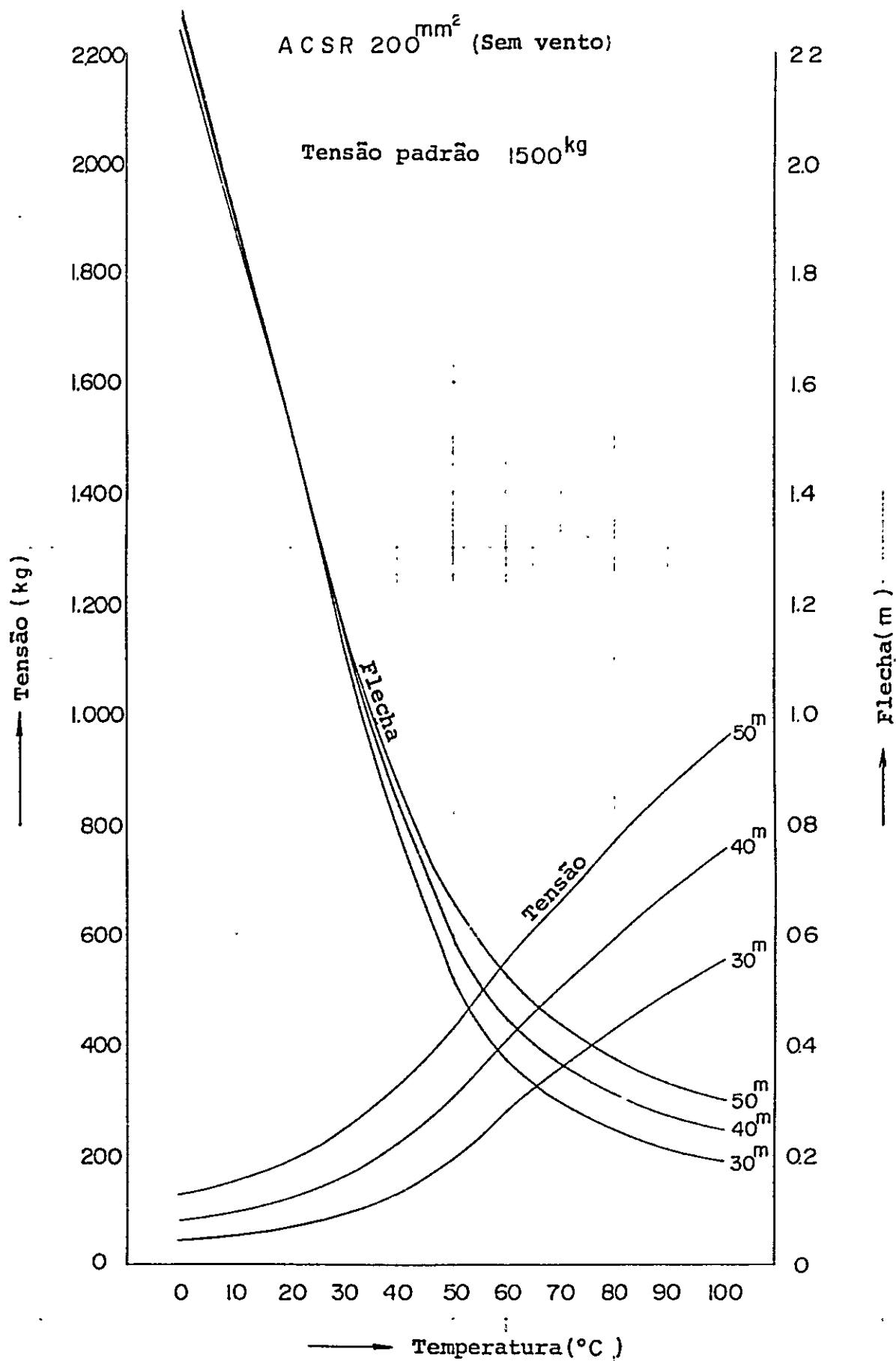


Fig. 7-4-13 Curva flecha ~ tensão

HAI 70 mm^2 (Sem vento)

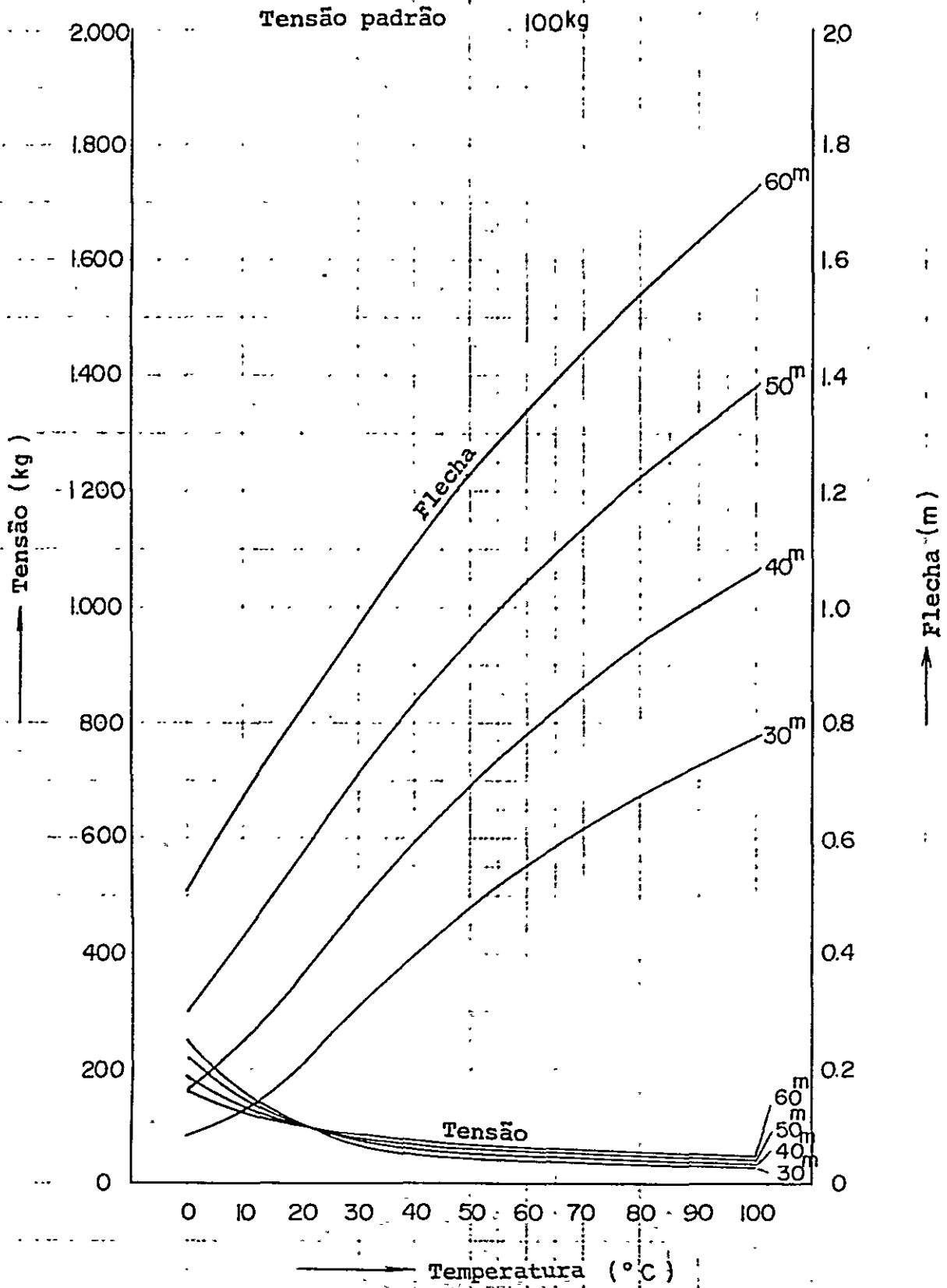


Fig. 7-4-14 Curva flecha - tensão

H Al 70^{mm²} (Velocidade do vento 10 m/sec)

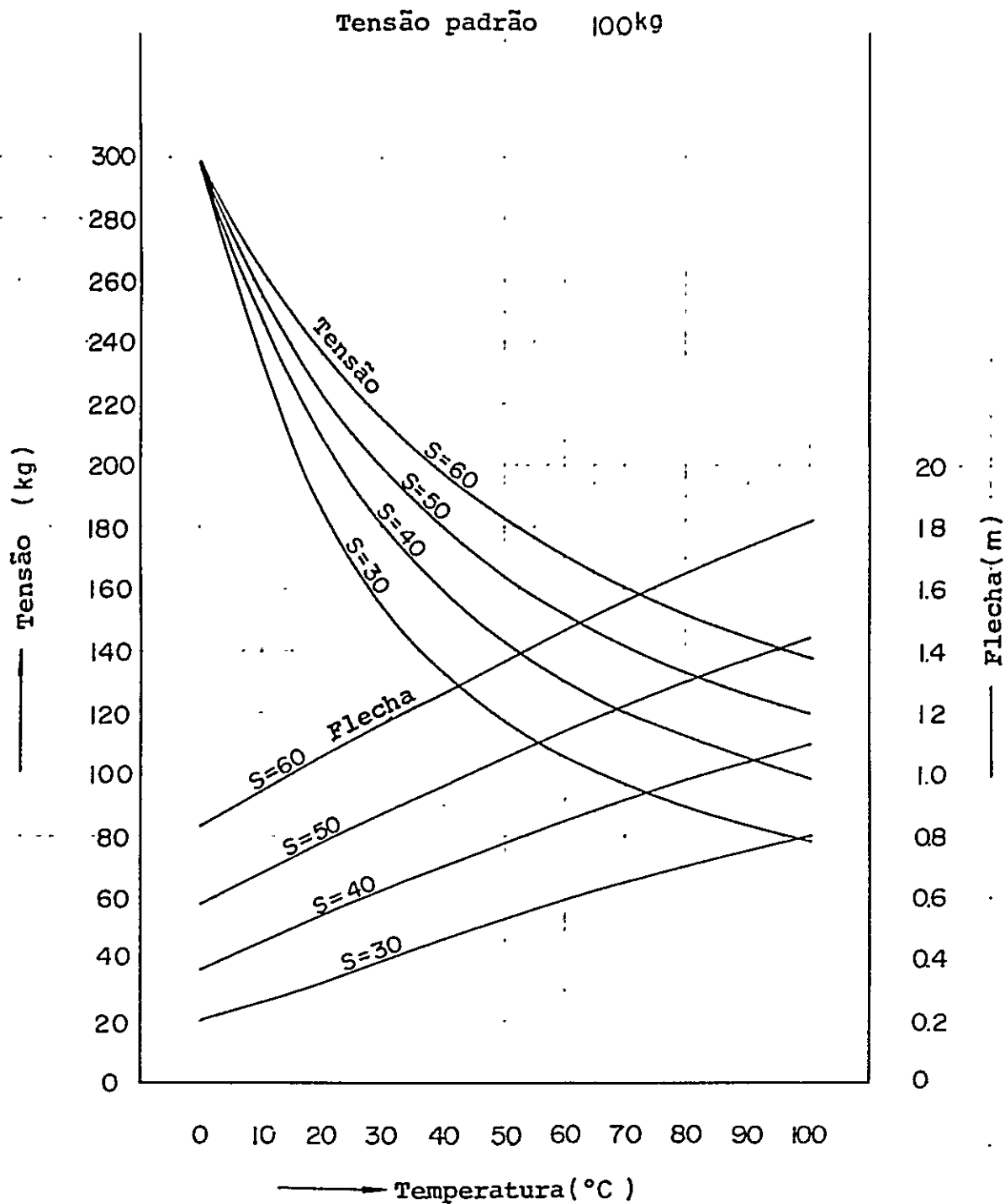


Fig. 7-4-15 Curva flecha - tensão

St 55^{mm²} (Sem vento)

Tensão padrão 300^{kg}

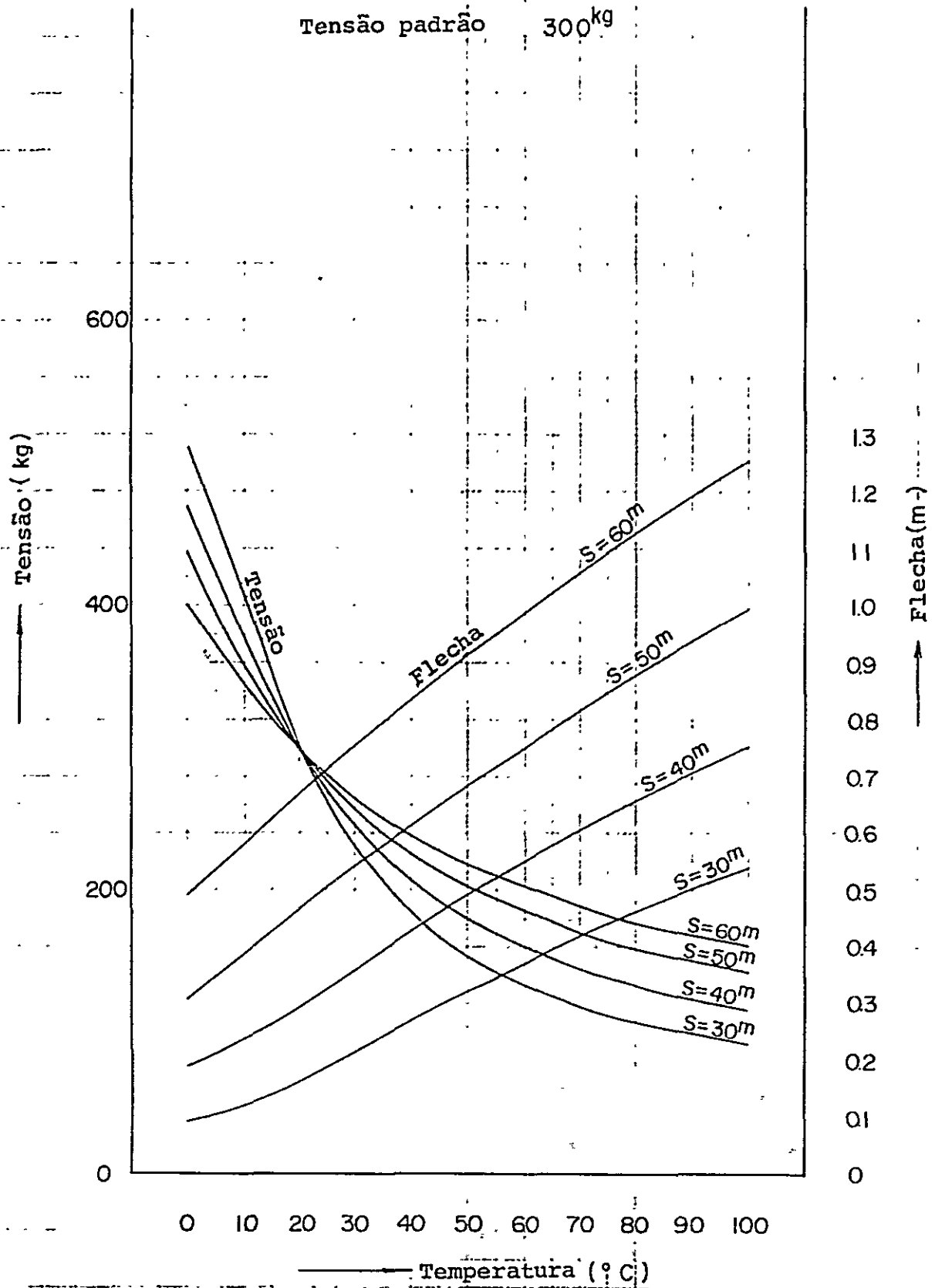


Fig. 7-4-16 Curva flecha - tensão

$S: 55 \text{ mm}^2$ (Velocidade do vento 30 m/s)

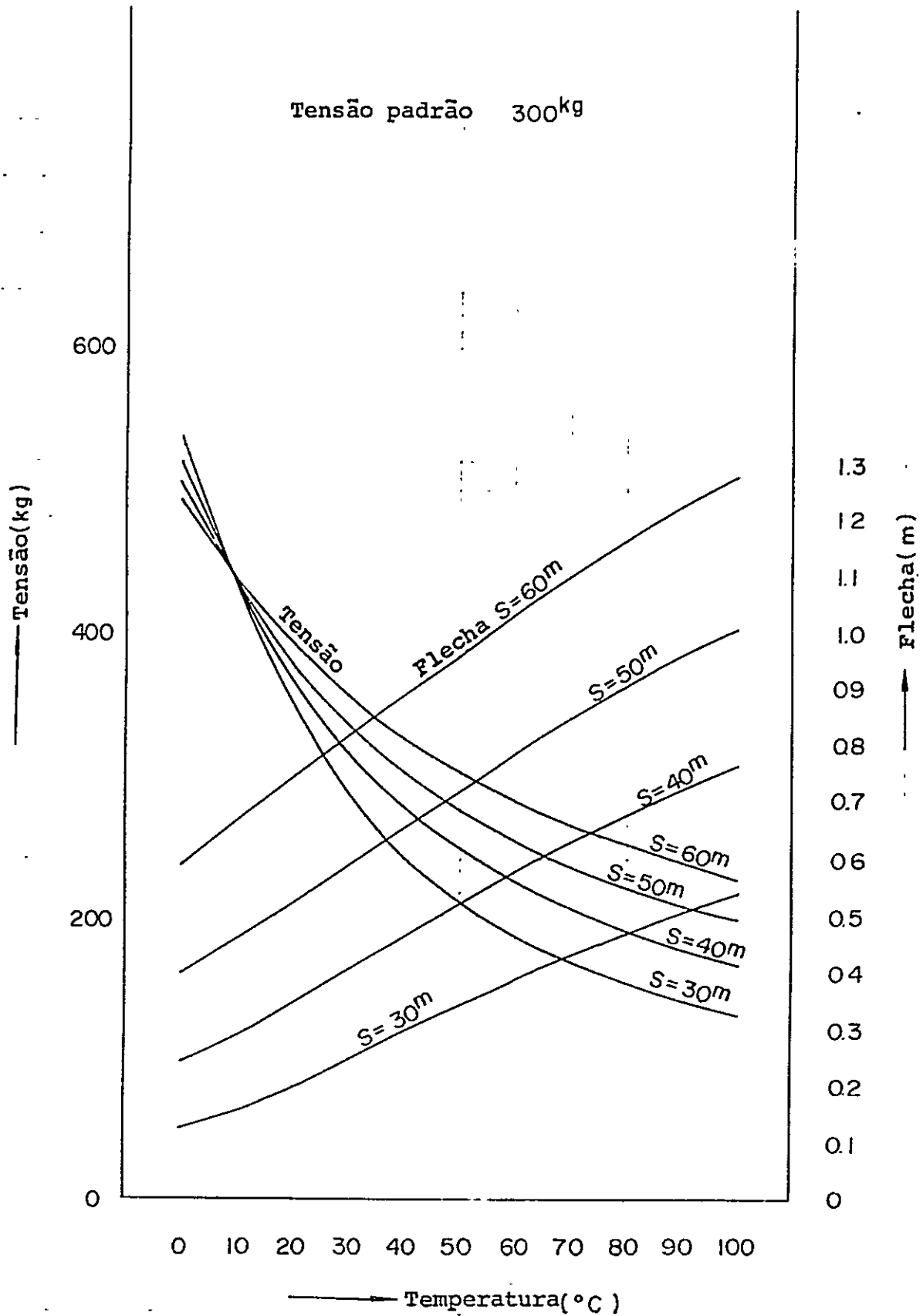


Fig. 7-4-17 Curva flecha - tensão

túnel.

- (4) Em pátios e outros locais necessários será feita a iluminação concentrada em torres com holofotes.

Anexo 7-4-1

Distanciamento padrão entre centros

O distanciamento padrão entre os centros foi determinado levando em conta os seguintes fatores:

- (1) A amplitude do desvio em zigue-zague deve ser de até 200mm nos pontos de apoio.
- (2) "Estufamento" da catenária pela ação do vento (30m/s)
- (3) A flexão dos postes pela ação do vento deve ser de até 50mm.
- (4) O desvio devido à oscilação das composições deve ser de até 100mm.
- (5) A largura efetiva do pantógrafo deve ser de 940mm.

Levando em conta os fatores acima, a relação entre o distanciamento dos centros e do desvio será aquele indicado na tabela seguinte:

Raio	Distanciamento entre centros	Margem de folga do desvio em relação à largura efetiva do pantógrafo
900m	40m	191mm
	45m	104mm
	50m	7mm
1000m	40m	213mm
	45m	132mm
	50m	41mm
1200m	40m	249mm
	45m	174mm
	50m	93mm

Anexo 7-4-2 Distanciamento dos postes

O distanciamento dos postes foi determinado levando em conta os seguintes fatores:

- | | |
|---|--------|
| (1) Gabarito de isolamento do pantógrafo: | 2000mm |
| (2) Largura da placa da sinaleria: | 400mm |
| (3) Alargamento do leito da via devida a sobrelevação | 500mm |
| (4) Margem de folga | 100mm |
| (5) Total (distanciamento dos postes): | 3000mm |

Anexo 7-4-3 Isoladores

O tamanho e a quantidade de isoladores foi determinado levando em conta a tensão aplicada, corrente por ocasião de acidentes, deterioração devida a partículas flutuantes no ar, tec.

- (1) Isolador tipo suspensão

A capacidade de isolamento de cada isolador suspenso de 250mm em vista da quantidade de sal aderente e o número de isoladores usados para a tensão máxima aplicada à rede aérea (27,5 kV) em vista da mesma quantidade de sal são indicadas na tabela seguinte:

Quantidade de sal aderida (mg/cm ²)		0,01	0,03	0,06	0,12	0,25
Capacidade de isolamento de cada isolador suspenso de 250mm (kV)		16,1	12,0	10,4	9,0	7,8
Quantidade usada	Quantidade calculada	1,72	2,30	2,64	3,04	3,52
	Quando se toma em conta a eliminação de manutenção (maintenance free)	1	1	1	1	1
	Total	3	4	4	4	5

No caso da presente ferrovia pode-se considerar que praticamente não há sal no ambiente. Entretanto, toma-se o valor equivalente a aderência de $0,01\text{mg}/\text{cm}^2$ de sal na superfície (tensão de ruptura húmida: $50\text{kV}/3$ x margem de segurança = $16,7\text{kV}$) porque há grande quantidade de partículas de minério de ferro suspensa no ar, acrescentando-se também o fato de serem poucos os dias chuvosos, não se podendo contar com a lavagem pela mesma.

Nestas condições toma-se a quantidade equivalente de sal aderente de $0,03\text{mg}/\text{cm}^2$ e para efeitos de eliminação de manutenção (maintenance free) foram tomados 4 isoladores em série.

(2) Isolador haste

Em relação aos isoladores haste foram feitas as mesmas considerações do isolador suspenso. Considera-se que a distância de fuga superficial e as características anti-arco sejam as indicadas a seguir:

Tensão impulsiva de ruptura 50%	380kV
Distância padrão de fuga superficial	1180mm
Característica anti-arco	
Diâmetro do corpo	80mm
Característica anti-arco	10.000A 10Hz

Anexo 7-4-4 Determinação dos tipos de cabos da rede aérea

Os tipos de cabos a serem usados na rede aérea de alimentação AT foram determinados da seguinte maneira:

(1) Cabo de contacto

No circuito de alimentação AT, a alimentação é feita em 50kV entre o cabo de contacto e o cabo de alimentação AT; em 25kV entre o cabo de contacto e os trilhos. Portanto a corrente de carga (corrente para 50kV) no cabo de contacto e no cabo de alimentação AT (com 50kV de diferença de potencial) será aproximadamente a metade da corrente de

carga (corrente para 25kV) para cargas localizadas em pontos mais afastados que o trecho AT em questão. As correntes no cabo de contacto serão aproximadamente iguais.

Entretanto, para composições que se localizam dentro do trecho AT em questão, há o fornecimento em paralelo de corrente por parte dos dois AT localizados em cada extremidade do trecho e portanto no cabo de contacto há super-posição da corrente devida a 25kV e da corrente devida a 50kV. Portanto a corrente que passa pelo cabo de contacto é ligeiramente superior à corrente que passa pelo cabo de alimentação AT.

De um modo geral o circuito de alimentação AT tem faixa (distância) de alimentação bastante extensa pode ocorrer o tráfego simultâneo de 2 ou 3 composições dentro da mesma faixa. Neste caso o condutor que fica sujeito às condições térmicas mais severas é o cabo de contacto localizado próximo à subestação. Assim sendo, para se determinar a secção do cabo de contacto, levou-se em conta a corrente nas proximidades das subestações, ou seja a variação máxima de corrente de carga que se repete pelo espaçamento das composições e o valor efetivo do tempo de duração da corrente (raiz quadrada da média quadrática).

Nos estudos foram considerados o tráfego simultâneo de tres composições dentro de uma faixa de alimentação e sob a ação desta carga distribuida foi suposto que a corrente de carga instantânea máxima que passa no trecho compreendido entre o primeiro e o segundo AT das subestações é 650A. Este valor excede a corrente de segurança em regime contínuo para cabo de contacto de cobre duro no seu limite de desgaste (470A) mas considerando-se a constante de tempo de elevação de temperatura do cabo de contacto, pode-se considerar que ele é perfeitamente capaz de suportar sobre-carga 1,5 vezes superior ao valor limite de curta duração (4 a 5 minutos). Por outro lado, o valor efetivo da corrente devida à ação repetitiva de cargas de longa duração que influi na elevação de temperatura é de aproximadamente 450A, sendo portanto menor que o limite de segurança para cabos desgastados, sendo

também que a elevação de temperatura não excede o limite admissível em regime contínuo (90°C). Nestas condições, mesmo desprezando a divisão de corrente pelo cabo de sustentação (aprox. 10%) o cabo de contacto de cobre duro 170mm² é suficientemente seguro.

(2) Cabo de sustentação

Como cabo de sustentação foi escolhido o cabo de aço trançado de 135mm² tendo em vista a rede aérea de 3t.

(3) Cabo de alimentação AT

Para a escolha do cabo de alimentação AT foi levado em consideração a carga repetitiva representada pelo valor efetivo máximo da corrente passando por composições que trafegam simultaneamente dentro da mesma faixa de alimentação, da mesma maneira que no caso do cabo de contacto. Foi escolhido o cabo de alumínio trançado de 200mm².

Anexo 7-4-5 Gabarito do pantógrafo e gabarito superior

A nomenclatura usada na Figura 6-2-1 baseia-se nos seguintes fatos:

(1) Gabarito do pantógrafo

O gabarito do pantógrafo é determinado levando em conta a inclinação da viatura a distância instantânea de isolamento sendo que na JNR adota-se o valor de 500mm. No presente estudo também será adotado este valor. Tem-se portanto:

$$\text{Gabarito do pantógrafo} = 2000 + 500 \times 2 = 3000 \text{ mm}$$

(2) Gabarito superior

$$\begin{aligned} \text{Gabarito superior} &= 5700 \text{ (altura padrão da rede aérea)} + \\ & 500 \text{ (espaço necessário para a suspensão)} + 300 \text{ (espaçamento de isolamento)} \\ &= 6500\text{mm} \end{aligned}$$

(3) Gabarito superior escolhido

Gabarito superior

escolhido = 5030 (altura mínima da rede aérea) +
500 (altura requerida pelas ferragens
de suspensão) + 300 (distanciamento de
isolamento) = 5830mm

Anexo 7-4-6

(3) Cabos do sistema de proteção

O tipo de cabo para o sistema de proteção foi determinado com base nos seguintes fatores:

- capacidade de correntes de curta duração por ocasião do curto à terra.
- tempo de passagem de corrente
- economicidade

O valor da corrente de curto à terra depende da capacidade da subestação mas foi tomado como 10.000A.

1) Cabo de proteção do AT e cabo de aterramento protetor.

Quando ocorrem acidentes de curto à terra, ocorrem na subestação o desligamento e o re-ligamento do disjuntor. Considerando-se o tempo equivalente de passagem de corrente como 20 a 30 ciclos, foi escolhido o cabo de alumínio trançado de 70mm^2 .

2) Condutor de aterramento

O condutor de aterramento requer capacidade de corrente igual ao cabo protetor do AT mas como se localiza em extremidade de linha e não em ponto intermediário, mesmo em caso de ruptura não exerce grande influência às outras partes. Considerando-se portanto a economicidade e a facilidade de trabalho foi escolhido o cabo trançado de cobre duro de 22mm^2 .

3) Cabo aéreo de aterramento

A necessidade e o tipo do cabo aéreo é determinado pelo número de dias sujeito a raios e a intensidade dos mesmos.

A corrente oriunda pela descarga direta de um raio é superior a 40.000A em mais de 8%, havendo casos em que atingem 100.000A. É portanto extremamente difícil do ponto de vista econômico proteger completamente uma linha dos efeitos dos raios. Assim sendo, o objetivo do cabo aéreo de aterramento será a proteção contra raios induzidos. A corrente de descarga de para-raios instalados na linha são da ordem de 5.000A a 10.000A mas como sua duração é extremamente curta, foi escolhido o cabo de aço galvanizado trançado de 55mm².

8. PLANO DO SISTEMA DE SINALIZAÇÃO
E DE CONTROLE OPERACIONAL

8. PLANO DO SISTEMA DE SINALIZAÇÃO E DE CONTROLE OPERACIONAL

8-1 Plano Original

Apresentamos a seguir o plano do sistema de sinalização e de controle do trecho Volta Redonda - Belo horizonte, em linhas gerais.

8-1-1 Método de bloqueio, sinalização e dispositivo de controle automático de trens (ATC).

Método de bloqueio: Bloqueio Automático

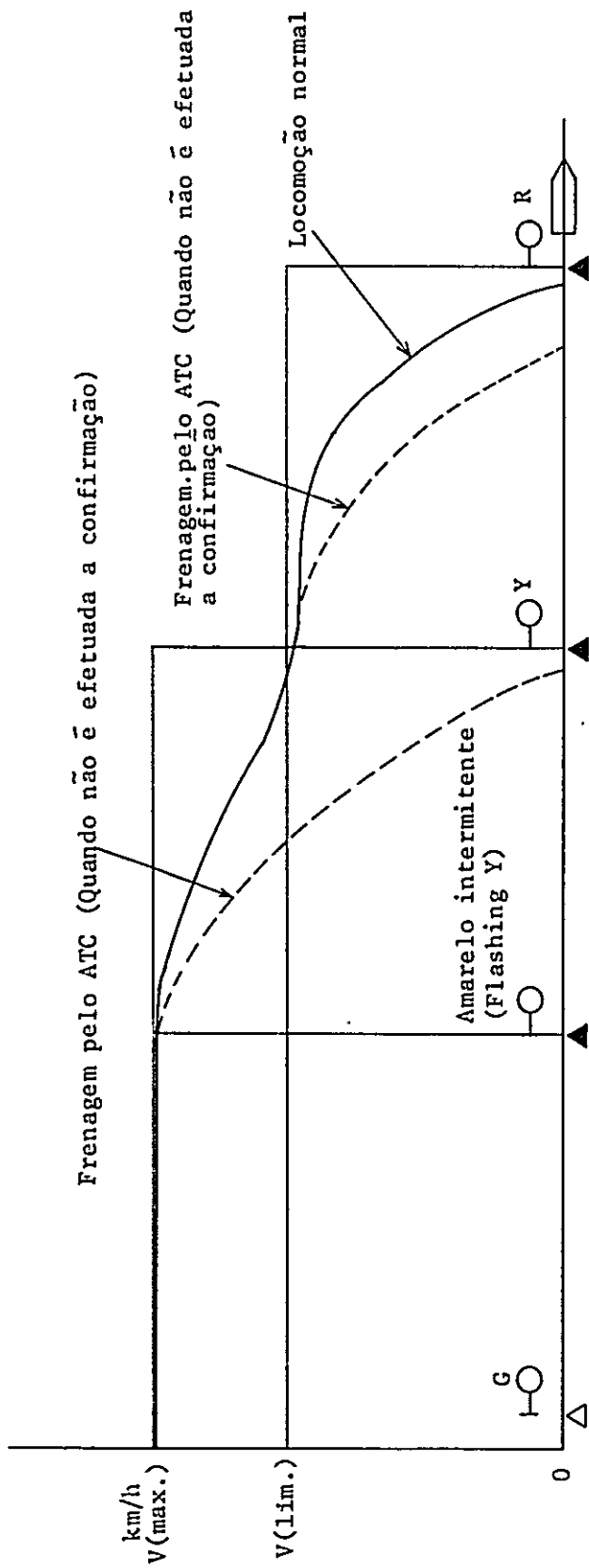
Método de sinalização: Sinais ao longo da linha com

3 tipos de indicação:

(Verde, amarelo, e vermelho). Caso necessário, adiciona-se amarelo intermitente.

1 sinalizador de bloqueio é instalado entre as estações. Ao sinalizador interno do patio e ao sinalizador de bloqueio, adiciona-se sinalizador de aproximação.

Dispositivo de ATC: Controle por pontos, do tipo descontínuo. (Figura 8-1-1)



Obs.: ▲ subposto que entra em operação (exceto no sinal verde G)

Figura 8-1-1 ATC descontínuo (proposição do sistema brasileiro)

8-1-2 Circuitos elétricos

São utilizados os seguintes cabos:

a. Pátio

Cabo de polietileno sem blindagem

b. Linha de C.T.C., entre estações

Cabo blindado para comunicações

c. Linha de bloqueio entre estações

Cabo sem blindagem para sinalização

8-1-3 Circuito da ferrovia

Satisfazer as seguintes condições:

a. Não sofrer interferência das locomotivas com thyris
tores

b. Sensibilidade de curto-circuito superior a $0,06\Omega$

c. Temperatura de funcionamento.: $0^{\circ} \sim 70^{\circ}\text{C}$.

d. Resistência de fuga: $2\Omega/1000 \text{ ft}$.

8-1-4 Dispositivo de CTC

(1) Localização do centro de controle

Volta Redonda.

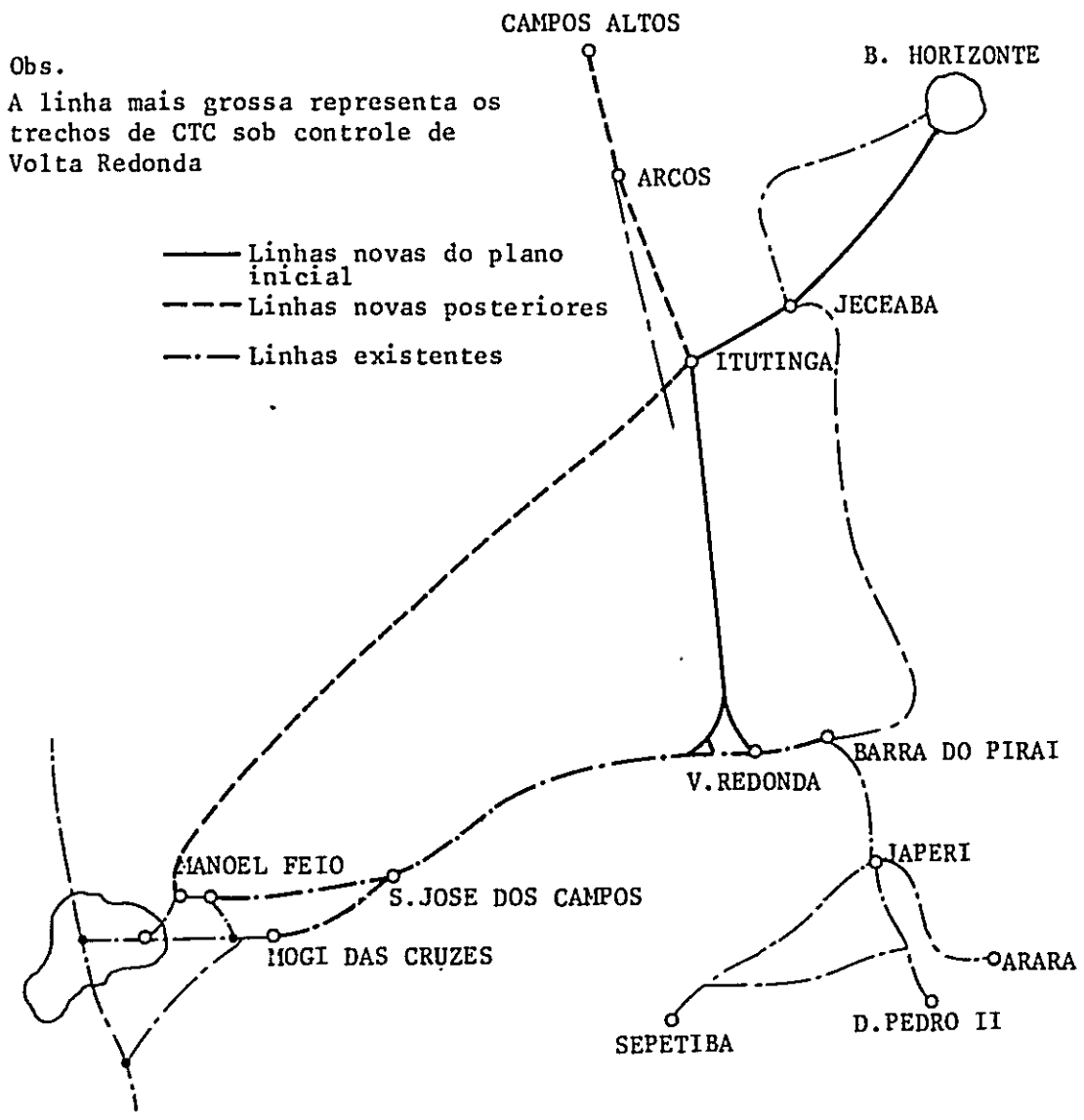


Figura 8-1-2 Mapa da área de controle do CTC

- (2) Alcance do CTC
Conforme Figura 8-1-2
- (3) Método de operação
Início de operações: Controle manual da rota dos trens
Plano futuro: Automatização via computador.
- (4) Painel de controle
Operação combinada de botões 0 ~ 9 e botões de pressão
- (5) Painel de indicações
Indicações da localização dos trens, abertura da rota, número do trem, etc.
- (6) Registrador da progressão dos trens
Adoção de qualquer dos métodos abaixo.
Curva de tempo-espaço semi automático
Indicação automática das horas de partida e chegada.
- (7) Plano de controle por computadores no futuro.
Serão necessários os seguintes itens
 - 1) O aparelho de comando será localizado no centro de supervisão.
 - 2) Automatização do controle de rotas, exceto em Volta Redonda.
 - 3) Instalação de tubo de raios catódicos TRC que indique 3 sinais consecutivos do campo de localização selecionado.
 - 4) Indicação automática dos vários tipos de alarme na ocorrência de acidentes.
 - 5) Instalação de TRC que indique as informações

de operação e progressão dos trens.

(8) Dispositivo de transmissão do CTC

Dispositivo eletrônico

(9) Linha de transmissão do CTC

Transmissão via cabo coaxial com rota alternativa via micro-ondas.

8-2 Sistemas de sinalização e bloqueio

A ligação ferroviária do presente plano atinge um comprimento total de 400km, com tráfego intenso no futuro devido ao aumento de material a ser transportado, razão pela qual deve ser utilizado o sistema de bloqueio automático caracterizado pela sua alta eficiência.

Quanto à seleção do sistema de sinalização a ser adotado, há necessidade de se constituir um sistema com perfeita harmonização homem-máquina, garantia do nível de segurança requerido pelas condições de tráfego e da importância da ligação ferroviária e, sendo esta uma ferrovia extremamente longa com tráfego de pesadas composições, é necessário efetuar a seleção entre a sinalização ao longo da via e a indicação de sinais dentro da locomotiva, com a instalação do sistema ATC como cobertura de falhas de operação de modo a atingir um alto nível de segurança.

8-2-1 Sistema de sinalização dentro das locomotivas e ao longo da via

Tanto no sistema de sinalização ao longo da via como no de sinalização dentro da locomotiva, o sinal é enviado ao circuito de via, para então ser gerada a sinalização de acordo com a relação entre o trem e o circuito de via.

Observamos aqui que no sistema de sinalização ao longo da via é necessário assegurar uma visibilidade dos sinais superior, ao espaço de frenagem requerido pelo trem.

Entretanto, deve ser considerado que para trens carregados de minério de ferro, que necessitam de distâncias de frenagem muito grandes, é difícil garantir uma operação segura em túneis, curvas, ou sob condições de tempo desfavoráveis como nevoeiro, mesmo instalando dispositivos de sinalização para compensar a falta de visibilidade. O método de sinalização dentro das locomotivas é desejável sob o ponto de vista de segurança, mas a colocação de sinais ao longo da ferrovia é mais vantajosa se levar em consideração a conexão com outras linhas ferroviária, podendo-se então considerar a adoção da sinalização ao longo da linha.

No anexo 8-1 é feita a comparação entre esses dois métodos de sinalização.

No caso de adoção de sinalização dentro da locomotiva, consideramos vantajosa a sua utilização paralela com a sinalização ao longo da linha no trecho Jeceaba-Belo Horizonte, devido à conexão com outras linhas já existentes. É necessário então fazer coincidir a sinalização ao longo da linha com os sinais dentro da locomotiva.

8-2-2 O sistema de sinalização

No sistema de bloqueio automático é adotado atualmente o método de sinais de velocidade e no sistema de sinalização ao longo da linha, são basicamente adotadas as três cores: verde (G) "siga", amarela (Y) "atenção" e vermelha (R) "pare". A utilização adicional do amarelo intermitente (flashing Y) é também determinada pelas normas brasileiras de sinalização.

No planejamento de sistema de sinalização em trechos com tráfego de pesadas composições que necessitam de distâncias de frenagem muito grandes, como o presente projeto, é necessário um estudo levando-se em consideração o sistema de ATC, juntamente com as distâncias necessárias para a frenagem. Conforme mostra a Figura 8-3-3, a distância de 858m de frenagem para 45km/h de um trem carregado de minério à sua velocidade máxima admissível de 60 km/h. é bastante grande, maior que o campo de visão (cerca de 600m), sendo então necessário colocar um sinal de precaução prévia ao próximo sinal. O sinal amarelo intermitente (flashing Y) colocado antes do próximo sinal possibilita ao condutor do trem a redução da velocidade a um valor conveniente nesse ponto. Na sinalização dentro da locomotiva são instalados sinais correspondentes aos três sinais G, y e R.

8-2-3 Tempo de espera de trens em sentidos opostos em trechos de linha única.

No plano atual são efetuados controles convenientes para possibilitar tráfego eficiente e em segurança dos trens de ida no sentido de exportação e para efetuar controle de espera dos trens de volta (no sentido de importação). A relação entre trens de ida e volta é sempre 1:1, não se considerando o tráfego consecutivo de dois trens em mesmo sentido em operação normal. Um meio eficiente para aumentar a capacidade da linha em operações desse tipo é diminuir a distância entre estações, sendo também necessário minimizar o tempo de espera dos trens de volta.

No trecho Volta Redonda - Itutinga, a maior distância entre estações de 17,7 km e o intervalo entre trens consecutivos nesse trecho é fixo e igual a cerca de 45 min., sendo necessário apenas um aparelho de sinali-

zação. Entretanto, se o trem de ida deve passar dentro da faixa em que não use o freio, é necessário que o trem em sentido oposto chegue na estação consideravelmente antes. Pode-se calcular o tempo mínimo de espera do trem nesse caso.

As seguintes condições, a priori, são estabelecidas.

- a. O trem aproxima-se até 100m do sinal amarelo intermitente, dentro da faixa em que não use o freio.
- b. Comprimento do trecho de bloqueio maior do que 1.500m (Conforme a Figura 8-3-3, o mínimo é de 1.445m).
- c. A velocidade do trem é igual a 60 km/h
- d. O trem é composto de 90 vagões, com comprimento total de 1.140 m.
- e. Após chegada do trem de espera, são necessários 30 seg. para manejo da rota para o trem a passar
- f. Tempo de folga de 20 segundos.

Na figura 8-2-1, considera-se que o trem A chegue a 100 m do sinal amarelo intermitente (flashing y)

Calculando o tempo x (min) entre a chegada do trem B e a passagem do trem A, temos:

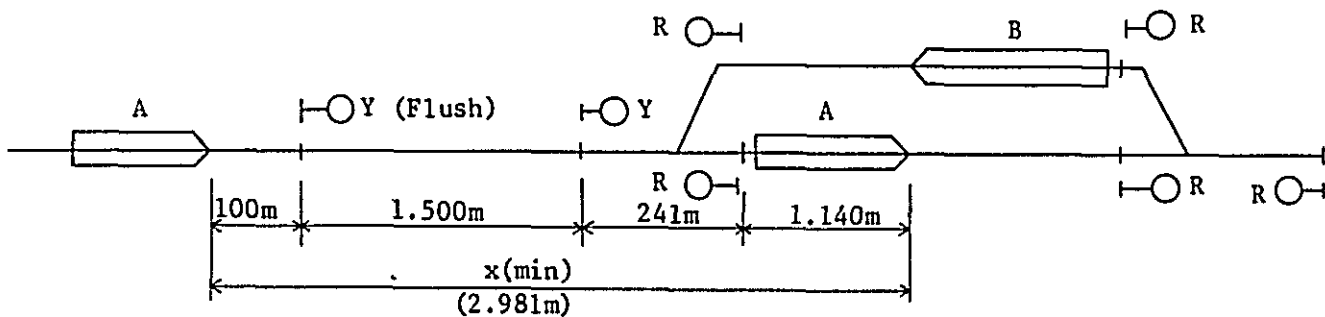
$$60 \text{ km/h} = 16,7 \text{ m/seg}$$

$$2.981\text{m} \div 16,7\text{m} = 179 \text{ seg.}$$

Somando-se o tempo de manejo da rota e o tempo de folga, obtemos:

$$179 \text{ seg} + 30 \text{ seg} + 20 \text{ seg} = 229 \text{ seg} = 3\text{min. } 49 \text{ seg.}$$

Considerando-se então o tempo de espera igual a 4 min e o trem chegando a 100m do sinal amarelo intermitente



obs. O sinal de entrada é instalado a 100m da jun-
ta da agulha.

Figura 8-2-1 Esquema para cálculo do tempo de espe-
ra do trem

(flashing y), podemos obter a posição do sinalizador de bloqueio igual a 1.692m do sinal de entrada.

O tempo de espera depende da distância entre estações podendo-se automaticamente tomar tempos maiores à medida que a distância fique menor. Como o tempo de espera influe grandemente na capacidade da linha, devemos determinar a posição do primeiro sinal de bloqueio de modo a minimizar o tempo de espera no trecho de maior distância entre estações, para então ajustar a posição nos outros trechos de acordo com cada tempo de espera.

8-2-4 Quantidade de sinais de bloqueio em trechos de linha única.

Os elementos decisivos para o cálculo da quantidade de sinais de bloqueio para trechos de linha única são os seguintes:

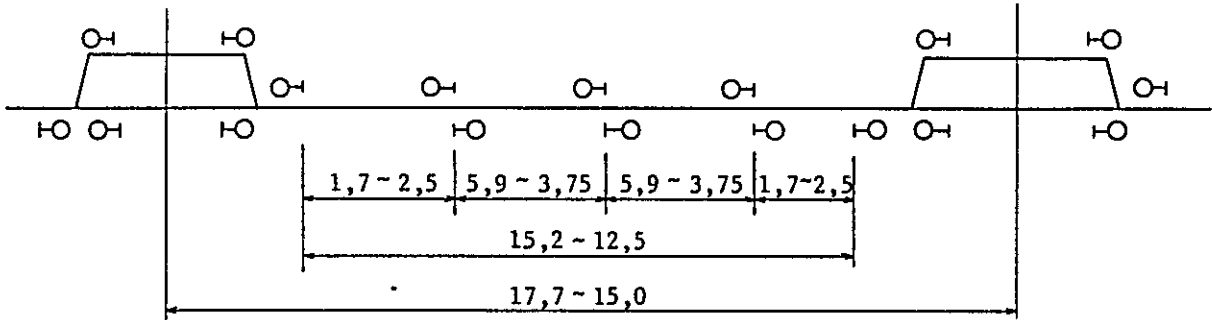
- a. Intervalo de tempo entre trens consecutivos no mesmo sentido. Observamos, entretanto, que não se consideram trens consecutivos no mesmo sentido durante operação normal.
- b. Tempo de espera do trem de volta durante a passagem do trem de ida.
- c. Tráfego de trens consecutivos no mesmo sentido durante condições anormais de linha

No ítem a., embora a distância entre estações seja grande, é necessário apenas um sinalizador de bloqueio, desde que não se considerem trens consecutivos.

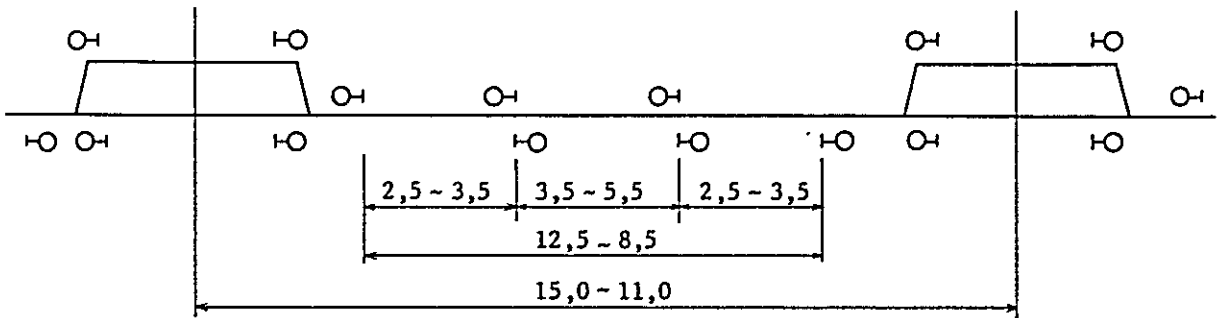
Considerando-se o ítem b., o tempo de espera ao trem em oposição é determinado a partir da distância entre as estações consecutivas mais separadas, que na presente ferrovia é de 4 min.. para a distância máxima de

Trecho Itutinga - Volta Redonda

1 Distância entre estações: 17,7~15,0km; 3 sinalizadores intermediários



2 Distância entre estações: 15,0~11,0km; 2 sinalizadores intermediários



3 Distância entre estações menor ou igual a 11km; 1 sinalizador intermediário

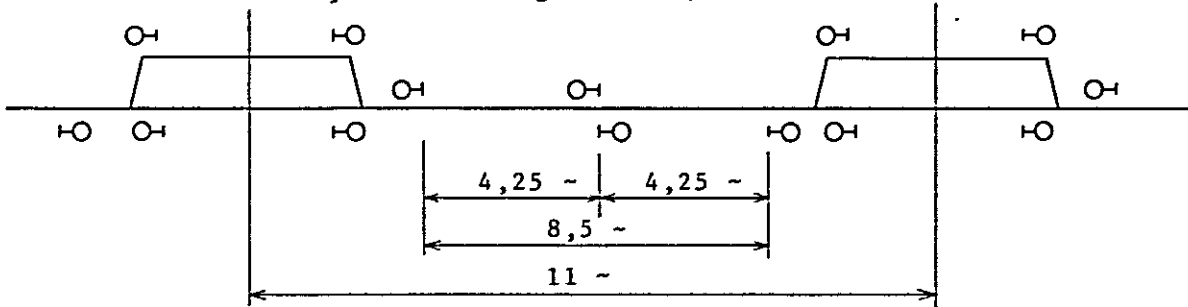


Fig. 8-2-2 Diagrama padrão de sinalizadores de bloqueio em cadeia para trechos de linha única.

17,7 km da presente ferrovia. Conforme descrito anteriormente, a distância calculada entre o sinal de entrada e o primeiro sinalizador de bloqueio é de 1.692 m. Para estações menos separadas, é possível tomar tempos de tempos de espera maiores que o calculado acima.

Como método para manejar o tráfego anormal descrito no ítem c. de modo a obter máxima eficiência de tráfego e evitar congestionamento dos trens, o 2º sinalizador e subsequentes serão operados em cadeia. Para conseguir a máxima eficiência de tráfego, a distância entre os sinalizadores operados em cadeia deverá corresponder a intervalos iguais de tempo.

A quantidade de sinalizadores é ajustada a partir da distância entre estações e consideramos adequada a quantidade descrita a seguir.

Para determinação da sequência de operação em cadeia dos sinalizadores é necessário ainda considerar o campo de visibilidade, declive, etc.

Ademais, considerando-se que não haverá tráfego de grande número de trens em trechos curtos de linha, no início de operações, em vista da quantidade de trens e a capacidade das subestações, podemos reduzir o número padrão de sinalizadores.

O sistema de bloqueio automático para trechos de linha única pode também ser adotado em trechos de linha dupla, considerando-se a manutenção. Nesse caso, a quantidade de sinalizadores correspondente à da linha dupla será necessariamente instalada em sentido contrário.

8-3 Controle Automático de Trens (ATC)

8-3-1 Introdução

O dispositivo de ATC na presente ferrovia é considerado um sistema de segurança contra falhas do condutor, para garantir a segurança de transporte. O trem

permanece sob controle do condutor e o ATC em posição de observador, uma vez que o condutor tem como obrigação verificar os sinais ao longo da linha e conduzir o trem de acordo com a sinalização. Se por algum acaso o condutor negligenciar a sinalização, o ATC entra em operação e alerta o condutor através de campainhas de alarme e lâmpadas indicadoras e, conforme a situação, frena o trem, limitando a velocidade ao valor limite de acordo com a sinalização ou freando o trem por completo, imediatamente.

O presente plano de via ferroviária tem como objeto principal o tráfego de trens para transporte de minérios, mas em relação ao projeto de instalação do ATC é necessário considerar também os seguintes pontos:

- a. Devido ao fato de que os trens de minérios de ferros são de alta tonelagem, é necessário um intervalo de tempo bastante grande para frenagem e redução da velocidade e, mesmo estabelecendo a velocidade limite por etapas, o controle automático da velocidade do trem é de difícil execução.
- b. A aplicação do freio de emergência pode, pelo contrário, provocar descarrilhamento e o trem deve ser parado pela aplicação contínua do freio normal.
- c. Deve constituir um sistema aplicável aos trens de carga e de pessoas que utilizem o mesmo trecho de ferrovia.
- d. O dispositivo ATC a ser instalado nos trechos iniciais de eletrificação CA deve constituir um sistema altamente padronizado, considerando também o plano futuro de conexão com outras linhas.

Sob estes pontos de vista, considerando um ATC com possibilidade de utilização em outras linhas, os sistemas foram devidamente selecionados e estudados, incluindo o método de ATC descontínuo (propos

to pelo sistema brasileiro), chegando, neste plano ferroviário, à seguinte conclusão sobre os métodos de sinalização ao longo da linha e na locomotiva.

- a. Sinalização ao longo da linha ATC de controle por pontos com configuração no trem
- b. Sinalização dentro da locomotiva
ATC de controle contínuo com configuração no trem

8-3-2 Os métodos de ATC.

No método de ATC descontínuo (proposto pelo sistema brasileiro) conforme a Fig. 8-1-1, é gerado um sinal de alarme na locomotiva através de um indutor colocado ao longo da linha que transmite a condição atual do sinal, a menos que este esteja verde (G) e a operação do trem fica a cargo do condutor, mas devido ao fato de que a parada ante um sinal vermelho (R) permanece sob controle somente do condutor, há a possibilidade de ocorrência de choque por falta de operação do freio devido a alguma ilusão, etc. Consideramos necessário um ATC com capacidade de parar o trem automaticamente ante o sinal vermelho (R). Levando em consideração esse ponto, apresentamos o seguinte sistema.

- (1) ATC de controle por pontos com configuração no trem.

A transmissão da informação para o ATC de controle por pontos ocorre quando o trem passa por subpostos de transmissão instalados ao longo da linha. Não é possível efetuar a transmissão contínua da sinalização como no método de controle contínuo mas o controle automático do trem (ATC) é efetuado armazenando-se a informação sobre o sinal recebida em um subposto até receber a

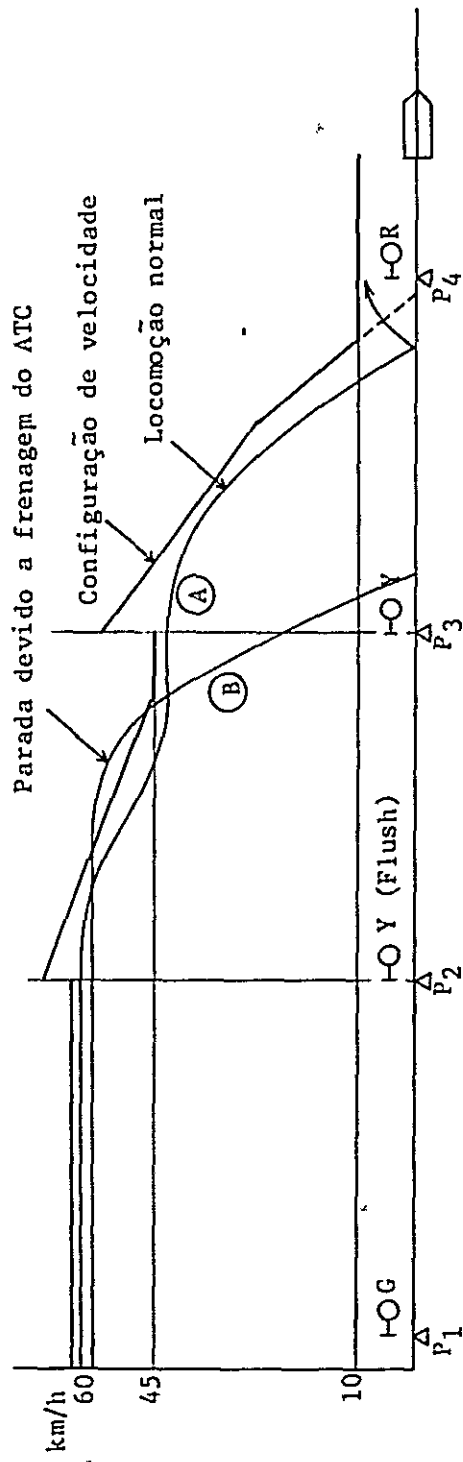


Figura . 8-3-1 Curvas de controle do ATC por pontos com configuração de velocidade

informação no próximo sinal. O princípio de operação consiste em cálculo, no trem, da configuração contínua da velocidade, de acordo com a informação recebida ao passar por estes subpostos de controle de velocidade e controle contínuo da velocidade do trem, segundo essa configuração, freando o trem até a parada, quando a sua velocidade é muito alta.

Descrevemos a seguir as características desse método

- a. O trem é conduzido segundo uma curva contínua de limite de velocidade, de acordo com a configuração contínua de velocidade gerada pelos dados transmitidos pelos subpostos instalados ao longo da linha, mantendo assim uma velocidade sempre menor ou igual ao limite, embora o método de controle seja por pontos.
- b. É possível gerar a configuração de velocidade adequada a cada tipo de locomotiva, de acordo com a força de frenagem.
- c. A instalação ao longo da linha é simples e de baixo custo.

Descrevemos a seguir o esquema geral de funcionamento. A figura 8-3-1 mostra a configuração por duas etapas, em relação aos sinais amarelo (Y) e vermelho (R). Embora sejam necessários 2 subpostos, um para gerar os dados da configuração de velocidade do local a serem transmitidos para o trem e outro para o seu restabelecimento, podemos utilizar só um equipamento de uso múltiplo quando a localização desses dois subpostos coincidem.

A configuração de velocidade correspondente ao sinal amarelo (Y) é gerado no instante em

que este passa pelo sinal amarelo intermitente (flashing Y). Essa configuração consiste de uma curva decrescente aproximada à curva de frenagem estabelecida pela redução de velocidade para a descida pelo trecho em declive, tornando-se plana à velocidade limite de 45km/h. Ao passar em seguida pelo sinal amarelo, é gerada a configuração de velocidade correspondente ao sinal vermelho (R), seguindo a curva decrescente até tornar-se plana à 10 km/h, possibilitando a locomoção à velocidade reduzida a partir desse ponto. O condutor deverá sempre manter o trem à velocidade menor ou igual ao limite estabelecido pela curva da configuração de velocidade. O trem (A) trafega normalmente e não é frenado pelo ATC, mas o trem (B) ultrapassa a velocidade limite, sendo então frenado pelo ATC até a sua parada. O restabelecimento da configuração de velocidade gerada ocorre após mudança do sinal indicado pelo sinalizador para o sinalizador seguinte, quando o trem passa pelo subposto instalado nesse ponto.

Existem 2 configurações nesse método de geração de configuração de velocidade. Um deles é a configuração em uma etapa, somente correspondente ao sinal de parada e o outro é a configuração em duas etapas, correspondentes ao sinal de parada e ao sinal de atenção. Na configuração em uma etapa há necessidade da configuração da velocidade máxima até a parada, resultando em uma configuração bastante longa e conseqüente desvantagem de necessitar um longo trecho de bloqueio.

A configuração efetuada em duas etapas do 2º método é vantajosa devido ao menor comprimento do trecho de bloqueio, resultante da configuração mais curta em cada etapa. A comparação dessas duas configurações é apresentada no anexo 8-2.

(2) ATC de controle contínuo com configuração no trem
ATC de controle contínuo com configuração de velocidade no trem é efetuada à transmissão contínua, da estação fixa para os trens, de sinais de ATC, com informação sobre a condição dos sinais, como dados sobre a velocidade (controle) dos trens, possibilitando assim a comparação de velocidades e seguir continuamente a mudança dos sinais. Para a efetivação desse método é necessário gerar sinais de corrente sobre os trilhos nos trechos de eletrificação CA em códigos baseados em frequência audível ou frequência dividida, que podem também ser utilizados para a detecção do trem. As características desse método são as seguintes:

- a. A configuração é gerada no trem segundo sinais contínuos da estação fixa e o trem é conduzido de acordo com a curva contínua de limite de velocidade, mantendo uma velocidade sempre menor ou igual a máxima estabelecida.
- b. É possível seguir continuamente a faixa admissível de velocidade de acordo com ordens da estação fixa.
- c. Alto nível de segurança resultante da construção de sistema à prova de falhas, que pode ser construído baseado na transmissão contínua de informações.
- d. Pode ser utilizado pelo método de sinalização na locomotiva.
Por outro lado, apresenta as seguintes vantagens:
 - a. Sendo utilizado também para a detenção do trem, o ponto de mudança de informação é fixada nos limites do circuito da linha,

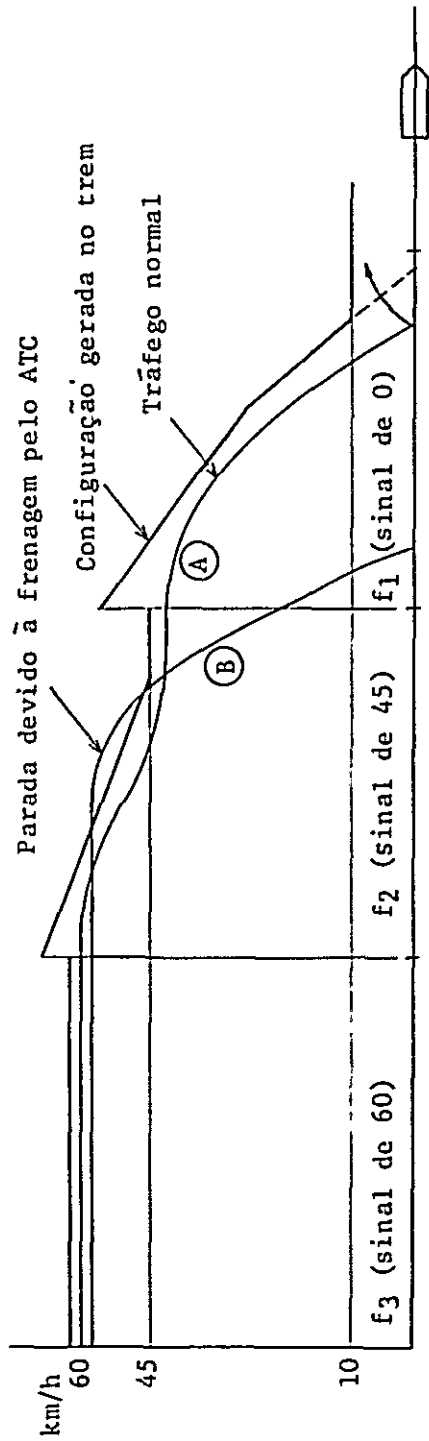


Figura. 8-3-2 Curva de frenagem do ATC de controle contínuo por configuração no trem

não sendo possível a escolha de locais arbitrários como ponto de geração da configuração

Conforme mostra a Figura 8-3-2 a curva de frenagem do ATC de controle contínuo por configuração no trem é igual à do controle por pontos.

(3) Conclusão:

Apresentamos aqui um resumo da comparação entre os dois métodos.

O método de controle por pontos, conforme descrito anteriormente, não apresenta suficiente característica de acompanhamento, mas apresenta vantagens como a facilidade de mudança dos pontos de geração de configuração através da mudança da localização dos subpostos de transmissão colocados ao longo da linha e o fato do equipamento fixo ser simples e de fácil manutenção.

O método de controle contínuo, conforme descrevemos em itens anteriores, apresenta ótima característica de acompanhamento e o dispositivo pode ser construído de modo a formar um sistema à prova de falhas, com alto nível de confiabilidade, mas os pontos de geração de configuração são fixos nos limites do circuito da linha ferroviária. As instalações fixas e nos trens tornam-se também mais complicadas se comparadas as do método de controle por pontos.

Em resumo, podemos dizer que cada um dos métodos acima apresenta as suas vantagens e desvantagens, sendo que o método de controle contínuo é melhor sob o ponto de vista de segurança e eficiência de transporte, enquanto que o método de controle por pontos é melhor sob o ponto de vista de liberdade

de escolha dos pontos de geração de configuração e de custo de instalação; mas, qualquer um dos métodos é suficiente para constituir um sistema de proteção e apoio ao condutor. Uma tabela comparativa dos dois métodos é apresentada no anexo 8-3.

8-3-3 Comprimento do trecho de bloqueio

Comprimento do trecho de bloqueio onde é aplicado o método de bloqueio automático é determinado a partir do espaço de frenagem e intervalo entre trens. No presente plano de ferrovia constam trechos de linha dupla e linha única e na programação do tráfego, o intervalo entre trens para os trechos de linha única torna-se grande devido à grande distância entre estações. Entretanto, levando em consideração a passagem de trens em sentido contrário e o manejo de situações anormais, não é possível tomar espaços de bloqueio muito grandes. O comprimento do trecho de bloqueio deve ser necessariamente maior do que o espaço de frenagem, mas o espaço de bloqueio no presente plano de ferrovia é determinado a partir do espaço de frenagem necessário pelo sistema ATC a ser adotado. Considerando que será adotado o sistema ATC de 2 etapas no presente projeto, calculamos a seguir o comprimento mínimo do trecho de bloqueio a partir do espaço de frenagem necessário por esse ATC com sinalização ao longo da linha.

Estabelecemos as seguintes condições, a priori, para o referido cálculo:

- a. Cálculo dos espaços de frenagem em relação ao sinal amarelo e ao sinal vermelho e utilização do maior espaço, como comprimento do trecho de bloqueio.

- b. Os locais de geração da configuração são os limites dos trechos de bloqueio.
- c. Velocidade máxima igual a 60 km/h
- d. Velocidade de passagem pelo sinal amarelo menor do que 45 km/h.
- e. Erro de $\pm 2\%$ no medidor de velocidade.
- f. Espaço de frenagem (dados do sistema brasileiro)
 - 60 km/h a 45 km/h : 450m em declive de -1%
 - 45 km/h a 0 km/h : 375m em declive de -1%
- g. Tempo de corrida livre (de medição efetuada pela CVRD).

$$35 \text{ (seg)} \times \frac{90 \text{ (vagões)} \times 12\text{m}}{160 \text{ (vagões)} \times 10\text{m}} = 24 \text{ seg}$$

- h. erro de $\pm 2\%$ na configuração
- i. Distância de folga da configuração igual a 50m.
- j. Tempo de manejo da confirmação de 6 seg.
 Como o comprimento do trecho de bloqueio calculado de acordo com as condições acima é maior para o espaço de frenagem do sinal amarelo, será adotado esse valor e concluímos que, o espaço de bloqueio será maior ou igual a 1.445m.

A Figura 8-3-3, mostra o cálculo do espaço de bloqueio e apresentamos no anexo 8-4 as bases desse cálculo. O comprimento mínimo do trecho de bloqueio é igual também no caso de método de controle contínuo.

8-3-4 Intervalo de tráfego

Como objeto do cálculo do intervalo entre trens para os trechos de linha dupla do presente plano ferroviário, podemos considerar os 3 casos seguintes:

- a. O meio entre estações
- b. Espera de um trem nas proximidades da estação e ultrapassagem pelo trem seguinte.
- c. Partida do trem em espera.

Examinando esses 3 casos segundo o cálculo apresentado no anexo 8-5, obtemos, para o ítem a., o tempo de 7 min. 41 seg., com utilização de sinalização ao longo da linha e 7 min. 33 seg., com sinalização na locomotiva. Para o ítem b. obtemos, igualmente, o tempo de 6 min. 58 seg., com sinais ao longo da linha e 6 min. 50 seg., com sinalização na locomotiva. No ítem c. o intervalo em relação ao trem anterior é bem menor que os 2 casos acima se consideramos que o trem em espera parte com o sinal amarelo que libera o trecho.

Obtemos desse modo, o intervalo entre tráfego de trens para os trechos de linha dupla e igual a 7 min. 41 seg., com a sinalização ao longo da linha e de 7 min. 33 seg., com a sinalização na locomotiva.

8-4 Circuito de via.

8-4-1. Sistema do circuito de via

Em trechos de eletrificação CA é necessário adotar um método de circuito de via que não sofra interferência da corrente de retorno.

Têm sido utilizadas atualmente locomotivas com controle a thyristores que provocam o aparecimento de vários componentes de alta frequência na corrente de retorno e também o aumento da corrente de retorno que são

causas de dificuldade adicional na escolha do método do circuito de via adequado.

Teoricamente, os seguintes métodos de circuito de trilho podem ser utilizados em trechos de eletrificação C.A.

- a. Circuito de via DC.
- b. Circuito de via de 100 Hz
- c. Circuito de via AF
- d. Circuito de via com divisão-multiplicação de frequência (30 Hz).

Descrevemos a seguir as características referentes a cada método.

A instalação do método a. é o mais simples mas há possibilidade de mal-funcionamento devido à componente CC da corrente de surto, na partida de trens elétricos e também devido à corrente C.C. que flui perto de trechos de linha com eletrificação C.C.

No método b. a frequência de 100 Hz é gerada por um grupo motor-gerador a partir dos 60 Hz e foi escolhida uma frequência que sofre pouca interferência, entre 60 Hz e 120 Hz. Esse método necessita de uma fonte geradora de energia elétrica de 2 fases e 4 fios, resultando em instalação de alto custo e com problemas de manutenção do grupo motor-gerador.

O método de circuito de via AF do item c. possibilita obter uma grande quantidade de dados, podendo ser também utilizado para a sinalização no trem, mas a razão de ocorrência de defeitos é grande por causa da utilização de muitos componentes eletrônicos, sendo então necessária a instalação de um sistema redundante e portanto é de alto custo.

O circuito com divisão-multiplicação de frequência apresentado no item d. utiliza uma frequência igual

à metade da frequência da rede, não sofrendo influência dos componentes de alta frequência da corrente de retorno. O gerador é um dispositivo estacionário e de alta confiabilidade e em grandes pátios pode-se utilizar relés de divisão para vias com centralização do equipamento do circuito de via.

Resumindo todos os pontos considerados, é desejável adotar o método com divisão-multiplicação de frequência para a sinalização ao longo da linha e para a sinalização nos trens é preferível o método de circuito de via AF, por ainda não estar desenvolvido o método de codificação para o método com divisão-multiplicação de frequência.

8-4-2 Circuito de via com divisão-multiplicação de frequência.

É geralmente utilizado o método de circuito de via AF, para trechos de eletrificação CA e a JNR também adotava a modulação AM, mas atualmente, devido ao aparecimento de locomotivas controladas a thyristores e ao aumento da corrente de retorno pelos trilhos, juntamente com a falta de características de prevenção de interferências e devido ao uso de grande quantidade de componentes eletrônicos, apresentam defeitos quando colocados em locais de má condição ambiental, levando à problemas de manutenção. O método de divisão-multiplicação de frequência foi então desenvolvido face a esses problemas. Esse método utiliza equipamento estacionário de alta confiabilidade, possuindo um grande raio de ação comparado ao circuito de via AF e já vem sendo adotado há vários anos pela JNR como padrão em trechos de eletrificação CA, portanto com suficiente tempo de real utilização.

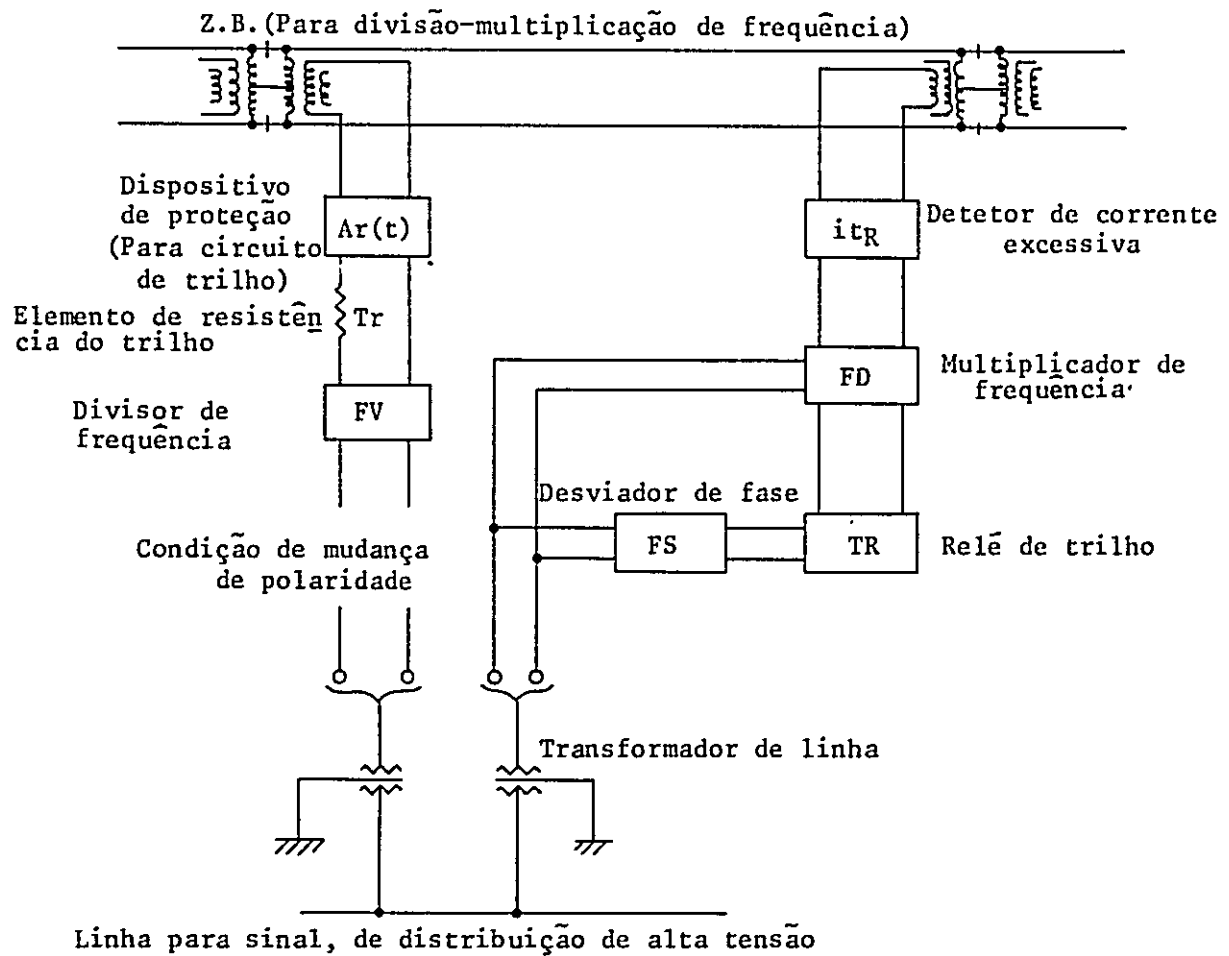


Figura 8-4-1. Diagrama esquemático do circuito de trilho com divisão-multiplicação de frequência.

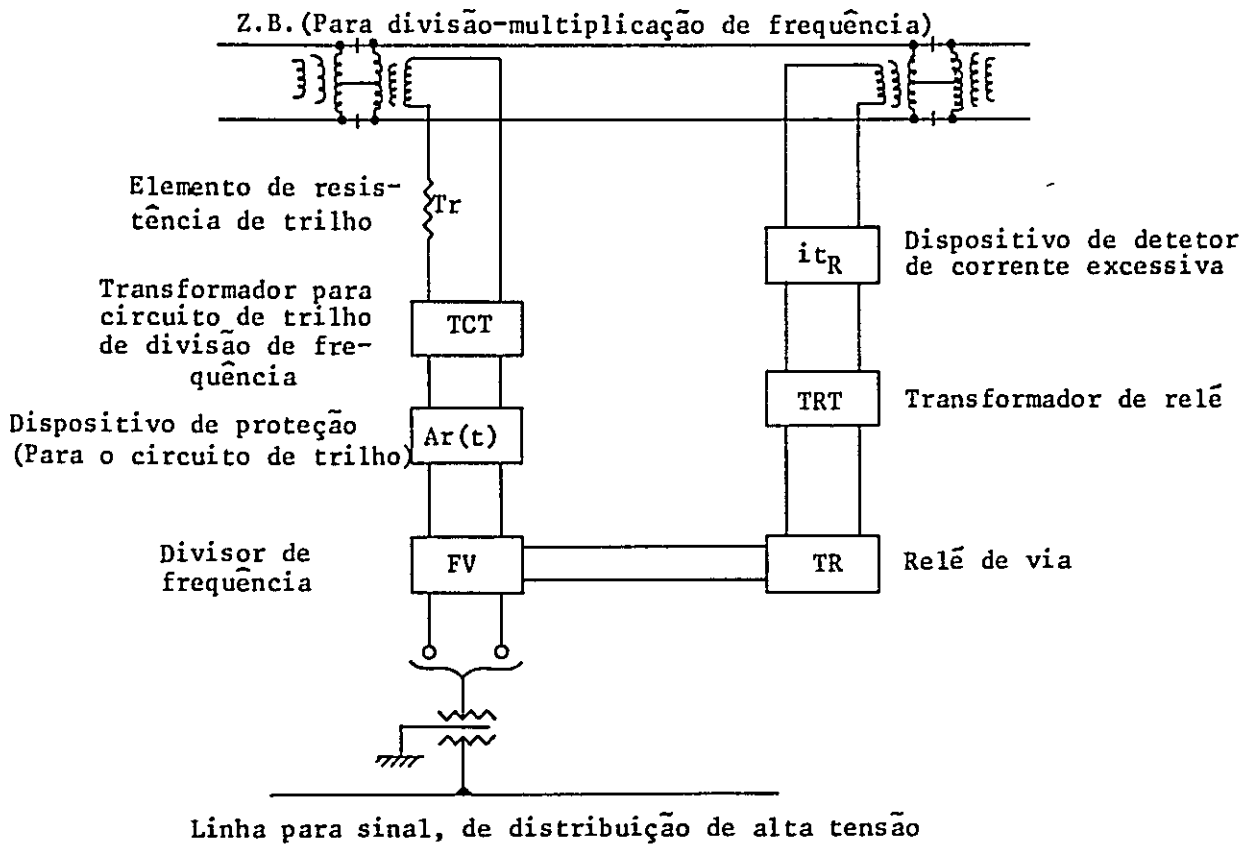


Figura 8-4-2. Diagrama esquemático do circuito de via de frequência dividida.

(1) Configuração.

O diagrama esquemático padrão do circuito de via para trechos de linha dupla é apresentada na Figura 8-4-1. O divisor de frequência colocado na extremidade transmissora converte a frequência da rede elétrica à metade e transmite pelos trilhos e é reconvertida à frequência original pelo multiplicador de frequência na extremidade receptora. Essa tensão é aplicada à bobina de linha do relé de via de 2 elementos e em outra bobina é aplicada uma determinada tensão proveniente da mesma rede de energia elétrica do lado transmissor, mas após passar por um desviador de fase.

Como fonte de energia elétrica é utilizada a linha de distribuição de alta tensão para sinais e as tensões de interferência devido à corrente de retorno são filtradas pelo filtro de corte de baixas frequências colocado dentro do multiplicador de frequência e, mesmo em caso de defeito no filtro em que a frequência de 60 Hz não é filtrada, ela transforma-se em 120 Hz no multiplicador e não causará mal-funcionamento.

É utilizada uma solda de impedância com uma bobina terciária de 1:18, além da secundária de 1:1. A transmissão é efetuada pela bobina secundária e a recepção pela bobina terciária.

Quando ocorre um desbalanceamento no circuito de trilho e flui uma corrente de interferência de 60 Hz excessiva, o detetor de corrente excessiva entra em operação, atuando o relé detetor que coloca em curto a entrada do equipamento evitando mal-funcionamento do relé de via.

O desviador de fase presta-se ao ajuste de característica de fase do relé de via.

O circuito de via com divisão-multiplicação de frequência foi desenvolvido para circuitos de via

entre as estações, mas em caso de instalações centralizadas em estações, o custo de instalação por circuito de via pode ser reduzido através da instalação de um divisor de frequência de grande porte como fonte de energia elétrica de 2 fases e 4 fios a 30 Hz. A Figura 8-4-2 apresenta o esquema do circuito de via de divisão de frequência desenvolvido para esse fim.

8-4-3 Circuito de via AF

Esse tipo de circuito tem sido usado como circuito de via padrão em trechos com eletrificação CA, mas o tipo com modulação AM utilizado inicialmente mostrou-se com características insuficientes de proteção contra interferências devido ao aparecimento de locomotivas à thyristores e também quanto ao aumento da corrente de retorno.

O circuito de via AF com combinação de 2 frequências aqui apresentado é a versão melhorada, levando em consideração os fatos acima.

- (1) Configuração do sistema de circuito de via AF com combinação de 2 frequências.

Conforme mostra a figura 8-4-3, neste método são transmitidos sinais de baixa frequência em 2 frequências entre as 3 existentes, sem modulação e o receptor atua relés diferentes de acordo com cada frequência, recebidas separadamente. A informação é transmitida por meio de diferentes combinações dessas duas frequências, que estão nas imediações de 600 Hz e 900 Hz, de modo a evitar os componentes de alta frequência, da frequência fundamental (60 Hz).

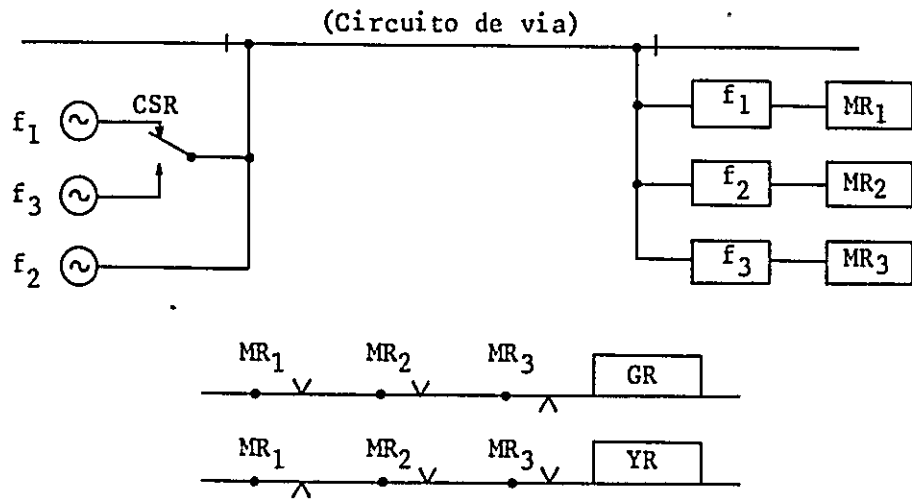


Figura. 8-4-3 Sistema de circuito de via AF com combinação de duas frequências

8-4-4 Características de proteção contra interferência e alcance do circuito de via.

O raio de alcance do circuito de via varia grandemente segundo o método e é também bastante influenciado pela resistência de fuga do próprio circuito de via. Adotando o pior caso de resistência de fuga da proposta brasileira, igual a 2 /1000 ft, o alcance de qualquer um dos circuitos de via é bastante reduzido.

No presente plano de ferrovia o valor da fuga é mínima devido à construção da via com dormentes PC e placas isolantes, etc. e consideramos que o investimento tornar-se-á excessivo se a instalação for feita, desde o princípio, baseada neste valor de fuga.

A resistência de fuga varia com o correr dos anos, de diferentes modos, em diferentes lugares e recomendamos efetuar a divisão do circuito de via nos locais necessários no futuro, de acordo com a variação verificada.

O raio de alcance dos circuitos de via com divisão-multiplicação de frequência é determinado de acordo com a resistência de fuga, de modo a satisfazer as características do relé de via, mas para o circuito de via AF não é conveniente essa determinação apenas de acordo com a sensibilidade do receptor AF e resistência de fuga, sendo também necessário assegurar uma boa relação S/N necessária para evitar interferência de alta frequência.

Apresentamos em seguida os itens relacionados a esse cálculo.

- a. Correntes de retorno e de alta frequência.
- b. Índice de desbalanceamento do circuito de via
- c. Corrente de curto na extremidade de recepção

(1) Correntes de retôrno e de alta frequênciã.

Neste plano, a corrente de retôrno máxima para uma composição é e de cerca de 639 A.

Consideramos que essa corrente de surto, de partida, não será ultrapassada em média, mesmo considerando a soma da corrente com outras composioes, de modo que adotamos esse valor de 639 A, como a corrente de retôrno máxima no presente cálculo.

- . A corrente de alta frequênciã depende de certos fatores como características dos trens e de fenmenos de ressonância da corrente de retôrno, mas utilizaremos para os cálculos o valor de cerca de $4/N^2$ da frequênciã fundamental como a fração de alta frequênciã presente em locomotivas  thyrístores, estabelecida de acordo com experiências passadas da JNR.

(2) ndice de desbalanceamento do circuito de via.

A interferênciã da corrente de retôrno em circuitos de via deve-se a componentes de alta frequênciã contidos na faixa de frequênciã utilizada pelo receptor AF, que ocorre devido ao desbalanceamento do circuito de via, sendo portanto necessário reduzir ao mínimo esse desbalanceamento. Entretanto, mesmo que sejam eliminados os fatores de desbalanceamento de construção mecânica e de instalação como solda de impedância e solda de trilhos, não  possível reduzir a zero a fração de desbalanceamento causada pela distribução geométrica da via de retôrno. O valor calculado é de 1% aproximadamente e o valor medido, incluindo o desbalanceamento devido a soldas de impedância

e solda de trilhos, é inferior a 5%. Estabelecemos então como 2% dando uma folga o índice de desbalanceamento de circuito de via, para cálculo da faixa de valores admissíveis da corrente de interferência.

(3) Corrente de curto na extremidade de recepção.

No método de sinalização dentro da locomotiva é necessário assegurar uma conveniente relação S/N no receptor do trem, e requer-se uma corrente de curto de sinal no circuito da via para fornecer a tensão de entrada adequada no trem.

Geralmente a corrente de curto de sinal atinge o mínimo na extremidade receptora, mas é necessário verificar nos vários pontos. Essa corrente deve ser no mínimo superior a 100 mA.

(4) Característica de proteção contra interferências.

Apresentamos a seguir os resultados do cálculo da característica de proteção contra interferência do circuito de via AF com duas frequências combinadas, admitindo-se a corrente de retorno pela via igual a 639A, nível de desbalanceamento do circuito de via de 5%, fração de componentes de alta frequência presente igual a $4/N^2$ e corrente de curto de sinal na extremidade receptora igual a 100mA.

		Corrente de proteção contra interferência	Corrente de interferência
Estação terrestre	600CH	29A	25.6A
	900CH	18A	11.4A
Receptor de trem.		40A	25.6A (600CH)

Concluimos portanto, que tanto o receptor fixo como o receptor do trem apresentam operação segura em face às possíveis fontes de interferência.

8-4-5 Análise conjunta dos métodos de sinalização, dispositivo ATC e circuito de via.

Os métodos de sinalização, o dispositivo ATC e métodos de circuito de via serão utilizados conforme resultados das análises anteriores e a sua combinação será efetuada da seguinte maneira.

Conjunto a.

Método de sinalização ao longo da linha.

Método de controle descontínuo com configuração de velocidade no trem.

Circuito de via com divisão-multiplicação de frequência.

Conjunto b.

Método de sinalização dentro da locomotiva

Método de controle contínuo com configuração de velocidade no trem

Circuito de via AF

A tabela 8-4-1 apresenta uma comparação entre os dois sistemas assim constituídos.

Em resumo, o conjunto a. apresenta a desvantagem, sob o ponto de vista de segurança, do método de controle descontínuo não poder constituir um sistema à prova de falhas e também com o problema de garantir um raio de visão adequado para os sinais. Sob o ponto de vista de eficiência de tráfego, apresenta más características de acompanhamento da mudança de sinais, com conseqüente redução da mesma.

Por outro lado, apresenta a vantagem do trem poder

trafegar diretamente em outros trechos, sem problemas. Em comparação, o conjunto b. apresenta boas características de segurança, podendo constituir um sistema à prova de falhas, de alta confiabilidade, com a vantagem de possibilidade de confirmação dos sinais a qualquer momento. Sob o ponto de vista de eficiência de tráfego apresenta boas características devido à possibilidade de acompanhar imediatamente as mudanças de sinais.

Por outro lado, apresenta problemas no tráfego mútuo com outras linhas com conexão direta dos trens, sob o ponto de vista de equipamentos.

Analisando esses fatos e, sendo o presente um plano de vias ferroviárias importantes para o tráfego intenso de grandes composições, consideramos adequada e recomendamos o sistema formado pelo segundo conjunto, onde o elemento humano é prioritário com proteção e apoio do ATC de controle contínuo, com sinalização dentro das locomotivas. Entretanto, para a decisão do melhor sistema a ser adotado na presente ferrovia é necessário ainda analisar vários elementos em conjunto, como o plano de segurança e sinalização atual e futuro dos trechos de tráfego mútuo com a nova linha, dentro do futuro objetivo de organização do sistema de segurança da rede ferroviária brasileira, a possibilidade de expansão para um sistema mais complexo e características econômicas.

Tabela 8-4-1 Análise comparativa geral dos sistemas de sinalização

Método de sinalização	Sinalização ao longo da linha	Sinalização dentro das locomotivas	Obs.
Método de ATC	Descontínuo, com configuração no trem	Contínuo, com configuração no trem	
Método de circuito de via	Divisão-multiplicação de frequência	Circuito de via AF	
Item			
1. Nível de segurança	<p>1. ATC de controle por pontos resultando em circuito de malha aberta, não constituindo do sistema a prova de falhas. O nível de confiabilidade como equipamento de proteção e apoio é baixa, não podendo detetar defeitos na instalação fixa.</p> <p>2. O espaço de frenagem é maior que a distância de confirmação dos sinais e, mesmo compensado com sinalizadores intermediários, não é possível a monitoração contínua em locais como curva, túneis e sob más condições meteorológicas.</p>	<p>1. ATC de controle contínuo e circuito em malha fechada, podendo constituir um sistema a prova de falhas. A confiabilidade como sistema de proteção e apoio é alta.</p> <p>2. Não apresenta problema de campo de visibilidade por ter sinalização dentro da locomotiva.</p> <p>3. Em caso de defeito no dispositivo de sinalização da locomotiva não é possível a locomoção normal.</p>	

Método de sinalização	Sinalização ao longo da linha	Sinalização dentro das locomotivas	Obs.
Método de ATC	Descontínuo, com configuração no trem	Contínuo, com configuração no trem	
Método de circuito de via	Divisão-multiplicação de frequência	Circuito de via AF	
Item			
2. Eficiência de tráfego	<p>1. O campo de visibilidade é menor do que o espaço de frenagem e, ao passar por um sinal e há necessidade de redução de velocidade, é preciso aplicar a redução em relação ao próximo sinal, reduzindo a eficiência de tráfego em espaço de bloqueio muito longos.</p> <p>2. Não é possível o acompanhamento em relação ao próximo sinal até o próximo ponto de restabelecimento da configuração, reduzindo portanto essa eficiência. Pode ser parcialmente solucionado colocando mais pontos de restabelecimento, se necessário.</p>	<p>1. Possibilita tráfego eficiente mesmo com longos trechos de bloqueio, seguindo a sinalização dentro da locomotiva de acordo com a instalação do ponto B. Além disso, pode acompanhar imediatamente a mudança dos sinais anteriores e posteriores, contribuindo para boa eficiência.</p>	

Método de sinalização	Sinalização ao longo da linha	Sinalização dentro das locomotivas	Obs.
Método de ATC	Descontínuo, com configuração no trem	Contínuo, com configuração no trem	
Método de circuito de via	Divisão-multiplicação de frequência	Circuito de via AF	
Item			
3. Conexão do trem com outros trechos	<p>1. O trem pode trafegar normalmente em outras linhas onde estejam instalados os equipamentos comuns de sinalização ao longo da linha.</p>	<p>1. Não permite tráfego de trens sem o equipamento de sinalização dentro da locomotiva.</p> <p>2. O tráfego de trens de outras linhas é solucionado com o uso de sinalizadores ao longo da linha em paralelo.</p>	
4. Manutenção	<p>1. Equipamentos simples e de fácil manutenção.</p> <p>2. As lâmpadas podem queimar devido a vibrações, etc. e requerem tempo para manutenção.</p>	<p>1. Equipamento complexo e de difícil manutenção.</p>	
5. Expansão futura para sistema mais complexos.	<p>1. Necessita de grandes modificações e troca de equipamentos para expansão a um sistema futuro mais complexo.</p>	<p>1. A expansão é relativamente simples, sendo que em relação à transmissão dos vários tipos de dados, etc. para a locomotiva, são necessários apenas dispositivos adicionais.</p>	
6. Custo de instalação	<p>1. O equipamento fixo consiste apenas de subpostos de transmissão e circuitos de via para detecção do trem, sendo portanto de baixo custo.</p>	<p>1. É necessário circuito de via para detecção de trens com capacidade de transmitir dados como equipamento fixo, sendo portanto de alto custo.</p>	

8-5 O CTC

O comprimento total das linhas que compõem o presente plano de ferrovia, que tem como objeto principal o transporte de minério de ferro, chega a atingir 400 km e tem a maioria das estações automatizadas, sem elemento humano, que servem ao cruzamento e espera de trens que trafegam em sentidos opostos e a outras funções.

É portanto indispensável um CTC como centro de controle para efetuar todas as operações de controle de rotas relativas a cada estação.

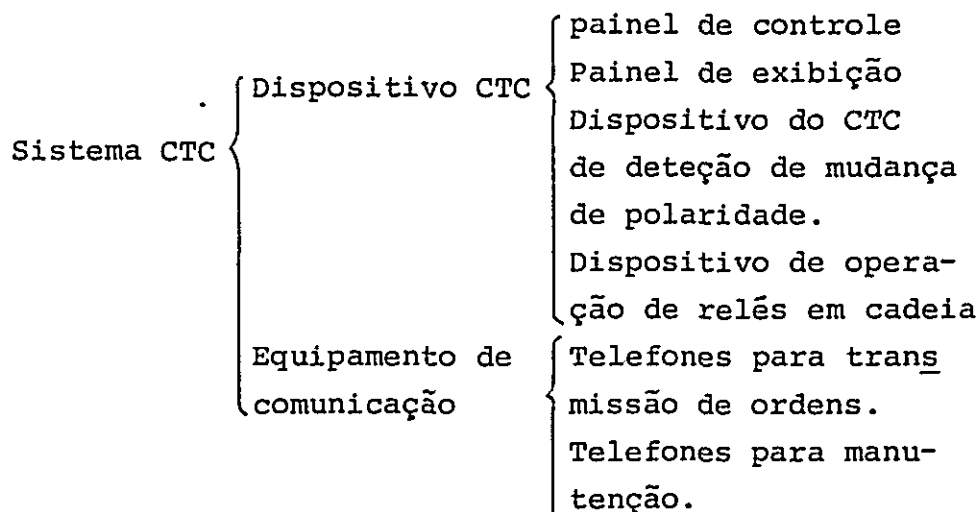
O centro de controle será localizado em Volta Redonda, mas considerando que os trens de minério serão conduzidos para a direção de São Paulo via Volta Redonda até a instalação da nova linha Itutinga-São Paulo, o objetivo consiste em aumentar a eficiência de transporte colocando toda a área, de Volta Redonda até redondezas de São Paulo, sob controle do CTC. Assim sendo, a rede de CTC, com centro de controle em Volta Redonda, abrangerá uma área imensa, incluindo linhas futuras, conforme mostra a Figura 8-1-2.

Inicialmente o controle de rotas será efetuado manualmente e para o futuro consideramos a automação via computador, no qual é desejável não apenas o controle de rotas, mas também outros itens necessários tal como, o planejamento de tráfego de trens de carga, efetivando assim a melhor utilização da capacidade do sistema com computador. Entretanto apenas o CTC será instalado inicialmente, devido ao fato de que o sistema com computador constituirá um projeto de grande porte, com um longo período necessário ao seu planejamento, projeto e instalação.

Como o controle a computador necessitará de informações de CTC, o projeto inicial do CTC deve ser efetuada tendo como premissa o controle a computador, com suficiente consideração sobre interfaces, etc.

8-5-1 A configuração do sistema CTC

O sistema CTC é formado pela rede de CTC para transmissão de dados, com o objetivo principal de aquisição de dados e a fixação de rotas e pela rede de comunicação, destinada à transmissão de ordens; a base da configuração desse sistema é apresentada abaixo



(1) Painel de controle,

A operação do painel de fixação de rotas, contido no painel de controle, pode ser efetuada por meio de alavancas ou por botões de pressão. A operação por botões de pressão permite atuar em um número de pontos algo superior à operação por alavancas e tem a desvantagem de que toda a estação pode ficar fora de controle devido a defeito em alguma parte comum, mas por outro lado o painel torna-se pequeno, permitindo a operação por uma só pessoa. Por essas razões adotamos o presente método de controle.

(2) Painel de exibição

Considerando a facilidade de leitura, devem ser colocados nesse painel somente o mínimo necessário

de indicadores e o mapa de distribuição de linhas deve ser correspondente à localização real das mesmas, de modo a facilitar o reconhecimento de cada trecho.

(3) Aparelho detetor de inversão de polaridade

Nesse aparelho do CTC serão utilizados componentes eletrônicos de avançada concepção tecnológica, como modernos transistores e circuitos integrados (CI), em substituição aos relés até então utilizados. Em especial, isso tornou possível atingir valores de velocidades de transmissão até então impossíveis com circuitos a relés.

Planejamos no presente plano de ferrovia um futuro sistema de controle de tráfego onde a determinação de rotas é efetuada automaticamente via computador, sendo então necessário considerar em especial os seguintes pontos no CTC a ser utilizado.

a. Tempo de transmissão

Como o sistema de controle de tráfego efetua a sequência de operações de controle segundo a entrada de dados de indicação fornecidos pelos dispositivos de transmissão, é necessário que o tempo de exploração (Scanning) de transmissão seja bastante curto, mas suficiente para a detecção segura de qualquer mudança nos dados e também capaz de cobrir pelo menos um erro de transmissão.

b. Confiabilidade dos dados de indicação

Conforme descrito no anterior, o sistema de controle de tráfego opera segundo os dados de indicação, sendo estes valores de vital importância, diferentemente do CTC de

controle manual. E portanto necessário que a confiabilidade do sistema de indicação dos dispositivos de transmissão seja igual à do sistema de controle.

Levando em consideração as condições apresentadas e devido ao fato de que a quantidade de informações de indicação chega a 1.000 no presente plano, é necessárias elevar o nível de confiabilidade do sistema através da utilização do método de exploração contínua e instalação de sistemas redundantes, juntamente com a verificação de erro de polaridade para elevar a confiabilidade das informações.

Podemos apresentar aqui o CTC modelo 4B como exemplo de um dispositivo de transmissão de CTC, adequada aos trechos planejados.

O presente método é normalmente utilizado nas linhas tronco da JNR.

Especificações do CTC modelo 4B

Método de operação:

Controle: atuação a qualquer instante

Indicação: exploração contínua

Construção do circuito: eletrônico

Formação de sinais: código de tempo

Método de transmissão de sinais: por onda portadora (FS).

Velocidade de transmissão de sinais: 1.200 bands, por portadora.

Capacidade máxima:

Controle: 70 grupos (11 dados/grupo)

Indicação: 70 grupos (20 dados/grupo)

Temperatura de operação do ambiente: $-10^{\circ}\sim 45^{\circ}\text{C}$

Umidade relativa: 55 ~ 85%

(4) Rede de transmissão do CTC.

A rede de transmissão do CTC contribui grandemente à determinação da confiabilidade do sistema CTC.

Aumentamos essa confiabilidade através da instalação de dispositivos de CTC redundantes, mas é também necessário elevar o nível de confiabilidade através de redundância na rede de transmissão.

O presente plano inclui uma rede de micro-ondas circular e possibilita em cada estação chaveamento do equipamento e utilização da linha de comunicação proveniente de ambos sentidos da rede circular.

8-5-2 Automação do sistema de controle de tráfego

O tráfego nas linhas planejadas será bastante reduzido no início de operações e o controle de tráfego será efetuado pelo CTC, através de operações manuais. Entretanto, devido ao futuro aumento do tráfego de trens será atingido o limite de controle por operações manuais e será necessária a automação via computador, para efetuar um controle de tráfego eficiente. Para tanto devemos analisar todos os pontos referentes, realizando assim uma utilização total efetiva da automação.

(1) Alcance e programa de automação

Para a devida realização da automação são necessários determinar os itens a serem automatizados e o programa de implementação da automação.

1) Itens a serem automatizados

Apresentamos como objetos de automação no presente plano ferroviário os seguintes itens:

Organização de horários

Controle de rotas

Supervisão de desordens no horário e apresentação de mudanças de horário.

Organização de vários tipos de dados estatísticos.

Transmissão de tempos de atraso.

Aquisição de dados

Organização do plano de composição do trem e seu tráfego.

Entre os itens apresentados, o de maior grau de necessidade é o de automação do controle de rotas para operação automática de fixação das mesmas que possibilita ao elemento humano a dedicação ao devido trabalho de transmissão de ordens, tomar decisões e aquisição de dados, livrando-o do manejo de rotas.

2) Programa de automação

O controle de rotas deverá ser automatizada inicialmente devido à sua vital importância e os outros itens devem ser automatizados conforme necessário. Analisaremos a seguir a época de implementação da automação de controle de rotas, que deverá ser efetuado quando o limite de manobrabilidade por operações manuais for ultrapassado.

Inicialmente calculamos o número de operações a partir da quantidade de trens em tráfego.

Tráfego de trens

1977	Máximo em um sentido	11 trens
1982	Máximo em um sentido	20 trens
1987	Máximo em um sentido	39 trens
1992	Máximo em um sentido	41 trens
2002	Máximo em um sentido	105 trens.

Com o número de trens em tráfego no ano 1977, podemos obter a quantidade de operações do CTC como sendo inferior a 100 vezes/hora, com oito trens simultaneamente em tráfego. O valor padrão de número de operações por alavancas dentro de um bloco é de 120~150 vezes/hora e a quantidade de trens simultaneamente em tráfego é considerado igual a 8.

O controle de rotas nos trechos do presente plano é efetuado por meio de botões de pressão, mas como podemos considerá-lo aproximadamente equivalente ao do controle por alavancas, tanto o número de operações como o número de trens em tráfego estão dentro de valores padrão.

Entretanto o tráfego de trens aumentará consideravelmente em 1982, e a quantidade de operações por alavanca será muito maior do que o padrão, para o presente plano onde há muitos trechos de via única.

Portanto não há necessidade de automatizar o controle de rotas em 1977, devendo ser efetuado somente quando ocorrer o aumento de tráfego referido. Até então, o trabalho dos operadores de comando pode ser razoavelmente reduzido instalando-se dispositivos adicionais de fixação automática de rotas por dispositivos de operação em cadeia in loco.

- (2) Ítens a serem considerados pelo lado do CTC em relação à automação.

No caso de instalação do CTC antes de efetuar a automação, o CTC deve ser equipado considerando a futura automação. Quando o sistema de automação for implementado será efetuada a transmissão

de vários dados do computador para o CTC, como dados sobre o circuito de via, sobre a sinalização, número e localização dos trens e informações sobre defeitos nas máquinas. Para tal transmissão são necessários dados organizados de modo a facilitar o processamento pelo computador, e para tanto apresentamos os seguintes métodos:

a. Método de transmissão por tensão

Uniformizar a codificação do lado do CTC de modo a facilitar a recepção pelo computador.

b. Método de transmissão por relés

Dados de indicação transmitidos pelos contatos de relés, sendo necessário reservar de antemão os contatos.

O método b. é mais adequado no caso de instalação prévia do CTC isoladamente, mas há necessidade de reparos durante a futura automação, sendo então necessário analisar exaustivamente em relação a um método de instalação bastante seguro, levando também em consideração que a utilização do CTC será interrompida, além de outros fatores.

8-5-3 Dispositivo de supervisão centralizada

Esse dispositivo deve possibilitar um controle prático de toda a instalação, permitindo a supervisão contínua do estado de todos os equipamentos espalhados por uma grande área e também obter dados sobre e anteriores e eventuais defeitos na instalação, possibilitando tomar medidas apropriadas.

A instalação desse dispositivo é necessária devido à desordem em grande escala que pode ser causada pela ocorrência de algum defeito, em ferrovias com grande

intensidade de tráfego e abrangendo uma grande área, como no presente plano ferroviário.

(1) Ítens de supervisão centralizada

Podemos citar os 2 métodos seguintes de como efetuar essa supervisão.

- a. Indicação de alarme devido à queda de desempenho, mas sem obstáculo à utilização.
- b. Indicação de alarme devido a defeitos nas instalações que impossibilitem a sua utilização.

Consideramos adequada a supervisão centralizada dos seguintes itens, separados de acordo com os métodos acima mencionados.

a. Geração de alarme devido à queda de desempenho

- ① Queima parcial ou total de lâmpadas de sinalização.
- ② Queda da tensão da bateria do circuito de via.
- ③ Terra das linhas de sinalização.
- ④ Desarranjo de um dos sistemas onde há sistema redundante.

b. Geração de alarme devido a defeitos nas instalações.

- ① Desarranjo de contato nos interruptores elétricos.

A indicação desses dados no centro de CTC é relativamente fácil quando esses dados de defeitos são gerados dentro das estações e pode ser trans-

mitido na CTC, mas quando ocorrem entre as estações há necessidade de transmití-los inicialmente à sala de máquinas da estação para então transmitir ao CTC. Como equipamento de transmissão do local entre as estações para a sala de máquinas da estação, a JNR utiliza equipamento capaz de transmissão multiplex.

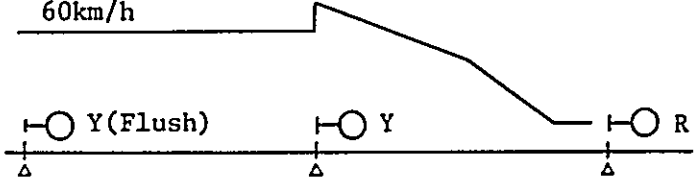
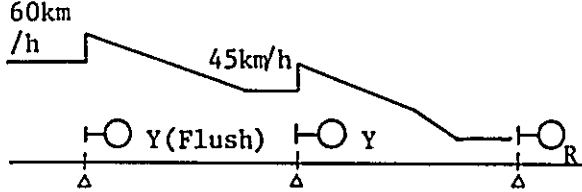
ANEXO 8-1 Comparação entre o método de sinalização dentro da locomotiva e o de sinalização ao longo da via.

Item	Método de sinalização dentro da locomotiva		Método de sinalização ao longo da via		Observação
	Avaliação	Metodo de sinalização dentro da locomotiva	Avaliação	Método de sinalização ao longo da via	
Nível de dificuldade em reconhecer a sinalização	△	<p>Apresenta dificuldades em assegurar campo de visibilidade dos sinais e é influenciado por condições meteorológicas.</p> <p>Há necessidade de sinais intermediários.</p>	○	Não há necessidade de considerar a visibilidade e não é influenciado por condições de tempo.	
Indicação de velocidade limite.	△	<p>Para assegurar a visibilidade é necessário que a sinalização seja simples, limitando os tipos de sinalização.</p>	○	É possível indicação numérica, diretamente, sem necessidade de decisões e de fácil escolha de tipos de sinalização.	
Expansão a um sistema mais avançado.	△	<p>É necessário uma grande modificação e troca de dispositivos na futura expansão para um sistema mais avançado.</p>	○	A expansão é relativamente fácil, necessitando apenas de dispositivos adicionais em relação à transmissão de vários tipos de informações, etc. para o trem.	

Item	Método de sinalização dentro da locomotiva		Método de sinalização ao longo da via		Observação
	Avaliação		Avaliação		
Tráfego mútuo com outras linhas.	○	Possibilita livre tráfego com outras linhas em que estejam instalados os equipamentos comuns de sinalização ao longo das vias.	△	Não admite tráfego de trem sem o equipamento de sinalização dentro da locomotiva, e o tráfego de trem provenientes de outras linhas é solucionado com uso paralelo de sinalização ao longo da via.	No trecho Belo Horizonte - Jeceaba entram trens das linhas já existentes.
Observação dos sinais e atenção à progressão do trem	○	É possível observação dos sinais e prestar atenção à frente do trem simultaneamente.	△	Os sinais estão localizados sobre linha de visibilidade e distância diferentes da observação à frente do trem.	
Custo de instalação	○	São necessários apenas detectores de trem no circuito de via, mas é preciso instalar os sinalizadores. É de custo mais baixo, em relação ao método de sinalização dentro das locomotivas.	△	O custo de instalação é elevado por efetuar a detecção de trens e transmissão de sinalização simultaneamente no circuito de via. Além disso são necessários equipamentos na locomotiva e em redundância para aumentar a confiabilidade (aparinho de transmissão-recepção AF)	

Item	Método de sinalização dentro da locomotiva		Método de sinalização ao longo da via		Observação
	Avaliação		Avaliação		
Método de ATC (Em relação a trens de minérios).		Apenas o método de controle descontínuo é utilizado.		Método de ATC de controle contínuo, utilizando condições de sinalização dentro da locomotiva.	

ANEXO 8-2 Tabela comparativa dos 2 métodos de controle por pontos com configuração no trem

Item	△	Método de controle por pontos com configuração no trem, em uma etapa	Método de controle por pontos com configuração no trem, em duas etapas	Observação
Sinal considerado	△	Sinal de parada (R)	Sinal de atenção (Y) e de parada (R)	
Comprimento de trecho de bloqueio	△	<p>O espaço de bloqueio é grande porque a distância entre o ponto de geração da configuração de parada até o ponto de parada ocupa o trecho de 60 km/h até 0 km/h.</p> 	<p>A distância entre o ponto de geração da 1a. configuração até os 45 Km/h é maior que a distância do ponto de geração da 2a. configuração até a parada e toma-se esse valor como espaço de bloqueio, mas mesmo assim é menor que no caso de método em uma etapa.</p> 	

Item	Método de controle por pontos com configuração no trem, em uma etapa	Método de controle por pontos com configuração no trem, em duas etapas	Observação
Erro de comparação de velocidade	<p>O erro de comparação de velocidade é grande devido a grande distância entre o ponto de geração de configuração até parada.</p>	<p>Esse erro é pequeno devido ao pequeno comprimento de cada configuração gerada.</p>	
Custo de instalação	<p>O custo de instalação do equipamento do trem é baixo por ser de configuração em uma etapa.</p>	<p>Por ser em duas etapas, o custo de instalação do equipamento do trem é algo mais elevado que o do método em uma etapa.</p>	

ANEXO 8-3 Comparação do método de ATC contínuo e descontínuo

Item	Método de ATC de controle descontínuo com configuração no trem.	Método de ATC de controle contínuo com configuração trem	Observação
Nível de segurança			
1. Avanço de sinal de parada.	<p>○</p> <p>O trem é levado pela configuração de velocidade à mínima velocidade ante o sinal R. A negligência do sinal pode ser evitada pelos subpostos fixos de parada absoluta.</p>	<p>○</p> <p>É levada à velocidade mínima pelo sinal de ATC da sinalização R, mas como há a possibilidade de negligência do sinal, é protegido pelo circuito de via anexo.</p>	
2. Erro de partida	<p>○</p> <p>Pode ser evitada pela instalação de subpostos fixos de parada absoluta.</p>	<p>○</p> <p>Pode ser evitada pela instalação de circuito de via anexo para parada absoluta.</p>	
3. Parada de emergência	<p>○</p> <p>Não é possível seguir até o próximo ponto de geração de configuração.</p>	<p>○</p> <p>Resposta imediata</p>	
Eficiência de transporte			
1. Característica de acompanhamento (próximo sinal)	<p>△</p> <p>Não é possível seguir até o próximo ponto de restabelecimento da configuração.</p>	<p>○</p> <p>Acompanhamento imediato possível</p>	

Item	Método de ATC de controle descontínuo com configuração no trem.	Método de ATC de controle contínuo com configuração no trem.	Observação
2. Comprimento do trecho de bloqueio	<input type="radio"/> É possível tomá-lo pequeno fazendo os limites do circuito de via na parte interna ao ponto de geração da configuração de velocidade.	<input type="triangle-up"/> É necessário ser maior do que o comprimento da configuração.	
Entrada e saída em outros trechos	<input type="radio"/> Entrada e saída livre sem nenhuma operação	<input type="triangle-up"/> Pode entrar em outras linhas cortando-se a instalação de ATC.	
Quantidade de dados	<input type="triangle-up"/> É possível obter grande quantidade de dados através da escolha da frequência de ressonância dos subpostos de via, podendo ser utilizado para outros fins, além de comparação de velocidades.	<input type="circle"/> Pode-se obter grande quantidade de dados no método AF por meios como a mudança de frequência de modulação.	
Ponto de geração da configuração	<input type="radio"/> Os pontos de geração da configuração podem ser mudados livremente através da mudança de localização dos subpostos de via.	<input type="triangle-up"/> No caso de utilização de informações do circuito de via, os pontos de geração de configuração são fixos aos limites do circuito de via.	

Item	Método de ATC de controle descontinuo com configuração no trem	Método de ATC de controle contínuo com configuração no trem	Observação
Equipamentos fixos	<input type="radio"/> Apenas subpostos de via. Também há necessidade de equipamentos de circuito de via mas, mesmo em total é de custo mais baixo que o método de controle contínuo.	<input type="triangle-up"/> De alto custo, mesmo que o circuito de via utilizado seja para deteção de tres. Além disso, são necessários trens. missores em separado no caso dos circuitos de via.	
Manutenção	<input type="radio"/> Instalação fixa de fácil manutenção	<input type="triangle-up"/> Equipamentos de circuito de via complexos e de manutenção demorada.	
Expansão em relação ao futuro desenvolvimento da tecnologia	<input type="triangle-up"/> A possibilidade de expansão é ruim devido à falha do próprio método de controle descontinuo.	<input type="radio"/> Permite seguir o desenvolvimento de tecnologia de ATC, etc., valendo-se da característica do método de controle contínuo.	
Em relação ao método de sinalização dentro da locomotiva	<input type="radio"/> Não pode ser utilizado	<input type="radio"/> Pode ser utilizado.	

ANEXO 8-4

Bases para cálculo do comprimento do trecho de bloqueio

1. Espaço de frenagem de 60 km/h a 45 km/h.

(1) Velocidade inicial na frenagem

Limite máximo admitindo-se +2% de erro no velocímetro:

$$60 \text{ km/h} \times 1,02 = 61,2 \text{ km/h.}$$

(2) Velocidade final de frenagem

Limite mínimo admitindo-se -2% de erro no velocímetro:

$$45 \text{ km/h} \times 0,98 = 44,1 \text{ km/h.}$$

(3) Espaço de frenagem (sem incluir o espaço de corrida livre) De acordo com dados do Brasil:

450m com declive de -1%

(4) Espaço morto (1)

Comprimento do trem com composição de 9000 t: $12\text{m} \times 90 = 1080\text{m}$.

O espaço de corrida livre é comparável ao comprimento do trem e referindo-se aos dados da CVRD,

Comprimento do trem: 1.600m

e tempo de corrida livre: 35 seg.

Obtemos então:

$$\text{Tempo de corrida livre } 35 \text{ seg} \times \frac{1.080}{1.600} = 24 \text{ seg.}$$

$$\text{Espaço de corrida livre } \frac{61.200\text{m}}{3.600\text{seg}} \times 24 \text{ seg} = 408 \text{ m.}$$

(5) Espaço morto (2)

Calculando-se ainda a distância entre o ponto de geração da configuração até a configuração de velocidade de

60 km/h, obtemos:

$$\frac{61.200\text{m}}{3.600\text{seg}} \times (24 + 6) \text{ seg} = 510\text{m}.$$

- (6) A distância do primeiro ponto de geração da configuração no trem (relativo à passagem pelo sinal amarelo intermitente) até atingir 45 km/h é pelo freio de ATC:

$$\text{Espaço de frenagem} + \text{espaço morto (1)} + \text{espaço morto (2)} \\ = 450\text{m} + 408\text{m} + 510\text{m} = 1.368\text{m}.$$

Admitindo-se um erro de 2% na distância da configuração, obtemos o seguinte valor para a distância entre o ponto de geração da configuração até a redução a 45km/h pelo freio de ATC:

$$1.368\text{m} \times 1,02 = 1.395\text{m}$$

- (7) Comprimento do trecho de bloqueio (no caso de estabelecer o ponto de geração da configuração nos limites do circuito de via).

Utilizamos o declive de -1%, considerando a configuração no trem de um só tipo para trens de minérios e obtemos o espaço de bloqueio adicionando-se 50m de espaço de folga referente à configuração de 45km/h. Portanto esse espaço é:

$$1.395\text{m} + 50\text{m} = \text{superior a } 1.445\text{m}.$$

2. Espaço entre 45 km/h e o km/h

- (1) Velocidade inicial na frenagem

Admitindo-se um erro de +2% no velocímetro, obtemos o valor limite de

$$45 \text{ km/h} \times 1,02 = 45,9 \text{ km/h}$$

- (2) Espaço de frenagem (não incluindo o espaço morto).

De acordo com dados fornecidos pelo sistema brasileiro:

375m com declive de -1%

(3) Espaço morto (1)

Conforme descrito anteriormente,

$$\text{Tempo morto } 35 \text{ seg} \times \frac{1.080}{1.600} = 24 \text{ seg.}$$

$$\text{Espaço morto } \frac{45.900 \text{ m}}{3.600 \text{ seg}} \times 24 \text{ seg.} = 306\text{m}$$

(4) Espaço morto (2)

Calculando-se ainda a distância entre o ponto de geração da configuração até a velocidade de 45 km/h, obtemos:

$$\frac{45.900\text{m}}{3.600 \text{ seg}} \times (24 + 6) \text{ seg} = 383\text{m.}$$

(5) Igualmente, obtemos a distância do ponto de geração da segunda configuração (correspondente à parada) até reduzir a 0 km/h como:

$$375\text{m} + 306\text{m} + 383\text{m} = 1.064\text{m.}$$

Admitindo-se um erro de 2% na distância da configuração, obtemos o seguinte valor para o espaço entre o ponto de geração da configuração até 0 km/h:

$$1.064 \times 1,02 = 1.085\text{m}$$

(6) Comprimento do trecho de bloqueio

(fixando-se o ponto de geração da configuração como os limites do circuito de via).

Admitindo-se a distância de folga de 50m entre o ponto de configuração de 0 km/h até o sinal vermelho (R) seguinte, obtemos o seguinte comprimento do trecho de bloqueio:

$$1.085\text{m} + 50\text{m} = \text{superior a } 1.135\text{m}$$

Como esse valor é menor do que o comprimento do trecho

de bloqueio anterior de 60 km/h para 45km/h, adotamos aqui o valor anteriormente calculado.

onde:

TR: Intervalo de tempo entre tráfego de trens no local de parada (seg)

B: Comprimento do trecho de bloqueio 1.500m

l_2 : Comprimento do trem 1.140m

β : Razão de diminuição de velocidade 1 km/h/seg

t': Tempo necessário à determinação de rota no local, em relação ao próximo trem 30 seg.

C: Distância mínima necessária ao reconhecimento do sinal 100m

V: Velocidade do trem (veloc. média) 45 km/h.

t: Tempo de folga 30 seg.

$$TR = t_2 + t_3 + 3,6 \frac{2B}{V} + 3,6 \frac{C}{V} + t' + t$$

$$t_2 = \frac{3,6l_2}{V} = \frac{3,6 \times 1.140}{45} = 91.2$$

$$t_3 = \frac{3,6l_3}{V} = \frac{3,6 \times 241}{45} = 19.3$$

$$t_4 = 3,6 \frac{3B}{V} = \frac{3,6 \times 2 \times 1.500}{45} = 240$$

$$t_5 = 3,6 \frac{C}{V} = \frac{3,6 \times 100}{45} = 8$$

$$TR = 91 + 19 + 240 + 8 + 30 + 30$$

$$= 418 \text{ seg}$$

$$= \underline{6 \text{ min. } 58 \text{ seg.}}$$

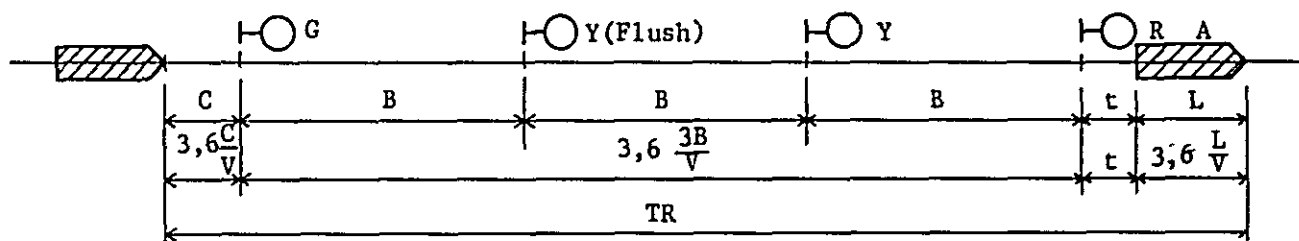
2) Método de sinalização dentro da locomotiva.

ANEXO 8-5.

Cálculo do intervalo de tempo entre trens.

1. Entre estações

1) Método de sinalização ao longo da via.



onde:

TR: Mínimo intervalo de tempo mantido entre trens (seg)

B: Comprimento do trecho de bloqueio 1.500m

L: Comprimento do trem 1.140 m

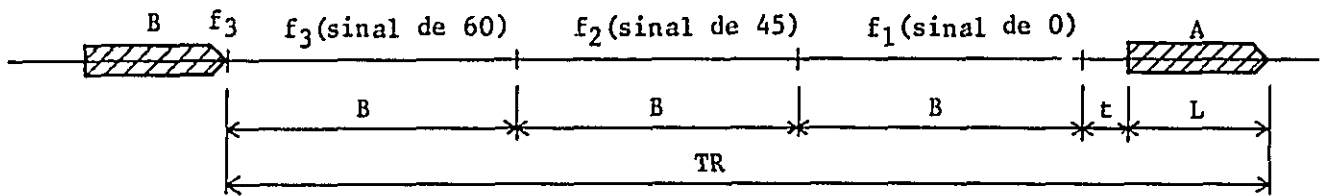
C: Distância mínima necessário ao reconhecimento de sinal
100 m.

t: Tempo mínimo necessário à mudança de sinal 2seg.

V: Velocidade do trem (velocidade média) 45km/h

$$\begin{aligned} TR &= \frac{3,6}{V} (3B + L + C) + t \\ &= \frac{3,6}{45} (3 \times 1.500 + 1.140 + 100) + 2 \\ &= 461 \text{ seg} \\ &= \underline{7 \text{ min. } 41 \text{ seg.}} \end{aligned}$$

2) Método de sinalização dentro da locomotiva,



onde:

TR: Mínimo intervalo de trens mantido entre trens (seg)

B: Comprimento do trecho de bloqueio 1.500m.

L: Comprimento do trem

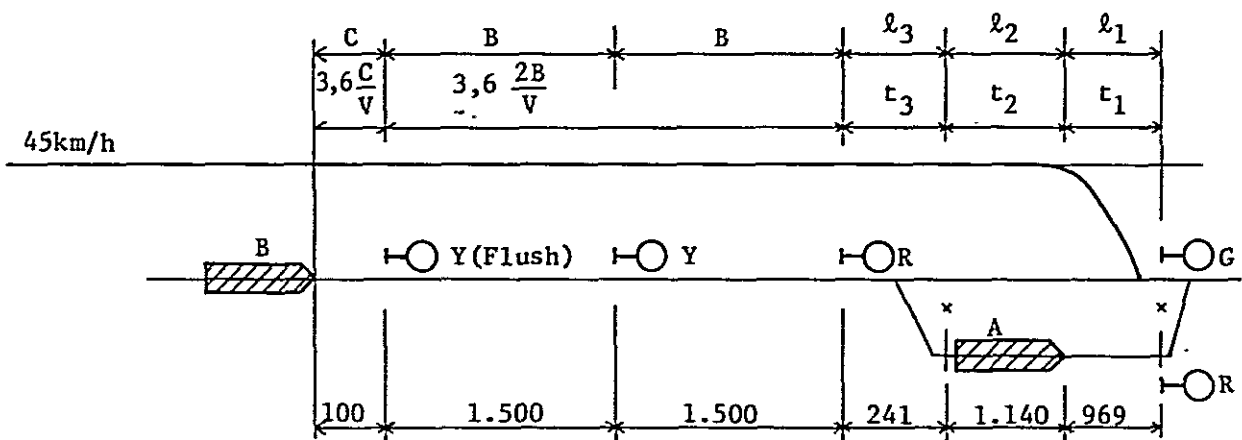
t: Tempo mínimo necessário à mudança de sinal

V: Velocidade do trem

$$\begin{aligned}
 TR &= \frac{3,6}{V} (3B + L) + t \\
 &= \frac{3,6}{45} (3 \times 1.500 + 1.140) + 2 \\
 &= 453 \text{ seg} \\
 &= \underline{7 \text{ min. } 33 \text{ seg.}}
 \end{aligned}$$

2. Espera do trem para passagem do próximo trem no mesmo sentido.

1) Método de sinalização ao longo da via.



onde:

TR: Intervalo de tempo entre tráfego de trens no local de parada (seg)

B: Comprimento do trecho de bloqueio 1.500m

l₂: Comprimento do trem 1.140m

β : Razão de diminuição de velocidade 1km/h/seg

t': Tempo necessário à determinação de rota no local, em relação ao próximo trem 30seg.

C: Distância mínima necessária ao reconhecimento do sinal....100m

V: Velocidade do trem (veloc. média)45km/h.

t: Tempo de folga.....30 seg.

$$TR = t_2 + t_3 + 3,6 \frac{2B}{V} + 3,6 \frac{C}{V} + t' + t$$

$$t_2 = \frac{3,6 l_2}{V} = \frac{3,6 \times 1.140}{45} = 91,2$$

$$t_3 = \frac{3,6 l_3}{V} = \frac{3,6 \times 241}{45} = 19,3$$

$$t_4 = 3,6 \frac{3B}{V} = \frac{3,6 \times 2 \times 1.500}{45} = 240$$

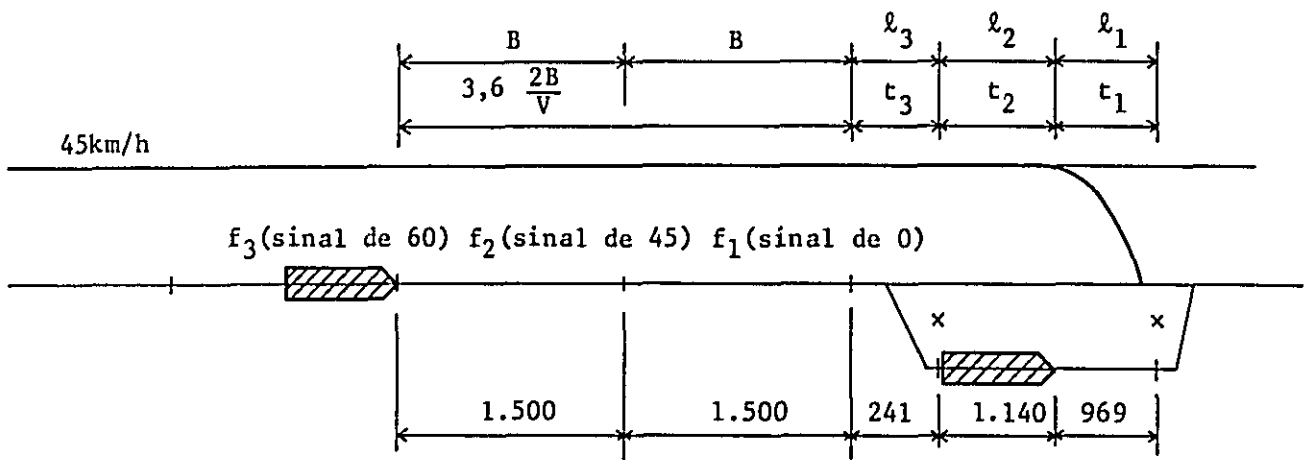
$$t_5 = 3,6 \frac{C}{V} = \frac{3,6 \times 100}{45} = 8$$

$$TR = 91 + 19 + 240 + 8 + 30 + 30$$

$$= 418 \text{ seg}$$

$$= \underline{6 \text{ min. } 58 \text{ seg.}}$$

2) Método de sinalização dentro da locomotiva.



onde:

TR: Intervalo de tempo entre tráfego de trens no local de parada (seg.)

B: Comprimento do trecho de bloqueio1.500m

l_2 : Comprimento do trem.....1.140m

β : Razão de diminuição de velocidade 1km/h/seg

t' : Tempo necessário ao estabelecimento de rota para a passagem do próximo trem no mesmo sentido ...30seg.

V: Velocidade do trem (velocidade média)....45km/h

t: Tempo de folga.....30seg.

$$TR: t_2 + t_3 + 3,6 \frac{2B}{V} + t' + t$$

$$t_2 = \frac{3,6 l_2}{V} = \frac{3,6 \times 1.140}{45} = 91,2$$

$$t_3 = \frac{3,6 l_3}{V} = \frac{3,6 \times 241}{45} = 19,3$$

$$t_4 = 3,6 \frac{2B}{V} = \frac{3,6 \times 2 \times 1.500}{45} = 240$$

$$TR = 91 + 19 + 240 + 30 + 30$$

$$= 410 \text{ seg.}$$

$$= \underline{\underline{6 \text{ min. } 50 \text{ seg.}}}$$

Cálculo da característica de proteção contra interferência do circuito de via AF.

1. Valor permitido ao receptor, de proteção contra ruído.

Receptor fixo

$$I_n = \frac{2V_s}{Z_1 U_T K}$$

$$Z_1 n = 35$$

Receptor na locomotiva

$$I_n = \frac{2i_s}{U_T K}$$

$$Z_1 n = 35$$

1) obs:

I_n : Valor permitido de corrente de alta frequência (A)

K : Coeficiente de segurança em relação à interferência (S/N)

V_s : Tensão de entrada no receptor.

U_T : Taxa de desequilíbrio do circuito de via em relação ao receptor (%)

Z_1 : Impedância da solda de impedância vista pelo lado do primário. (Ω)

n : Relação de espiras entre o secundário e o primário da solda de impedância

i_s : Corrente de curto na extremidade receptora (A)

Admitindo-se o valor de $1,27V$ (600 canais) } $i_s = 0,1A$
 $0,8V$ (900 canais) }

$$U_T = 5\% \text{ (Receptor fixo)}$$

$$U_T = 10\% \text{ (Receptor na locomotiva)}$$

$$K = 1/20.$$

Obtemos os seguintes valores de proteção contra interferências:

Receptor fixo $I_n = 29 \text{ A}$ (600 canais)

$I_n = 18 \text{ A}$ (900 canais)

Receptor na locomotiva ... $I_n = 40 \text{ A}$

Calculando-se então o valor da corrente de interferência, utilizando o valor devido a experiências passadas de $4/n^2$ para as componentes de alta frequência contidas na corrente de retorno, obtemos a seguinte corrente de interferência para 600 Hz.

$$I_n = 639 \text{ A} \times \frac{4}{n^2} = 639 \text{ A} \times \frac{4}{100} = 25,6$$

($n=10$ 600 canais),

e a seguinte corrente de interferência para 900 Hz.

$$I_n = 639 \text{ A} \times \frac{4}{n^2} = 639 \text{ A} \times \frac{4}{225} = 11,4 \text{ A}$$

($n = 15$)

9. PLANO DE SISTEMA DE COMUNICAÇÕES

9. PLANO DE SISTEMA DE COMUNICAÇÕES

9-1 Plano Original

Vias de

Transmissão.

Por rádio: SHF (6,8 GHz) com rota de reserva. Os repetidores deverão ficar no topo de montanha dentro de um raio de 3km da estação ferroviária.

Por cabo

coaxial : Sistema "carrier" FDM com cabo múltiplo coaxial-fios quadra (star quad) para transmissão "carrier" e tronco. O cabo será instalado em canaleta ao longo da ferrovia.

Por rádio
com os

trens. : Utilização de LCX em toda a linha (LCX: Leaky Coaxial Cable).

Demais circuitos de comunicação e instalações, exceto em pátios de grandes estações:

Transmissão de dados, CTC e CSC.

Linhas de telefonia para ordens, ao longo da linha e de uso geral; comutadores para telegrafia, e comunicação nos pátios e estações.

9-2 Plano de circuito de telecomunicações

9-2-1 Plano Básico

Para o transporte de carga e minério de ferro entre Belo-Horizonte e Volta Redonda, planejamos os circuitos de comunicação abaixo mencionados.

Circuitos de comunicação necessários para:

- a- Administração e controle
- b- transporte de minério de ferro
- c- Locomoção e segurança dos trens
- d- Integridade das instalações.

A figura 9-2-1 mostra o esquema simplificado do plano básico do sistema de comunicação.

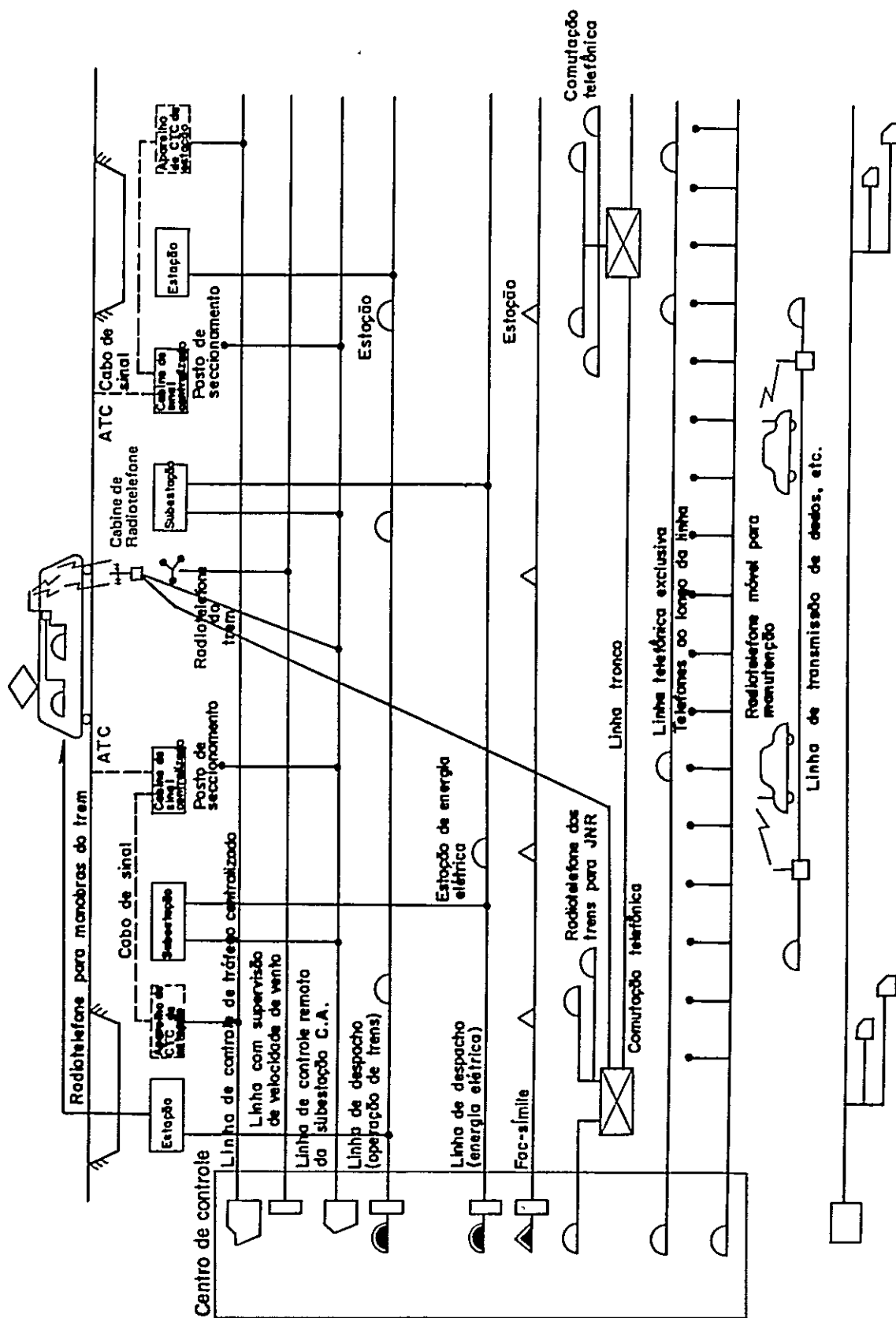


Figura 9-2-1
Sistema de comunicação para a Nova Ferrovia.

9-2-2 Qualidade da transmissão

Embora a presente ferrovia seja destinada principalmente ao transporte de minério de ferro, adotou-se um sistema de comunicação de alta confiabilidade levando-se também em consideração o transporte de pessoal e carga.

O sistema de comunicação obedece às normas da CCITT, com redundância, e o nível de qualidade é estabelecido de modo a permitir conexão ao sistema de comunicação pública como alternativa.

A atenuação equivalente de nitidez da linha telefônica com comutação deve ser inferior a 49 dB, distribuído conforme Tabela 9-2-1.

Tabela 9-2-1 (a 85% de compreensão de conversação telefônica como padrão).

Item	AEN (dB)	Obs.
AEN total	49,0	49 dB = 5,65 Neper
AEN do telefone	T 13,4	Equivalente ao telefone no. 4. (1,1-1,4 mV de ruído).
Ruído de linha	R 12,4	
Perdas na linha	17,0	
Limitação da faixa de frequência.	0,5	
Variação das características de transmissão	5,7	

CCITT: Comitê Consultativa Internacional de Telefonia e Telegrafia (Comitê consultatif International de Téléphonie et Télégraphie).

AEN: Atenuação equivalente de nitidez (Articulation Reference Equivalent).

Com o intuito de avaliar a qualidade de transmissão, estabelecemos na figura 9-2-2 o sistema padrão de telefonia com cada tipo de característica agrupada.

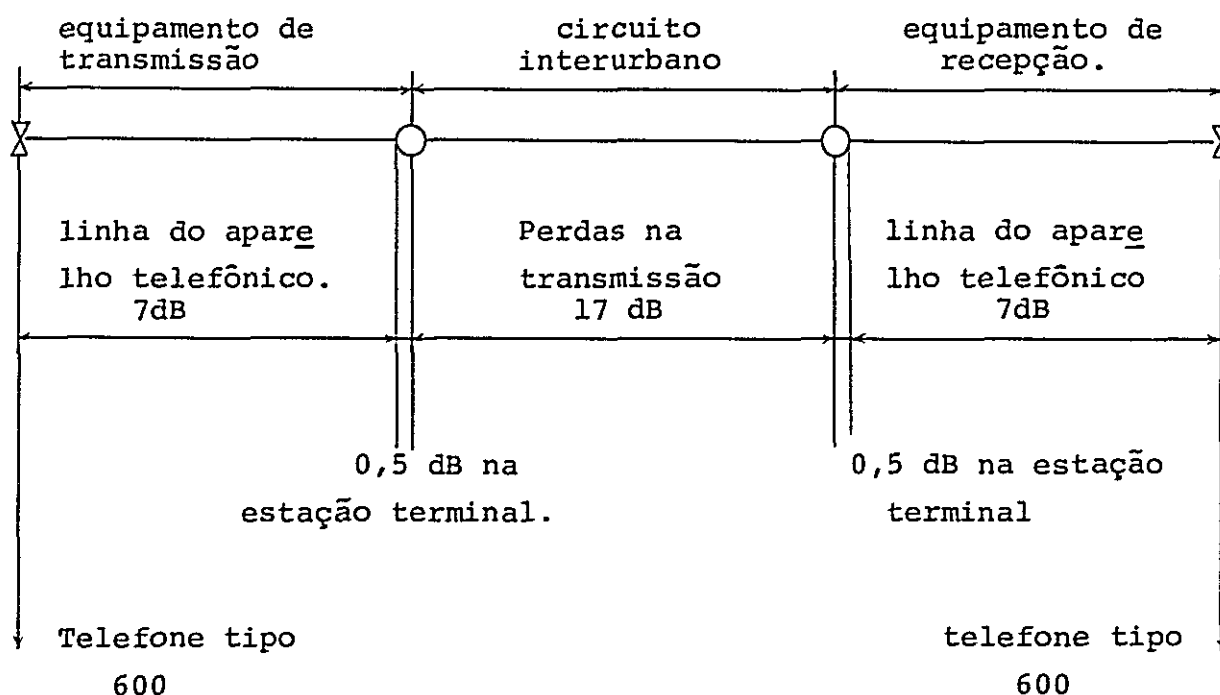


FIGURA 9-2-2

Variação nas características de transmissão: 5,7 dB.
(Incluindo variação de sensibilidade do telefone)

Faixa de frequência efetiva: 350-3200 Hz

A instalação do equipamento deve ainda obedecer a certas especificações para evitar a degradação qualidade de transmissão. A tabela 9-2-2 mostra as

especificações principais.

TABELA 9-2-2

Equipamento	Especificação
Dispositivo para transmissão telefônica "carrier" por cabo	perdas de 40 dB no circuito, a 120 NHZ
Repetidor para transmissão telefônica "carrier" por cabo	para perdas superiores a 40 dB no circuito, a 120 KHz
Dispositivo para transmissão telegráfica "carrier"	para corrente de interferência induzida superior a 15% da corrente do sinal de transmissão
	para resistência C.C. superior a 1500 Ω
Repetidor de transmissão telegráfica "carrier"	para perdas de linha superior a 20 dB na faixa de frequência utilizada

9-2-3 Equipamentos e circuito de telecomunicações

O circuito de telecomunicações pode ser separado em comunicação por cabo e por rádio.

As vias para comunicação por cabo são instaladas ao longo dos trilhos e destinam-se à comunicação entre estações, e entre estação e ao longo da ferrovia. Os cabos a serem usados no presente plano serão dos tipos múltiplos coaxial-fios quádruplos (star quad) para transmissão "carrier" e tronco, cabo "star quad" para tronco, tipo PEF-AL e cabo "star quad" para comunicação local tipo PE-AL, sendo enterrados diretamente no solo entre as estações e nos pátios, sendo instalados em canaletas devidamente construídas.

A comunicação até a uma distância aproximada de 100 km pode ser efetuada através desses cabos.

Para comunicação via rádio estão planejadas a rota de VHF e SHF. A rota de SHF (6,8 GHz) destina-se a comunicação a distâncias superiores a 100 km, com redundância de equipamento em toda a rota e repetidores refletores, do tipo passivo, ou do tipo "Leak" ou do tipo heterodino instalado nos locais necessários.

Em espaçamentos muito grandes (p.ex. distância entre repetidores de cerca de 60 km) adotamos o método de diversidade espacial, nas antenas, de modo a garantir boa confiabilidade da rota.

A rota de VHF (150 MHz Banda) é destinada a transmissão de informações via rádio com os trens, dentro dos pátios e das estações, e é adotado o sistema de propagação de onda espacial, sendo instaladas estações de retransmissão ao longo da ferrovia. Há necessidade de instalação adicional de "leaky Co-axial Cable" nas paredes dos túneis e ao longo dos trilhos, em lugares onde há dificuldade de propagação.

(1) Considerações básicas sobre a instalação do sistema de telecomunicações.

1) Link de micro-onda (Rota SHF)

Para a instalação da rota de SHF entre Belo Horizonte e Volta Redonda, devem ser instaladas repetidoras a intervalos de 40 km a 50 km, com mínimo afastamento possível da ferrovia, e as repetidoras passivas (refletores) colocadas no topo de montanhas de modo a assegurar uma boa rota de transmissão.

(O plano deve evitar tanto quanto possível a instalação de repetidoras no topo de montanhas, por ser anti-econômica, tanto do ponto de vista de instalação quanto de manutenção).

No caso de espaçamentos muito grandes, onde haja possibilidade de ocorrência de distúrbios na propagação de ondas de rádio devido a condições meteorológicas desfavoráveis, como "fading" adotar também o método de diversidade espacial, de modo a assegurar boa confiabilidade de comunicação.

As localizações das repetidoras e dos refletores e as rotas devem ser estabelecidas após levantamento minucioso do mapa, estudo do perfil e pesquisa in loco.

As especificações gerais do equipamento de comunicação por rádio estão na tabela 9-2-3.

TABELA 9-2-3

Capacidade da linha	960 canais
Frequência de transmissão	faixa de 6,8 GHz
Potência de transmissão	2W - 10 W
Método de recepção	super-heterodino
Método de modulação	SS - FM
Antena	Parabólica
Frequência do super-grupo	60 KHz-4.028 KHz
Faixa da frequência de voz	300 Hz - 3.400 Hz
Potência consumida	Inferior a 300 W/bastidor
Placa refletora	70 m ² ou 100 m ²

2) Linha de comunicação por cabo

Instalar cabo múltiplo co-axial-fios quádruplos (Star Quad) para tronco e "carrier" ao longo da ferrovia a profundidade de cêrca de 1m.

Nos pátios e estações devem ser utilizados cabos "Star Quad" para comunicação local com isolamento de polietileno e blindagem de alumínio instalados em canaletas, ou em tubos de ferro ou concreto devidamente instalados.

Considerando que o cabo será instalado nas proximidades do trilho, é necessário tomar medidas apropriadas contra interferências por indução. Refira-se ao ítem 7-3 e anexos para cálculos e métodos para evitar interferências.

Os cabos internos do cabo múltiplo devem ser utilizados conforme abaixo:

Os cabos quádruplos da camada externa devem ser utilizados para as linhas de comunicação a curta distância e os cabos coaxiais para as linhas de longa distância.

O circuito de comunicação a curta distância é constituído pelo sistema "carrier" PCM e as linhas de transmissão de voz utilizando os cabos da camada externa, e o circuito de comunicação a longa distância é efetuado em "carrier" FDM.

PCM: Pulse Code Modulation

FDM: Frequency Division Modulation

3) Fonte de Energia Elétrica

Em condições normais a energia elétrica nas repetidoras de micro-ondas, comutadoras automáticas e instalações de transmissão "carrier" é fornecida pela rede convencional de energia elétrica que é transformada para a tensão requerida pelos equipamentos de comunicação. Na ocorrência de falta de energia elétrica C.A. convencional por qualquer anormalidade, a energia elétrica requerida pelos equipamentos de comunicação é fornecida pela fonte de reserva.

A tensão necessária para os repetidores de "carrier" é fornecida em c.c. pela estação terminal de "carrier" através do cabo de comunicação.

(2) Equipamento e comunicação dos trens por rádio

Os circuitos de comunicação dos trens dividem-se em sistema móvel para os trens, sistema móvel destinado ao uso nas estações e nos pátios e sis-

tema para carros destinado à manutenção periódica. O sistema móvel para os trens é de vários canais, do tipo propagação de onda espacial. Para locais de difícil propagação como em túneis será utilizado o "Leaky Coaxial Cable".

1) Circuito de comunicação para os trens

É instalado um sistema exclusivo para a transmissão de ordens de locomoção dos trens, resultando em transmissão imediata de ordens e indicações que assegura a operação certa dos trens tanto sob condições normais como em situações de emergência. Esse sistema para transmissão de ordens é constituído por linhas telefônicas entre o centro de controle e o condutor de cada trem, em que qualquer um pode originar a chamada. A configuração do circuito é dada a seguir.

A rota Belo Horizonte - Volta Redonda é dividida em 4 grandes zonas, e uma estação de controle é instalada na área central de cada grande zona, convenientemente escolhida. Instala-se várias estações na zona de cada estação de controle, para estabelecer comunicação com o trem em movimento.

As estações devem ser instaladas em cada estação ferroviária na medida do possível, e a localização das estações satélites devem ser estabelecidas após pesquisa adicional.

Como há possibilidade de interferência nos limites das áreas de serviço das estações e estações satélites, devem ser tomadas as medidas apropriadas. Devem ser instalados "Leaky coaxial cable" na parede interna dos túneis e nos trilhos, em locais de difícil propagação de onda espacial. A colocação

dentro de túnel e exemplo de plano de circuito de comunicação foram descritos no relatório intermediário.

2) Comunicação por rádio no pátio (Banda de VHF)

O sistema de comunicação do pátio destina-se à transmissão de indicações e estabelecimento de comunicações sem problemas nos pátios e nas estações.

Uma estação de comunicação fixa é instalada no centro de operações do pátio ou da estação ferroviária e o operador local comunica-se com a estação fixa através de um transceptor portátil. O circuito deve ser planejado de modo que o condutor do trem possa comunicar com a estação fixa e com o operador do pátio ou da estação ferroviária através do equipamento de comunicação por rádio instalado no trem.

3) Fonte de energia elétrica.

A energia elétrica da estação de comunicação fixa é fornecida transformando a C.A. da rede convencional de energia elétrica em C.C. necessária aos equipamentos de comunicação. Uma bateria é conectada em paralelo, com carregador flutuante para permitir continuidade de comunicação em caso de falha da rede CA convencional.

A energia elétrica da repetidora do "Leaky Coaxial Cable" é também fornecida por uma bateria conectada em paralelo com o carregador flutuante, além da transformação da C.A. da rede em C.C. na repetidora.

A energia em C.A. é fornecida pela fonte de energia elétrica das lâmpadas de iluminação

do túnel ou outra fonte convencional. A energia elétrica das estações móveis é fornecida por baterias portateis e baterias de reserva, que devem estar sempre carregadas na estação fixa ou no centro de operações, com instalação planejada de modo a permitir a troca de baterias a qualquer momento.

(3) Outros circuitos de comunicação e equipamentos

1) Comutador automático de telefonia e fonte de alimentação.

Comutadores automáticos de telefonia devem ser instalados conforme indicado na tabela 9-2-4.

TABELA 9-2-4

Local a ser instalado	Capacidade de linhas (quantidade de terminais).
Belo Horizonte	700 - 2000
Jeceaba Oficina e pátio	100 - 300
Itutinga Oficina e pátio	100 - 300
Volta Redonda Centro de Controle C.C. pátio	700 - 2000

2) Instalação do telefone de ordens

Estão planejados o circuito de comunicações para ordens de locomoção e circuitos para comando de energia elétrica, com o intuito de realizar a locomoção dos trens sem problemas. O centro de controle será instalado

em Volta Redonda, com o aparelho telefônico mestre para transmissão de ordens. Cada estação terá o aparelho telefônico secundário para comunicação de ordens de locomoção e cada subestação alimentadora da ferrovia terá o telefone secundário para comunicação de ordens sobre a energia elétrica. (O método obedecerá as normas F-1 da JNR).

3) Instalação do circuito de comunicação para controle

O circuito CTC está dividido em 2 grupos; de Belo Horizonte a Itutinga e de Itutinga a Volta Redonda, ambos com instalação a ser controlada pelo centro de controle de Volta Hedonda.

O circuito OSC está constituído por 2 pares de cabos internos em uma direção e 2 pares de cabos internos em direção contrária e com instalações em cada subestação e controlados pelo centro de controle de Volta Redonda.

Além disso, possuem circuitos de varios tipos de alarme e indicação que são comunicados e indicados no centro de controle de Volta Redonda.

4) Instalação do circuito para transmissão de dados.

Esse circuito destina-se à transmissão de vários tipos de informações, necessárias à administração da nova ferrovia, para a estação de partida, pátio, estação de chegada e seções de controle, de modo a permitir administração segura e livre de problemas. Serão utilizados equipamentos de concepção moderna de alta confiabilidade nos terminais de en-

trada e saída de dados.

Dentre os vários tipos de informações a serem transmitidos, podemos citar o número do trem, comprimento do comboio, seu destino número do vagão, carga dos vagões, tipo de minério de ferro, localização do vagão, e dos estatísticos.

- 5) Instalação de circuito de telefonia ao longo da ferrovia.

São instalados caixas para telefone a cada quilômetro ao longo da ferrovia, destinados à comunicação em caso de obras no espaço entre as estações. São instalados os circuitos de uso exclusivo para operações, para energia elétrica, para manutenção da linha, circuito para comutador, e de reserva (ou circuito exclusivo para sinalização) e circuito para fonte de alimentação.

Em cada caixa de telefone ao longo da linha são instalados a placa de terminais e o telefone que será conectado ao circuito exclusivo para operações e à fonte de alimentação quando a tampa é aberta. Os terminais devem estar conectados de modo a permitir conexão do telefone com o circuito desejado através de operações em botões de pressão.

- 6) Instalação de circuito para FAC-símile

O dispositivo de fac-símile é instalado para possibilitar a transmissão direta de desenhos e similares.

9-3 Métodos de proteção contra interferência de indução.

9-3-1 Considerações sobre o método de proteção.

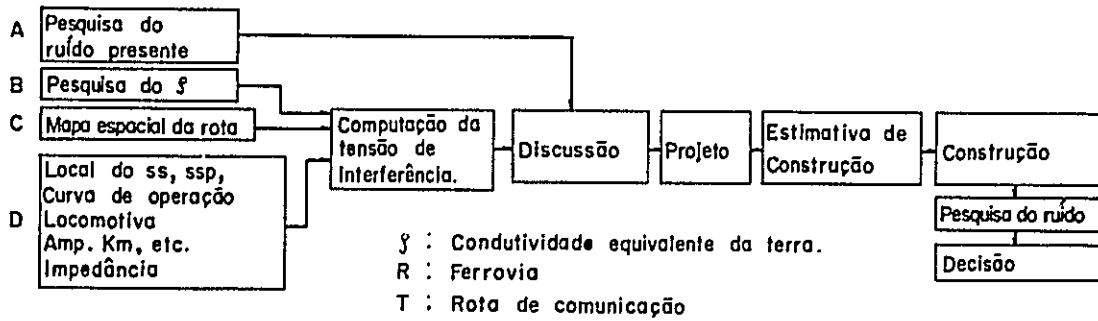
A tensão de indução eletromagnética pode ser separada em tensão induzida de frequência fundamental (60 Hz, incluindo tensão por indução eletrostática) e tensão de ruído induzida por ondas de alta frequência. As interferências por indução devem ser evitadas controlando inicialmente a parte da fonte geradora e então adotando as providências necessárias na parte influenciada. Nas obras de eletrificação da ferrovia, primeiramente devem ser tomadas as devidas providências na catenária, nas locomotivas-elétricas e nas subestações, que constituem a parte geradora de interferências. Para então adotar os métodos de proteção contra interferências nos circuitos de comunicação e equipamentos, que constituem a parte influenciada.

Conforme a Figura 9-3-1, que mostra um exemplo dentre procedimentos possíveis para evitar interferências, a razão de indução pela terra é um elemento básico no projeto da proteção considerada.

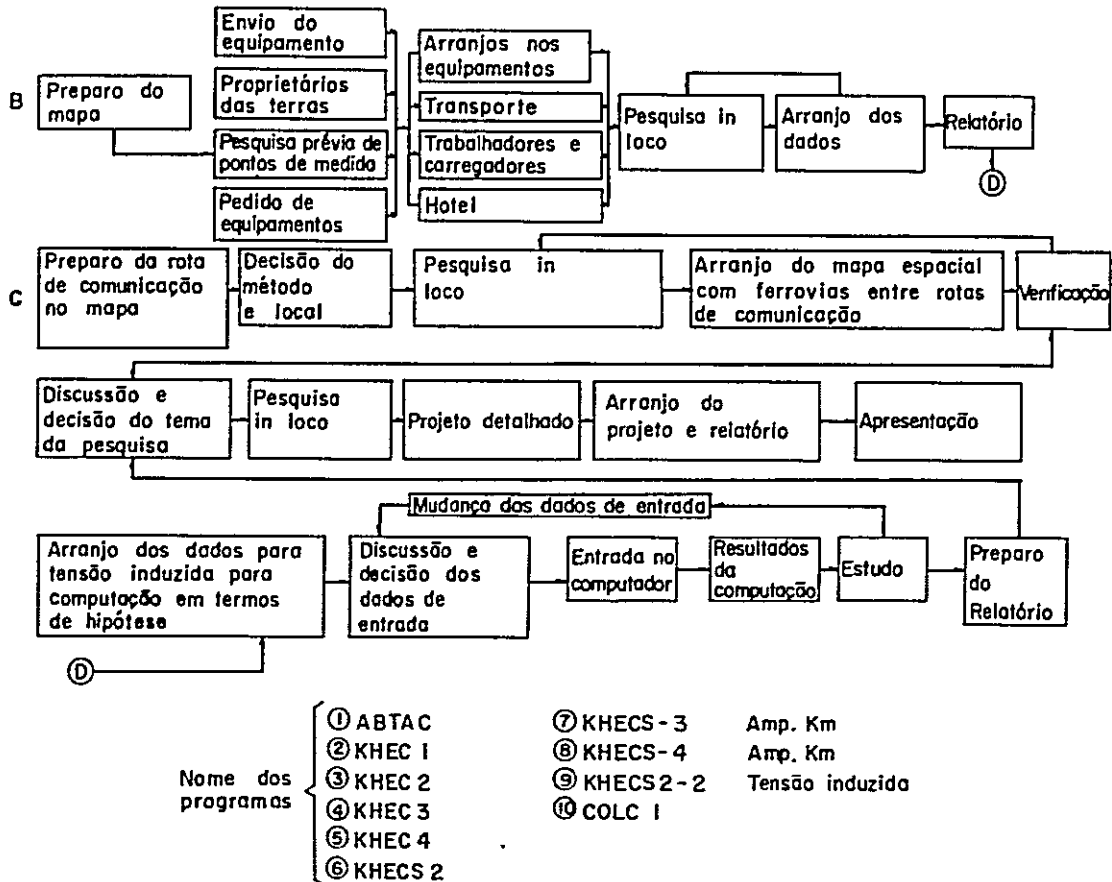
Figura 9-3-1

I. Diagramas de fluxo para solução de problemas de interferência.

1. Diagrama Geral.



2. Diagrama das partes



A tabela 9-3-1 mostra os resultados das medições da razão de indução pela terra, presente mente efetuadas nas 6 áreas consideradas mais importantes ao longo da nova ferrovia. Quanto aos detalhes, favor referir-se aos anexos.

Tabela 9-3-1

Resultados da medição da condutividade equivalente da terra

Através da resistividade 60Hz

Nº	Local da medições	Valor medido		Valor de conversão	
		$\Omega.m$	\bar{U}/m	$\Omega.m$	\bar{U}/m
1.	VOLTA REDONDA	71,9	$13,9 \times 10^{-3}$	34,5	$29,0 \times 10^{-3}$
2.	FLORIANO	17,9	$55,8 \times 10^{-3}$	16,1	$62,0 \times 10^{-3}$
3.	ITUTINGA	386,1	$2,59 \times 10^{-3}$	84,7	$11,8 \times 10^{-3}$
4-1	JECEABA	91,7	$10,9 \times 10^{-3}$	38,9	$25,7 \times 10^{-3}$
4-2	JECEABA	51,8	$19,3 \times 10^{-3}$	28,6	$35,0 \times 10^{-3}$
5.	BELO HORIZONTE	1275,5	$0,784 \times 10^{-3}$	161,3	$6,2 \times 10^{-3}$
6.	BELO HORIZONTE PATEO DE MATADOURO	266,7	$3,75 \times 10^{-3}$	69,9	$14,3 \times 10^{-3}$

Obs.) Conversão a C.G.S.e.m.u $1.0 \bar{U}/m = 10^{-11}$ C.G.S.
e.m.u.

(Ex.) Nº 1 29.0×10^{-3} (\bar{U}/m) = 2.9×10^{-13}
(C.G.S.e.m.u.)

9-3-2 Métodos de proteção na parte geradora de interferência

Conectar a subestação aos trilhos, adotando um circuito em que a corrente de retorno da catenária seja conduzida dos trilhos para a subestação. São adotados atualmente na JNR os métodos de alimentador BT e AT. Com os trilhos estão conectados à terra através dos dormentes, deve ser adotada uma configuração que não haja escoamento à terra da corrente de retorno da locomotiva.

Como a corrente dos trens contem vários componentes de alta frequência que são causas de interferência nos circuitos de comunicação, devem ser tomadas as devidas providências, tais como a construção do secundário dos transformadores para as locomotivas em bobina dividida, e colocação de filtro nos circuitos de comunicação (filtragem de correntes de alta frequência).

9-3-3 Métodos de proteção na parte influenciada pela indução

Descrevemos a seguir o esquema geral dos métodos a serem adotados na parte influenciada pela indução.

(1) Tensão de indução perigosa

A tensão de indução perigosa é proveniente da tensão de indução sob condições normais ou anormais, podendo também ser provocada por contato direto da linha de comunicação com a linha de alta tensão.

É chamada tensão de indução sob condições normais a tensão induzida de frequência fundamental ao longo da linha de comunicação devido à corrente de escoamento à terra (corrente de retorno pela terra) em operação normal. Quando essa tensão induzida ultrapassa o valor limite (normalmente

10-15V), causa operações errôneas em equipamentos ligados diretamente entre a linha de comunicação e a terra, como comutadores, equipamentos de transmissão e terminais, e torna-se perigosa para pessoas quando atinge valores maiores (superior a 60V).

É chamada tensão de indução sob condições anormais a tensão induzida de frequência fundamental a tensão induzida ao longo da linha de comunicação devido à corrente que flue à terra quando uma linha de fornecimento de energia elétrica (inclusive a catenária) sofre algum acidente.

Em ambos os casos há necessidade de proteger o pessoal que opera na parte de comunicações e os equipamentos.

São estabelecidos de forma geral os valores de tensão perigosa da tabela 9-3-2, considerando que essa tensão envolve riscos de perda de vida. A tensão de indução perigosa pode ser calculada a partir de elementos tais como característica dos vagões, método de operação dos trens e circuitos elétricos, conforme o método de cálculo descrito no anexo.

Tabela 9-3-2

Item condicional	CCITT	JNR	Descrição
Desordem & anormal	430V	300V	Linha de potência
Desordem & anormal	650V	430V	Alta estabilidade Linha de transmissão
Ordem & normal	60V	60V	

Os métodos de proteção contra a tensão de indução

perigosa pode ser enumerada conforme abaixo

- a) Aterramento seguro dos equipamentos
- b) Colocar a terra das linhas de comunicação e sinais a uma distância superior a 50M da terra da alta tensão.
- c) Instalar pára-raios de alta qualidade.

(2) Tensão de ruído induzida

A tensão induzida entre dois fios da linha de comunicação é chamada tensão de ruído induzida, e influencia grandemente a qualidade de transmissão e telefonia. Essa tensão é gerada provavelmente devido a componentes de alta frequência (distorção) contida na parte geradora de interferência e ao desbalanceamento da linha de comunicação em relação à terra. O valor limite da tensão de ruído induzida é estabelecido pelo valor da tensão nos terminais da linha de comunicação, e a tabela 9-3-3 mostra os valores limite geralmente adotados.

O método de proteção deve ser planejado levando em conta experiências anteriores além do valor

Tabela 9-3-3

	Companhia telefônica e telegráfica		J.N.R.
	Tensão de ruído induzida da C.A. da ferrovia	Tensão de ruído de outras fontes	
Cabo	1,0 mV	0,5 mV	1,0 mV
Linha aberta	2,5 mV	1,0 mV	2,5 mV

da tensão de ruído que deve ser calculado de modo similar ao ítem (1) anterior. Quanto aos detalhes do método de cálculo, favor referir-se aos anexos.

O esquema geral de planejamento do método de proteção contra tensão de ruído induzida pode ser enumerado conforme segue:

- a- Dividir o circuito de comunicação no anel do tronco.
- b- Utilizar cabos de blindagem
- c- Mudar a rota de comunicação
- d- Adotar transmissão "carrier"
- e- Utilizar linhas múltiplas no lugar de linhas com terra.
- f- Utilizar cabos no lugar de circuitos descobertos.

As figuras 9-3-2 a 9-3-6 mostram esquemas simplificados de métodos de proteção contra interferência no anel do tronco.

DIAGRAMA PARA MEDIDA DE PROTEÇÃO DE INTERFERECIA INDUZIDA

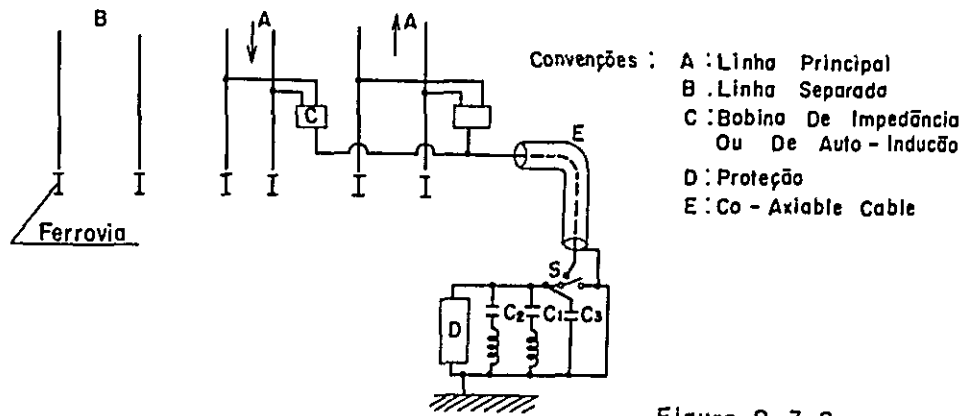


Figura 9-3-2

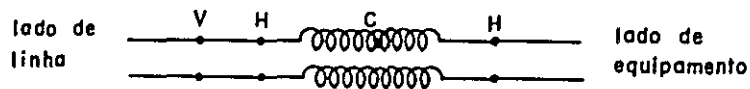


Figura 9-3-3

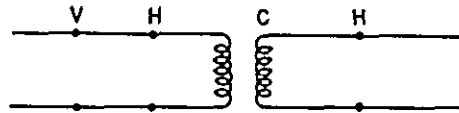


Figura 9-3-4

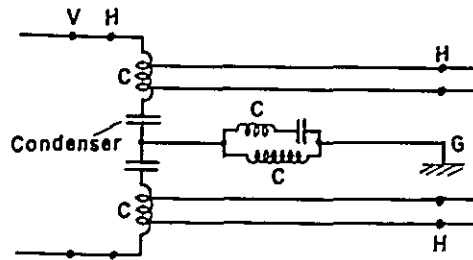


Figura 9-3-5

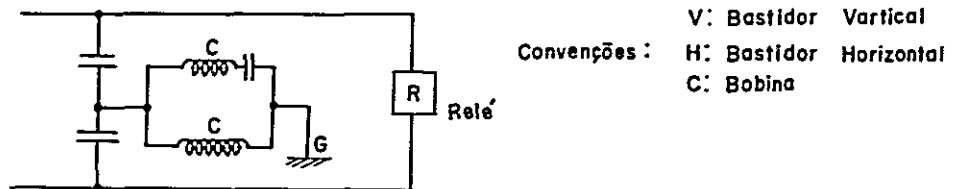


Figura 9-3-6

Anexo 9

A9-1 Método do cálculo da tensão induzida

Os resultados do cálculo utilizando os formulários (1) e (2) devem ser examinados para verificar se a tensão induzida ultrapassará ou não o valor limite

(1) Operação sob condições normais.

$$V = \omega M \ell (1-n) I K_1 K_2 K_3 K_4 K_5 \times 10^{-6} \text{ (V)} \quad (1)$$

onde:

$$\omega = 2\pi f$$

$$f = 60\text{Hz}$$

M: coeficiente de mútua indução entre a rede aérea do trem e a linha de comunicação. ($\mu\text{H}/\text{km}$) a 60Hz.

ℓ : comprimento da parte em que a linha de comunicação a linha do trem correm em paralelo (km).

1-n: coeficiente de blindagem do trilho.

I: corrente de carga (Amp).

K_1 : coeficiente de blindagem do cabo.

K_2 : coeficiente de blindagem da linha de aterramento.

K_3 : coeficiente de blindagem de outros trilhos.

K_4 : coeficiente de redução de indução devido a túneis e pontes elevados.

K_5 : coeficiente de redução de indução devido à divisão da corrente dos trilhos.

(2) Operação sob condições anormais.

$$V = \Sigma \omega M \ell (1-m-n) I K_1 K_2 K_3 K_4 \times 10^{-6} \text{ (V)} \quad (2)$$

I: corrente acidental (anormal) (Amp).

m: relação entre a corrente do alimentador de retorno e a corrente na rede aérea do trem.

n: Relação entre a corrente do trilho e a corrente na linha do trem.

Σ : Soma das correntes na linha de comunicação calculadas dividindo o comprimento da parte paralela por áreas.

$K_1, K_2, K_3,$ e K_4 : iguais aos da fórmula (1)

A9-2 Método de cálculo da tensão de ruído induzida.

O resultado do cálculo aplicando a fórmula (3) deve ser analisada para verificar se a tensão de ruído induzida ultrapassa ou não o valor limite.

$$V_m = \omega(1/100)\lambda J_p(1-n)M \ell K_1 K_2 K_3 K_4 K_5 \times 10^{-3} \text{ (mV)} \quad (3)$$

onde:

$$\omega = 2\pi f \quad f = 800 \text{ Hz}$$

J_p : Corrente equivalente de interferência (cerca de 100 Amp).

M : Coeficiente de mútua indução entre a linha de comunicação e a rede aérea do trem ($\mu\text{H/km}$) a 800 Hz.

λ : Grau de balanceamento da linha de comunicação

Demais coeficientes são iguais aos da fórmula

(1), exceto o coeficiente K_1 que deve ser multiplicado por $f/800$.

A9-3 Condutividade equivalente do solo e coeficiente de mútua indução.

É necessário pesquisar o comprimento paralelo e o coeficiente de mútua indução M entre a linha de comunicação e a rede aérea do trem para estabelecer o plano de prevenção

contra interferência de indução.

O coeficiente de mútua indução do circuito elétrico de uma ferrovia elétrica varia de acordo com a condutibilidade do solo, e a Tabela 9-4-8 mostra os valores de M calculados fixando o valor de ℓ e variando a condutibilidade do solo. A unidade adotada para o σ é 10^{-14} C.G.S. e $m u (10^3 \Omega -m)$

Tabela 9-4-8

Relação entre M e a distância de separação

Frequência (Hz)	Distancia A (m)		10	50	100	200	300	500	1.000
	Condu-ti-vidade do solo σ								
800	10^{-14} CGSemu $10^3 \Omega m$		1	1	1	1	1	1	1
	10^{-13} " 10^2 "		0,74	0,63	0,51	0,40	0,31	0,21	0,10
	10^{-12} " 10^1 "		0,49	0,27	0,15	0,06	0,03	0,02	0,01
60	10^{-14} " 10^3 "		1	1	1	1	1	1	1
	10^{-13} " 10^2 "		0,78	0,72	0,68	0,60	0,54	0,46	0,33
	10^{-12} " 10^1 "		0,51	0,45	0,36	0,25	0,18	0,10	0,04

Conforme pode-se ver na Tabela 9-4-8, a variação do M devido a variações do σ é relativamente pequena quando a distância A entre a rede aérea do trem e a linha de comunicação é pequena. A variação do M devido a variação do σ aumenta à medida que a distância A aumenta.

Como o σ é um elemento importante para o plano de prevenção contra interferência de indução, é necessário medir o valor do σ ao longo da ferrovia planejada e então calcular o valor do coeficiente de mútua indução de obras de eletrificação CA da ferrovia.

A9-4 Medição da condutividade do solo

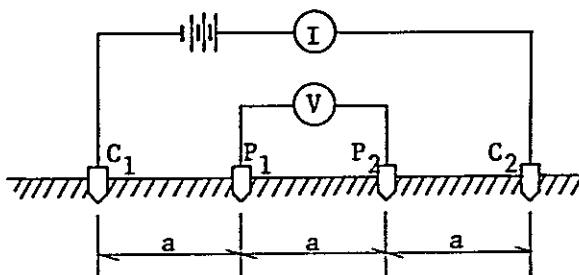
(1) Métodos de medição da condutividade do solo

A ordem de grandeza da condutividade do solo pode ser estimada pesquisando o tipo de solo.

A verificação do tipo de solo ao longo de toda a linha ferroviária é geralmente baseada em mapas de composição do solo fornecidos por postos ou centros de pesquisa de qualidade de solo. Entretanto, é difícil estimar como a configuração do solo indicada no mapa varia no subsolo, e considerando que a corrente das locomotivas, etc. que flue à terra atinge provavelmente locais bastante profundos, é necessário medir a condutibilidade do solo através de fluxo real de corrente pela terra. Descrevemos a seguir 2 métodos que geralmente são utilizados para tal medição.

1) Método da resistividade (Método do σ)

Colocam-se 4 hastes condutores em linha reta a intervalos iguais..Provoca-se fluxo de corrente I através das hastes C_1 e C_2 e é medida a diferença de tensão entre as hastes P_1 e P_2 . Esse é o sistema de 4 hastes de Wenner, cujo esquema é dado na Figura A9-1.



Esquema do método da resistividade

Figura A9-1

A resistividade ρ (Ω -m) pode então ser calculada como

$$\rho = 2\pi a (V/I) = 2\pi a R, (\Omega\text{-m}) \dots (4)$$

onde:

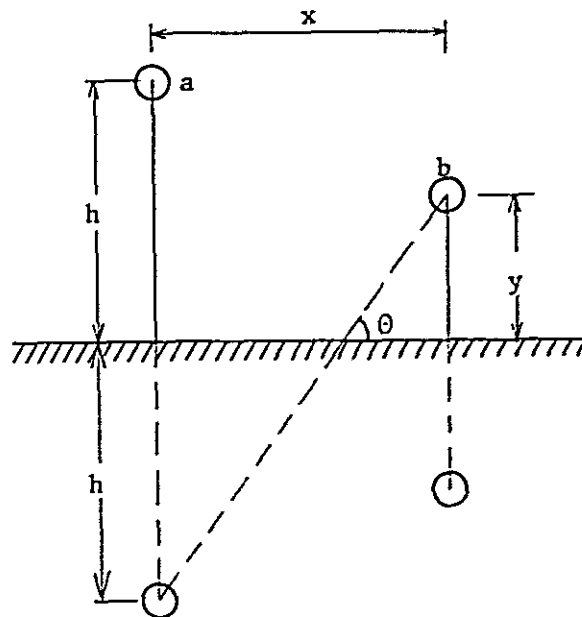
a : distância entre hastes

R : Resistência aparente do solo (Ω)

e o valor do ρ é determinado através de medição do R

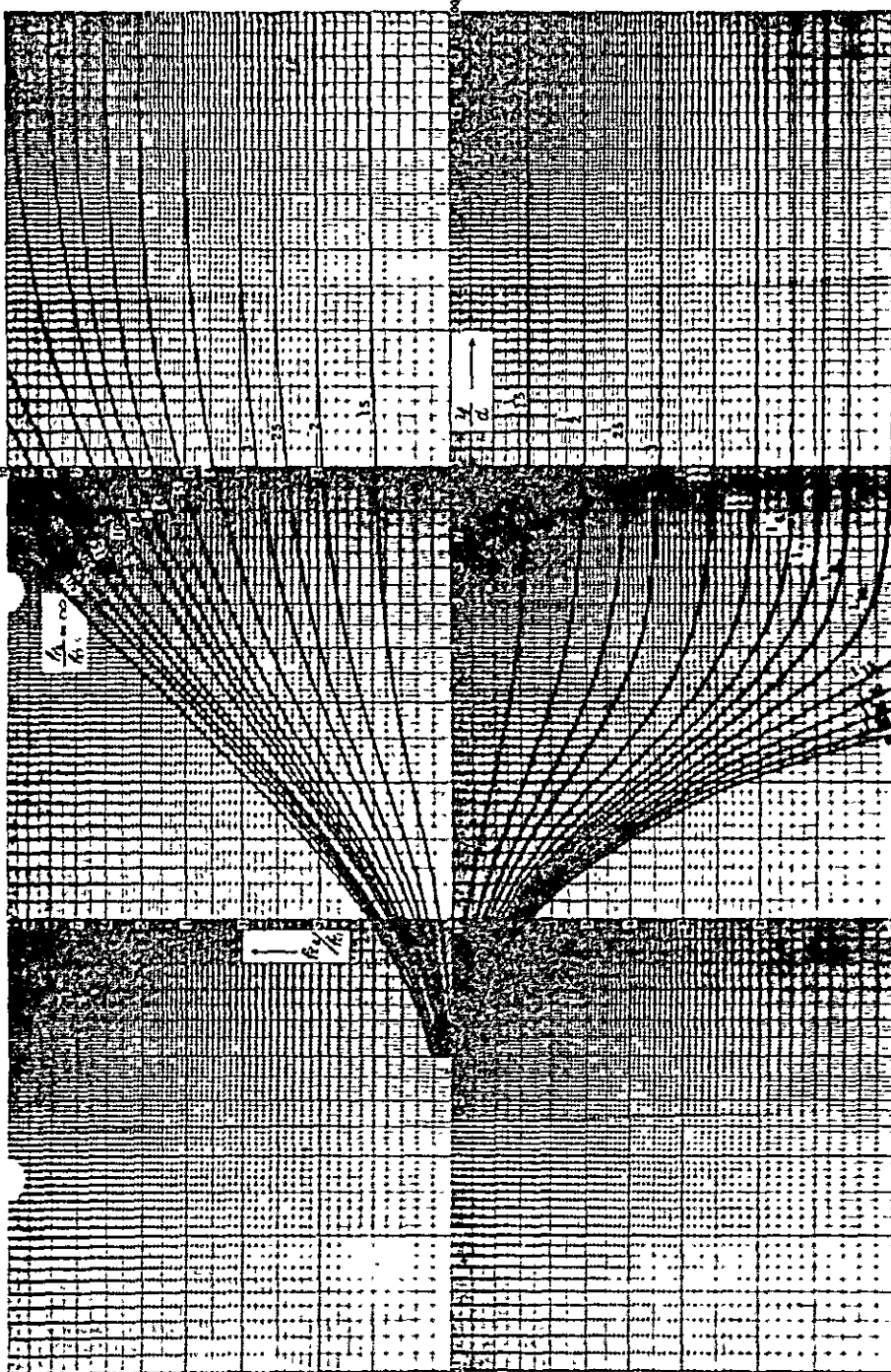
2) Método da bobina exploradora (Método S)

A relação entre o coeficiente de mútua indução de retorno pela terra entre os 2 fios paralelos de comprimento infinito a e b colocados conforme a Figura A9-2 e a condutividade do solo ρ é dada pela fórmula de Carson-Pollaczek (5).



[unidade: cm]

Figura A9-2



T.O. PADRÃO DE CURVA

Figura. A 9 - 3

$$\begin{aligned}
|jM| = & \frac{2\sqrt{2}}{3} |k| (h+y) + \frac{|k|^2}{4} \{((h+y) + y)^2 + x^2\} \{0,6728 \\
& + \log \frac{2}{|k|}\} + 2X(h+y)\theta] + j[2 \log \frac{2}{|k|\rho} \\
& - 0,1544 + \frac{2\sqrt{2}}{3} |k| (h + y)] \quad (5)
\end{aligned}$$

Utilizando a bobina exploradora no lugar do fio b e ajustando a sua posição de modo a obter mínima tensão induzida, o ângulo entre o plano perpendicular da bobina e a superfície horizontal é dada por:

$$\alpha = \tan^{-1} \left(\frac{2\sqrt{2}}{3} kx \right) \dots\dots\dots (6)$$

A condutividade do solo pode ser obtida da fórmula (6).

$$\gamma = \sqrt{x^2 + (h + y)^2} \quad \beta = \sqrt{x^2 + (h-y)^2}$$

$$|k| = 2\pi\sqrt{2\sigma f}$$

onde:

f = frequência

σ = condutibilidade do solo em C.G.S e m.u.

2) Utilização dos dados

Após conversão dos valores medidos no método de resistividade para resistência aparente do solo traçar o gráfico da resistência aparente do solo em papel log-log (curva ρ -a), plotando as distâncias entre hastes na abcissa e resistência aparente do solo na ordenada. Sobrepondo esse gráfico sobre o gráfico das curvas T.O. padronizadas, escolher a curva padrão que mais se aproxima do gráfico traçado, estimando assim as características

elétricas desejadas do solo. Utilizar em seguida as Curvas de relações entre σ_0/σ_1 e $10^6 d\sqrt{\sigma_1 f}$ " das indicações da CCITT, para calcular a condutividade equivalente do solo incluindo cada camada.

3) Resultados das medições de condutibilidade do solo
Descrevemos a seguir os resultados da medição da condutibilidade do solo entre Belo Horizonte e Volta Redonda.

a. Data da medição: de 9 a 14 de julho de 1975.

b. Locais de medição

Nº1 Subúrbio de Volta Redonda

Nº2 Local planejado para o pátio de Floriano

Nº3 Local planejado para o pátio de Itutinga

Nº4-1 Local planejado para o pátio de Jeceaba

Nº4-2 Local planejado para o pátio de Jeceaba

Nº5 Belo Horizonte

Em área plana ao longo da rodovia federal, a cerca de 17km do centro de B.H. em direção a Jeceaba.

Nº6 Local planejado para o pátio de Matadouro

c. Equipamento de medição

Medidor de resistividade de solos

Modelo L-10 e um jogo de materiais acessórios.

d. Resultados da medição

Organizamos nas tabelas A9-2 a A9-8 os dados

das medições de cada local e resultados de

cálculos efetuados por computador.

As figuras A9-4 a A9-9 mostram o esquema topográ

fico dos locais de medição. As Figuras A9-10 a A9-16 são gráficos traçados com os dados de cada local de medição a serem utilizados para análise estimada da composição do subsolo, com os resultados da análise da composição do subsolo à direita de cada gráfico.

LISTA DE DADOS NECESSÁRIAS PARA OBTENÇÃO
DO VALOR DA CONDUTIBILIDADE DO SOLO

1. Nº E NOME DO PONTO DAS MEDIDAS
Nº 1 VOLTA REDONDA

10 JULHO 1975

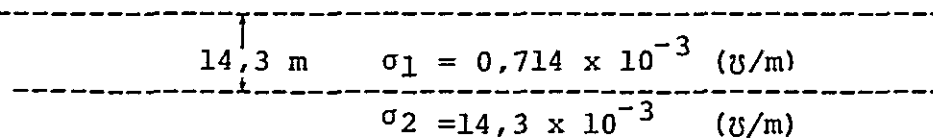
2. CONDIÇÃO DA ÁREA (CAMPO)

3. DADOS DE LEVANTAMENTO

EXTENSÃO DA LINHA POR CORRENTE (m)	EXTENSÃO DA LINHA POR VOLTAGEM (m)	DISTANCIA ENTRE HASTES a (m)	DADOS R (Ω)	CONDUTIBILI- DADE ENTRE CADA HASTE $2\pi aR$ (Ωm)
0,75	0,25	0,5	-	-
1,5	0,5	1,0	-	-
3,0	1,0	2,0	209,0	2626,29
6,0	2,0	4,0	95,0	2387,54
9,0	3,0	6,0	46,0	1734,11
12,0	4,0	8,0	27,1	1362,15
15,0	5,0	10,0	19,3	1212,62
30,0	10,0	20,0	5,6	703,70
60,0	20,0	40,0	0,96	241,27
90,0	30,0	60,0	0,2175	80,99
120,0	40,0	80,0	-	-
150,0	50,0	100,0	-	-
300,0	100,0	200,0	-	-

(m) : METRO
(Ω) : OHM
(\mathcal{U}) : MHO
 $\pi = 3.1415$

4. ESTRATO



5. VALOR DA CONDUTIBILIDADE DO SOLO

$$\sigma = 13,9 \times 10^{-3} \text{ (}\mathcal{U}/\text{m)}$$

$$\rho = 71,9 \text{ (}\Omega/\text{m)}$$

(60 Hz)

LISTA DE DADOS NECESSÁRIAS PARA OBTENÇÃO
DO VALOR DA CONDUTIBILIDADE DO SOLO

1. Nº E NOME DO PONTO DAS MEDIDAS
Nº 2 FLORIANO

10 JULHO 1975

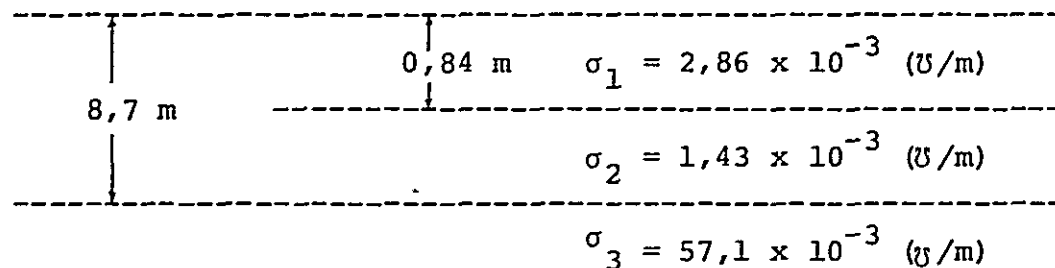
2. CONDIÇÃO DA ÁREA (CAMPO)

3. DADOS DE LEVANTAMENTO

EXTENSÃO DA LINHA POR CORRENTE (m)	EXTENSÃO DA LINHA POR VOLTAGEM (m)	DISTANCIA ENTRE HASTES a (m)	DADOS R (Ω)	CONDUTIBILI- DADE ENTRE CADA HASTE $2\pi aR$ (Ωm)
0,75	0,25	0,5	72,0	226,19
1,5	0,5	1,0	66,0	414,69
3,0	1,0	2,0	41,0	515,21
6,0	2,0	4,0	18,8	472,48
9,0	3,0	6,0	10,5	395,83
12,0	4,0	8,0	5,7	286,50
15,0	5,0	10,0	3,6	226,19
30,0	10,0	20,0	0,68	85,45
60,0	20,0	40,0	0,052	13,07
90,0	30,0	60,0	0,007	2,64
120,0	40,0	80,0	-	-
150,0	50,0	100,0	-	-
300,0	100,0	200,0	-	-

(m) : METRO
(Ω) : OHM
(\mathcal{U}) : MHO
 $\pi = 3.1415$

4. ESTRATO



5. VALOR DA CONDUTIBILIDADE DO SOLO

$$\sigma = 55,8 \times 10^{-4} \text{ (}\mathcal{U}/m\text{)}$$

$$\rho = 17,9 \text{ (}\Omega m\text{)}$$

(60 Hz)

LISTA DE DADOS NECESSÁRIAS PARA OBTENÇÃO
DO VALOR DA CONDUTIBILIDADE DO SOLO

1. Nº E NOME DO PONTO DAS MEDIDAS
Nº 3 ITUTINGA

11 JULHO 1975

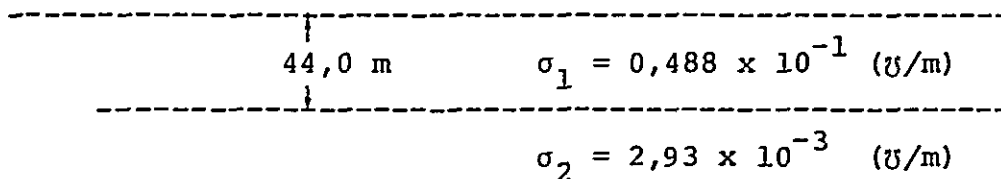
2. CONDIÇÃO DA ÁREA (CAMPO)

3. DADOS DE LEVANTAMENTO

EXTENSÃO DA LINHA POR CORRENTE (m)	EXTENSÃO DA LINHA POR VOLTAGEM (m)	DISTANCIA ENTRE HASTES a (m)	DADOS R (Ω)	CONDUTIBILÍ- DADE ENTRE CADA HASTE $2\pi aR$ (Ωm)
0,75	0,25	0,5	-	-
1,5	0,5	1,0	-	-
3,0	1,0	2,0	-	-
6,0	2,0	4,0	174,0	4372,97
9,0	3,0	6,0	77,0	2902,75
12,0	4,0	8,0	48,0	2412,67
15,0	5,0	10,0	35,0	2199,05
30,0	10,0	20,0	16,3	2048,26
60,0	20,0	40,0	6,4	1608,25
90,0	30,0	60,0	3,7	1394,83
120,0	40,0	80,0	1,875	942,45
150,0	50,0	100,0	0,6	376,98
300,0	100,0	200,0	-	-

(m) : METRO
(Ω) : OHM
(\mathcal{U}) : MHO
 $\pi = 3.1415$

4. ESTRATO



5. VALOR DA CONDUTIBILIDADE DO SOLO

$$\sigma = 2,59 \times 10^{-3} \text{ (}\mathcal{U}/m\text{)}$$

$$\rho = 386,1 \text{ (}\Omega m\text{)}$$

(60 Hz)

LISTA DE DADOS NECESSÁRIAS PARA OBTENÇÃO
DO VALOR DA CONDUTIBILIDADE DO SOLO

1. Nº E NOME DO PONTO DAS MEDIDAS
Nº 4-1 JECEABA

12 JULHO 1975

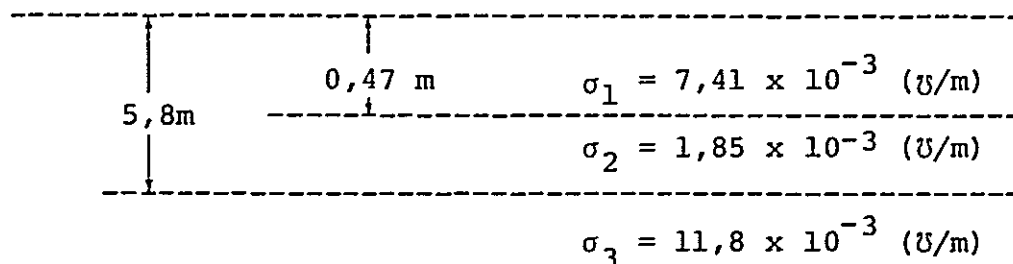
2. CONDIÇÃO DA ÁREA (CAMPO)

3. DADOS DE LEVANTAMENTO

EXTENSÃO DA LINHA POR CORRENTE (m)	EXTENSÃO DA LINHA POR VOLTAGEM (m)	DISTANCIA ENTRE HASTES a (m)	DADOS R (Ω)	CONDUTIBILI- DADE ENTRE CADA HASTE $2\pi aR$ (Ωm)
0,75	0,25	0,5	47,0	147,65
1,5	0,5	1,0	40,0	251,32
3,0	1,0	2,0	29,0	364,41
6,0	2,0	4,0	18,0	452,38
9,0	3,0	6,0	10,75	405,25
12,0	4,0	8,0	6,2	311,64
15,0	5,0	10,0	3,6	226,19
30,0	10,0	20,0	0,6	75,40
60,0	20,0	40,0	0,34	85,45
90,0	30,0	60,0	0,29	109,32
120,0	40,0	80,0	-	-
150,0	50,0	100,0	-	-
300,0	100,0	200,0	-	-

(m) : METRO
(Ω) : OHM
(\mathcal{U}) : MHO
 $\pi = 3,1415$

4. ESTRATO



5. VALOR DA CONDUTIBILIDADE DO SOLO

$$\sigma = 10,9 \times 10^{-3} \text{ (}\mathcal{U}/\text{m)}$$

$$\rho = 91,7 \text{ (}\Omega \text{ m)}$$

(60 Hz)

LISTA DE DADOS NECESSÁRIAS PARA OBTENÇÃO
DO VALOR DA CONDUTIBILIDADE DO SOLO

1. Nº E NOME DO PONTO DAS MEDIDAS
Nº 4-2 JECEABA

12 JULHO 1975

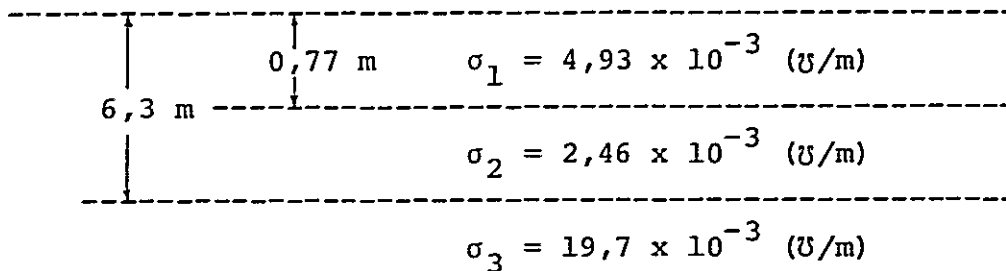
2. CONDIÇÃO DA ÁREA (CAMPO)

3. DADOS DE LEVANTAMENTO

EXTENSÃO DA LINHA POR CORRENTE (m)	EXTENSÃO DA LINHA POR VOLTAGEM (m)	DISTANCIA ENTRE HASTES a (m)	DADOS R (Ω)	CONDUTIBILI- DADE ENTRE CADA HASTE $2\pi aR$ (Ωm)
0,75	0,25	0,5	45,0	141,37
1,5	0,5	1,0	40,0	251,32
3,0	1,0	2,0	28,0	351,85
6,0	2,0	4,0	11,7	294,04
9,0	3,0	6,0	9,8	369,44
12,0	4,0	8,0	5,3	266,40
15,0	5,0	10,0	2,9	182,21
30,0	10,0	20,0	0,5	62,83
60,0	20,0	40,0	0,22	55,29
90,0	30,0	60,0	-	-
120,0	40,0	80,0	-	-
150,0	50,0	100,0	-	-
300,0	100,0	200,0	-	-

(m) : METRO
(Ω) : OHM
(Ω) : MHO
 $\pi = 3,1415$

4. ESTRATO



5. VALOR DA CONDUTIBILIDADE DO SOLO

$$\sigma = 19,3 \times 10^{-3} \text{ (Ω/m)}$$

$$\rho = 51,8 \text{ (Ω m)}$$

(60 Hz)

LISTA DE DADOS NECESSÁRIAS PARA OBTENÇÃO
DO VALOR DA CONDUTIBILIDADE DO SOLO

1. Nº E NOME DO PONTO DAS MEDIDAS
Nº 5 BELO HORIZONTE

13 JULHO 1975

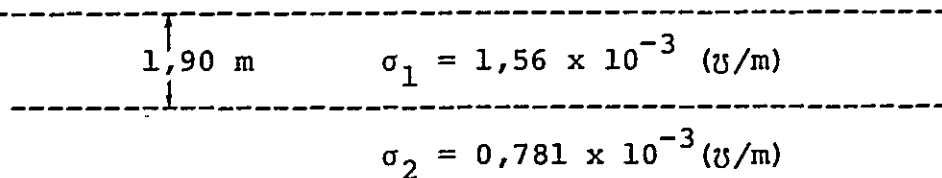
2. CONDIÇÃO DA ÁREA (CAMPO)

3. DADOS DE LEVANTAMENTO

EXTENSÃO DA LINHA POR CORRENTE (m)	EXTENSÃO DA LINHA POR VOLTAGEM (m)	DISTANCIA ENTRE HASTES a (m)	DADOS R (Ω)	CONDUTIBILI- DADE ENTRE CADA HASTE $2\pi aR$ (Ωm)
0,75	0,25	0,5	218,0	684,85
1,5	0,5	1,0	107,0	672,28
3,0	1,0	2,0	74,0	929,88
6,0	2,0	4,0	36,0	904,75
9,0	3,0	6,0	22,5	848,21
12,0	4,0	8,0	17,9	899,73
15,0	5,0	10,0	16,4	1030,41
30,0	10,0	20,0	9,7	1218,91
60,0	20,0	40,0	5,4	1351,13
90,0	30,0	60,0	3,4	1281,73
120,0	40,0	80,0	3,8	1910,03
150,0	50,0	100,0	3,1	1947,73
100,0	100,0	200,0	1,15	1445,09

(m) : METRO
(Ω) : OHM
(\mathcal{U}) : MHO
 $\pi = 3,1415$

4. ESTRATO



5. VALOR DA CONDUTIBILIDADE DO SOLO

$$\sigma = 0,784 \times 10^{-3} \text{ (}\mathcal{U}/\text{m)}$$

$$\rho = 1275,5 \text{ (}\Omega \text{ m)}$$

(60 Hz)

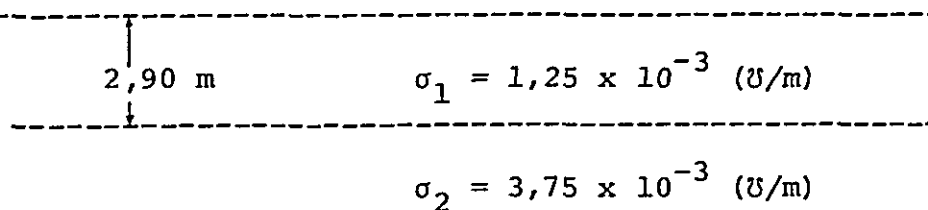
LISTA DE DADOS NECESSÁRIAS PARA OBTENÇÃO
DO VALOR DA CONDUTIBILIDADE DO SOLO

1. Nº E NOMO DO PONTO DAS MEDIDAS
Nº 6 BELO HORIZONTE PATEO DE MATADOURO 13 JULHO 1975
2. CONDIÇÃO DA ÁREA (CAMPO)
3. DADOS DE LEVANTAMENTO

EXTENSÃO DA LINHA POR CORRENTE (m)	EXTENSÃO DA LINHA POR VOLTAGEM (m)	DISTANCIA ENTRE HASTES a (m)	DADOS R (Ω)	CONDUTIBILI- DADE ENTRE CADA HASTE $2\pi aR$ (Ωm)
0,75	0,25	0,5	-	-
1,5	0,5	1,0	216,0	1357,13
3,0	1,0	2,0	51,0	716,26
6,0	2,0	4,0	22,0	552,90
9,0	3,0	6,0	11,9	448,61
12,0	4,0	8,0	6,7	336,77
15,0	5,0	10,0	4,8	301,57
30,0	10,0	20,0	2,2	276,45
60,0	20,0	40,0	1,14	286,51
90,0	30,0	60,0	0,82	309,12
120,0	40,0	80,0	0,59	296,56
150,0	50,0	100,0	-	-
300,0	100,0	200,0	-	-

(m) : METRO
(Ω) : OHM
(U) : MHO
 $\pi = 3,1415$

4. ESTRATO



5. VALOR DA CONDUTIBILIDADE DO SOLO

$$\sigma = 3,75 \times 10^{-3} \text{ (U/m)}$$

$$\rho = 266,7 \text{ (}\Omega \text{ m)}$$

(60 Hz)

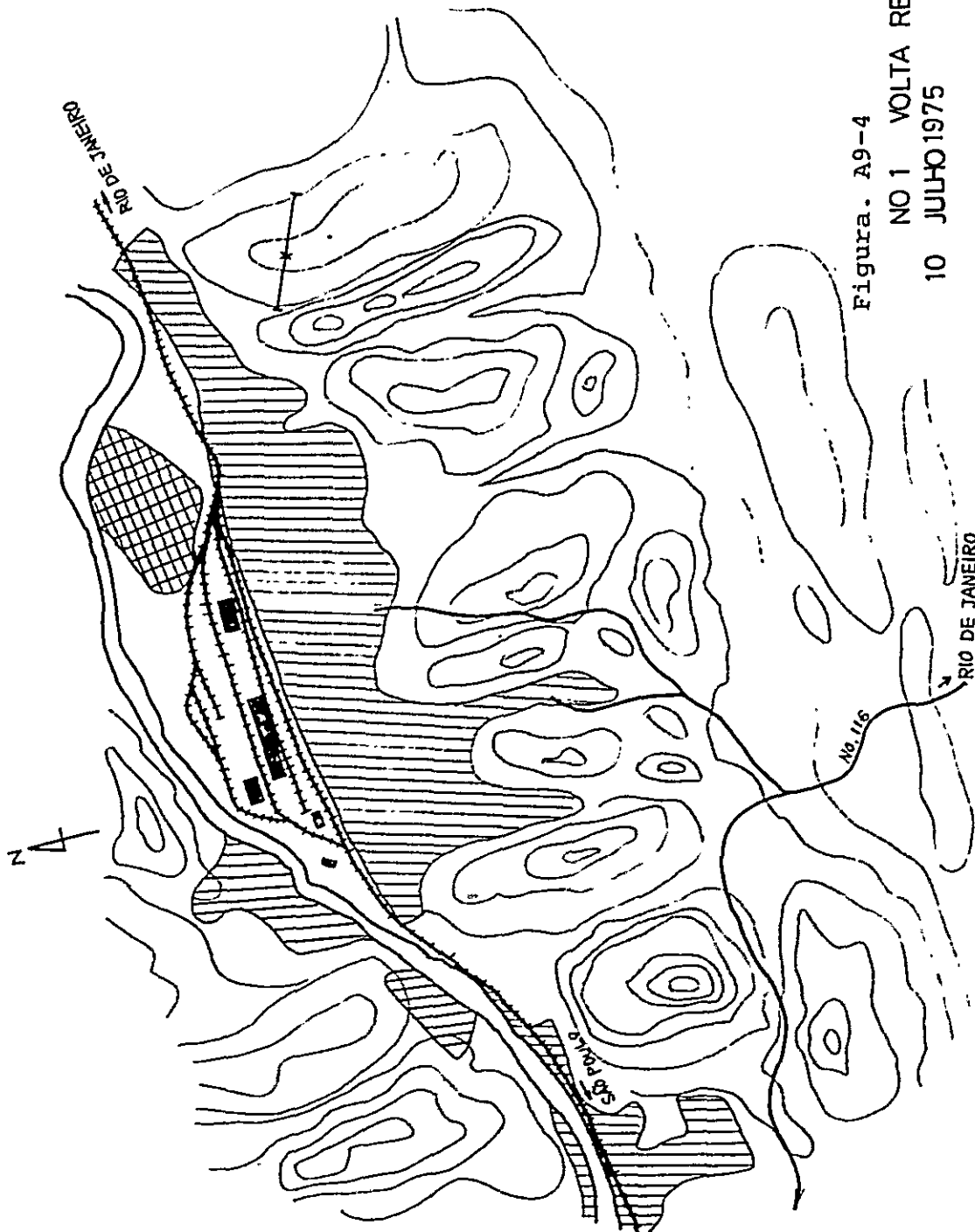


Figura. A9-4

NO 1 VOLTA REDONDA

10 JULHO 1975

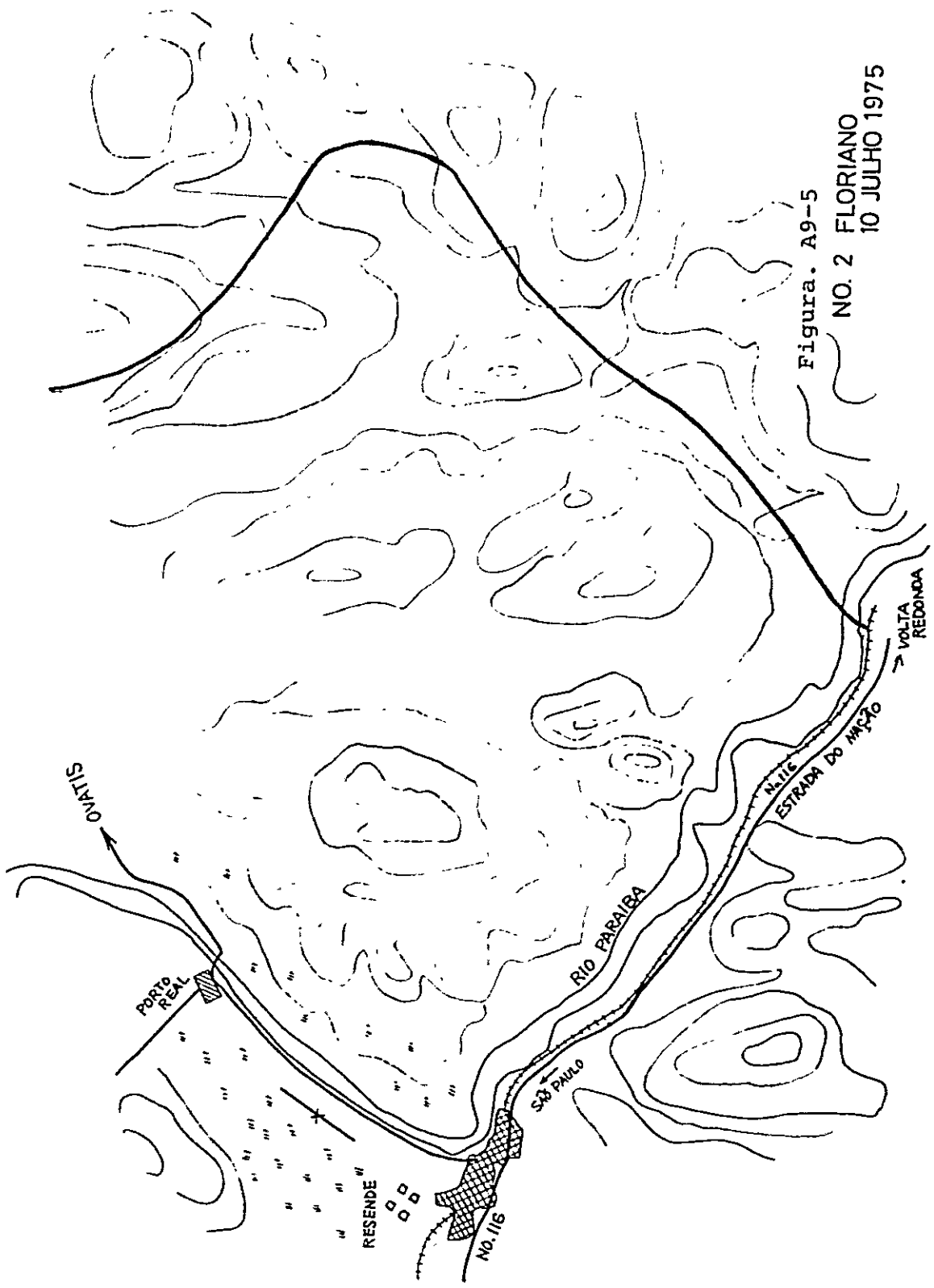


Figura. A9-5
 NO. 2 FLORIANO
 10 JULHO 1975

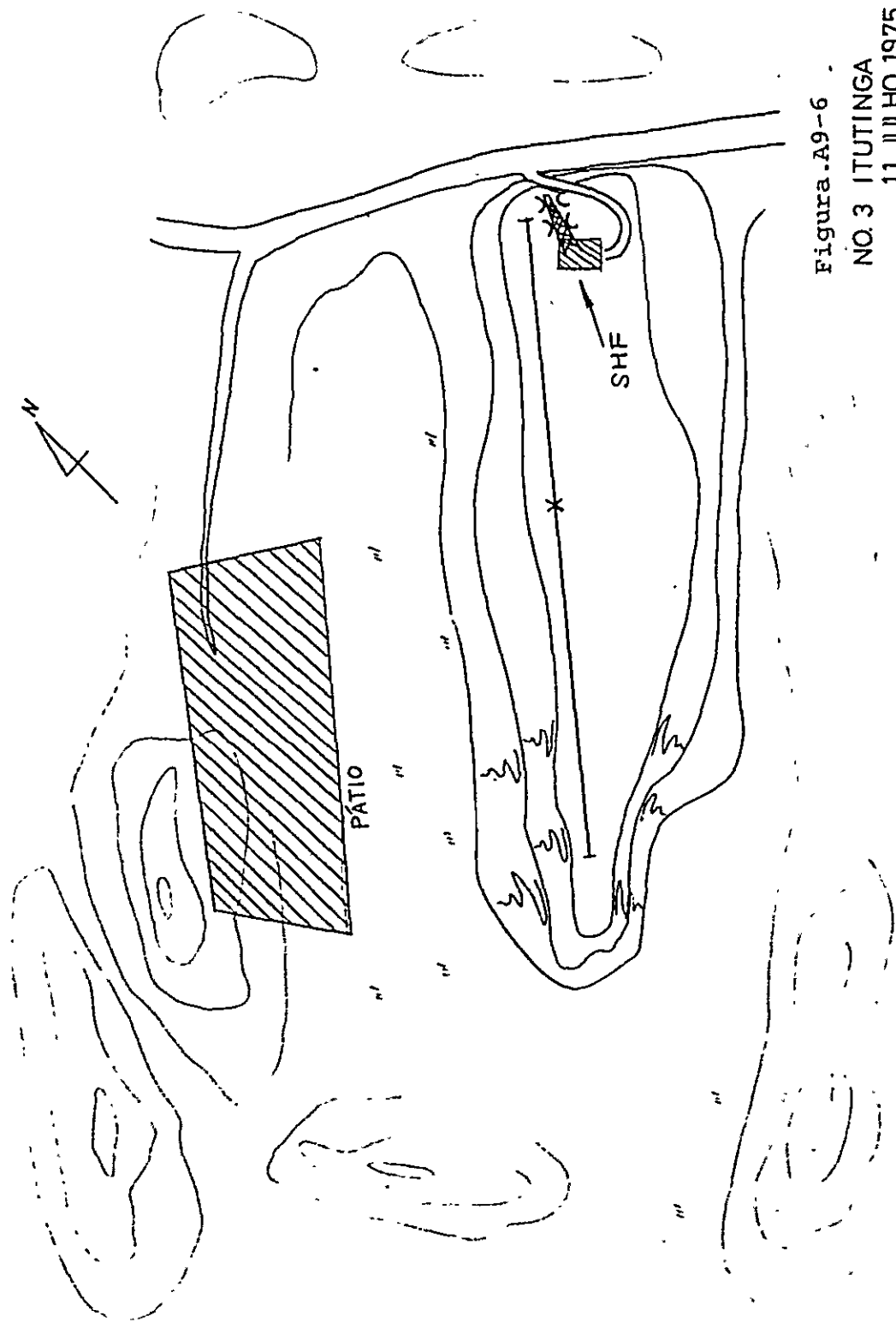


Figura.A9-6
NO.3 ITUTINGA
11.JULHO 1975

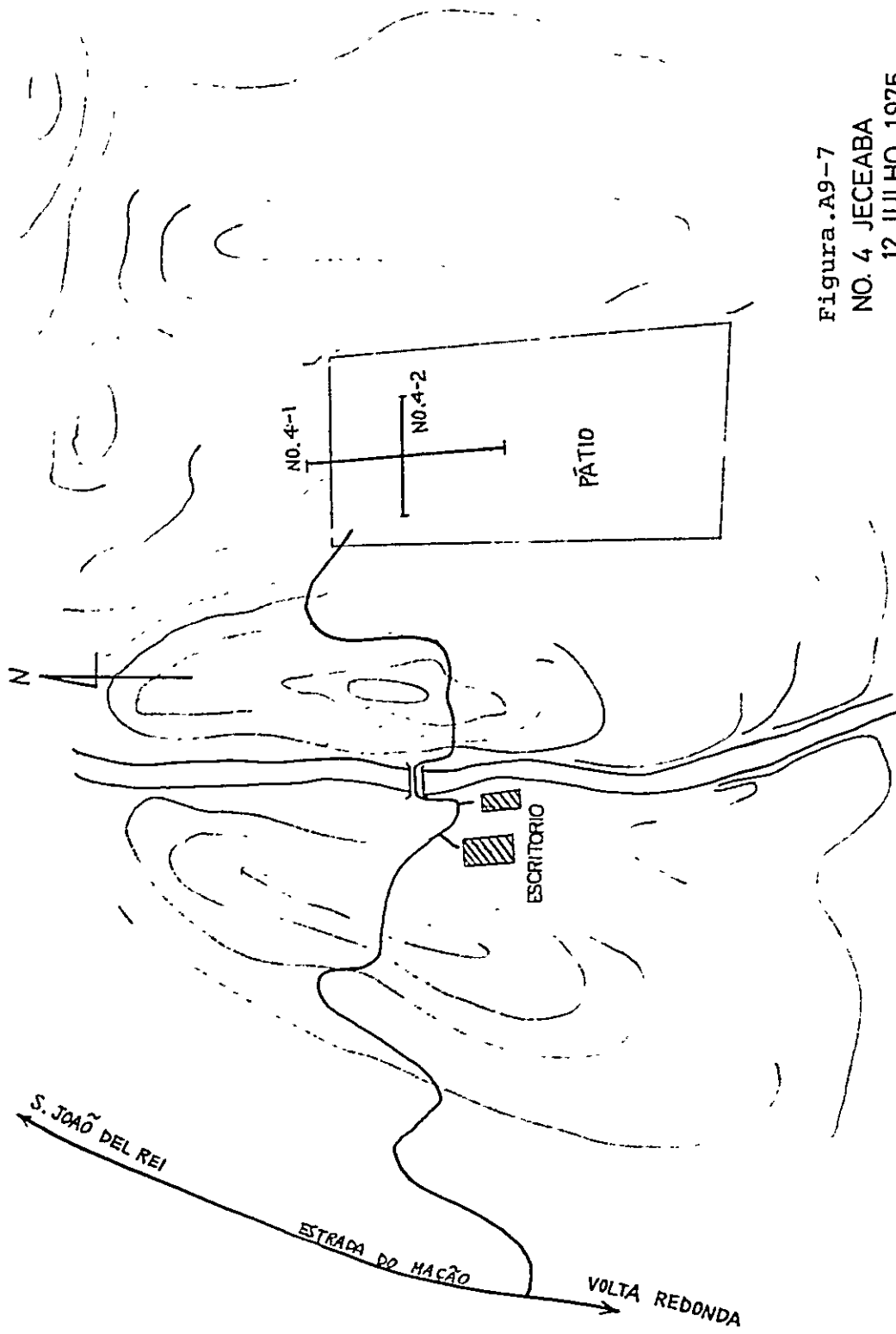


Figura.A9-7
 NO. 4 JECEABA
 12 JULHO 1975

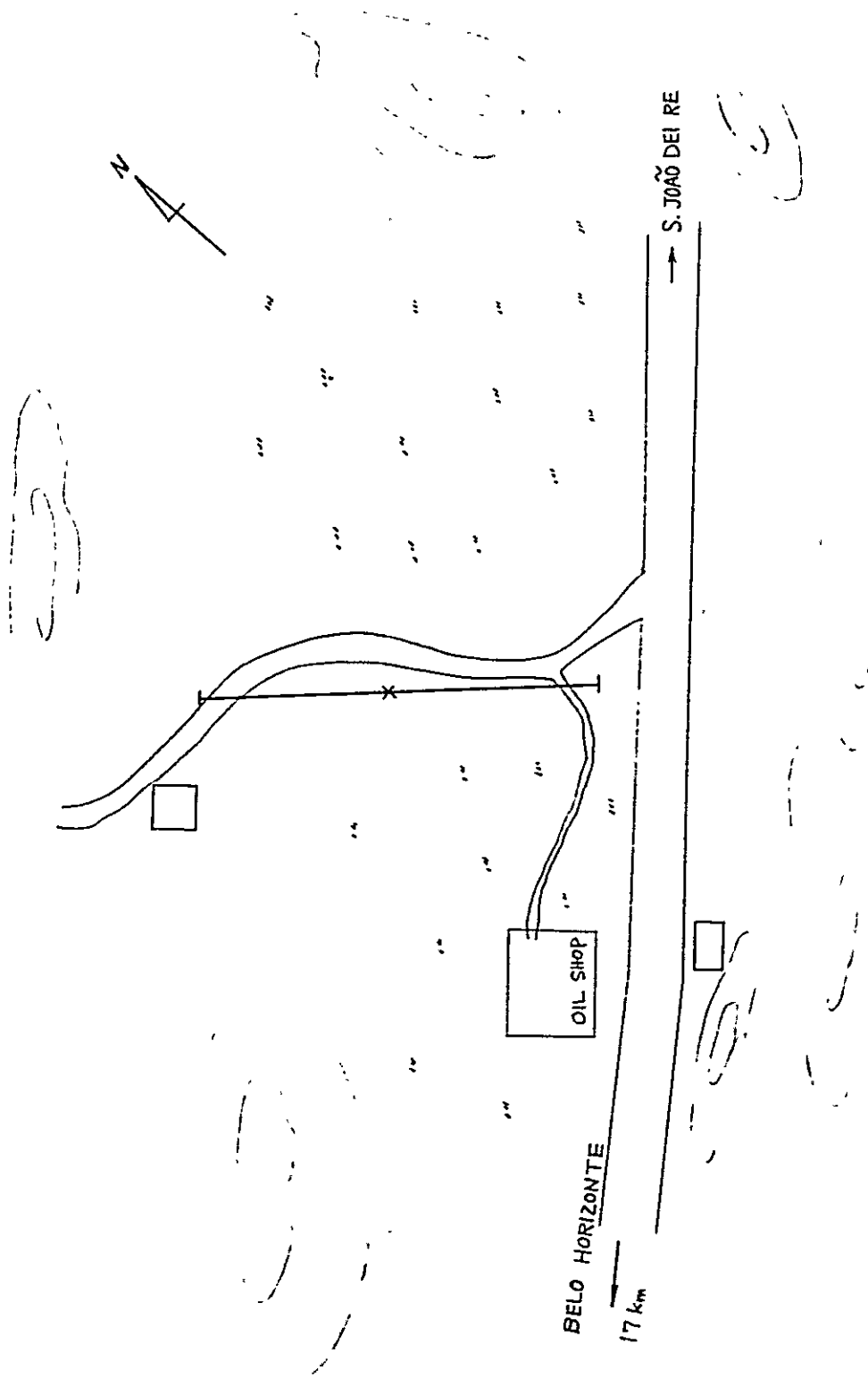


Figura.A9-8
 NO. 5 BELO HORIZONTE
 13 JULHO 1975

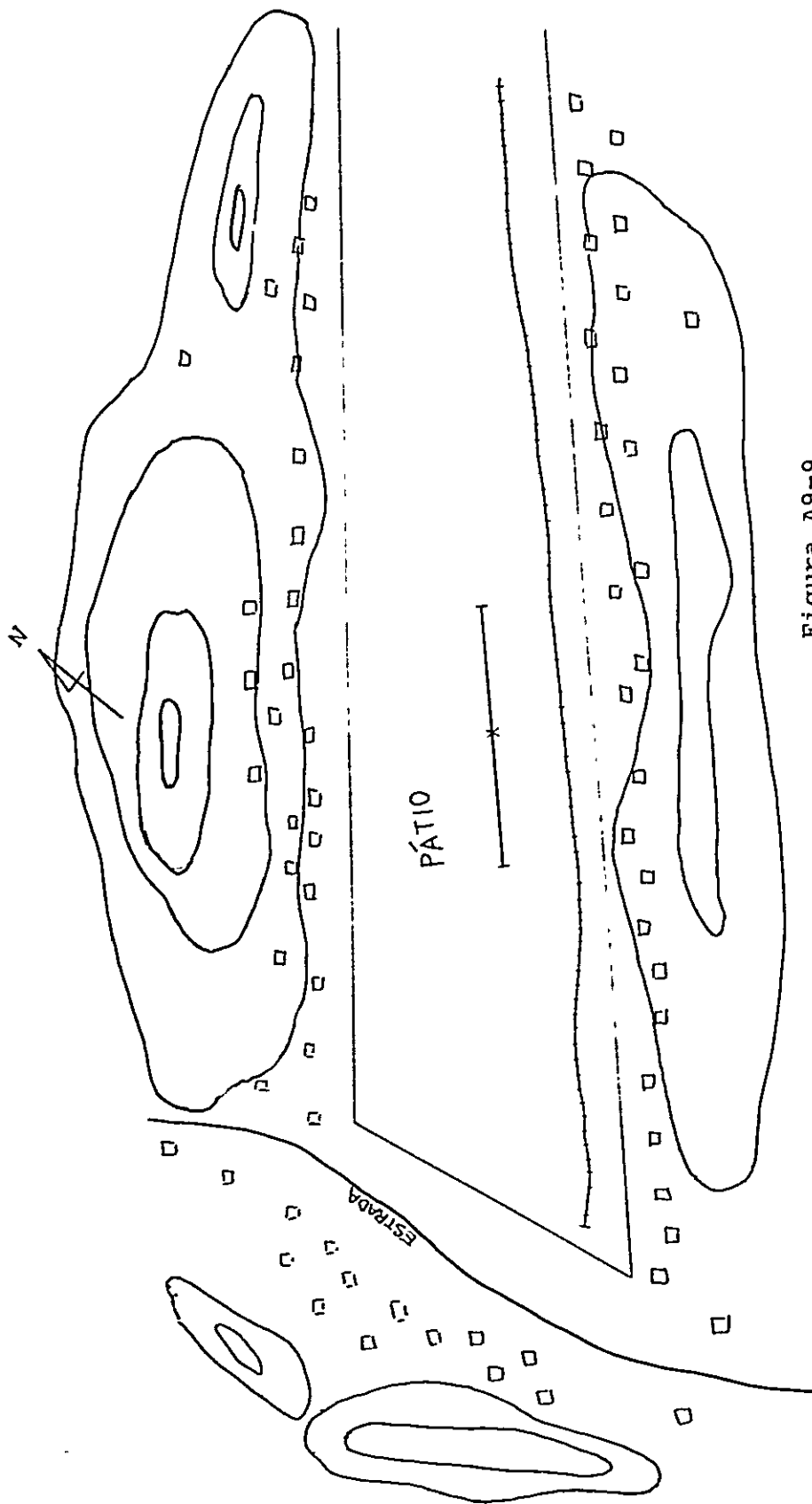


Figura.A9--9
 NO.6 BELO HORIZONTE
 PATEO DE MATADOURO
 13 JULHO 1975

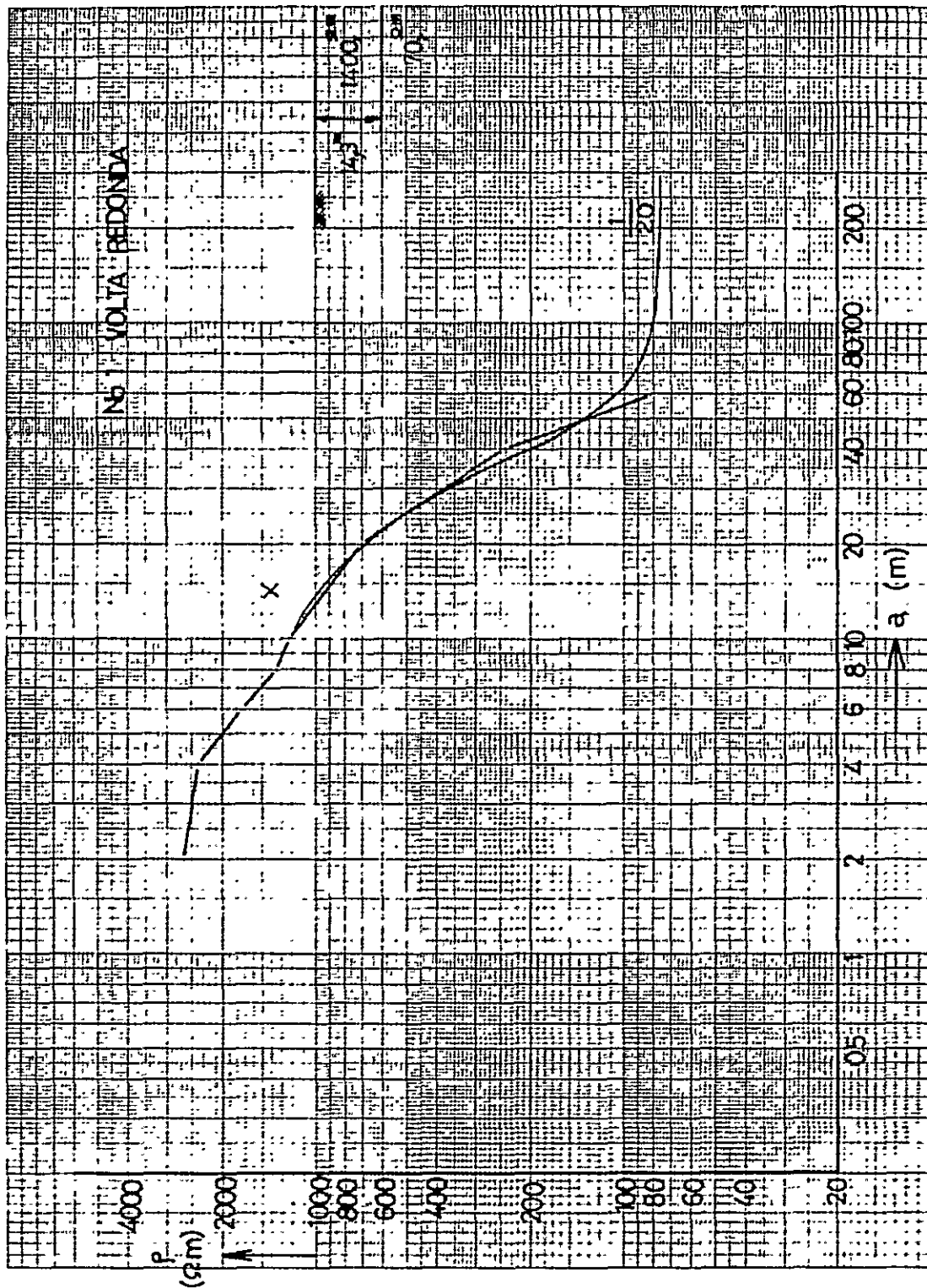


Figura.A9-10

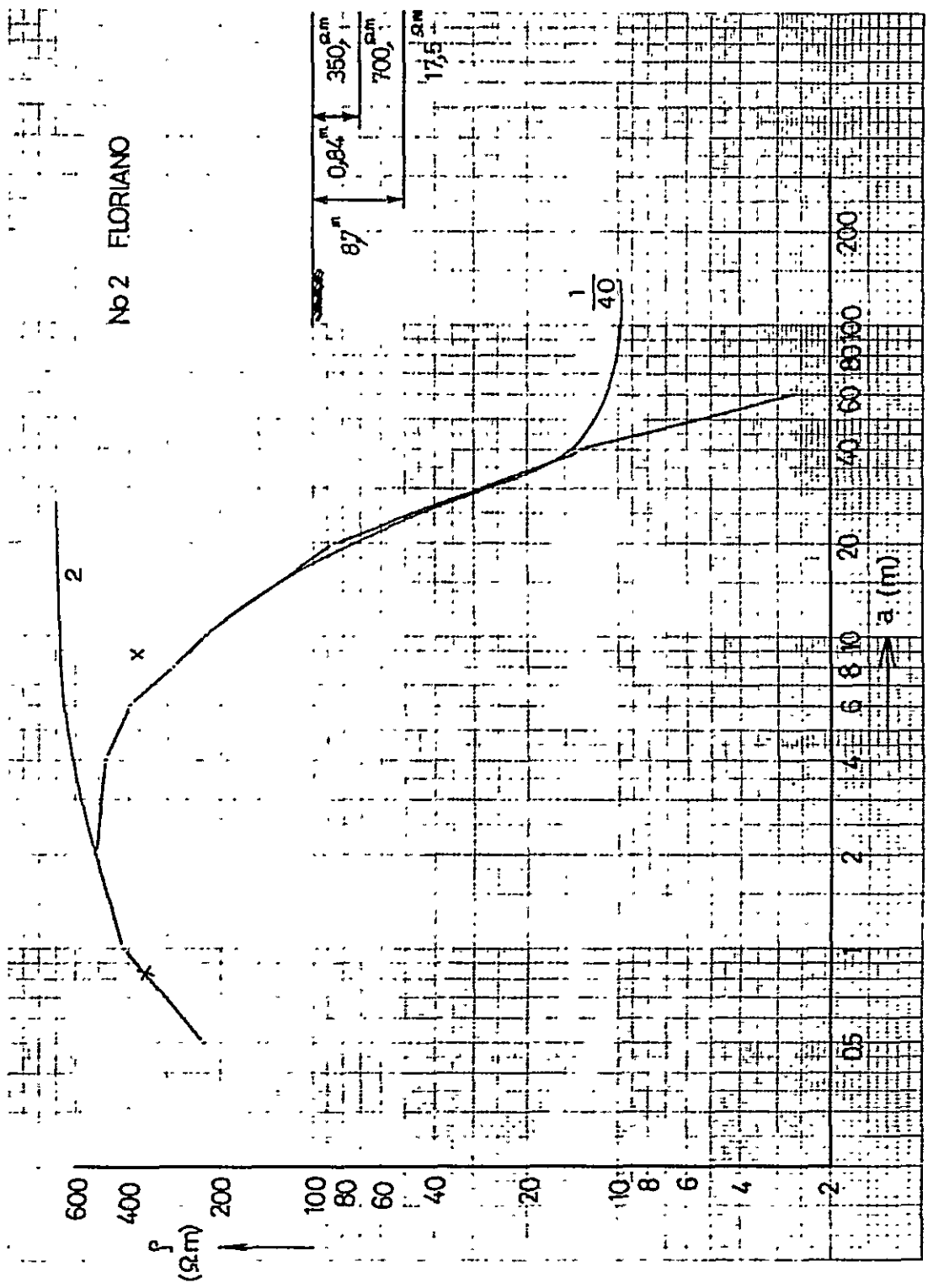


Figura.A9-11

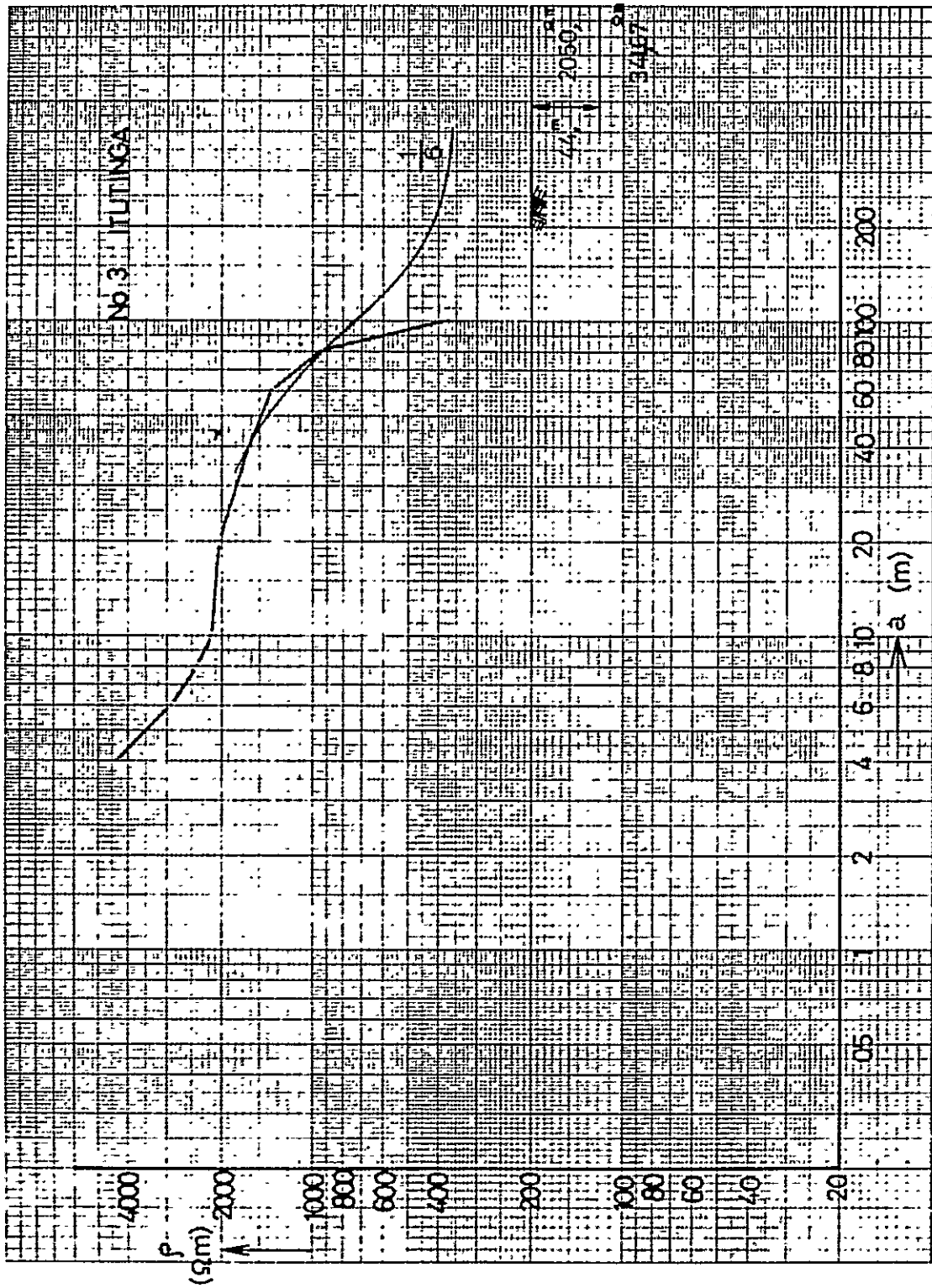


Figura.A9-12

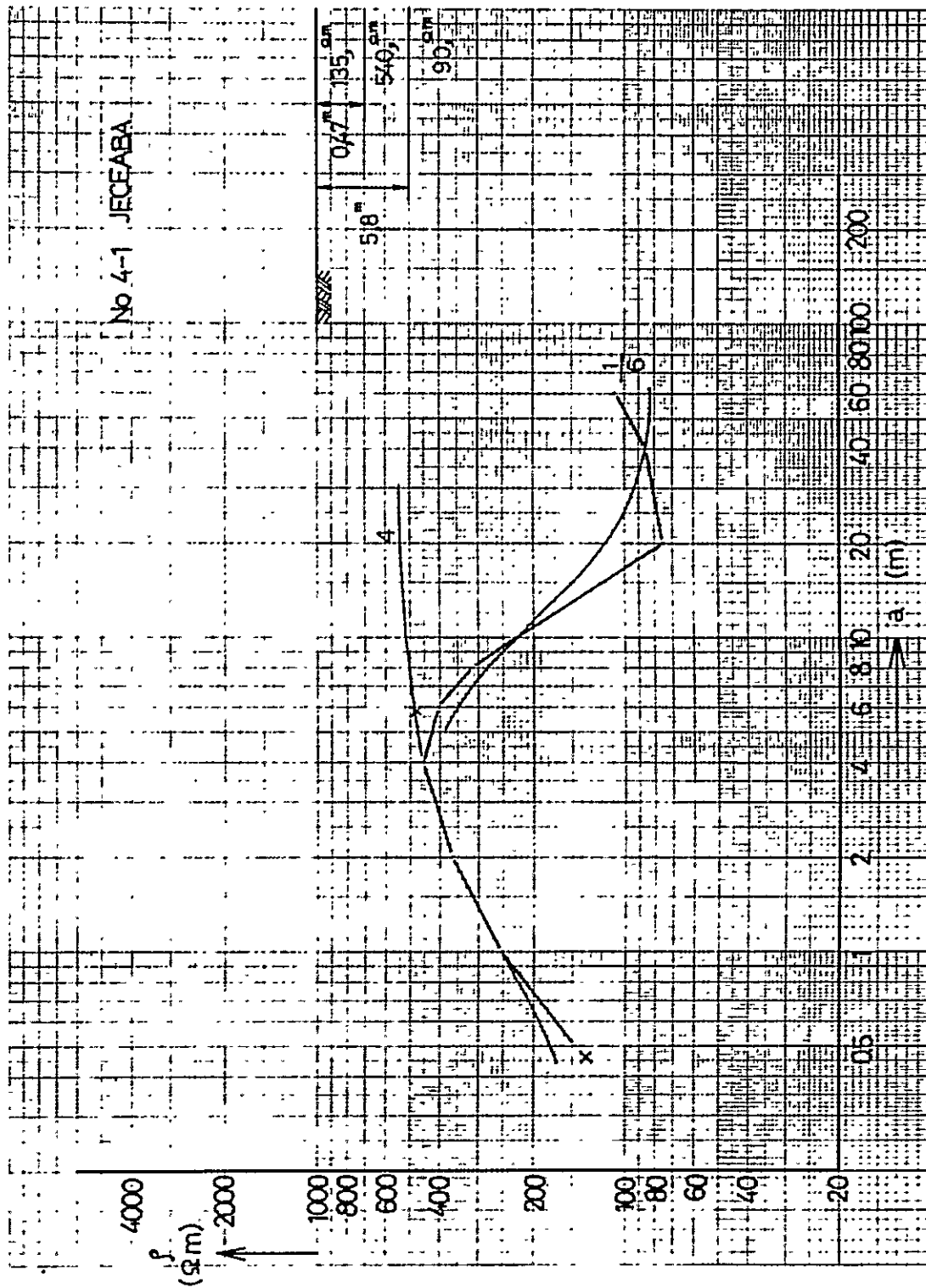


Figura.A9-13

Nº 4-2 JECEABA.

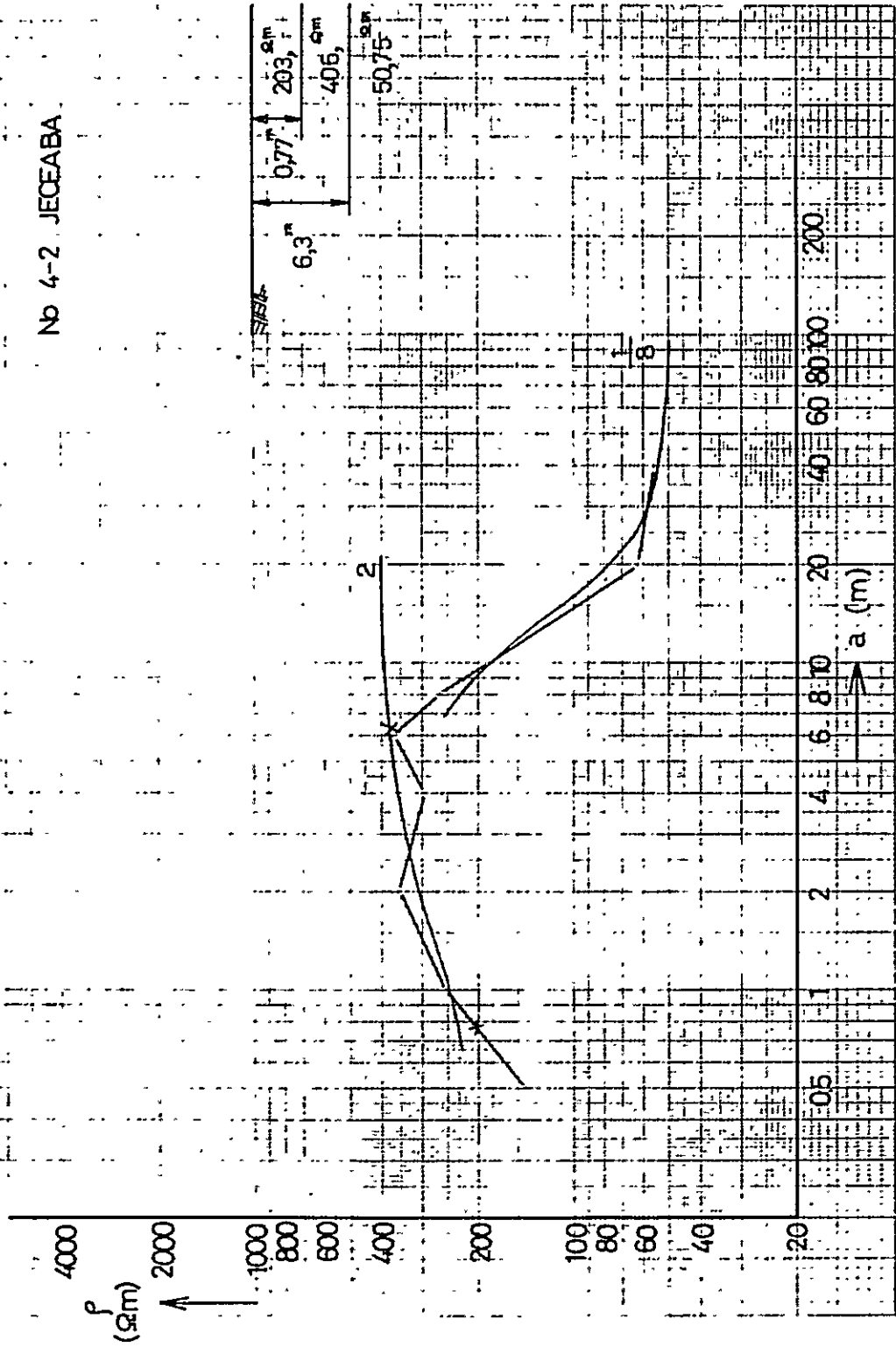


Figura.A9-14

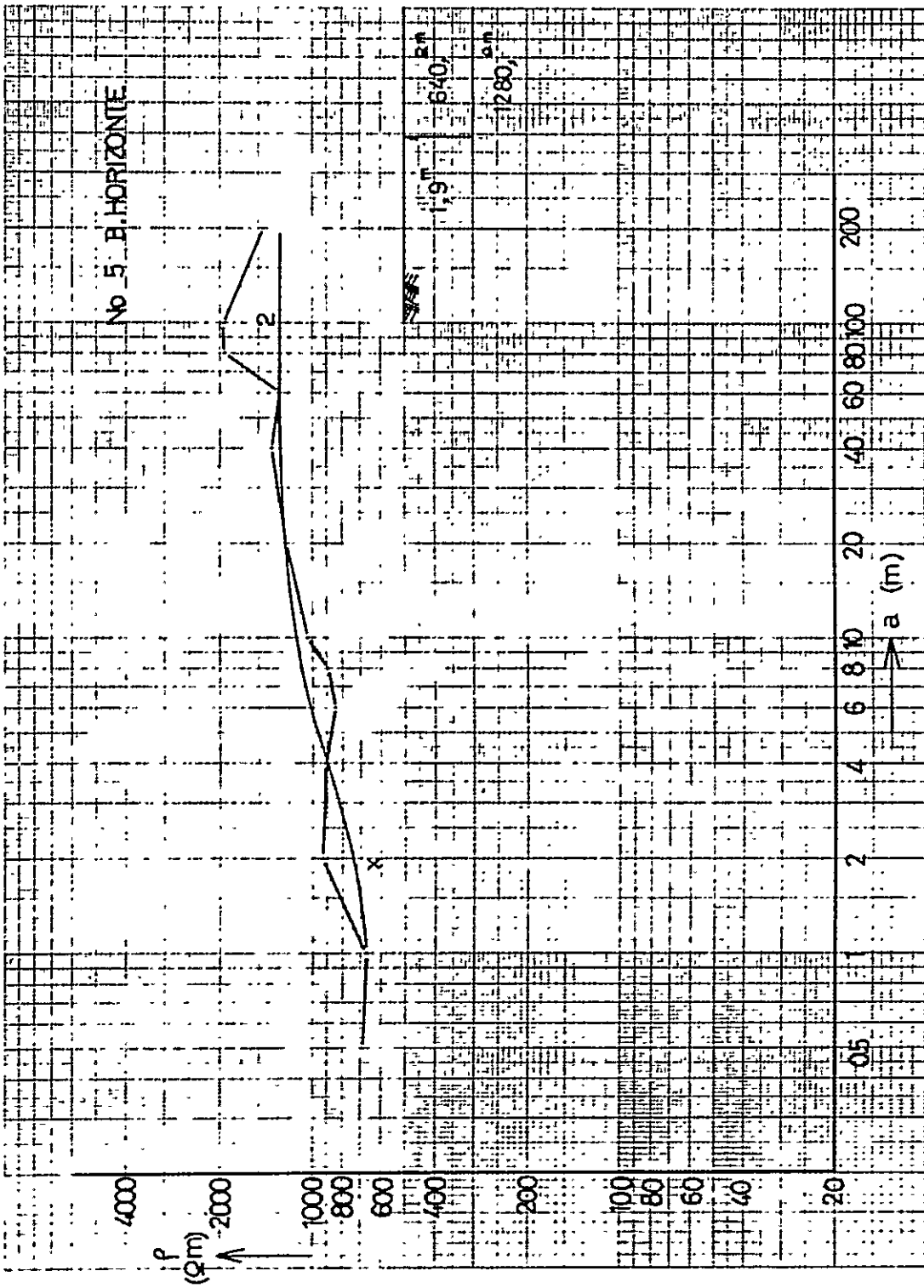


Figura.A9-15

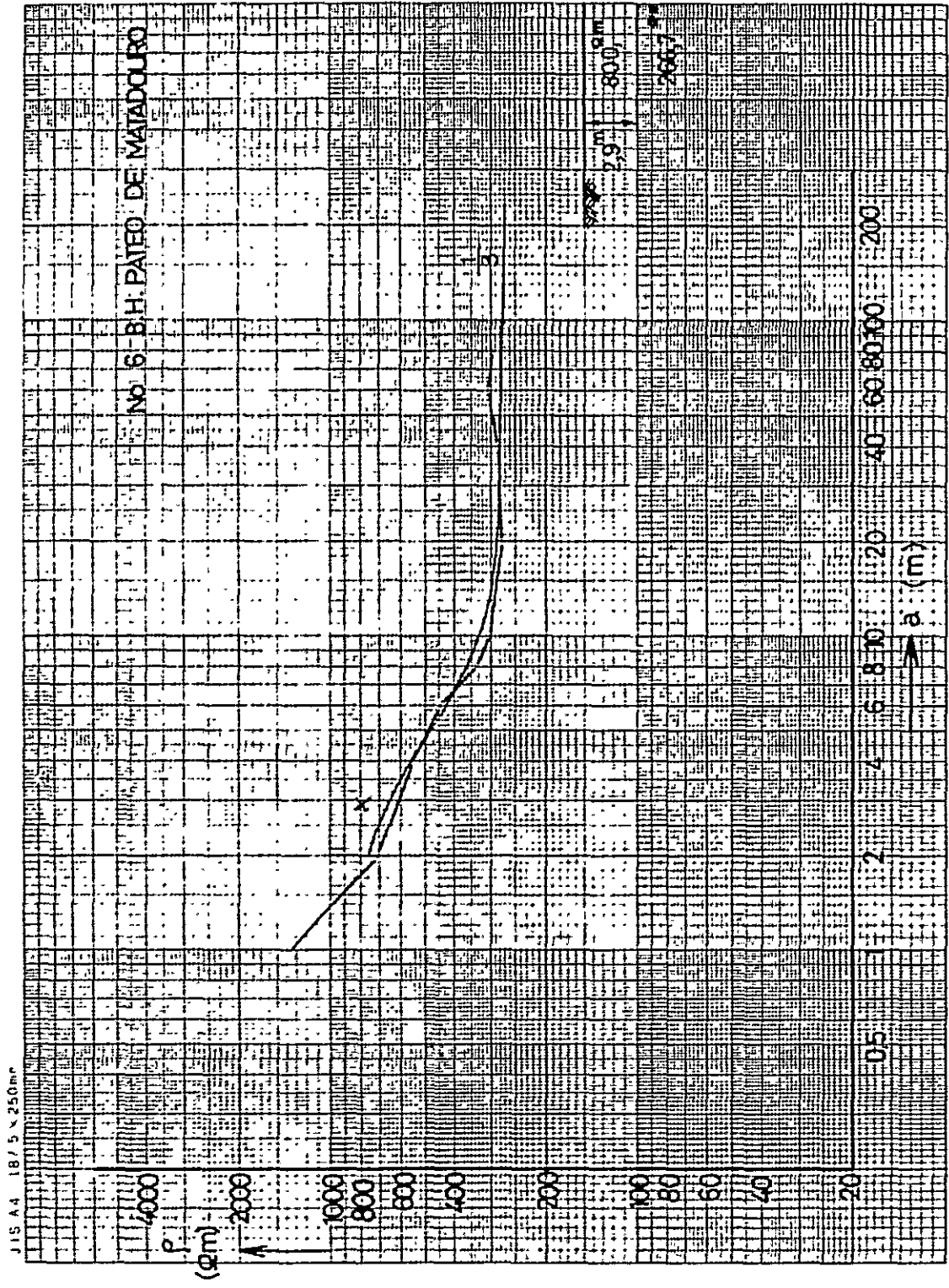


Figura.A9-16

10. PLANEJAMENTO DA FORMAÇÃO E TREINAMENTO DO PESSOAL

10. PLANEJAMENTO DA FORMAÇÃO E TREINAMENTO DO PESSOAL

10-1 Diretrizes básicas da formação/ treinamento

As atividades de formação/treinamento do pessoal constituem-se no fundamento para a modernização e desenvolvimento das ferrovias, sendo necessário efetuar de maneira planejada e organizada a aplicação de programas de tal finalidade, tendo como objeto desde o pessoal administrativo até níveis de contra-mestres e funcionários gerais. Os programas de formação/treinamento do pessoal fazem também parte do esquema de administração de funcionários visando a elevação do moral para execução das funções designadas a cada indivíduo ou equipe, servindo não somente à elevação do nível técnico, introdução de novas tecnologias e assimilação de conhecimentos de acordo com a modernização e atualização, mas também para implantar ao ferroviário, que é aliás a peça fundamental de toda a estrutura, o senso de consciência profissional requeridos àqueles que lidam com uma atividade de importância primordial que é o transporte ferroviário.

Especialmente no caso da ferrovia em questão, foi ou será feita a introdução em longa escala de tecnologias novas e ainda não conhecidas em todos os setores, visando o transporte em massa e o tráfego em alta densidade, sendo importante a efetivação de um programa de treinamento/formação visando principalmente a educação no setor técnico, tanto aos funcionários vindos de outros setores como aos transferidos de outras ferrovias.

10-2 Formação requerida

Ao efetuar o treinamento/formação é necessário ter sempre em mãos a situação administrativa real da ferrovia, a capacidade e a adequação dos funcionários, aplicando os programas respectivos em épocas próprias e com conteúdo adequado para cada caso. De modo geral são as seguintes

as condições envolvidas:

- (i) Para funcionários recém-admitidos
- (ii) Quando há previsão de promoção ou transferência.
- (iii) Quando há mudança no tipo de trabalho
- (iv) Quando há modificação no equipamento, material rodante, instalação, etc.
- (v) Quando há modificação no método de trabalho
- (vi) Quando há introdução de novas tecnologias
- (vii) Quando há modificação de normas, regulamentos, etc.
- (viii) Quando há necessidade de complementação de conhecimentos, habilidades técnicas, etc.

Serão feitas a seguir explanações sobre os tipos principais de atividades de formação/treinamento:

- (1) Formação/treinamento requeridos pela atualização das instalações.

Para poder fazer frente ao súbito avanço técnico causado pela atualização das instalações deve-se estudar de maneira cuidadosa o conteúdo do programa, época e método de aplicação dos mesmos aos funcionários implicados e efetivá-los de maneira planejada.

Especialmente no caso da ferrovia em questão, há necessidade de formar em curto espaço de tempo grande número de pessoal relacionado com os mais diversos tipos de atividades, exigindo-se a aplicação de um programa adequado, com base em planejamento bastante minucioso.

- (2) Formação de pessoal de nível de contra-mestre

Para possibilitar a execução fluente dos trabalhos, o pessoal de nível de contra-mestre, que são a figura central na execução de trabalhos operacionais, ocupam posição básica. A eles são requeridos conhecimentos tanto técnicos como de segurança e administração de

pessoal, de modo que possam liderar as equipes a seu cargo.

(3) Formação do pessoal recém-admitido.

Ao pessoal recém-admitido deve-se aplicar um programa de educação básica que permita dar a eles a noção da importância do ferroviário, as responsabilidades de suas funções e a consciência profissional para que possam executar suas funções com moral elevado.

(4) Educação ligada à promoção

Aos funcionários aprovados em exames de habilitação e promovidos, deve-se aplicar um programa de educação que permita adquirir os conhecimentos e técnicas requeridas para a execução das novas funções com moral elevado.

(5) Educação do pessoal administrativo.

Ao pessoal administrativo são requeridas capacidades de execução planejada dos trabalhos e orientação dos funcionários a eles subordinados.

Para isto é necessário habilitá-los a atividades administrativas e de atualização. Deve-se confeccionar diferentes programas, adequados respectivamente aos níveis de chefes de departamentos, secções, setores, estações, etc.

10-3 Métodos de formação/treinamento

A formação/treinamento de pessoal pode ser feito dentro do próprio local de trabalho, em centros apropriados e em forma de convênio.

(1) Dentro do próprio local de trabalho.

É feito pelo chefe de cada local de trabalho aos respectivos subordinados dentro da rotina de trabalho. Supõe-se neste caso que se tem perfeito conhecimento da capacidade e da adequação de cada subordinado, efetuando a formação e treinamento de acordo com a substância do trabalho. Esta é a forma fundamental de formação/treinamento dentro de empresas.

Os chefes de cada local de trabalho devem ter perfeita consciência da importância desta atividade no local de trabalho, sendo os seguintes os itens principais a serem tratados:

- (i) Formação/treinamento referente à elevação dos níveis de conhecimentos e habilidades técnicas.
- (ii) Formação/treinamento relacionado com introdução de novas técnicas, reformulação de normas e regulamentos.
- (iii) Formação/treinamento relacionado com segurança e prevenção de acidentes materiais e humanos.
- (iv) Formação/treinamento relacionado com moral do pessoal.

Estas atividades dentro do local de trabalho serão feitas na forma de treinamentos, cursos, conferências, etc., sendo que além de explanações teóricas os treinamentos práticos e debates podem ajudar a elevar o rendimento. Os aparelhos para treinamento prático e equipamentos áudio-visuais são eficazes na complementação destas atividades.

(2) Uso de instituições especializadas.

As atividades de formação/treinamento que não podem

ser materializadas através da orientação dos chefes de locais de trabalho ou aquelas que requerem a efetivação concentrada, livre dos trabalhos de rotina para se obter maior eficiência, serão efetuadas em instituições especializadas.

1) Tipos de educação

A formação/treinamento em entidades especializadas serão classificadas segundo seu objetivo em educação regulamentar, educação de conversão e re-educação.

A educação regulamentar se refere a casos de promoção de posto ou complementação de atividade, tendo como objetivo adquirir conhecimentos e/ou técnicas de nível mais elevado que aquelas relacionadas com as atividades atuais de trabalho. Terão como objeto funcionários escolhidos com base na eficiência do desempenho de suas funções ou aprovação em exames de habilitação.

A educação de conversão se refere aos casos de renovação e/ou remodelação de instalações ou ainda transferência a outros postos de trabalho, sendo efetuados em casos onde há mudança radical no tipo de atividade em método de trabalho.

A re-educação objetiva a elevação dos níveis de conhecimento referentes aos trabalhos dos quais os funcionários em questão estão encarregados.

2) Níveis

As atividades de formação/treinamento terão níveis diferentes, de acordo com os objetivos e das pessoas envolvidas. Serão classificados da forma apresentada a seguir, procurando aprimorar o conteúdo de cada um dos casos.

Estágio: Educação regulamentar destinada aos recém-admitidos com

formação universitária.

Nível universitário: Educação regulamentar de nível equivalente ao universitário, aos funcionários em geral sem formação universitária.

Nível colegial: Educação regulamentar destinada à formação de pessoal de chefia local (staff officials) ou equivalentes, incluindo também casos de conversão e re-educação.

Nível normal : Educação regulamentar destinada à formação de funcionários de nível médio, incluindo também casos de conversão e reeducação.

Nível elementar : Educação regulamentar destinada aos funcionários recém-admitidos (exclusivos de formação universitária), incluindo também re-educação de funcionários de nível elementar.

3) Plano de educação

Em cada nível serão instalados cursos especializados de acordo com o objetivo e o pessoal envolvido. Os cursos relacionados com educação regulamentar e re-educação serão instalados a longo prazo e aqueles relacionados com conversão serão instalados de acordo com a necessidade.

Ao se instalar estes cursos, deve-se basear em planos de longo prazo que levem em consideração as composições do quadro de pessoal, o nível dos funcionários segundo tipo de função, intro-

dução em modificação de tecnologias e outros planos correlatos.

(3) Convênios

Nos casos em que os objetivos e os conteúdos dos programas de formação/treinamento tem características especiais, não sendo adequado efetuá-los dentro do local de trabalho, serão feitos convênios com escolas e instituições de pesquisas fora da empresa para sua efetivação.

A educação por convênios objetiva formação/treinamento referentes a problemas especiais oriundos das características específicas das atividades ferroviárias, sendo efetuadas aos funcionários que evidenciem as potencialidades e capacidades requeridas a cada caso, de acordo com as necessidades.

10-4 Instalações requeridas

As instituições especializadas disporão de instalações para trabalhos práticos e experimentais destinados a elevar a eficiência dos programas educativos, sendo citados a seguir alguns mais importantes:

Laboratórios: Instalações requeridas para atividades relacionadas com as várias especialidades.

Oficinas de treinamento: Instalações requeridas para atividades relacionadas com as várias atividades.

Salas especiais: Com equipamento audio-visual, laboratório de línguas, sala de desenhos, etc.

Linha para treinamento: Dispondo também de instalações necessárias para treinamento de manutenção, substituição de

materiais, operação de máquinas para manutenção, etc.

10-5 Planejamento de formação/treinamento relacionados com a ferrovia em questão

Na ferrovia em questão serão introduzidas inúmeras tecnologias novas, começando do setor elétrico e atingindo a todos os demais, sendo necessário para a fluente operação que os funcionários de todos os níveis, começando dos administrativos e envolvendo níveis de contra-mestre até os gerais tenham excelentes conhecimentos e habilidades técnicas.

Como há exigência de alto nível técnico desde a fase de construção, sendo necessária a formação de grande número de pessoal extendendo-se a grande variedade de níveis e setores em curto tempo disponível, pensa-se que é adequado adotar o sistema de educação propagativa apresentada a seguir:

(1) Método de formação/treinamento

Serão formados inicialmente elementos que desempenharão papel de liderança em cada setor, sendo que estes se encarregarão da formação dos funcionários comuns, numa forma propagativa.

Aos elementos de liderança serão requeridas as seguintes condições:

- (i) Conhecimentos iguais ou acima daqueles adquiridos em educação de nível colegial
- (ii) Experiência superior a 5 anos em atividades similares àquelas das quais se encarregarão. P. ex. os líderes para maquinista de locomotivas elétricas deverão possuir experiência com locomotivas Diesel.
- (iii) Capacidade de liderança necessária para ori-

entação de funcionários comuns.

(iv) Capacidade necessária para confecção de material didático.

(2) Formação de elementos de liderança

A formação de elementos de liderança abrangerá cerca de 10% do total objetivado pelos programas de formação/treinamento, constituindo-se em núcleo para o desenvolvimento subsequente. Serão ministrados cursos teóricos e práticos referentes aos trabalhos da guarnição de bordo, inspeção/reparo de material rodante, inspeção/reparo em oficinas, manutenção da via permanente, manutenção mecanizada, sistema elétrico, sinalização, comunicação e outros setores relacionados.

Alem destes, serão desenvolvidas outras atividades paralelas descritas a seguir, objetivando maior rendimento dos cursos.

O período de formação dos elementos de liderança terá duração de cerca de 4 a 6 meses, incluindo aulas teóricas, práticas e estágios em fábricas. As matérias principais são apresentadas na tabela 10-5-1.

(i) Estágio em épocas adequadas às fábricas de locomotivas elétricas, equipamentos elétricos, e outros equipamentos para estudo de estrutura, inspeção, reparos, operação e outros assuntos correlatos.

(ii) Treinamentos usando simuladores e outros equipamentos.

(3) Formação/treinamento do pessoal comum.

As atividades de formação/treinamento do pessoal comum serão feitos pelos elementos de

liderança, incluindo os trabalhos descritos a seguir, além de aulas teóricas e praticas para maior rendimento didático. Serão necessários cerca de 5 meses para sua efetivação.

- (i) Estágios em fábricas em cursos ministrados por especialistas enviados pelas fábricas, em épocas adequadas e de acordo com as necessidades.
- (ii) Treinamento prático intensivo usando simuladores e outros equipamentos.

(4) Trabalhos práticos

Para complementação dos conhecimentos técnicos referentes à operação de trens, inspeção/reparo de instalações deverão ser ministrados os seguintes programas de trabalhos práticos:

- (i) Os elementos egressos de programas educativos devem ser imediatamente enviados aos locais de trabalho para entrada em função e aquisição de conhecimentos complementares e experiência.
- (ii) O pessoal de manutenção requerido para fases futuras serão distribuídos nos locais de trabalho das oficinas, colocando-os em funções referentes a obras, teste, etc., para aquisição de perfeita familiaridade com novas técnicas, equipamentos e instalações.
- (iii) Com antecedência de pelo menos 6 meses à entrada de operação da ferrovia em questão deve-se completar a construção de uma linha-modelo de cerca de 50km de extensão, nela efetuando trabalhos práticos de operação de trens, inspeção/reparo de material rodante, inspeção/ reparo/operação de sistema elé-

trico, sinalização e comunicação.

- (iv) Com antecipação de pelo menos 3 meses à entrada em operação da ferrovia em questão, deve-se completar suas obras, efetuando-se os trabalhos citados em (i).

Tabela 10-5-1 Materiais a serem ministrados aos elementos de liderança

Curso para maquinistas de locomotivas elétricas

Legislação e regulamentos relacionados com a operação

Planejamento de operação

Planejamento de aproveitamento

Material rodante

Teoria de operação

Teoria de eletricidade

Inspeção/reparo

Dispositivo de segurança

Instalações de operação

Prevenção de acidentes de operação

Segurança e administração

Treinamento prático

Curso para inspeção/reparo de material rodante

Legislação e regulamentos relacionados com o material rodante.

Controle técnico

Planejamento de aproveitamento de material rodante

Material rodante

Teoria de eletricidade

Inspeção/reparo de material rodante

Materiais usados em material rodante

Prevenção de acidentes de operação

Segurança e administração

Treinamento prático.

Curso para inspeção/reparo em oficinas de locomotivas elétricas.

Legislação e regulamentos relacionados com material rodante.

Controle técnico.

Administração de instalações

Material rodante

Eletrotécnica

Mecânica

Inspeção/reparo de material rodante

Materiais usados em material rodante

Técnicas referentes a instrumentos de medida

Projeto de sistema

Segurança e administração

Treinamento prático.

Curso para manutenção de via permanente

Teoria da via permanente
Estrutura da via permanente
Inspeção da via permanente
Materiais usados na via permanente
Trabalhos de manutenção
Máquinas para manutenção
Teoria geral de eletricidade
Estatística
Topografia
Projeto, fiscalização
Prevenção de acidentes de operação
Segurança de administração
Treinamento prático

Curso para manutenção mecanizada da via permanente.

Eletrotécnica.

Teoria de equipamentos hidráulicos

Motores de combustão interna

Administração de máquinas

Trabalhos de manutenção mecanizada

Carros automotrizes de grande porte

"Multiple tie tamper"

Topografia

Prevenção de acidentes de operação

Treinamentos práticos.

ELETROTÉCNICA

Manutenção

Medições e inspeções

Circuitos de alimentação

Sistema de potência

Controle remoto

Transformação

Circuitos eletrônicos

Circuitos lógicos

Processamento de dados

Computadores

Estatística

Legislação e regulamentos relacionados com sistema elétricos.

Instrução de operação

Projeto, fiscalização

Segurança e administração

Treinamento prático.

Curso para sinalização e comunicação

Manutenção

Medições e inspeção

Sinalização

Comutação automática SR

Comunicação

CTC

Circuitos eletrônicos

Circuitos lógicos

Teoria de transmissão

Processamento de dados

Computador

Estatística

Legislação relacionada com sinalização e comunicação.

Projeto, Inspeção

Prevenção de acidente

Segurança e administração

Treinamento prático.

